

**ИЗВЕСТИЯ  
АКАДЕМИИ НАУК  
ТУРКМЕННОЙ ССР**

**СЕРИЯ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ  
И ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК**

**2**

**1966**

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Нарчаев А.</b> — Об одном вырождающемся эллиптическом уравнении	3
<b>Чарьев А.</b> — О некоторых критериях ограниченности решений дифференциальных уравнений второго порядка в гильбертовом пространстве	8
<b>Садыков К. Б., Семенович С. А.</b> — Исследование термодинамических свойств теллурида свинца методом э. д. с.	16
<b>Язлив С.</b> — Продольный термомагнитный эффект в сплавах системы никель-палладий	22
<b>Язлив С., Оразсахатов А.</b> — «Скачок» теплоемкости в точке Кюри ферритов	27
<b>Оразгульев Б.</b> — Исследование электропроводности <i>n</i> -кремния в сильных импульсных магнитных полях	31
<b>Суханов С., Арустамова М. В., Сыркина В. Ф.</b> — Датчики магнитосопротивления из InSb	35
<b>Овезгельдыев О.</b> — О возможности существования ячейковой циркуляции в <i>E</i> области ионосферы	40
<b>Бердыев Р. С.</b> — Прочность слабоармированных предварительно напряженных железобетонных элементов при нагрузке типа сейсмической	48
<b>Кашкаров О. Д., Сапаров Г. М.</b> — Исследование метастабильных равновесий при эзотермическом испарении в системе (Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> ), (Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), H <sub>2</sub> O при 70°C (343,2°K)	56
<b>Ханмурадов Б. А., Ашумов Г. Г., Бедов Ю. А., Сучкова А. А., Агаева Р. М.</b> — Парафиновые и ароматические углеводороды в котуртепинской нефти	64
<b>Денлиев П. К., Мещеряков А. А.</b> — Разделение суммы флавоновых веществ из растений при помощи бумажной хроматографии	69
<b>Амурский Г. И., Морозов Г. И., Рубан В. И., Спикин В. А., Хуснутдинов З. Б.</b> — О направлении поисковых работ на нефть и газ в южных районах Центральной Туркмении	73
<b>Машрыков К., Юферов Р., Аманниязов К.</b> — К палеотектонике верхней юры территории Туркменской ССР	78
<b>Соколовская Л. А.</b> — Минералогический состав и корреляционные признаки верхнемеловых отложений Восточной и Северо-Восточной Туркмении	83
<b>Узаков О.</b> — Биостратиграфическое расчленение верхнего миоцена Западного и Центрального Копет-Дага	90
<b>Трубин А. И.</b> — Минералогическая характеристика палеогеновых глин Центрального Копет-Дага по данным рентгеноструктурного анализа	100
<b>Нурмашев Н. У.</b> — Спорово-пыльцевые комплексы юрских отложений Туаркыра и их стратиграфическое значение	107
<b>КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ</b>	
	113
<b>Кривошеев В. Т.</b> — Новые данные о барремском ярусе Центральных и Северных Кара-Кумов (113). <b>Судо М. М., Тимофеев Ю. В.</b> — Новые данные об олигоцене восточной части Низменных Кара-Кумов (115). <b>Кожевникова Е. Г.</b> — О новых видах фораминифер из палеогеновых отложений Копет-Дага (117). <b>Седлецкий В. И.</b> — История геологического развития Гаурдак-Кугитангской зоны поднятий (122).	113
<b>МЕТЕОРНЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ</b>	
	125
<b>Саврухин А. П.</b> — Наблюдения метеорных потоков Леонид в 1964 г. и Лирид в 1965 г. (125).	

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Отв. редактор — академик Академии наук Туркменской ССР **С. Р. Сергиенко**.  
 Зам. отв. редактора — академик Академии наук Туркменской ССР **К. К. Машрыков**.  
 Отв. секретарь — кандидат физико-математических наук **А. А. Аширов**.  
 Академики Академии наук Туркменской ССР **Р. Г. Аннаев, В. А. Баум, П. И. Калугин, Г. С. Седельников**; члены-корреспонденты Академии наук Туркменской ССР **А. А. Бердыев и А. Н. Ниязов**; кандидаты физико-математических наук **Я. Агаев, А. Нарчаев, Р. Непесов, А. Ханбердыев, О. Худайверенов**; кандидат технических наук **В. И. Кривошеев**; кандидат геолого-минералогических наук **О. Одеков**.

ТҮРКМЕНИСТАН ССР  
ЫЛЫМЛАР АКАДЕМИЯСЫНЫҢ  
ХАБАРЛАРЫ

ФИЗИКА-ТЕХНИКИ, ХИМИКИ ВЕ ГЕОЛОГИК  
ЫЛЫМЛАРЫҢ СЕРИЯСЫ

2

1966

А ш г а б а т

**ИЗВЕСТИЯ**  
**АКАДЕМИИ НАУК**  
**ТУРКМЕНСКОЙ ССР**

**СЕРИЯ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ  
И ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК**

**2**

**1966**

**А ш х а б а д**

УДК 517.946

А. НАРЧАЕВ

## ОБ ОДНОМ ВЫРОЖДАЮЩЕМСЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКОМ УРАВНЕНИИ

В области  $Q$  приведенного в [1] типа рассмотрим задачу Дирихле (задача  $D$ ) для уравнения

$$Lu = h \quad (1)$$

с  $L$ , удовлетворяющим условиям в [1].

*Теорема 1.* Если верна оценка

$$\|v\|_+ \leq \text{const} \cdot \|L^*v\|_- \quad (2)$$

при всех  $v \in \dot{W}_2^4(Q)$ , то существует слабое решение задачи Дирихле для каждой функции  $h \in \dot{W}_2^{-2}(\alpha)$ . Для доказательства рассмотрим множество функций из  $W_2^{-2}(\alpha)$  вида  $L^*v$ , где  $v \in \dot{W}_2^4(Q)$ , и выражение  $l(v) = (v, h)$ .

Применяя обобщенное неравенство Шварца, оценку (2), получим

$$(v, h) \leq \|h\|_- \|v\|_+ \leq \text{const} \|L^*v\|_- \quad (3)$$

В силу (3) выражение  $(v, h)$  можно рассматривать как линейный функционал по  $L^*v$  в пространстве  $W_2^{-2}(\alpha)$ . По теореме Хана-Банаха продолжаем этот линейный функционал на все пространство  $W_2^{-2}(\alpha)$  и, пользуясь теоремой 1 [1] об общем виде линейных функционалов над пространством  $W_2^{-2}(\alpha)$ , заключаем о существовании элемента  $u \in \dot{W}_2^{-2}(\alpha)$  такого, что

$$(v, h) = (u, L^*v),$$

а это и требовалось доказать.

Пусть

$$Lu \equiv A \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left( y^\alpha \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - B \frac{\partial^3 u}{\partial y^3} + Cu, \quad (4)$$

где  $\alpha > 3$ ,  $A$ ,  $B$  и  $C$  — положительные постоянные, и область  $Q$  — есть прямоугольник  $\Pi$  ( $a \leq x \leq b$ ;  $0 \leq y \leq l$ ). Тогда

$$A \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left( y^\alpha \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - B \frac{\partial^3 u}{\partial y^3} + Cu = h(x, y) \quad (5)$$

— есть эллиптическое уравнение, вырождающееся в так называемое квазипараболическое при  $y=0$ .

Докажем (2) для уравнения (5). Возьмем  $w=e^{\beta y} v$ ,  $\beta>0$ . Интегрированием по частям доказываются

$$(L^* v, e^{\beta y} w) \geq \text{const} \cdot \|w\|_+^2 \quad (6)$$

$$\|v\|_+ \leq \text{const} \cdot \|w\|_+ \quad (7)$$

$$\|e^{\beta y} w\|_+ \leq \text{const} \cdot \|w\|_+ \quad (8)$$

при достаточно малом  $\beta$ . На самом деле,

$$\begin{aligned} (L^* v, e^{\beta y} w) &= (L^* e^{-\beta y} w, e^{\beta y} w) = \iint_{\Pi} \left\{ A \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left( y^2 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) - 4\beta y^2 \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + \right. \\ &+ (6\beta^2 y^2 - 6\beta^3 \alpha y^{\alpha-1}) \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - [4\beta^3 y^2 - 6\beta^3 \alpha y^{\alpha-1} + 2\beta^3 \alpha (\alpha-1) y^{\alpha-2}] \frac{\partial w}{\partial y} + \\ &+ [\beta^4 y^2 - 2\beta^3 \alpha y^{\alpha-1} + \beta^2 \alpha (\alpha-1) y^{\alpha-2}] w + B \left( \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} - 3\beta \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + 3\beta^2 \frac{\partial w}{\partial y} - \beta^3 w \right) + \\ &+ c w \left. \right\} w \, dx dy = \iint_{\Pi} \left[ A \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 + y^2 \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 \right] dx dy + \\ &+ 3\beta \iint_{\Pi} (B - 2\beta y^2) \left( \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 dx dy + \frac{1}{2} B \int_a^b \left( \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \Big|_{y=0} dx + \\ &+ \iint_{\Pi} [C - \beta^3 B + \beta^4 y^2 + \beta^2 \alpha (\alpha-1) y^{\alpha-2}] w^2 dx dy, \end{aligned}$$

отсюда, при достаточно малом  $\beta$ , следует (6). Аналогично доказываются (7) и (8). Из (6), применяя к левой части обобщенное неравенство Шварца, воспользуясь (7), (8) и сокращая на  $\|w\|_+$ , получим (2).

Для уравнения (5) удастся явно выписать условия единственности слабого решения задачи Дирихле. Выберем функцию  $v(x, y)$  как решение краевой задачи

$$A \frac{\partial^4 v}{\partial x^4} + B \frac{\partial^3 v}{\partial y^3} + C v = u(x, y) \quad (9)$$

$$v|_{\Gamma} = 0, \quad \frac{\partial v}{\partial x} \Big|_{x=a} = \frac{\partial v}{\partial x} \Big|_{x=b} = \frac{\partial v}{\partial y} \Big|_{y=l} = 0 \quad (10)$$

Известно [2], что решение задачи (9) — (10) существует, единственно, принадлежит  $\dot{W}_2^4(\Pi)$ , причем

$$\iint_{\Pi} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 dx dy \leq M \int_{\Pi} u^2 dx dy \quad (11)$$

Из определения слабого решения задачи Дирихле при  $h \equiv 0$ , получим

$$(u, L^* v) = 0 \quad (12)$$

для всех функций  $v \in \dot{W}_2^4(\Pi)$ . Подставляя решение задачи (9) — (10) в (12) имеем

$$\iint_{\Pi} u^2 dx dy + \iint_{\Pi} \left( A \frac{\partial^4 v}{\partial x^4} + B \frac{\partial^3 v}{\partial y^3} + C v \right) \frac{\partial^3}{\partial y^2} \left( y^\alpha \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) dx dy = 0. \quad (13)$$

Преобразуя второй интеграл в (13) интегрированием по частям и учитывая граничные условия (10), получим

$$\begin{aligned} & \iint_{\Pi} u^2 dx dy + A \iint_{\Pi} y^\alpha \left( \frac{\partial^4 v}{\partial x^2 \partial y^2} \right)^2 dx dy + \frac{3\alpha}{2} B \iint_{\Pi} y^{\alpha-1} \left( \frac{\partial^3 v}{\partial y^3} \right)^2 dx dy + \\ & + \frac{1}{2} B \cdot l^\alpha \int_a^b \left( \frac{\partial^3 v}{\partial y^3} \right)^2 \Big|_{y=l} dx + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2} B \cdot l^{\alpha-2} \int_a^b \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 \Big|_{y=l} dx - \\ & - \frac{\alpha(\alpha-1)(\alpha-2)}{2} B \iint_{\Pi} y^{\alpha-3} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 dx dy + C \iint_{\Pi} y^\alpha \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 dx dy = 0. \end{aligned} \quad (14)$$

Воспользуясь оценками

$$\iint_{\Pi} y^\alpha \left( \frac{\partial^4 v}{\partial x^2 \partial y^2} \right)^2 dx dy \geq \frac{1}{(b-a)^2} \iint_{\Pi} y^\alpha \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 dx dy \quad (15)$$

$$\begin{aligned} & \iint_{\Pi} y^{\alpha-1} \left( \frac{\partial^3 v}{\partial y^3} \right)^2 dx dy \geq \frac{8}{81} (\alpha-4)^2 \iint_{\Pi} y^{\alpha-3} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 dx dy - \\ & - \frac{\alpha-4}{9} l^{\alpha-4} \int_a^b \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 \Big|_{y=l} dx \quad (\text{при } \alpha > 4, l \geq \sqrt{\frac{\alpha-4}{3(\alpha-1)}}) \end{aligned} \quad (16)$$

и отбрасывая некоторые неотрицательные члены, содержащие  $v(x, y)$ , получим:

$$\begin{aligned} & \iint_{\Pi} u^2 dx dy + \left[ \frac{A}{(b-a)^2} + C \right] \cdot \iint_{\Pi} y^\alpha \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 dx dy - \\ & - K(\alpha) \cdot B \iint_{\Pi} y^{\alpha-3} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 dx dy < 0, \end{aligned} \quad (17)$$

$$\text{где} \quad K(\alpha) = \frac{\alpha(\alpha-1)(\alpha-2)}{2} - \frac{4}{27} \alpha(\alpha-4)^2. \quad (18)$$

*Замечание.* В случаях  $\alpha \ll 4$  и  $l < \sqrt{\frac{\alpha-4}{3(\alpha-1)}}$  оценкой (16) воспользоваться нельзя, поэтому в этих случаях

$$K(\alpha) = \frac{\alpha(\alpha-1)(\alpha-2)}{2}. \quad (19)$$

Возьмем  $y = y_0$  такое, что

$$\chi = 1 - M \cdot B \cdot K(\alpha) \cdot y_0^{\alpha-3} \geq \chi_0 > 0 \quad (20)$$

и рассмотрим

$$N = \iint_{\Pi \wedge (y > y_0)} \left[ \left( \frac{A}{(b-a)^2} + C \right) y^2 - K(x) \cdot B \cdot y^{\alpha-3} \right] \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 dx dy. \quad (21)$$

Введем обозначения

$$y_{n+1} = \sqrt[{\alpha-3}]{1+\varepsilon} y_n, \quad \Pi_n = |a \ll x \ll b; y_n \ll y \ll y_{n+1}|, \quad n=0, 1, 2, \dots,$$

где  $\varepsilon$  — сколь угодно малое положительное число и оценим

$$N_n = \iint_{\Pi_n} \left[ \left( \frac{A}{(b-a)^2} + C \right) y^2 - K(x) \cdot B y^{\alpha-3} \right] \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 dx dy.$$

Имеем

$$\begin{aligned} N_n &\geq \iint_{\Pi_n} \left[ \left( \frac{A}{(b-a)^2} + C \right) y_n^2 - K(x) \cdot B \cdot y_{n+1}^{\alpha-3} \right] \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 dx dy = \\ &= \iint_{\Pi_n} \left[ \left( \frac{A}{(b-a)^2} + C \right) y_n^2 - K(x) \cdot B \cdot (1+\varepsilon) y_n^{\alpha-3} \right] \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 dx dy = \\ &= \iint_{\Pi_n} y_n^{\alpha-3} \left[ \left( \frac{A}{(b-a)^2} + C \right) y_n^3 - K(x) \cdot B \cdot (1+\varepsilon) \right] \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 dx dy. \end{aligned}$$

Выбирая  $C$  достаточно большим, будем иметь

$$\left( \frac{A}{(b-a)^2} + C \right) y_0^3 - K(x) \cdot B \cdot (1+\varepsilon) \geq 0. \quad (22)$$

Тогда тем более

$$\left( \frac{A}{(b-a)^2} + C \right) y_n^3 - K(x) \cdot B \cdot (1+\varepsilon) \geq 0, \quad n=1, 2, \dots$$

Следовательно,

$$N_n \geq 0 \quad \text{при } n=0, 1, 2, \dots$$

Пусть  $y_{n_0} \leq l = \sqrt[{\alpha-3}]{1+\varepsilon_0} y_{n_0} < y_{n_0+1}$ .

Ясно, что  $0 \leq \varepsilon_0 < \varepsilon$ . Тогда

$$\begin{aligned} N_{n_0} &= \int_a^b \int_{y_{n_0}}^l \left[ \left( \frac{A}{(b-a)^2} + C \right) y^2 - K(x) B \cdot y^{\alpha-3} \right] \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 dx dy \geq \\ &\geq \int_a^b \int_{y_{n_0}}^l \left[ \left( \frac{A}{(b-a)^2} + C \right) y_{n_0}^2 - K(x) \cdot B \cdot (1+\varepsilon_0) y_{n_0}^{\alpha-3} \right] \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 dx dy = \\ &= \int_a^b \int_{y_{n_0}}^l y_{n_0}^{\alpha-3} \left[ \left( \frac{A}{(b-a)^2} + C \right) y_{n_0}^3 - K(x) \cdot B \cdot (1+\varepsilon_0) \right] \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 dx dy \geq 0. \end{aligned}$$

Следовательно,

$$N = N_0 + N_1 + \dots + N_{n_0} \geq 0. \quad (23)$$

Перепишем (17)

$$\int_{\Pi} \int u^2 dx dy + \left[ \frac{A}{(b-a)^2} + C \right] \cdot \int_{\Pi \cap (y < y_0)} \int y^2 \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 dx dy - \\ - K(x) \cdot B \cdot y_0^{a-3} \int_{\Pi \cap (y < y_0)} \int \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) dx dy + N \leq 0. \quad (24)$$

Из (24) на основании (20) и (23) следует

$$\int_{\Pi} \int u^2 dx dy = 0,$$

а следовательно, и  $\|u\|_+ = 0$ .

Таким образом, доказана

**Теорема 2.** Слабое решение задачи Дирихле для уравнения (5) единственно при

$$\left( \frac{A}{(b-a)^2} + C \right) y_0^3 - K(x) \cdot B \cdot (1 + \epsilon) \geq 0,$$

где  $\epsilon > 0$  — сколь угодно малое число, а  $y_0$  удовлетворяет условию (20).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Нарчаев А. — ДАН СССР, т. 156, № 1, 1964.
2. Михайлов В. П. — ДАН СССР, т. 147, № 3, 1962.

Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР

Поступило  
3 декабря 1965 г.

УДК 517.917

А. ЧАРЫЕВ

### О НЕКОТОРЫХ КРИТЕРИЯХ ОГРАНИЧЕННОСТИ РЕШЕНИЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА В ГИЛЬБЕРТОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Настоящая работа является продолжением работы [1]. Близкие вопросы исследованы также Я. Д. Мамедовым в работе [2]. Для конечномерного случая  $H = E_n$  и в условиях двухсторонних оценок на нелинейную часть полученные критерии совпадают с приведенными в [3].

Рассмотрим уравнение

$$A_0(t) \frac{d^2 x}{dt^2} + A_1(t) \frac{dx}{dt} + A_2(t) x = F \left( t, x, \frac{dx}{dt} \right), t > 0, \quad (1)$$

где  $A_0(t)$ ,  $A_1(t)$  и  $A_2(t)$  при фиксированном  $t \geq 0$ , вообще говоря, неограниченные операторы, области определения которых плотны в  $H$  и не зависят от  $t$ , то есть  $D(A_i(t)) = D(A_i)$  ( $i = \overline{0,2}$ ).

*Определение 1.* Функцию  $x(t)$  назовем решением уравнения (1),

если  $x(t)$ ,  $x'(t)$ ,  $A_2(t)x(t)$  и  $A_0^{-\frac{1}{2}}(t)x'(t)$  непрерывны при всех  $t \geq 0$ , а  $A_0(t)x''(t)$ ,  $A_1(t)x'(t)$  непрерывны при  $t > 0$ , причем при  $t > 0$  удовлетворяется уравнение (1).

*Теорема 1.* Пусть  $1^\circ D(A_i) \cong D(A_0)$ , вектор-функция  $A_0(t)\eta$ , непрерывно дифференцируема при  $t > 0$  для любого  $\eta \in D(A_0)$ , причем

$$A_0(t)\eta, \eta \gg \alpha(t)(\eta, \eta) \quad \text{при } t \gg 0,$$

$$Re((A_0'(t) - 2A_1(t))\eta, \eta) \ll \beta(t)(\eta, \eta) \quad \text{при } t > 0,$$

где  $\alpha(t) > 0$  — непрерывная функция.

$2^\circ$  вектор-функция  $A_2(t)\xi$  непрерывна при  $t \gg 0$ , непрерывно дифференцируема при  $t > 0$  для любого  $\xi \in D(A_2)$ , причем

$$Re(A_2(t)\xi, \xi) \gg \gamma(t)(\xi, \xi) \quad \text{при } t \gg 0,$$

$$Re(A_2'(t)\xi, \xi) \leq k(t)(\xi, \xi) \quad \text{при } t > 0,$$

где  $\gamma(t) > 0$  — непрерывная функция;

$3^\circ Im A_2(t) = \frac{1}{2i}(A_2(t) - A_2^*(t))$  — есть ограниченный оператор;

4° нелинейный оператор  $F(t, \xi, \eta)$  непрерывен на своей области определения:  $\{t > 0; \xi \in D(A_2), \eta \in D(A_1); \|\xi\| < \delta, \|\eta\| < \delta\}$ , где удовлетворяется неравенство

$$Re(F(t, \xi, \eta), \eta) \leq g(t) \|\xi\|^2 + h(t) \|\eta\|^2; \quad (2)$$

$$5^\circ \max \left[ \left\{ \frac{3(t) + 2h(t) + \|ImA_2(t)\|}{\alpha(t)} \right\}_+, \left\{ \frac{k(t) + 2g(t) + \|ImA_2(t)\|}{\gamma(t)} \right\}_+ \right] \leq q(t),$$

где  $q(t)$  — суммируемая функция на каждом конечном промежутке  $[0, T]$  и

$$\frac{1}{\alpha(t)} \cdot \exp \left\{ \int_0^t q(s) ds \right\} \leq M, \quad \frac{1}{\gamma(t)} \cdot \exp \left\{ \int_0^t q(s) ds \right\} \leq M, \quad \text{где } M < \infty.$$

Тогда, любое решение  $x(t)$  уравнения (1) с начальными значениями  $x(0) \in D(A_2)$ ,  $x'(0) \in D(A_0^{\frac{1}{2}})$ , удовлетворяющими неравенствам

$$\|x(0)\| < \delta, \|x'(0)\| < \delta, \|A_0^{\frac{1}{2}}(0)x'(0)\|^2 + Re(A_2(0)x(0), x(0)) < \frac{\delta^2}{M}, \quad (3)$$

вместе со своей производной  $x'(t)$  ограничено и при  $t \geq 0$  будет

$$\|x(t)\|^2 < \frac{C_0}{\gamma(t)} \cdot \exp \left\{ \int_0^t q(s) ds \right\}, \quad \|x'(t)\|^2 < \frac{C_0}{\alpha(t)} \cdot \exp \left\{ \int_0^t q(s) ds \right\}, \quad (4)$$

где  $C_0 = \|A_0^{\frac{1}{2}}(0)x'(0)\|^2 + Re(A_2(0)x(0), x(0))$ .

*Доказательство.* Пусть  $x(t)$  есть некоторое решение уравнения (1) с начальными значениями, удовлетворяющими неравенствам (3).

Покажем, что при  $t \geq 0$   $\|x(t)\| < \delta, \|x'(t)\| < \delta$ . (5)

Если бы это было не так, то возможны два случая:

а) существует такое  $\tau > 0$ , что  $\|x(\tau)\| = \delta, \|x'(\tau)\| \leq \delta$ , а при  $t < \tau$   $\|x\| < \delta, \|x'\| < \delta$ ;

б) существует такое  $\sigma > 0$ , что  $\|x'(\sigma)\| = \delta, \|x(\sigma)\| \leq \delta$ , а при  $t < \sigma$   $\|x\| < \delta, \|x'\| < \delta$ .

Допустим, что имеет место первый случай.

Умножая (1) скалярно на  $x'(t)$ , получим

$$(A_0(t)x'', x') + (A_1(t)x', x') + (A_2(t)x, x') = (F(t, x, x'), x') \quad \text{или} \\ Re(A_0(t)x'', x') = Re(F(t, x, x'), x') - Re(A_1(t)x', x') - Re(A_2(t)x, x'). \quad (6)$$

Имея в виду, что

$$\frac{d}{dt}(A_0(t)x', x') + \frac{d}{dt}Re(A_2(t)x, x) = 2Re(A_0(t)x'', x') + (A_0'(t)x', x') + \\ + Re(A_2'(t)x, x) + Re(A_2(t)x', x) + Re(A_2(t)x, x') \quad (7)$$

и учитывая (6), имеем

$$\frac{d}{dt} [(A_0(t)x', x') + Re(A_2(t)x, x)] = 2Re(F(t, x, x'), x') + \\ + Re((A_2(t) - A_2^*(t))x', x) + Re((A_0'(t) - 2A_1(t))x', x') + \\ + Re(A_2'x, x). \quad (8)$$

Отсюда, при  $t < \tau$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} [(A_0(t)x', x') + Re(A_2(t)x, x)] &\ll 2g(t)\|x\|^2 + 2h(t)\|x'\|^2 + \\ &+ \|Im A_2(t)\| \|x\|^2 + \|Im A_2(t)\| \|x'\|^2 + \beta(t)\|x'\|^2 + k(t)\|x\|^2 \ll \\ &\ll \left\{ \frac{\beta(t) + \|Im A_2(t)\| + 2h(t)}{\alpha(t)} \right\}_+ \alpha(t)\|x'\|^2 + \\ &+ \left\{ \frac{k(t) + \|Im A_2(t)\| + 2g(t)}{\gamma(t)} \right\}_+ \gamma(t)\|x\|^2 \ll q(t)(\alpha(t)\|x'\|^2 + \gamma(t)\|x\|^2) \\ \text{или } \frac{d}{dt} [\|A_0^{\frac{1}{2}}(t)x'\|^2 + Re(A_2(t)x, x)] &\ll [\|A_0^{\frac{1}{2}}(t)x'\|^2 + \\ &+ Re(A_2(t)x, x)] q(t). \end{aligned}$$

Следовательно, на основании известной леммы о дифференциальном неравенстве (например [1]) при  $t < \tau$ , получим

$$\alpha(t)(x', x') + \gamma(t)(x, x) \ll C_0 \exp\left\{\int_0^t q(s) ds\right\}, \quad (9)$$

$$\text{где } C_0 = \|A_0^{\frac{1}{2}}(0)x(0)\|^2 + Re(A_2(0)x(0), x(0)).$$

Неравенство (9) по непрерывности верно и при  $t = \tau$ , а отсюда следует, что

$$\|x(\tau)\|^2 \ll \frac{C_0}{\gamma(\tau)} \exp\left\{\int_0^\tau q(s) ds\right\} < \frac{\delta^2}{M} \cdot M = \delta^2, \text{ то есть } \|x(\tau)\| < \delta,$$

что противоречит нашему предположению.

Следовательно,  $\|x(t)\| < \delta$  при всех  $t \geq 0$ . Аналогично доказывается невозможность второго случая.

Неравенство (9) получено нами для  $t$ , имеющих место в (5). Но, так как нами доказано, что неравенство (5) справедливо для всех  $t \geq 0$ , то (9) верно также для всех  $t \geq 0$ . А из неравенства (9) получается и (4), что и требовалось доказать.

В следующей теореме дается критерий ограниченности решений того же уравнения (1), когда самосопряженный оператор  $A_0(t)$  не обязательно положительно определен, а может быть только положительным.

**Теорема 2.** Пусть удовлетворены условия 1<sup>о</sup>, 2<sup>о</sup> и 3<sup>о</sup> теоремы 1, с той лишь разницей, что  $\alpha(t) \geq 0$ . Кроме того, пусть 4<sup>о</sup> нелинейный оператор  $F(t, \xi, \eta)$  непрерывен на своей области определения:  $\{t > 0, \xi \in D(A_2), \eta \in D(A_1), \|\xi\| < \delta, \delta > 0\}$ , где удовлетворяется неравенство (2);

$$5^o \quad 2h(t) + \beta(t) + \|Im A_2(t)\| < 0, \left\{ \frac{2g(t) + k(t) + \|Im A_2(t)\|}{\gamma(t)} \right\}_+ \ll q(t),$$

где  $q(t)$  — суммируемая функция на каждом конечном промежутке  $[0, T]$  и

$$\frac{1}{\gamma(t)} \exp\left\{\int_0^t q(s) ds\right\} \ll M < \infty.$$

Тогда любое решение  $x(t)$  уравнения (1) с начальными значе-

ниями  $x(0) \in D(A_2)$ ,  $x'(0) \in D(A_0^{\frac{1}{2}})$ , удовлетворяющими неравенствам

$$\|x(0)\| < \delta, \|A_0^{\frac{1}{2}}(0)x'(0)\|^2 + \operatorname{Re}(A_2(0)x(0), x(0)) < \frac{\delta^2}{M}, \quad (3')$$

ограничено и при  $t \geq 0$  будет

$$\|x(t)\|^2 \leq \frac{C_0}{\gamma(t)} \exp\left\{\int_0^t q(s) ds\right\}, \quad (5')$$

где  $C_0 = \|A_0^{\frac{1}{2}}(0)x(0)\|^2 + \operatorname{Re}(A_2(0)x(0), x(0))$ .

*Доказательство.* Покажем сначала, что при  $t \geq 0$   $\|x(t)\| < \delta$ . Если бы это было не так, то существовало бы некоторое  $\tau > 0$  такое, что  $\|x(\tau)\| = \delta$ , а при  $t < \tau$   $\|x(t)\| < \delta$ .

Умножая (1) скалярно на  $x'(t)$  и имея в виду (6) и (7), снова получим (8), после чего, учитывая условия 4<sup>0</sup>, 5<sup>0</sup> при  $t < \tau$ , будем иметь

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} [\|A_0^{\frac{1}{2}}(t)x'\|^2 + \operatorname{Re}(A_2(t)x, x)] &\leq (\beta(t) + \|Im A_2(t)\| + 2h(t)) \|x'\|^2 + \\ &+ \left\{ \frac{k(t) + \|Im A_2(t)\| + 2g(t)}{\gamma(t)} \right\}_+ \gamma(t) \|x\|^2 \leq q(t) \gamma(t) \|x\|^2 \leq \\ &\leq q(t) [\|A_0^{\frac{1}{2}}(t)x'\|^2 + \operatorname{Re}(A_2(t)x, x)]. \end{aligned}$$

Применяя лемму о дифференциальном неравенстве, получим (9). Учитывая, что  $\alpha(t) \geq 0$ , так же как в теореме 1, имеем

$$\|x(t)\| \leq \frac{C_0}{\gamma(t)} \exp\left\{\int_0^t q(s) ds\right\}. \quad (10)$$

Последнее неравенство по непрерывности справедливо и при  $t = \tau$ , поэтому

$$\|x(\tau)\|^2 \leq \frac{C_0}{\gamma(\tau)} \exp\left\{\int_0^\tau q(s) ds\right\} < \frac{\delta^2}{M} \cdot M = \delta^2, \text{ то есть } \|x(\tau)\| < \delta, \text{ что}$$

противоречит нашему предположению. Следовательно,  $\|x(t)\| < \delta$  при всех  $t \geq 0$ . Дальнейшее аналогично соответствующему рассуждению в теореме 1.

Рассмотрим линейное уравнение

$$A_0(t) \frac{d^2 x}{dt^2} + A_1(t) \frac{dx}{dt} + A_2(t) x = 0. \quad (1')$$

*Теорема 3.* Пусть удовлетворены условия 1<sup>0</sup>, 2<sup>0</sup>, 3<sup>0</sup> теоремы 1,

причем  $\max \left[ \left\{ \frac{\beta(t) + \|Im A_2(t)\|}{\alpha(t)} \right\}_+, \left\{ \frac{k(t) + \|Im A_2(t)\|}{\gamma(t)} \right\}_+ \right] \leq q(t)$ ,

где  $q(t)$  — суммируемая функция на каждом конечном промежутке  $[0, T]$  и

$$\frac{1}{\alpha(t)} \exp\left\{\int_0^t q(s) ds\right\} \leq M, \frac{1}{\gamma(t)} \cdot \exp\left\{\int_0^t q(s) ds\right\} \leq M, \text{ где } M < \infty.$$

Тогда любое решение  $x(t)$  уравнения (1') с начальными значениями  $x(0) \in D(A_2)$ ,  $x'(0) \in D(A_0^{\frac{1}{2}})$ , удовлетворяющими неравенствам (3), вместе со своей производной  $x'(t)$  ограничено, и при  $t \geq 0$  имеет место (5).

Эта теорема является следствием теоремы 1.

**Теорема 4.** Пусть имеют место условия 1<sup>0</sup>, 2<sup>0</sup>, 3<sup>0</sup> теоремы 2, причем

$$\beta(t) + \|ImA_2(t)\| \ll 0, \left\{ \frac{k(t) + \|ImA_2(t)\|}{\gamma(t)} \right\}_+ \ll q(t),$$

где  $q(t)$  — суммируемая функция на каждом конечном промежутке

$$[0, T] \text{ и } \frac{1}{\gamma(t)} \exp\left\{ \int_0^t q(s) ds \right\} \ll M < \infty.$$

Тогда любое решение  $x(t)$  уравнения (1') с начальными значениями  $x(0) \in D(A_2)$ ,  $x'(0) \in D(A_0^{\frac{1}{2}})$ , удовлетворяющими неравенствам (3'), ограничено и при  $t \geq 0$  будет иметь место (5').

Эта теорема является следствием теоремы 2.

Приведем пример применения теоремы 1 к уравнениям с частными производными. В качестве  $H$  возьмем  $L_2(D)$ , где  $D$  — ограниченная область  $n$ -мерного евклидова пространства с достаточно гладкой границей  $\Gamma$ .

Рассмотрим уравнение

$$\begin{aligned} & - \sum_{i,j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ a_{ij}(t, x) \frac{\partial^3 u}{\partial x_j \partial t^2} \right] + a(t, x) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \sum_{i,j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ C_{ij}(t, x) \frac{\partial u}{\partial x_j} \right] + C(t, x) u = \\ & = \sum_{i,j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ b_{ij}(t, x) \frac{\partial^2 u}{\partial x_j \partial t} \right] + g\left(t, u, \frac{\partial u}{\partial t}\right), \end{aligned} \quad (11)$$

при условии  $u|_{\Gamma} = 0$ .

На  $a_{ij}$ ,  $a$ ,  $b_{ij}$ ,  $C_{ij}$ ,  $C$  и  $g$  наложим следующие условия:

а)  $a_{ij} = \bar{a}_{ij}$ ,  $\sum_{j=1}^n a_{ij} \xi_i \xi_j \geq 0$ ,  $a(t, x) \geq \alpha(t)$  при  $t \geq 0$ , где  $\alpha(t) > 0$  — непрерывная функция;

б) функция  $a_{ij}(t, x)$ ,  $a(t, x)$  и  $\frac{\partial a_{ij}}{\partial x_i}$  имеют ограниченные сверху производные по  $t$ , причем

$$\sum_{i,j=1}^n \frac{\partial a_{ij}(t, x)}{\partial t} \xi_i \bar{\xi}_j \ll 0, \quad \frac{\partial a(t, x)}{\partial t} \ll \beta(t);$$

в)  $C_{ij} = \bar{C}_{ji}$ ,  $\sum_{i,j=1}^n C_{ij} \xi_i \xi_j \geq 0$ ,  $Re C(t, x) \geq \gamma(t)$ ,

где  $\gamma(t) > 0$  — непрерывная функция при  $t \geq 0$ ;

г) функции  $C_{ij}(t, x)$ ,  $Re C(t, x)$  и  $\frac{\partial C_{ij}}{\partial x_i}$  имеют ограниченные сверху производные по  $t$ , причем

$$\sum_{i,j=1}^n \frac{\partial C_{ij}(t, x)}{\partial t} \xi_j \cdot \bar{\xi} \ll 0, \quad \frac{\partial}{\partial t} [Re C(t, x)] \leq k(t);$$

д)  $|Im C(t, x)| \ll h(t) < \infty$ ;

е)  $b_{ij} = \bar{b}_{ij}, \quad \sum_{i,j=1}^n b_{ij} \eta_i \bar{\eta}_j \geq 0$ ;

ж) функция  $g(t, \xi, \eta)$  определена и непрерывна при  $t > 0$  и любых комплексных  $\xi$  и  $\eta$ , причем имеет место

$$Re [g(t, \xi, \eta) \cdot \bar{\eta}] \leq g(t) |\xi|^2 - \frac{h(t)}{2} |\eta|^2;$$

з) если  $n \geq 4$ , то функция  $|g(t, \xi, \eta)|$  обладает по  $\xi$  и  $\eta$  при каждом  $t$  некоторой мажорантой  $|g(t, \xi, \eta)| \leq A(t) + B(t) |\xi|^\gamma + C(t) |\eta|^\gamma$ , причем если  $n = 4$ , то  $\gamma$  может быть любым, а если  $n > 4$ , то  $\gamma < \frac{n+4}{n-4}$ . (Если  $n \leq 3$ , то никаких ограничений на рост  $g(t, \xi, \eta)$  не накладывается);

и) существует суммируемая на каждом конечном промежутке  $[0, T]$  функция  $q(t)$  такая, что

$$\max \left[ \left\{ \frac{\beta(t)}{\alpha(t)} \right\}_+, \left\{ \frac{k(t) + 2g(t) + h(t)}{\gamma(t)} \right\}_+ \right] \leq q(t), \text{ причем}$$

$$\frac{1}{\alpha(t)} \exp \left\{ \int_0^t q(s) ds \right\} \leq M < \infty.$$

Тогда, любое решение  $u(t, x)$  уравнения (11), удовлетворяющее неравенствам  $\int_D |u(0, x)|^2 dx < \delta^2$ ,  $\int_D |u'_i(0, x)|^2 dx < \delta$  и

$$C_0 = \int_D \left[ \sum_{i,j=1}^n a_{ij}(0, x) \frac{\partial u'_i(0, x)}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial u'_i(0, x)}{\partial x_j} + a(0, x) |u'_i(0, x)|^2 \right] dx +$$

$$+ \int_D \left[ \sum_{i,j=1}^n C_{ij}(0, x) \frac{\partial u(0, x)}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial \overline{u(0, x)}}{\partial x_j} + Re C(0, x) |u(0, x)|^2 \right] dx < \frac{\delta^2}{M}$$

ограничено и удовлетворяет оценкам

$$\int_D |u(t, x)|^2 dx \leq \frac{C_0}{\alpha(t)} \exp \left\{ \int_0^t q(s) ds \right\} + \int_D |u'_i(t, x)|^2 dx \leq$$

$$\leq \frac{C_0}{\gamma(t)} \exp \left\{ \int_0^t q(s) ds \right\}. \quad (12)$$

Действительно, если обозначить в (11)

$$A(t)v \equiv - \sum_{i,j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ a_{ij}(t,x) \frac{\partial v}{\partial x_j} \right] + a(t,x)v, \quad A_1(t)v \equiv 0$$

$$A_2(t)v \equiv - \sum_{i,j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ C_{ij}(t,x) \frac{\partial v}{\partial x_j} \right] + C(t,x)v,$$

$$F(t,u,v) \equiv \sum_{i,j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ b_{ij}(t,x) \frac{\partial v}{\partial x_j} \right] + g(t,u,v) \equiv F_1(t)v + F_2(t,u,v),$$

где  $D(A_0) = D(A_2) = \overset{\circ}{W}_2^2(D)$ , то уравнение (11) примет вид

$$A_0(t)u'' + A_2(t)u = F(t,u,u'),$$

к которому применяем теорему 1.

Условия а) и б) обеспечивают 1<sup>о</sup>, условия в) и г) обеспечивают условие 2<sup>о</sup>, как показано О. А. Ладыженской [4], условие д) обеспечивает 3<sup>о</sup>, так как  $Im A_2(t)$  — есть просто оператор умножения. Условие е) обеспечивает неравенство  $(F_1(t)v, v) \ll 0$ , поэтому достаточно показать, что 4<sup>о</sup> имеет место для  $F_2$ . Это обеспечивается условиями ж) и з).

Поясним более подробно условия ж) и з). Условие з) накладывает на функцию  $g(t, \xi, \eta)$  комплексных переменных  $\xi$  и  $\eta$  одностороннее ограничение. Однако функция  $g(t, \xi, \eta)$  должна быть, кроме того, такой, чтобы для любых функций  $u(x_1, \dots, x_n)$ ,  $v(x_1, \dots, x_n) \in \overset{\circ}{W}_2^2(D)$  имело смысл выражение

$$\int_D g[t, u(x_1, \dots, x_n), \bar{v}(x_1, \dots, x_n)] \cdot \bar{v}(x_1, \dots, x_n) dx. \quad (13)$$

Из теорем вложения С. Л. Соболева вытекает, в частности, что если  $n \ll 3$ , то  $W_2^2(D) \subset C(D)$ , если  $n > 4$ , то  $W_2^2(D) \subset L_q(D)$ , где

$$q < q_0 = \frac{n+4}{n-4} \text{ при } n > 4 \text{ и } q - \text{любое при } n = 4.$$

Поэтому, функция  $g(t, \xi, \eta)$  должна быть такая, чтобы она при  $n \geq 4$  переводила любую пару функций из  $L_q(D)$  в  $L_p(D)$ , где

$$\frac{1}{q} + \frac{1}{p} = 1. \text{ Условие з) как раз и обеспечивает это, так как являет-}$$

ся необходимым и достаточным условием непрерывности оператора Немыцкого из  $L_q$  в  $L_p$ . При  $n \leq 3$  никаких ограничений на рост делать не надо, так как для существования интеграла (13) в этом случае достаточно непрерывности функции.

Наконец заметим, что из и) следует 5<sup>о</sup>. Таким образом, наличие оценок (12) действительно следует из теоремы 1.

*Замечание.* Ввиду того, что в теоремах 2 и 4 оператор  $A_0(t)$  может не иметь ограниченного обратного, то они могут применяться к выяснению поведения решений вырожденных систем уравнений с частными производными.

В заключение приношу глубокую благодарность моим научным руководителям академику АН АзССР З. И. Халилову и Ю. И. Домшляку за руководство работой.

Институт математики и механики  
АН АзССР

Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР

Поступило  
24 ноября 1965 г.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

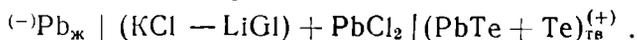
1. Домшляк Ю. И., Чарыев А. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 6, 1965.
2. Мамедов Я. Д. — ДАН СССР, т. 158, № 1, 1964.
3. Скрипник В. П. — СМЖ, т. II, № 4, 1961.
4. Ладыженская О. А. — Математический сборник, 45 (87), вып. 2, 1958.

УДК 66.021.2

К. Б. САДЫКОВ  
С. А. СЕМЕНКОВИЧ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕЛЛУРИДА СВИНЦА МЕТОДОМ ЭДС

Исследована ЭДС электрохимической цепи



Получены  $\Delta C$ ,  $\Delta H$  и  $\Delta S$  для реакции  $\text{Pb}_{(\text{ж})} + \text{Te}_{(\text{тв. ж})} \rightleftharpoons \text{PbTe}_{(\text{тв})}$  в диапазоне температур 643 — 933°K. Вычислены  $\Delta C^\circ$ ,  $\Delta H^\circ$  и  $\Delta S^\circ$  теллурида свинца в стандартных условиях, а также теплота плавления теллура.

Использование теллурида свинца в термоэлектрических устройствах, где он находится или может находиться в контакте с различными коммутационными материалами, агрессивными газами и различного рода деталями аппаратуры, делает необходимым исследование термодинамических свойств  $\text{PbTe}$ . Полученные термодинамические данные позволяют предвидеть и исключить протекание возможных химических процессов, отрицательно влияющих на термоэлектрические свойства  $\text{PbTe}$ , а также создать благоприятные условия для работы термоэлектрогенераторов, в которых используется теллурид свинца.

В двойной системе свинец—теллур образуется единственное соединение — теллурид свинца  $\text{PbTe}$  [1]. Это соединение относится к группе полупроводниковых соединений  $A^{IV}B^{VI}$ . Плавится  $\text{PbTe}$  при температуре 922°С. По характеру химической связи теллурид свинца является соединением ковалентного типа, с небольшой долей ионности, кристаллизующимся в кубической решетке  $\text{NaCl}$  ( $a=6,34\text{\AA}$ ). Относительно высокий термоэлектрический коэффициент полезного действия и рост ширины запрещенной зоны с температурой теллурида свинца вызвали большой интерес к этому материалу [2] и [3].

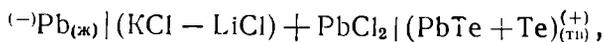
Ширина запрещенной зоны  $\text{PbTe}$  при комнатной температуре  $\Delta E=0,28-0,30$  эв [4], температурный коэффициент ее  $\beta = 2,5 \cdot 10^{-4}$  эв/град [4], теплопроводность  $4,8 \cdot 10^{-3}$  кал/см. сек. град [3], величина эффективности теллурида свинца при комнатной температуре достигает  $n$ -типа  $1,5-1,8 \cdot 10^{-3}$  1/град [2] и [3] и  $p$ -типа  $1,2 \cdot 10^{-3}$  1/град [3].

В связи с высокими термоэлектрическими свойствами широко изучаются его физико-химические, металлургические, термические и другие свойства. Что касается термодинамических свойств этого соединения, то они мало изучены, а при высокой температуре (рабочая температура) они вообще не исследованы. Литературные данные по стандартной теплоте образования, полученные разными авторами, плохо согласуются

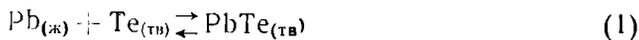
между собой. Теплота образования PbTe колориметрическими методами была определена Фабром [5], из теплоты его растворения в насыщенной бромной воде она равна — 5,11 ккал/моль. Исходя из новых термических данных, в работе [6] сделан пересчет экспериментальных данных Фабра и получено значение теплоты образования PbTe, равное — 19,1 ккал/моль. Гюнтер [7], используя данные Фабра, на основе нового определения теплоты образования PbCl<sub>2</sub> вычислил теплоту образования теллурида свинца равной — 14 ккал/моль. В работе [8] были исследованы термодинамические свойства теллурида свинца в температурном интервале 350—400°C методом электродвижущей силы. Была измерена ЭДС цепи  $(-)Pb_{(ж)} | (KCl - LiCl) \vdash PbCl_2 | (PbTe + Te)_{(тв)}^{(+)}$  в зависимости от температуры. Из полученных экспериментальных данных в температурном интервале 350—400°C была вычислена для стандартных условий теплота и изменение энтропии образования теллурида свинца, которые соответственно равны — 16,81 ккал/моль и 1,0 ккал/моль.град. Данные по теплоемкости PbTe имеются в работе [9]. Изучена теплоемкость этого соединения в температурном интервале 20—260°K. Давление насыщенных паров теллурида свинца определено А. С. Пашилкиным и А. В. Новоселовой [10] в температурном интервале 511—688°C. Теплота плавления теллура, полученная из диаграммы плавкости по понижению температуры затвердевания [11], равна 3,28 ккал/г-атом, а из колориметрических измерений: 4,12 ккал/г-атом [12] и 4,28 ккал/г-атом [13].

По [1] теллурид свинца имеет широкий интервал гомогенности, пределы которого составляют 29—35 и 57 ат. % Te, однако в последнее время появилась работа [14], в которой показана исключительная узкая область гомогенности PbTe. Установлено, что максимальная ширина области гомогенности PbTe составляет 0,019 ат. % Te и лежит при температуре 775°C.

Целью настоящей работы было экспериментальное изучение основных термодинамических свойств теллурида свинца: изобарно-изотермического потенциала, энтропии и энтальпии образования. Исследование выполнено в температурном интервале 643—933°K методом ЭДС [15] и [16]. Измерялись ЭДС концентрационных (относительно электродов) цепей



ЭДС ячеек соответствуют реакциям



Непосредственно из величины ЭДС рассчитывается изменение изобарно-изотермического потенциала реакций (1) и (2)  $\Delta G = -zEF$  (3), где  $z$  — заряд потенциалообразующего металла, для свинца  $z = +2$ ;  $F$  — число Фарадея, равное 23062 кал/в.г-эquiv;  $E$  — ЭДС в вольтах. Изучение зависимости ЭДС от температуры позволяет рассчитать изменение энтропии и энтальпии при образовании PbTe по уравнениям

$$\Delta S = - \frac{\Delta(\Delta G)}{\Delta T} = zF \frac{dE}{dT} \quad (4)$$

$$\Delta H = \Delta G + T\Delta S, \quad (5)$$

где  $\frac{dE}{dT}$  — температурный коэффициент ЭДС в/град.

Изучены сплавы состава 53% Te, 54% Pb (ат) (в гетерогенной области PbTe+Te). Исследуемые материалы готовились из свинца, содержащего 99,999% Pb и дважды розогнанного теллура (99,999% Te) сплавлением компонентов в кварцевых ампулах при температуре 1050°C. Расплав при заданной температуре подвергался выдержке в течение 3 часов и периодически перемешивался. Затем сплавы отжигались около 60 часов при температуре 400°C. Полученный материал растирался в агатовой ступке и из порошка методом холодного, а затем горячего прессования при температуре 400°C изготавливались электроды. При прессовании под давлением 5 т/см<sup>2</sup> образцы выдерживались в течение 3 минут. Токоотводами служили молибденовые проволоки диаметром 0,5 мм, запрессованные в сплавы. Прессовались образцы электроды в прессформе, имеющей площадь основания вкладыша 2 см<sup>2</sup>. Снача-

чала молибденовый провод диаметром 0,5 мм, длиной 15—20 см наматывался в виде плоской спирали, при этом в центре спирали один конец молибденового провода длиной 3—5 мм был изогнут на 90°, то есть кончик провода был перпендикулярно к плоскости спирали. Сначала эту спираль с кончиком, торчащим вверх, помещали внутри матрицы прессформы, затем сверху насыпали измельченный порошок, после чего производили прессование. Из спрессованного электрода очень осторожно отматывали молибденовый провод, оставляя впрессованным другой конец провода в сплав. Такой метод прессования был удобен и обеспечил надежный контакт между токоотводом и сплавом — электродом.

Нам не удалось применить молибденовый или вольфрамовый провода в качестве токоотвода диаметром больше 0,5 мм из-за их большой хрупкости. Электроды из сплавов были цилиндрическими, длиной 8—12 мм, диаметром 6—8 мм.

В качестве электролита служила эвтектическая смесь хлоридов лития и калия с небольшой добавкой хлористого свинца (0,1% вес.). Ячейка собиралась в H-образном сосуде, изготовленном из кварца (рис. 1).

В правом колене под электролитом в кварцевом стаканчике находился жидкий свинец, а в левое опу-

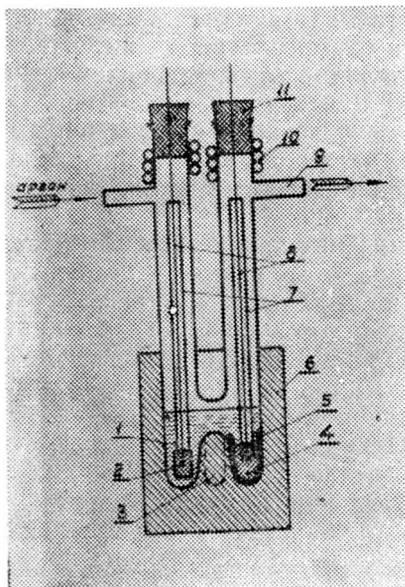


Рис. 1. Устройство ячейки для определения термодинамических свойств халькогенидов свинца.

1 — Электролит жидкий; 2 — электрод-сплав; 3 — место термопары; 4 — жидкий свинец; 5 — кварцевый стаканчик; 6 — нихромовый или никелевый выравниватель температуры; 7 — кварцевые трубочки; 8 — молибденовые токоотводы; 9 — отрезки (штуцера) для откачки сосуда и ввода аргона; 10 — водяное охлаждение верхней части сосуда; 11 — резиновая пробка.

скался под электролит исследуемый сплав. Молибденовые токоотводы были защищены кварцевыми трубочками, чтобы не было шунтирования ЭДС в цепи. Для выравнивания температуры сделан цилиндр из нихрома, в котором находился H-образный сосуд. Вместе с нихромовым или никелевым выравнивателем температуры H-образный сосуд погру-

жался до центра печи, где имелась зона постоянной температуры. Считалось, что в этих условиях опасность возникновения термоЭДС исключается. Нагрев производился в печи ТЭП-1, температура которой регулировалась автоматически с помощью ЭПП-0,9 М2. Температура ячейки поддерживалась с точностью  $\pm 1^\circ$ . Температура измерялась потенциометрически платино-платинородиевой термопарой, градуированной по реперным точкам (чистых олова, свинца, цинка и алюминия). Измерения проводились в атмосфере инертного газа (чистого аргона). Аргон высушивался, затем очищался пропусканием его через нагретые медные стружки. До пуска аргона в Н-образный сосуд, из него откачивался воздух до  $2,0-2,4 \cdot 10^{-2}$  мм. рт. ст. Эта дегазационная операция проводилась при температуре  $120-150^\circ\text{C}$ . После пуска аргона в сосуд ячейка медленно нагревалась до установленной температуры, которая поддерживалась до достижения равновесной ЭДС. В каждом опыте проводились циклы нагрев — охлаждение — нагрев с интервалом  $10^\circ\text{C}$ , в диапазоне температур  $643-753^\circ\text{K}$ ,  $20^\circ$  в диапазоне температур  $753-933^\circ\text{K}$ , при этом давление аргона внутри сосуда поддерживалось постоянным, равным 1 атм. Точность измерения ЭДС при каждой температуре составляла  $\pm 0,1$  мв. Равновесная ЭДС после начала опыта достигалась через 60—70 часов, при дальнейшем изменении температуры стабильные значения ЭДС достигались через 2—3 часа. При каждой температуре измерения проводились 4—5 раз с интервалом времени 1—2 часа. После установления равновесной ЭДС при данной температуре переходили на другую температуру путем медленного нагревания или охлаждения. Каждый опыт длился 5—6 суток, в течение этого времени проводились непрерывные измерения. Для расчета приняты данные четырех опытов с образцами состава 53% Те и 54% Те (ат).

Расхождения между значениями ЭДС для сплавов с разным содержанием избыточного теллура от стехиометрии в разных опытах не превышали 2 мв. Практически одинаковые значения ЭДС для сплавов разного состава, полученные при прямом и обратном ходе по температуре, подтверждают выполнение условий обратимой работы гальванического элемента. Экспериментально полученные данные обработаны методом наименьших квадратов и получены уравнения зависимости ЭДС от температуры

$$E(1) = (0,39026 - 0,875 \cdot 10^{-4} T) \text{ в. } 643^\circ\text{K} - \text{ тем. пл. Те} \quad (6)$$

$$E(2) = (0,48967 - 0,225 \cdot 10^{-3} T) \text{ в. } \text{ тем. пл. Те} - 933^\circ\text{K}. \quad (7)$$

Из этих уравнений по (3), (4) и (5) вычислены изменения изобарно-изотермических потенциалов, энтропии и теплоты образования, соответствующие образованию 1 моля РbТе по реакциям (1) и (2)

$$\Delta G(1) = -18,0 + 4,04 \cdot 10^{-3} T \frac{\text{ккал}}{\text{моль}} \quad 643^\circ\text{K} - \text{ тем. пл. Те} \quad (8)$$

$$\Delta G(2) = -22,59 + 10,38 \cdot 10^{-3} T \frac{\text{ккал}}{\text{моль}} \quad \text{ тем. пл. Те} - 933^\circ\text{K}. \quad (9)$$

Ошибка при измерении ЭДС составляет  $\pm 1$  мв, что соответствует погрешности в определении  $\Delta G \pm 50 \frac{\text{кал}}{\text{моль}}$ . Погрешность энтропии вычисляется через производную ЭДС по температуре, мы ее оцениваем равной  $\pm 0,5 \frac{\text{кал}}{\text{моль} \cdot \text{град}}$ .

Для вычисления стандартных термодинамических данных, из-за отсутствия литературных материалов по теплоемкости теллурида свинца при высокой температуре, его средняя теплоемкость вычислена по Келли [17]. Для этого теплоемкость PbTe при 298°K принята из работы [9] равной 12,0 кал/моль.град, а при 1195°K по Келли — равной 14,5 кал/моль.град [17]. Полученное приближенное уравнение теплоемкости PbTe представлено ниже:  $C_p(\text{PbTe}) = 11,169 + 2,787 \cdot 10^{-3} T$  (298—1195°K). Используя последнее уравнение теплоемкости PbTe, наши экспериментальные данные и литературные материалы по теплоемкостям свинца и теллура, в температурном интервале 298—933°K [17], а также данные по теплоте плавления свинца [17], вычислены стандартные значения  $\Delta G_{298}^\circ$ ,  $\Delta H_{298}^\circ$  и  $\Delta S_{298}^\circ$ . Полученные экспериментальные и литературные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

Средние 643—723°K			Средние 723—933°K			298°K			Автор
$-\Delta H$ ккал моль	$-\Delta S$ э. е. моль	$-\Delta G$ ккал моль	$-\Delta H$ ккал моль	$-\Delta S$ э. е. моль	$-\Delta G$ ккал моль	$-\Delta H^\circ$ ккал моль	$-\Delta S^\circ$ э. е. моль	$-\Delta G^\circ$ ккал моль	
$15,0 \pm 0,4$	$4,04 \pm 0,5$	$15,2 \pm 0,05$	$22,59 \pm 0,4$	$10,38 \pm 0,5$	$13,99 \pm 0,05$	$16,3 \pm 0,4$	$1,05 \pm 0,5$	$15,99 \pm 0,05$	наши дан- ные  [8] [6] [7] [5]
						$16,6 \pm 0,5$	$1,0 \pm 0,5$	$16,30 \pm 0,08^*$	
						19,1			
						14,0			
						5,11			

\* Оценка произведена по данным автора.

Кроме данных таблицы, из наклона прямых уравнений (6) и (7) определена энтропия плавления теллура,  $S_{пл} = 5,8 \pm 0,5$  кал/ат.град, теплота плавления теллура равна  $L = S_{пл} \cdot T$ ;  $L = 4,2 \pm 0,3 \frac{\text{ккал}}{\text{г} \cdot \text{атом}}$ . Эта величина

хорошо согласуется с данными [12] и [13], полученными калориметрическим методом, но несколько расходится с теплотой Келли, вычисленной из диаграммы плавкости [11].

Экспериментально полученные значения  $\Delta S^\circ$  реакций позволяют вычислить стандартную энтропию образования PbTe. Стандартные энтропии свинца и теллура соответственно равны  $15,49 \pm 0,05$  кал/г-ат. град [18] и  $11,88 \pm 0,10$  кал/г-ат. град [18]. Из этих величин энтропия образования PbTe при стандартных условиях получится:  $\Delta S_{298}^\circ(\text{PbTe}) = S_{298}^\circ(\text{PbTe}) - S_{298}^\circ(\text{Pb}) - S_{298}^\circ(\text{Te})$ ;  $-1,05 = S_{298}^\circ(\text{PbTe}) - 15,49 - 11,88$ ;  $S_{298}^\circ(\text{PbTe}) = 26,32 \pm 0,65 \frac{\text{кал}}{\text{моль} \cdot \text{град}}$ .

Эта величина в пределах ошибки эксперимента совпадает с калориметрическими данными Паркинсона. Совпадение стандартных энтропий, полученных калориметрическим [9] и электрохимическим методами указывает, что предполагаемые реакции (1) и (2) в действительности протекают в электрохимическом процессе.

Что касается данных, представленных в табл. 1, мы считаем, что работа Фабра [5] очень старая и его данные нельзя считать надежными. Основной недостаток его работы заключался в возможности в условиях его эксперимента образования двух степеней окисления теллура теллу-

рита и теллурата. Последующие уточнения энергетических данных веществ, участвующих в реакции, и новый расчет теплоты образования PbTe [6] и [7] не могли устранить основной недостаток работы Фабра. Более новые исследования Мак Этира и Зельца [8], в которых изучался PbTe способом, подобным нашему, но при более низких температурах, дали в общем результаты, согласующиеся с нашими. Однако вызывает недоумение указание авторов, что равновесие в ячейке достигалось практически сразу по установлению нужной температуры. В работах Я. И. Герасимова и его учеников, а также в наших опытах, наблюдалось очень длительное установление равновесия. В частности, по нашим наблюдениям оно устанавливалось за 60—70 часов, несмотря на то, что у нас температура была более высокая.

### Выводы

На основании измерения ЭДС и температурного коэффициента ЭДС гальванических цепей вида  $(-)Pb_{ж}|(KCl - LiCl) || PbCl_2 | (PbTe - Te)_{(тв)}^{(+)}$  определены изменения изобарно-изотермических потенциалов, энтропий и теплоты образования теллурида свинца из элементов в температурном интервале 643—933°K, а также температура, энтропия и теплота плавления теллура.

Исходя из полученных экспериментальных данных и литературных сведений по термодинамическим свойствам теллура, свинца и PbTe, вычислены  $\Delta G_{(PbTe)}^{\circ}$ ,  $\Delta H_{(PbTe)}^{\circ}$  и  $\Delta S_{(PbTe)}^{\circ}$ .

Считаем приятным долгом выразить благодарность Г. И. Белькову, который выполнил анализы измеренных образцов.

Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР  
Институт полупроводников  
АН СССР

Поступило  
25 июля 1965 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Хансен М., Андерко К. — Структуры двойных сплавов, М., 1962.
2. Иоффе А. Ф. — Полупроводниковые термоэлементы, 1960.
3. Термоэлектрические материалы и преобразователи. «Мир», 1964.
4. Смит Ф. — Полупроводники, М., 1962.
5. Ann. chim. phys. 14, 110—120, 1888.
6. Брицке Э. В., Капустинский А. Ф. — Термические константы неорганических веществ, 1949.
7. Wünther P.: Z. Electrochem. angew. physik. Chem. 23, 1917, 197.
8. Ateer, Mc. Seliz j. H. H. — j. Amer. chem. Soc. Bd. 58, 1936, 2081.
9. Parkinson R. H., Quarrington I. E. — Phys. Soc. A 67, № 7, 569 — 579, 1954.
10. ЖНХ, 4, № 12, 2651—2660, 1959.
11. Kelley K. K., Bur N. S. — Mines. Bull. № 393, 1936.
12. Umino S. — Kinzoku no Kenkyu — 3, 498, 1926.
13. Kubaschewski O. und Witting F. E. — Z. Electrochem. 47, 433, 1941.
14. Brebrick R. F. and Allgaier R. S. — j. of Chem Phys. 32, № 6, 1826—1831, 1960.
15. Никольская А. В., Гейдерих В. А., Герасимов Я. И. — ДАН СССР, 130, № 5, 1074, 1960.
16. Герасимов Я. И., Никольская А. В. — Вопросы металлургии и физики полупроводников. Изд. АН СССР, 1961, стр. 30.
17. Kubaschewski O., Evans E. G. — Metallurgical thermochemistry, 1958
18. Kelley K. K. — Bul U. S. Bur Mines. № 477, 1950.

## ПРОДОЛЬНЫЙ ТЕРМОМАГНИТНЫЙ ЭФФЕКТ В СПЛАВАХ СИСТЕМЫ НИКЕЛЬ—ПАЛЛАДИЙ

Известно, что наиболее важной магнитной характеристикой всякого ферромагнетика является не магнитное поле, а намагниченность. Поэтому представляет интерес исследование термомангнитного эффекта (как и других свойств) в зависимости от намагниченности. Этот вопрос и рассматривается в данной статье.

Образцы имели форму проволоки диаметром 0,8 мм и длиной 20 см.

Таблица 1  
 Составы исследуемых образцов сплавов никель—палладий

Составы исследуемых образцов сплавов никель—палладий		Pd	0	10	20	30	40	50	60	70
ат. %	Pd									
	Ni	100	90	80	70	60	50	40	30	

Составы исследуемых образцов сплавов никель—палладий приведены в табл. 1.

Перед измерением все образцы отжигались в вакууме при температуре 900°C в течение одного часа с последующим медленным охлаждением до 400°C и при этой температуре выдерживались 50 часов. Затем образцы вместе с печью медленно охлаждались до комнатной температуры.

Измерения термомангнитного эффекта проводились неуравновешенным потенциометром, собранным из магазинов сопротивлений [1]. К потенциометру подключался зеркальный гальванометр типа М 21/4 с постоянной к напряжению  $C_{\mu} = 0,8 \cdot 10^7$  вольт/мм. м., который позволял проводить измерения с большой точностью.

Для измерения термомангнитного эффекта один конец образца припаивался к медной U-образной трубке, по которой проходили пары кипящей воды, а другой конец погружался в сосуд Дьюара с тающим льдом. Таким образом, на концах образца создавалась постоянная разность температур ( $\Delta T = 100^\circ\text{C}$ ). Концы образца при помощи медных проволок соединялись с неуравновешенным потенциометром. В средней части образца находилась компенсационная катушка для измерения намагниченности. Затем все это устройство помещалось в намагничивающую катушку.

Возникающая в таком термоземле «образец — медные проволоки» начальная т. э. д. с. компенсируется с помощью э. д. с. от аккумуляла-

тора. При включении магнитного поля компенсация нарушалась, вследствие изменения термоэлектродвижущей силы образца и гальванометр давал некоторое отклонение от нулевого положения. По этим отклонениям определялся измеряемый эффект.

Величина термомагнитного эффекта вычислялась по формуле

$$\Delta E = AC_i \alpha,$$

где  $C_i$  — постоянная гальванометра к току;  $\alpha$  — отклонение гальванометра;  $A$  — постоянный коэффициент.

$$A = R_{\text{пол. кр.}} - \frac{R_4^2(R_2 + R_e)}{(R_2 + R_4)(R_2 + R_e) - R_2^2}.$$

Одновременно с термомагнитным эффектом измерялась намагниченность образцов с помощью дифференциальных катушек. Разность числа витков катушек равнялась  $\Delta n = 2263$  виткам.

Намагниченность вычислялась по формуле

$$I = \frac{R \cdot C_6}{8 \Delta n \cdot S} \alpha,$$

где  $C_6$  — баллистическая постоянная гальванометра;  $R$  — полное критическое сопротивление;  $S$  — площадь поперечного сечения образца;  $\Delta n$  — разность числа витков дифференциальных катушек;  $\alpha$  — баллистический отброс.

Температура горячего и холодного спаев измерялась при помощи медь-константановой термопары, припаянной к местам спаев. Холодные концы термопар находились в сосуде Дьюара с тающим льдом. Т. э. д. с. термопар измерялись низкоомным потенциометром ШТН-1. В качестве нулевого индикатора служил зеркальный гальванометр типа М24/4, позволяющий контролировать изменения температуры порядка  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ . Общая схема установки для одновременного измерения продольного термомагнитного эффекта и намагниченности показана на рис. 1. Она состоит в основном из двух частей: неуравновешенного потенциометра для измерения термомагнитного эффекта и баллистической части для измерения намагниченности образцов.

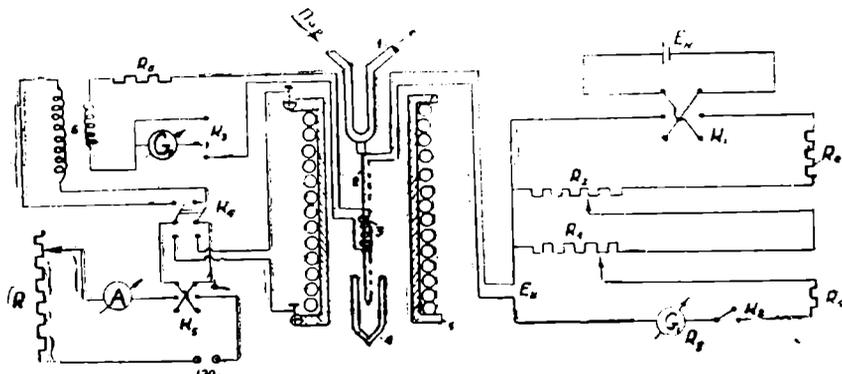


Рис. 1. Общая схема установки для одновременного измерения термомагнитного эффекта неуравновешенным потенциометром (правая часть) и намагниченности компенсационным методом (левая часть). 1 — U-образная трубка; 2 — образец; 3 — измерительная катушка; 4 — сосуд Дьюара; 5 — намагничивающая катушка; 6 — нормальная катушка;  $G_1$  и  $G_2$  — гальванометры;  $R_e$ ,  $R_2$ ,  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_6$  — магазины сопротивления;  $E_x$  — измеряемая э. д. с.

При измерении термомагнитного эффекта большую роль играют колебания в скорости и температуре протекающей воды и в давлении пара, который обычно неравномерно идет из кипятильника. Поэтому большое внимание уделено исключению этих факторов. Температура воды менялась в течение дня незначительно. Стабилизация скорости течения воды обеспечивалась тем, что вода подавалась из сосуда, расположенного примерно на 1,5 м выше установки. Приток воды подбирался так, чтобы некоторое количество воды непрерывно вытекало из сточной трубы, что обеспечивало постоянство уровня и скорость протекающей воды. Таким образом было устранено влияние колебаний давления воды в водопроводе, которое существенно искажало постоянство температуры.

Еще большее влияние оказывало изменение давления пара. Для исключения влияния колебания в давлении пара на пути паропровода были поставлены два резервуара (паросушильники), изолированные толстым слоем асбеста. Все колебания гасились в этих резервуарах.

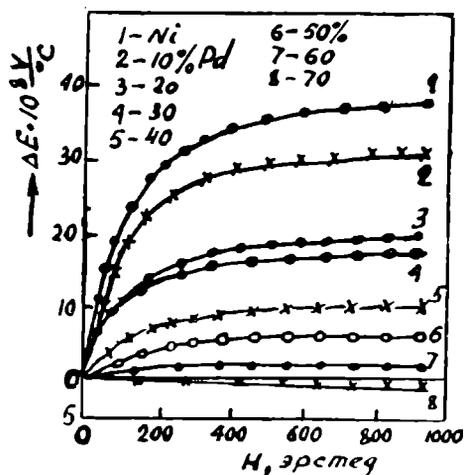
Кроме того, отдельные части установки хорошо изолировались асбестом и ватой. По истечении 30—40 минут после пуска всей установки гальванометр показывал постоянный нуль в течение 5—6 минут, что вполне достаточно для проведения весьма точных измерений. К другим предосторожностям следует отнести устранение влияния упругих напряжений в исследуемом образце и помещение всех приборов, ключей и подводящих проводов на изолированные подставки.

Точность измерения продольного термомагнитного эффекта лежит в пределах 1—10%, а намагниченности в пределах 0,5—10% для разных образцов. Температура измерялась с точностью  $\pm 0,1^\circ$ .

Величина термомагнитного эффекта резко возрастает в слабых полях, а затем стремится к насыщению (рис. 2). С увеличением содержания палладия в сплавах абсолютная величина эффекта при насыщении уменьшается.

Как известно, наиболее существенной магнитной характеристикой для термомагнитных явлений (как и для других явлений) в ферромагнитных металлах и сплавах является не магнитное поле, а намагниченность ферромагнетика. Поэтому при исследовании термомагнитного эффекта в ферромагнитных металлах и сплавах лучше всего искать связь между термоэлектродвижущей силой и намагниченностью.

Рис. 2. Кривые термомагнитного эффекта сплавов никель—палладий.



Поскольку изменение т. э. д. с. ферромагнетика под действием магнитного поля обусловлено изменением намагниченности ферромагнетика, то с изменением ориентации спонтанно-намагниченных областей, то на характере кривых термомагнитного эффекта будут как-то сказываться различные процессы намагничивания. Из рис. 3 видно, что зависимость термомагнитного эффекта от  $I^2$  представляется в виде двух прямых, претерпевающих резкие изменения при переходе от процесса смещения к процессу вращения. Первый из этих прямолинейных отрез-

ков соответствует намагничению образца в слабых магнитных полях и связан с процессом смещения границ областей спонтанного намагничивания. Этот участок кривой термомагнитного эффекта от  $I^2$  заканчивается в первой точке магнитной анизотропии. Отметим, что значение первой точки анизотропии для чистого никеля по нашим данным приблизительно равно 300 гаусам, а по данным Д. И. Волкова [2] равно 296 гаусам. Это свидетельствует о достоверности полученных результатов.

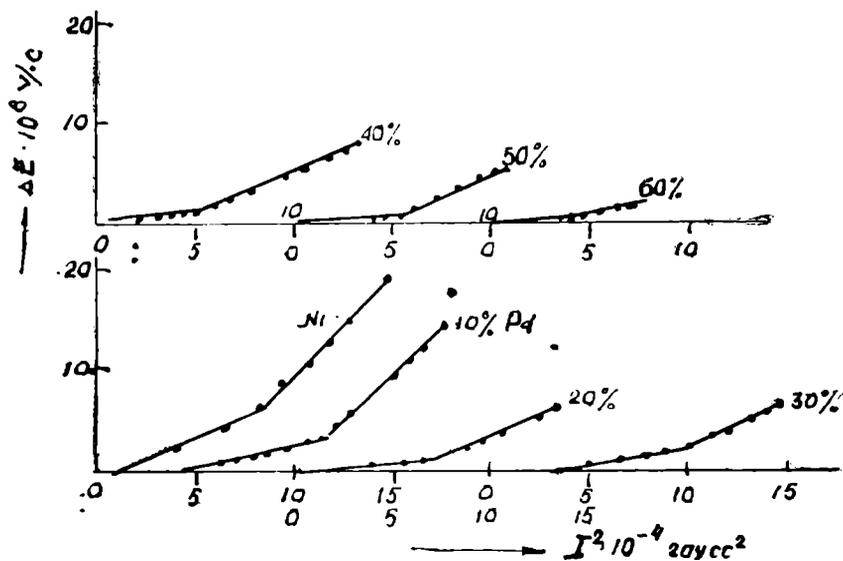


Рис. 3. Зависимость термомагнитного эффекта сплавов никель—палладий от квадрата намагниченности.

Из рис. 3 также видно, что в сплавах с большим содержанием палладия практически не наблюдается изменение термоэлектродвижущей силы в слабых магнитных полях, тогда как намагниченность этих сплавов достигает значительной величины. Это обстоятельство может быть объяснено тем, что продольное смещение границ не может вызвать изменение термоэлектродвижущей силы ферромагнетиков в силу четности этого явления. Таким образом, можно полагать, что термомагнитный эффект в слабых магнитных полях обусловлен поперечным смещением спинов.

Вторая часть кривых  $\Delta E$  от  $I^2$ , которые имеют место в сильных магнитных полях, способствует процессу поворота вектора намагниченности в кристалле к направлению магнитного поля. Эта часть кривых должна заканчиваться в полях магнитного насыщения, то есть когда векторы самопроизвольной намагниченности окажутся ориентированными в направлении внешнего магнитного поля.

Таким образом, исследования подтверждают правильность закона Н. С. Акулова о квадратичной зависимости четных эффектов от намагниченности и для сплавов никель—палладий и показывают, что термомагнитный эффект очень подробно следует за ходом процессов намагничивания. Поэтому изучение этого эффекта в ферромагнитных металлах и сплавах представляет интерес не только с точки зрения выяснения закономерности в изменении термоэлектрических свойств этих металлов, но и в связи этих изменений с характером процессов намагничивания.

## Выводы

1. Для сплавов никель—палладий наблюдается квадратичная зависимость продольного термомагнитного эффекта от намагниченности.

В заключение автор выражает глубокую благодарность Р. Г. Аннаеву за руководство работой.

Туркменский государственный университет  
им. А. М. Горького

Поступило  
27 августа 1965 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аннаев Р. Г. — Тр. Физико-технического института АН ТССР, т. VII, вып. 21, 1961.
2. Волков Д. И. — ЖЭТФ, т. 9, 444, 1939.

УДК 536.63:538.662.13:549.73

С. ЯЗЛИЕВ  
 А. ОРАЗСАХАТОВ

### «СКАЧОК» ТЕПЛОЕМКОСТИ В ТОЧКЕ КЮРИ ФЕРРИТОВ

Из термодинамической теории ферромагнитного превращения вытекает формула для определения «скачка» теплоемкости  $\Delta C_p$  в точке Кюри [1, 2].

$$\Delta C_p = \Theta \frac{(\alpha'_\Theta)^2}{2\beta_\Theta}, \quad (1)$$

где  $\Theta$  — точка Кюри;  $\alpha'_\Theta$  — коэффициент, определяющий наклон касательной к кривой  $\alpha(T)$  относительно температурной оси при  $T = \Theta$ ;  $\beta_\Theta$  — коэффициент, значение которого определяется из зависимости  $\beta(T)$  при  $T = \Theta$  ( $\alpha$  и  $\beta$  — термодинамические коэффициенты). Таким образом, «скачок» теплоемкости может быть подсчитан по магнитным характеристикам.

Получив из опыта значения  $\Theta$ ,  $\alpha'_\Theta$  и  $\beta_\Theta$ , Горяга [2, 3] определила значения  $\Delta C_p$  для ряда ферромагнитных материалов. Например, для никеля  $\Delta C_p = 0,042 \frac{\text{кал.}}{\text{г. град.}}$ , для сплавов 36% Ni, 64% Fe и 15% Cu,

85% Ni соответственно равны 0,0042 и 0,0018  $\frac{\text{кал.}}{\text{г. град.}}$ . Для исследования «скачка» теплоемкости изготовлены 15 образцов, составы которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав исследуемых трех систем ферритов

Номер образца	Феррит	Номер образца	Феррит
1	MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	9	Cu <sub>0,5</sub> Mg <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
2	Mg <sub>0,2</sub> Mn <sub>0,8</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	10	Cu <sub>0,75</sub> Mg <sub>0,25</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
3	Mg <sub>0,26</sub> Mn <sub>0,75</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	11	CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
4	Mg <sub>0,35</sub> Mn <sub>0,65</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	12	Ni <sub>0,25</sub> Cu <sub>0,75</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
5	Mg <sub>0,5</sub> Mn <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	13	Ni <sub>0,5</sub> Cu <sub>0,5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
6	Mg <sub>0,7</sub> Mn <sub>0,3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	14	Ni <sub>0,75</sub> Cu <sub>0,25</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
7	MgFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	15	NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
8	Cu <sub>0,25</sub> Mg <sub>0,75</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>		

Все компоненты, применяемые при составлении шихты, марки ЧДА. Перемешивались шихты каждого состава в шаровых мельницах в течение 48 часов. Приготовленная шихта подвергалась предварительному отжигу в селитовых печах при температурах 800—900°C в течение 2 часов.

Прессовались образцы при давлении 3 т/см<sup>2</sup>. Окончательный отжиг образцов производился в селитовых печах в течение 3 часов при медленном подъеме температуры до 1100—1200°C, охлаждение происходило вместе с печью. Для исследования «скачка» теплоемкости изготовлены стержни длиной 8—13 см и диаметром 3—6 мм. Как уже знаем, для определения  $\Delta C_p$  необходимо определить  $\theta$ ,  $\alpha_\theta$  и  $\beta_\theta$ . Точка Кюри данных систем ферритов определялась с помощью термодинамических коэффициентов (при  $\alpha = 0$ ). Значения  $\alpha_\theta$  и  $\beta_\theta$  определялись из зависимости  $\alpha(T)$  и  $\beta(T)$  при  $T = \theta$ .  $\alpha$  и  $\beta$  находятся из зависимости  $\frac{H}{T}$  от  $I^2$  [4]. Таким образом, если известны значения  $\theta$ ,  $\alpha_\theta$ ,  $\beta_\theta$ , то из формулы (1) можно определить  $\Delta C_p$ .

Результаты исследований  $\alpha_\theta$ ,  $\beta_\theta$ ,  $\Delta C_p$ , а также их зависимости от содержания магний-марганцевых, магний-медных и никель-медных ферритов представлены на рис. 1—3 и в табл. 2. Как видно из табл. 2, численные значения  $\Delta C_p$  исследованных трех систем ферритов имеют такой же порядок, что и ферромагнитных материалов [1, 2]. Из рис. 1 видно, что характер изменения  $\alpha_\theta$  в системе магний-марганцевых ферритов от содержания магниевого феррита, а также и в системе магний-медных и никель-медных ферритов соответственно от содержания медного и никелевого феррита почти одинаковые, то есть  $\alpha_\theta$  в системе Mg — Mn, Mg — Cu, Ni — Cu ферритов увеличивается соответственно с увеличением содержания феррита магния, меди и никеля и достигает максимума и затем снова падает. Но в системе магний-марганцевых ферритов наблюдается некоторое отклонение от вышесказанного, то есть

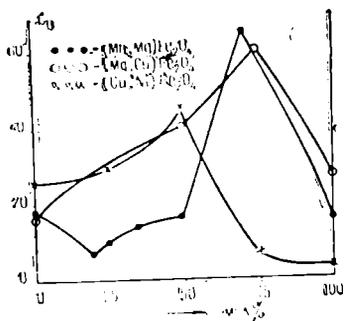


Рис. 1. Зависимость  $\alpha_\theta$  магний-марганцевых, магний-медных и никель-медных ферритов соответственно от содержания феррита магния, меди и никеля.

с увеличением содержания феррита магния в магний-марганцевом феррите  $\alpha_\theta$  сначала уменьшается до 20 мол. % MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, затем имеет такой же вид, как и у магний-медных и никель-медных ферритов. Значения  $\beta_\theta$  в системе магний-марганцевых, магний-медных и никель-медных ферритов самые различные (рис. 2). Значение  $\beta_\theta$  в системе магний-марганцевых ферритов с увеличением содержания магниевого феррита до 50 мол. % MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> растет очень слабо, а при переходе последнего содержания  $\beta_\theta$  монотонно возрастает. В системе магний-медных ферритов с увеличением содержания медного феррита значение  $\beta_\theta$  возрастает до 25 мол. % MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, затем прямолинейно падает до 75 мол. % MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, а при переходе последнего содержания значение  $\beta_\theta$  возрастает.

В системе никель-медных ферритов с увеличением концентрации никелевого феррита значение  $\beta_{\theta}$  почти медленно падает. Как видно из рис. 1 и 3, зависимость  $\alpha'_{\theta}$  и  $\Delta C_p$  магний-марганцевых, магний-медных и никель-медных ферритов от содержания имеет одинаковые закономерности, то есть где имеет максимум значения  $\alpha'_{\theta}$ , там и имеет максимум значения  $\Delta C_p$ , это, очевидно, следует из закономерности [1]. Таким образом, численные значения  $\Delta C_p$  исследованных нами ферритов имеют такой же порядок, что и ферромагнитные металлы и сплавы.

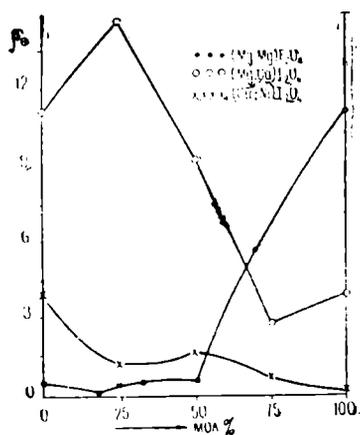


Рис. 2. Зависимость  $\beta_{\theta}$  магний-марганцевых, магний-медных и никель-медных ферритов соответственно от содержания феррита магния, меди и никеля.

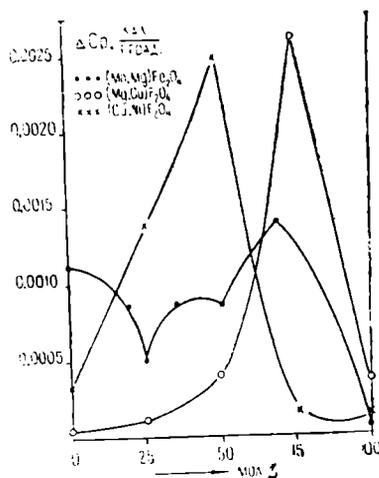


Рис. 3. Зависимость  $\Delta C_p$  системы магний-марганцевых, магний-медных и никель-медных ферритов соответственно от содержания феррита магния меди и никеля.

Таблица 2

Значения  $\Delta C_p$ , вычисленные по формуле (1)

Номер образца	Феррит	$\theta$ , °К	$\alpha'_{\theta}$	$\beta_{\theta}$	$\Delta C_p$ , $\frac{\text{ккал}}{\text{г. град.}}$
1	$\text{MnFe}_2\text{O}_4$	578	18,0	0,44	0,001128
2	$\text{Mg}_{0,2}\text{Mn}_{0,8}\text{Fe}_2\text{O}_4$	603	6,5	0,08	0,000845
3	$\text{Mg}_{0,5}\text{Mn}_{0,75}\text{Fe}_2\text{O}_4$	611	10,0	0,32	0,000515
4	$\text{Mg}_{0,35}\text{Mn}_{0,65}\text{Fe}_2\text{O}_4$	628	14,0	0,38	0,000871
5	$\text{Mg}_{0,5}\text{Mn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$	635	16,0	0,0	0,000866
6	$\text{Mg}_{0,7}\text{Mn}_{0,3}\text{Fe}_2\text{O}_4$	669	65,0	5,60	0,001397
7	$\text{MgFe}_2\text{O}_4$	694	16,0	11,20	0,000045
8	$\text{Cu}_{0,25}\text{Mg}_{0,75}\text{Fe}_2\text{O}_4$	705	31,0	14,7	0,000116
9	$\text{Cu}_{0,5}\text{Mg}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$	713	40,0	9,20	0,000347
10	$\text{Cu}_{0,75}\text{Mg}_{0,25}\text{Fe}_2\text{O}_4$	728	60,0	2,70	0,002602
11	$\text{CuFe}_2\text{O}_4$	738	26,0	3,90	0,000326
12	$\text{Ni}_{0,25}\text{Cu}_{0,75}\text{Fe}_2\text{O}_4$	765	30,0	1,16	0,001385
13	$\text{Ni}_{0,5}\text{Cu}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$	805	45,0	1,64	0,002485
14	$\text{Ni}_{0,75}\text{Cu}_{0,25}\text{Fe}_2\text{O}_4$	833	6,0	0,60	0,000153
15	$\text{NiFe}_2\text{O}_4$	863	3,0	0,12	0,000144

## Выводы

1. Определены точка Кюри, термодинамические коэффициенты  $\alpha'_0$  и  $\beta_0$  при точке Кюри, «скачок» теплоемкости  $C_p$  системы магний-марганцевых, магний-медных и никель-медных ферритов.

2. Установлено, что во всех системах наблюдаются максимумы  $\alpha'_0$  и  $\Delta C_p$  при определенном содержании магниевого, медного и никелевого феррита соответственно в системе Mg—Mn, Mg—Cu, Ni—Cu ферритов.

3. Зависимость  $\beta_0$  от содержания имеет самые различные закономерности.

4. Численные значения  $\Delta C_p$  исследованных нами ферритов имеют такой же порядок, как и ферромагнитных металлов и сплавов.

Туркменский государственный университет  
им. А. М. Горького

Поступило  
15 ноября 1965 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белов К. П. — Магнитные превращения. Физматгиз, М., 1959.
2. Горяга А. Н. — Кандидатская диссертация, физ. фак. МГУ, 1958.
3. Белов К. П., Горяга А. Н. — Физика металлов и металловедение, 2, 441, 1956.
4. Аннаев Р. Г., Оразсахатов А. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН № 2, 1965.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ *n*-КРЕМНИЯ В СИЛЬНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Исследование гальваномагнитных эффектов дает ценные сведения о зонной структуре полупроводников. Строгая теория гальваномагнитных явлений полупроводников с эллипсоидальными поверхностями равной энергии весьма сложна [1, 2]. Шибую, Голд и Рот [2, 3], используя трехэллипсоидальную модель изоэнергетической поверхности, рассчитали изменение электропроводности *n*-кремния в магнитном поле.

Выводы теории хорошо подтверждаются результатами экспериментов в области слабых полей, тогда как сильное магнитное поле дает возможность проявлять наиболее отчетливо анизотропию энергетического спектра носителей тока. Поэтому исследование в области сильных магнитных полей представляет большой интерес.

В работах [4—6] даются результаты измерений электропроводности *n*-кремния в сильном продольном магнитном поле, в которых была достигнута величина насыщения магнетосопротивления. Однако исследование электропроводности кремния в области сильных полей, когда выполняются условия

$$\frac{uH}{c} \gg 1 \quad (1)$$

$$\text{и} \quad h\omega \gg kT \quad (2)$$

(где *u* — подвижность носителя; *H* — напряженность магнитного поля; *c* — скорость света; *h* — постоянная Планка, деленная на  $2\pi$ ;  $\omega$  — циклотронная частота; *k* — постоянная Больцмана; *T* — абсолютная температура), насколько нам известно, не проводилось. Все измерения на кремнии относятся только к области слабых полей, где не выполняется условие (1), за исключением работы [7]. В работе [7] измерено продольное магнетосопротивление *n*-кремния, легированного фосфором, в постоянном магнитном поле напряженностью до 90 кэ. При 78°К и при  $H > 40$  кэ для направлений [110] и [111] наблюдается насыщение, а также тщательно исследовано влияние размеров и формы образца, типа электрических контактов и природы поверхности на продольное магнетосопротивление в области насыщения.

В работе [8] измерено изменение сопротивления кремния в продоль-

ном магнитном поле с напряженностью 25 кэ при 77°К с целью изучения анизотропного рассеяния на акустических колебаниях решетки и на ионизированных примесях. Экстраполяцией определено значение насыщения магнетосопротивления равное  $\frac{\Delta\rho}{\rho_0} \Big|_{[111] \text{ нас.}} \approx 1$ . Тем не менее,

для более детального изучения электропроводности кремния возникает необходимость использовать сильные магнитные поля, так как изменение электропроводности в продольном магнитном поле всецело обусловлено анизотропией эффективных масс носителей тока.

Настоящая работа и была проведена с целью детального исследования изменения электропроводности *n*-кремния с удельным сопротивлением 0,03 ом·см, 1 ом·см, 10 ом·см, 15 ом·см и 32 ом·см в сильном продольном магнитном поле при температурах 275 и 77°К.

Исследуемые образцы были вырезаны в направлении [111] из монокристаллов кремния, легированного фосфором, и имели форму параллелепипеда размерами около 7×1×0,5 мм. Расстояние между потенциальными зондами не превышает 2—3 мм. Контакты получены сплавлением сплава золото—сурьма в вакууме при высокочастотном нагреве и были омическими. Образцы до и после сплавления контактов протравливались, промывались спиртом и кипящей дистиллированной водой. Измерения проводились в импульсном магнитном поле, создаваемом разрядом заряженной до 3 киловольт конденсаторной батареи емкостью 1200 мкФ через цельноточеную соленоидную катушку из бериллиевой бронзы. Схема измерений позволяла получать на экране осциллографа непосредственно зависимость исследуемого сигнала от напряженности магнитного поля. С целью исключения побочных эффектов измерения проводились при двух направлениях тока и магнитного поля. Индукционные наводки компенсировались с помощью витка, помещенного в магнитном поле рядом с образцом. Холловская подвижность исследуемых образцов предварительно была определена в постоянном магнитном поле с напряженностью 15 кэ.

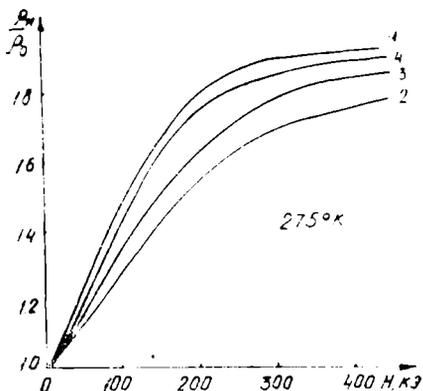


Рис. 1. Изменение сопротивления образцов в продольном магнитном поле, когда  $H \parallel [111]$  при 275°К. 2 —  $\rho_{300^\circ\text{К}} = 1$  ом·см; 3 —  $\rho_{300^\circ\text{К}} = 10$  ом·см; 4 —  $\rho_{300^\circ\text{К}} = 15$  ом·см; 5 —  $\rho_{300^\circ\text{К}} = 32$  ом·см.

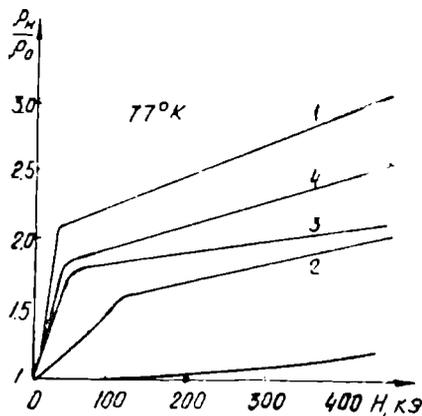


Рис. 2. Изменение сопротивления образцов в продольном магнитном поле, когда  $H \parallel [111]$  при 77°К. 1 —  $\rho_{300^\circ\text{К}} = 0,03$  ом·см; 2 —  $\rho_{300^\circ\text{К}} = 1$  ом·см; 3 —  $\rho_{300^\circ\text{К}} = 10$  ом·см; 4 —  $\rho_{300^\circ\text{К}} = 15$  ом·см; 5 —  $\rho_{300^\circ\text{К}} = 32$  ом·см.

На рис. 1, 2 приведены результаты измерений магнетосопротивления на пяти различной омности образцах кремния при температурах 275 и 77°К. В районе сильных полей наблюдается насыщение маг-

нетоспротивления для данного кристаллографического направления вычисляется по формуле [9].

$$\left( \frac{\rho_{111}}{\rho_0} \right)_{\text{нас.}} = \frac{(2K+1)(K+2)}{9K} \quad (3)$$

и

$$\left( \frac{\rho_{110}}{\rho_0} \right)_{\text{нас.}} = \frac{(2K+1)(K+1)}{K(K+5)}, \quad (4)$$

где  $K = \frac{m_l}{m_t}; \frac{\tau_t}{\tau_l}$ ,  $m_l$ ,  $m_t$ ,  $\tau_l$  и  $\tau_t$  — продольная и поперечная эффектив-

ные массы и времена релаксации, соответственно. Для всех образцов выполняются условия (1) и (2), за исключением образца № 1. Этот образец из-за малой подвижности не испытывает насыщения магнетосопротивления. Для этого образца холловская подвижность при комнатной температуре равна  $310 \frac{\text{см}^2}{\text{в.сек.}}$ ,

а при  $77^\circ\text{К} - 270 \frac{\text{см}^2}{\text{в.сек.}}$ , то есть

с понижением температуры сопротивление образца увеличивается. Увеличение сопротивления обусловлено уменьшением концентрации носителей и рассеянием на ионизированных примесях с понижением температуры. Остальные образцы испытывают насыщения магнетосопротивления. При  $77^\circ\text{К}$  полное насыщение наступает около 40 кэ, тогда как при  $275^\circ\text{К}$  только выше 300 кэ, что согласуется с расчетным значением по формуле (3).

На рис. 3 приведены результаты измерений магнетосопротивления вдоль оси [110]. Полученные экспериментальные данные вдоль этой оси дают удовлетворительное совпадение с вычисленными значениями по формуле (4).

Как видно из рисунков, с понижением температуры параметр анизотропии  $K$  увеличивается. Это не означает, что эффективная масса носителя изменяется с температурой, изменяется лишь отношение времен релаксаций. Для наших образцов отношения времен релаксации

$\left( \frac{\tau_l}{\tau_t} \right)$  изменялись от 1 до 0,8, что совпадает с результатами работы [8].

Все полученные результаты не только качественно, но и количественно согласуются с существующей теорией для классического случая сильных полей [2, 3]. Все измерения проведены в магнитном поле до 446 кэ, при этом, несмотря на выполнение условия

$$h\omega = kT, \quad (5)$$

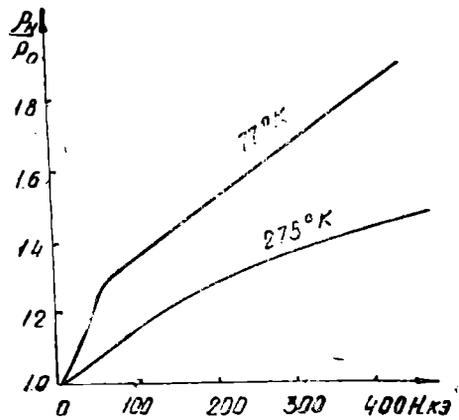


Рис. 3. Изменение сопротивления образца  $\rho$   $300^\circ\text{К} = 1 \text{ ом}\cdot\text{см}$ ,  $H \parallel [110]$  в продольном магнитном поле.

не наблюдается подъема магнетосопротивления после насыщения. Условие (5) при 77°К начинает выполняться с 146 кэ. Резкого подъема магнетосопротивления (линейного роста от поля) можно ожидать только при 20,4°К, где  $h\omega > kT$ .

Институт физики  
Дагестанского филиала АН СССР

Поступило  
7 мая 1965 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Abeles H., Meiboom. S. — Phys. Rev., 95, 31, 1954.
2. Shibuya M. — Phys. Rev., 95, 1388, 1954.
3. Gold L., Roth L. — Phys. Rev., 107, 358, 1957.
4. Furth H. P., Waniek R. W. — Phys. Rev., 104, 343, 1956.
5. Завадский Э. А., Факидов И. Г. — ФММ, 11, 145, 1961.
6. Love W. F., Wei W. F. — Phys. Rev., 123, 67, 1961.
7. Neuringer L. J., Little W. J. — Proc. of the International Conference of the physics of Semiconductors Excter, jule 1962, p. 614. Phys, Rev., 135, № 3A. 788, 1964.
8. Long D., Tyers J. — Phys. Rev., 120, 39, 1960.
9. Glicksman M. — Progress in Semiconductors (Heywood and Company, London, vol. 3, 1958, p. 1.

УДК 621.382.2

С. СУХАНОВ  
М. В. АРУСТАМОВА  
В. Ф. СЫРКИНА

### ДАТЧИКИ МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗ InSb

Наряду с датчиками Холла (ДХ) датчики магнитосопротивления (ДМС) широко используются при создании различных электронных устройств. По конструкции ДМС проще, чем ДХ. Однако следует отметить, что при выборе того или иного гальваномангнитного датчика при разработке приборов необходимо учитывать диапазон магнитных полей, в котором прибор может быть использован. Поэтому, если прибор рассчитан для работы в слабых магнитных полях ( $\frac{\mu H}{c} \ll 1$ ), следует использовать ДХ. В области сильных полей ( $\frac{\mu H}{c} \gg 1$ ) эффективно использовать по ряду положительных качеств ДМС.

Исследованию ДМС посвящено очень ограниченное число работ [1, 2, 3, 4].

Цель настоящего исследования — экспериментальное получение ДМС из InSb с наименьшим температурным коэффициентом при необходимой чувствительности к магнитному полю. Весьма интересно и важно выяснить возможности получения прямоугольных ДМС ( $\frac{l}{b} > 1$ ) с параметрами, близкими к параметрам дискообразных ДМС ( $\frac{l}{b} = 0$ ), так как прямоугольная форма ДМС наиболее удобна в практическом использовании.

В данной работе исследования проводились на пяти ДМС из InSb с различными формами и геометрическими размерами.

#### Технология изготовления датчиков магнитосопротивления

ДМС представляет собой пластинку из полупроводникового материала дискообразной или прямоугольной формы с припаянными к ней двумя электродами (рис. 1а). Технологический процесс изготовления ДМС в основном совпадает с технологией изготовления ДХ. Однако искусственное увеличение эффекта сопротивления в полупроводниковых кристаллах приводит к некоторым особенностям технологии получения

ДМС. Известно, что наличие электрического поля Холла  $E_x$  отрицательно сказывается на максимальное изменение  $\frac{\Delta\rho}{\rho}$ . ЭДС Холла можно в какой-то степени уменьшить, если шунтировать ее на сопротивление  $R_{ш}$  намного меньшее, чем сопротивление между холловскими электродами  $R_{вых}$  ( $R_{вых} \gg R_{ш}$ ). Это можно осуществить технологическим путем: нанесением растров непосредственно на поверхности датчиков.

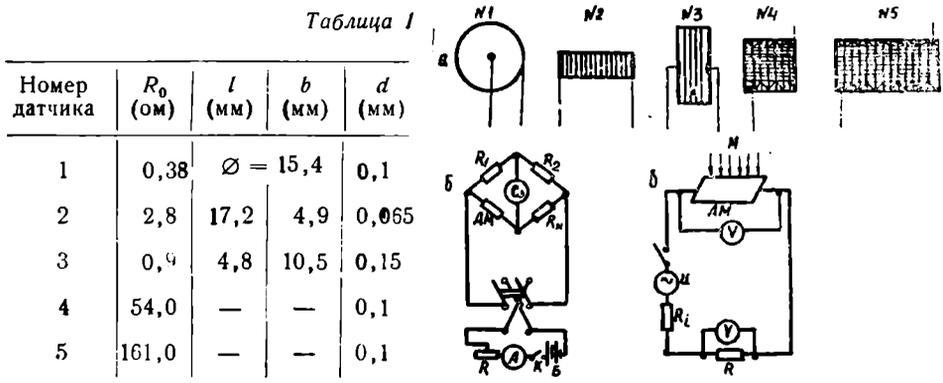


Рис. 1. Формы датчика и схемы измерения.

Изготовлено пять ДМС (рис. 1а). Датчик № 1 имеет дискообразную форму и у него  $U_x=0$ , поэтому нет необходимости нанесения растров. На остальных датчиках для ослабления противодействия  $E_x$  по всей длине образца наносились растры с интервалом 1 мм, а иногда реже. Формы датчиков 4 и 5 вырезались на ультразвуковом станке специальными штампами. Равномерность нанесения растров нарушалась в изгибах спирали. Некоторые данные датчиков приведены в табл. 1.

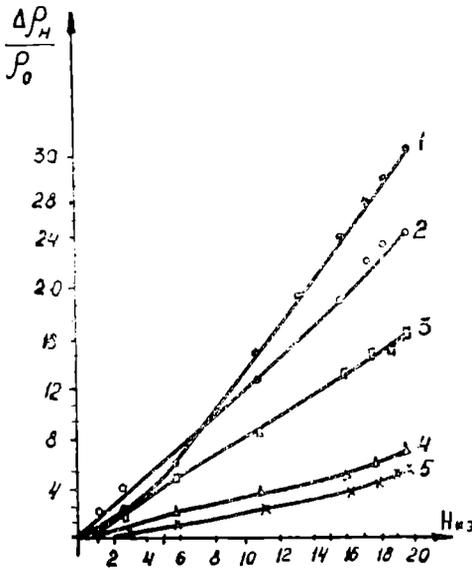


Рис. 2. Зависимость  $\frac{\Delta\rho}{\rho_0} = f(H)$ .

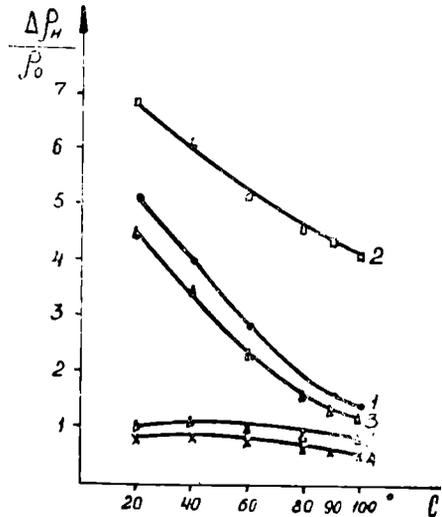


Рис. 3. Зависимость  $\frac{\Delta\rho}{\rho_0} = f(T)$ .

## Экспериментальные результаты

Исследования характеристик ДМС проводились обычным методом на постоянном токе (рис. 16). Зависимости  $\frac{\Delta\rho}{\rho_0} = f(H)$  для пяти дат-

чиков приведены на рис. 2. Для всех датчиков измерено изменение удельного сопротивления в магнитном поле при изменении температуры от 20 до 100°C (рис. 3), при этом через датчик пропускался переменный ток (рис. 1в) с  $f=1000$  гц для каждого датчика различной величины, вследствие различия сопротивлений. Высокие температуры получали с помощью специальной электрической печки, состоящей из кварцевой трубки, на которую намотана нихромовая проволока. Сверху одевался охлаждающий кожух, по которому текла вода. Таким образом достигалась стабильность температуры на время, необходимое для каждого замера. Температура измерялась с помощью терморпары хромель—алюмель с интервалами 10—20°C. Из рис. 2 видно, что наибольшее изменение сопротивления принадлежит диску Карбино (при  $H=20\,000$  эрстед  $\frac{\Delta\rho_H}{\rho_0} = 30$ ). Наименьшее изменение соответствует датчикам № 4 и 5. (при

$H=20\,000$  эрстед  $\frac{\Delta\rho_H}{\rho_0} = 6,1$ ). У датчиков № 2 и 3 изменение удельного сопротивления ближе к диску Карбино, что особенно заметно у датчика № 2, хотя казалось бы наоборот, у датчика № 3 оно должно быть ближе к кривой датчика № 1, так как  $\frac{l}{b} < 1$ . Видимо, это объясняется небольшо-

шой площадью контакта и технологическими дефектами. Однако у датчиков № 1, 2 и 3 сопротивление между электродами мало, что не всегда выгодно для практического использования. Для устранения этого недостатка исследовали форму датчиков № 4 и 5, у которых сопротивление отличается почти на два порядка. Слабое изменение  $\frac{\Delta\rho_H}{\rho_0}$ , как нам

кажется, связано с некачественным нанесением растров, так как  $\frac{l}{b} \gg 1$

будет мало сказываться в том случае, если шунтировано противодействие  $E_x$  до практически возможного значения. Следует отметить, что за-

висимости  $\frac{\Delta\rho_H}{\rho_0} = f(H)$  у датчиков № 4 и 5 более линейны в слабых магнитных полях, что позволяет создать приборы с линейной характеристикой. У датчиков № 1, 2 и 3 велика зависимость  $\frac{\Delta\rho_H}{\rho_0}$  от температуры

при (изменении температуры от 21 до 60°C изменение  $\frac{\Delta\rho_H}{\rho_0}$  составляет

22% для датчика № 2 и 48% для датчиков № 1 и 3). Изменение же  $\frac{\Delta\rho_H}{\rho_0}$

от температуры для датчиков № 4 и 5 в температурном интервале 20÷40°C составляет лишь 1—2%. Уменьшение  $\frac{\Delta\rho_H}{\rho_0}$  от температуры связано с уве-

личением концентрации и уменьшением подвижности носителей тока. Температурная стабильность датчиков № 4 и 5, на наш взгляд, по-видимому, связана с загрязнением кристалла при нанесении растров, что подтверждается и низкой чувствительностью их к магнитному полю. Данные исследования позволили получить необходимые сведения о возможности получения ДМС с улучшенными параметрами.

### Возможности технического использования датчиков магнитосопротивления

Различные технические применения эффекта Холла достаточно освещены и в нашей и в зарубежной литературе. С появлением полупроводниковых материалов с высокой подвижностью носителей тока эффект Холла уже не служил только для изучения явлений переноса в металлах и полупроводниках, но и стал применяться в области техники. Причем эффекту Холла отдано предпочтение перед эффектом магнитосопротивления, хотя на основе последнего гауссметр был создан гораздо раньше. При создании магнитометров на основе гальваноманнитных датчиков считали целесообразным использовать датчики Холла из-за их линейной характеристики и высокой чувствительности к слабым магнитным полям. У датчиков же магнитосопротивления наблюда-

ются нелинейность на начальном участке зависимости  $\frac{\Delta\rho_H}{\rho_0} = f(H)$  и

низкая чувствительность. Однако исследования, проведенные за последние годы, показали, что имеются реальные возможности в какой-то степени устранить вышеуказанные недостатки. Опыты показали, что на основе датчиков магнитосопротивления можно создать магнитометр с чувствительностью 100  $\gamma$  с несложным электронным измерителем выхода. Это указывает на то, что ДМС могут даже конкурировать с ДХ в большом промежутке конца слабых магнитных полей. В последние годы ДМС частично используются и в других областях техники. Но тем не менее мало изучены методика получения ДМС и использование их потенциальных возможностей при разработке различных приборов и установок. Имеются некоторые возможности использования ДМС в устройствах автоматики и телемеханики для нефтяной и газовой промышленности в качестве первичного преобразователя и кодирующих систем, то есть разработка уровнемеров, приборов измерения давления и контроля за состоянием работ действующего объекта, преобразования линейных и угловых перемещений в электрические сигналы. Предварительный расчет показывает, что стоимость этих установок на основе ДМС раз в десять дешевле, чем подобные устройства, основанные на других принципах. Уровень выходного сигнала, в основном, будет зависеть от величины напряженности магнитного поля в воздушном зазоре магнитных систем, а также от величины подаваемого напряжения к мосту, к одному из плеч которого подключен ДМС. Предварительные расчеты и опытные данные показали, что в зависимости от величины параметров контролируемого объекта выходной сигнал устройства с ДМС находится в пределах от милливольт до десятка вольт.

Создание кодирующих устройств на основе ДМС будет иметь некоторые преимущества по сравнению с существующими в простоте конструкции кодирующих устройств, малой погрешности кодирования и непосредственном получении кода без промежуточных элементов. На основе ДМС могут быть решены задачи автоматики, телемеханики и вычислительной техники.

## Выводы

Доказана возможность увеличения чувствительности ДМС в том случае, когда пластина имеет прямоугольную форму, то есть  $\frac{l}{b} > 1$ .

Увеличение чувствительности тем больше, чем лучше устранено нанесением растров противодействие  $E_x$  при изготовлении ДМС, чем меньше интервал между растрами и резче грань растра. Предварительный анализ показывает, что имеются возможности создания на основе ДМС различных устройств электроники, автоматики, телемеханики и вычислительной техники.

Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР

Поступило  
3 декабря 1965 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Welker H. — *Electrotechn.*, Zs, 76, 513, 1955.
2. Богомолов В. Н. — Устройство с датчиками Холла и датчиками магнитосопротивления. Госэнергоиздат, 1961.
3. Борщенко Е. Н., Котенко Г. И., Фоменко Е. П. — Тр. ЛИАП, вып. 43, 1964.
4. Агаев Я., Мосанов О. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 5, 38, 1964.

УДК 550.388.2

О. ОВЕЗГЕЛЬДЫЕВ

## О ВОЗМОЖНОСТИ СУЩЕСТВОВАНИЯ ЯЧЕЙКОВОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В $E$ ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ

В работе [1] предложен механизм образования  $E_s$  в средних широтах как результат внутренних гравитационных волн, возникающих на границе раздела двух сред. В настоящее время возможность существования внутренних гравитационных волн и ячейковой циркуляции, сопровождаемой сильной турбулентностью, в нижней атмосфере не вызывает особых сомнений. Однако возможность существования их в области ионосферы, насколько нам известно, пока не установлена. В данной работе рассматривается возможность существования их в локальном участке  $E$  области ионосферы.

Как известно,  $E$  область ионосферы можно рассматривать как квазинейтральный, трехкомпонентный, частично ионизованный газ, в состав которого входят электроны, положительные ионы и нейтральные атомы и молекулы.

Концентрация электронов для дневного и ночного времени суток соответственно порядка  $10^5$  и  $10^4$  эл/см<sup>3</sup> и существенно зависит от времени суток и года, а также от уровня солнечной активности. Концентрация нейтральной компоненты в этой области порядка  $10^{12}$  см<sup>-3</sup>, то есть отношение ионизованной компоненты к нейтральной компоненте порядка  $10^7$ . Эффективная проводимость  $E$  области ионосферы порядка

$$\sigma_0 = 2,3 \cdot 10^7 \text{ 1/сек [2].}$$

Для того, чтобы проанализировать движение в такой среде, необходимо составить уравнение движения каждой компоненты газа с членами, учитывающими взаимодействие между отдельными компонентами. Запишем эти уравнения в системе координат, связанной с газом в целом, то есть с центром тяжести всех составляющих. Легко убедиться, что центр тяжести в  $E$  области ионосферы будет совпадать с нейтральной компонентой, так как масса нейтральной компоненты в единице объема в  $10^7$  раз больше, чем массы ионизованных компонент. Скорости электронов, ионов и нейтральных частиц в этой системе координат

соответственно обозначим  $\vec{V}_e, \vec{V}_i, \vec{V}_n$ , а скорость газа в целом относительно наблюдателя  $\vec{V}$ . Кроме того, предположим, что сила трения линейно зависит от разности скоростей компонент газа, скорости  $\vec{V}_e$ ,

$\vec{V}_i, \vec{V}_n$  и их производные малы по сравнению с  $\vec{V}$  и ускорением газа. Тогда уравнение  $k$ -ой составляющей имеет вид

$$\rho_k \frac{d\vec{V}}{dt} = \rho_k \vec{g} - \nabla P_k + n_k e_k (\vec{E} + \frac{1}{c} [\vec{V}_k \vec{B}]) - \sum_{l=1}^3 \Theta_{kl} (\vec{V}_k - \vec{V}_l) + \rho_k K \nabla^2 \vec{V}_k + 2 \rho_k [\vec{\omega} \vec{V}_k], \quad (1)$$

где  $\rho_k$  — плотность;  $n_k$  — концентрация;  $\vec{E}$  — напряженность электрического поля в системе координат, связанной с газом в целом;  $\vec{B}$  — индукция магнитного поля;  $\Theta_{kl}$  — коэффициент, характеризующий потери импульса газом  $k$ -ой компоненты из-за столкновений с  $l$  компонентой газа за единицу времени;  $K$  — коэффициент турбулентной вязкости;  $\omega$  — угловая скорость вращения Земли.

Индексы  $k=1, 2, 3$  относятся соответственно к электрону, иону и нейтральным частицам. Суммируя уравнение (1) по  $k$  и принимая во внимание соотношение

$$\sum_{k=1}^3 n_k e_k = 0; \quad \sum_{k=1}^3 n_k e_k \vec{V}_k = \vec{j}; \quad \sum_{k=1}^3 \Theta_{ke} (\vec{V}_k - \vec{V}_e) = 0,$$

получим уравнение движения газа в целом

$$\rho \frac{d\vec{V}}{dt} = \rho \vec{g} - \nabla P + \frac{1}{c} [\vec{j} \vec{B}] + \rho K \nabla^2 \vec{V} + 2 \rho [\vec{\omega} \vec{V}]. \quad (2)$$

На основе теории подобия оценим порядок величины слагаемых уравнения движения (2). Для этого введем характерные масштабы газодинамических и электродинамических величин

$$\begin{aligned} \tilde{u} &= \frac{u}{v_0}; \quad \tilde{v} = \frac{v}{v_0}; \quad \tilde{\omega} = \frac{\omega}{\omega_0}; \quad \tilde{\rho} = \frac{\rho}{\rho_0}; \quad \tilde{P} = \frac{P}{P_0}; \quad \tilde{K} = \frac{K}{K_0}; \\ \tilde{x} &= \frac{x}{L}; \quad \tilde{y} = \frac{y}{L}; \quad \tilde{z} = \frac{z}{H}; \quad \tilde{B}_x = \frac{B_x}{B_0}; \quad \tilde{B}_y = \frac{B_y}{B_0}; \quad \tilde{B}_z = \frac{B_z}{B_0}; \quad \tilde{t} = \\ &= \frac{t}{t_0}; \quad \tilde{\omega}_z = \frac{\omega_z}{\omega_0}, \quad \tilde{\sigma} = \frac{\sigma}{\sigma_0}. \end{aligned}$$

Следует отметить, что изменчивость параметров атмосферы в вертикальном направлении обычно гораздо больше, чем их изменчивость в горизонтальном направлении, поэтому нами введены два характерных масштаба — в вертикальном направлении  $H$ , а в горизонтальном  $L$ . Ввиду существенного различия между горизонтальным и вертикальным направлениями, необходимо также различать характерные значения горизонтальной  $v_0$  и вертикальной  $\omega_0$  составляющих скорости движения. Как показывают экспериментальные данные,  $\omega_0 \ll v_0$ , поэтому ею вообще можно пренебречь. Кроме того, нет необходимости выбирать несвязанные между собой масштабы для плотности тока, проводимости, скорости и индукции. Поэтому предположим, что

$$j_0 = \sigma_0 v_0 B_0.$$

Учитывая изложенное, рассмотрим проекции уравнения (2) в системе координат, в котором ось  $z$  направлена вертикально вверх, ось  $x$  вдоль круга широт с запада на восток и ось  $y$  вдоль меридиана с юга на север

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{L_0}{t_0 v_0} \frac{\partial \tilde{u}}{\partial t} + \tilde{u} \frac{\partial \tilde{u}}{\partial x} + \tilde{v} \frac{\partial \tilde{u}}{\partial y} &= - \frac{P_0}{\rho_0 v_0^2} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tilde{P}}{\partial x} + \frac{2L\omega_0}{v} \tilde{v} \tilde{\omega}_z + \frac{\rho_0 K_0}{\rho_0 v_0 L} \frac{\tilde{K}}{\rho} \times \\
 \times \left( \frac{\partial^2 \tilde{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tilde{u}}{\partial y^2} \right) + \frac{K_0 L}{\rho_0 v_0 H^2} \frac{\tilde{K}}{\rho} \frac{\partial^2 \tilde{u}}{\partial z^2} + \frac{j_0 B_0 L}{c \rho_0 v_0^2} \frac{1}{\rho} \tilde{j}_y \tilde{B}_z, \\
 \frac{L_0}{t_0 v_0} \frac{\partial \tilde{v}}{\partial t} + \tilde{u} \frac{\partial \tilde{v}}{\partial x} + \tilde{v} \frac{\partial \tilde{v}}{\partial y} &= - \frac{P_0}{\rho_0 v_0^2} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tilde{P}}{\partial y} + \frac{2L\omega_0}{v_0} \tilde{u} \tilde{\omega}_z + \\
 + \frac{K_0}{v_0 L} \tilde{K} \left( \frac{\partial^2 \tilde{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tilde{v}}{\partial y^2} \right) + \frac{K_0 L}{v_0 H^2} \tilde{K} \frac{\partial^2 \tilde{v}}{\partial z^2} - \frac{j_0 B_0 L}{c \rho_0 v_0^2} \tilde{j}_x \tilde{B}_z \frac{1}{\rho} \\
 0 = \frac{g_0 H}{v_0^2} \tilde{g} - \frac{P_0}{\rho_0 v_0^2} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tilde{P}}{\partial z} + \frac{j_0 B_0 H}{c \rho_0 v_0^2} (\tilde{j}_x \tilde{B}_y - \tilde{j}_y \tilde{B}_x).
 \end{aligned} \right\} (3)$$

### Параметры

$$\frac{v_0 t_0}{L} = sh_0; \frac{P_0}{\rho_0 v_0^2} = \frac{1}{\gamma M}; \frac{K_0}{v_0 L} = \frac{10}{Re_0}; \frac{j_0 B_0 L}{\rho_0 v_0^2} = S_0; 2 \frac{L\omega_0}{v_0} = \frac{1}{De}; \frac{g_0 H}{v_0^2} = \frac{1}{Fr}$$

являются критериями подобия, где  $sh_0$ —число Струхаля;  $M$ —число Маха;  $\gamma_0 = \frac{C_{p_0}}{C_{v_0}}$ ;  $Re_0$ —число Рейнольдса;  $S_0$ —число, характеризующее магнитное взаимодействие;  $Fr$ —число Фруда;  $De$ —число, характеризующее отклонение ветра от геострофического.

При этом следует отметить, что коэффициент турбулентной вязкости  $K_0$  связан с кинематической вязкостью  $\nu_0$  соотношением

$$\frac{K_0}{\nu_0} \sim \frac{Re}{Re_{кр}}.$$

Согласно экспериментальным данным, полученным различными методами, это соотношение равно не менее 10. Поэтому мы брали

$$K_0 = 10\nu_0.$$

Поскольку все безразмерные функции и их производные порядка единицы, то, оценивая коэффициенты у различных слагаемых в (3), можно приближенно оценить соотношения между слагаемыми в уравнении движений. Для такой оценки значения параметров атмосферы  $P_0$ ,  $\rho_0$ ,  $T_0$ ,  $\nu_0$  и т. д. определялись из стандартной атмосферы ARDS—1959 соответственно уровню 106 км (наиболее часто встречающейся высоте спорадического слоя E). Вертикальный масштаб  $H$  брали равным высоте однородной атмосферы  $H=7$  км. Масштаб горизонтальной скорости  $v_0=60$  м/сек. А масштаб индукции  $B_0=0,4$  гауса. Причем оценка производилась для различных соотношений горизонтального  $L$  и вертикального  $H$  масштабов (табл. 1).

Коэффициент в уравнении движения	$n' = \frac{L}{H} = 1$	$n' = \frac{L}{H} = 10$	$n' = \frac{L}{H} = 10_2$
$\frac{P_0}{\rho_0 v_0^2} = \frac{1}{\gamma_0 M^2}$	1,8 · 10	1,8 · 10	1,8 · 10
$\frac{K_0}{v_0 L} = \frac{10}{Re_0}$	2,6 · 10 <sup>-3</sup>	2,6 · 10 <sup>-4</sup>	2,6 · 10 <sup>-5</sup>
$\frac{K_0 L}{v_0 H^2} = \frac{10 n'}{Re_0}$	2,6 · 10 <sup>-3</sup>	2,6 · 10 <sup>-2</sup>	2,6 · 10 <sup>-1</sup>
$\frac{2 L \omega_0}{v_0} = \frac{1}{De}$	1,7 · 10 <sup>-2</sup>	1,7 · 10 <sup>-1</sup>	1,7
$\frac{gH}{v_0^2} = \frac{1}{Fr}$	1,9 · 10	1,9 · 10	1,9 · 10
$\frac{j_0 B_0 L}{\rho_0 v_0^2} = S_0$	3,2 · 10 <sup>-3</sup>	3,2 · 10 <sup>-2</sup>	3,2 · 10 <sup>-1</sup>
$\frac{j_0 B_0 H}{\rho v_0^2}$	3,2 · 10 <sup>-3</sup>	3,2 · 10 <sup>-3</sup>	3,2 · 10 <sup>-3</sup>

Из этой таблицы видно, что сила вязкости и сила магнитного взаимодействия имеют примерно одинаковые величины, причем значительно меньше, чем остальные слагаемые в уравнении движения, поэтому в первом приближении ими можно пренебречь. Тогда уравнение движения (2) имеет следующий вид

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{g} - \frac{1}{\rho} \nabla P + 2 [\vec{\omega} \vec{V}]. \quad (4)$$

В систему уравнений динамики атмосферы, кроме уравнения движения, входят также уравнение непрерывности и уравнение сохранения энергии.

Изменение внутренней энергии фиксированной массы атмосферы за единицу времени складывается из притока тепла к ней, обусловленного процессами теплопередачи, потери механической энергии за единицу времени благодаря трению и работе сжатия, то есть

$$\frac{dW_0}{dt} = \frac{dQ}{A dt} + \frac{P}{\rho^2} \frac{d\rho}{dt} + \frac{F}{\rho}, \quad (5)$$

где  $W_0$  — внутренняя энергия системы;  $Q$  — количество тепловой энергии;  $P$  — давление;  $A$  — механический эквивалент теплоты;  $\frac{F}{\rho}$  — удельная диссипация энергии, которая равна

$$\nu \left[ 2 \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \right] - \frac{2}{3} \nu \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2.$$

Слагаемое  $\frac{dQ}{dt}$ , определяющее приток тепла извне на высотах, пре-

вышающих 100 км, определяется целым рядом факторов. Оценка влияния различных факторов, проведенная К. Я. Кондратьевым и О. П. Филиппович [3], показывает, что основную роль в нагревании этой области играют два источника: ультрафиолетовое и рентгеновское излучение Солнца и солнечные корпускулярные потоки. Другим важным, по их мнению, источником энергии являются радиационные пояса Земли.

Можно предположить, что в пределах ионосферы средних и низких широт из упомянутых выше источников нагревания атмосферы важную роль играют ультрафиолетовое и рентгеновское излучения Солнца. Поглощение ультрафиолетового и рентгеновского излучений Солнца молекулами и атомами в верхних слоях атмосферы приводит кроме процесса диссоциации и ионизации к нагреванию этой области атмосферы. Если предположить, что одна третья часть всей поглощенной молекулами и атомами энергии идет на нагревание атмосферы, то количество тепла, получаемого единицей массы в единицу времени, определяется выражением

$$\frac{1}{3} \frac{\delta n_0 \Phi}{\rho},$$

где  $\delta$  — эффективное сечение поглощения;  $n_0$  — концентрация ионизируемых частиц;  $\Phi$  — поток солнечной энергии.

Далее, в отличие от нижних областей атмосферы (стратосферы, мезосферы), где потери тепловой энергии осуществляются в основном через излучение, в верхних слоях атмосферы роль излучения в процессе теплообмена становится малой, а главное значение приобретает отток энергии сверху вниз за счет теплопроводности, определяемой

выражением  $\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$ , где  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности, и мелко-

масштабной турбулентности, определяемой выражением

$$C_p K \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad [3, 4].$$

Таким образом, уравнение притока тепла для  $E$  области ионосферы средних и низких широт можно записать так:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{1}{3} \frac{\delta n_0 \Phi}{\rho} - \frac{1}{\rho} \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - C_p K \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}. \quad (5')$$

Учитывая, что вертикальную составляющую скорости движения в ионосфере можно считать равной нулю, вводя характерные масштабы физических параметров

$$\tilde{\Phi} = \frac{\Phi}{\Phi_0}; \tilde{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_0}; \tilde{T} = \frac{T}{T_0}; \tilde{v} = \frac{v}{v_0}; \tilde{i} = \frac{i}{i_0},$$

где  $i = W_s + \frac{P}{\rho} = C_p T$  — энтальпия единицы массы, и подставляя последнее выражение в (5), его можно написать через безразмерные параметры так

$$\frac{L}{t_0 v_0} \tilde{\rho} \frac{\partial \tilde{i}}{\partial \tilde{t}} + \tilde{\rho} (\tilde{V}_\nabla) \tilde{i} = \frac{P_0 L}{t_0 \rho_0 v_0 i_0} \frac{\partial \tilde{P}}{\partial \tilde{t}} + \frac{P_0}{\rho_0 i_0} (\tilde{V}_\nabla) \tilde{P} + \frac{1}{3} \frac{\delta n_0 \Phi_0 L}{\rho_0 v_0 i_0} \tilde{\Phi} - \frac{\lambda_0 T_0 L}{H^2 \rho_0 v_0 i_0} \tilde{\lambda} \frac{\partial^2 \tilde{T}}{\partial \tilde{z}^2} - \frac{K_0 L}{v_0 H^2} \tilde{K} \tilde{\rho} \frac{\partial^2 \tilde{T}}{\partial \tilde{z}^2} + \frac{v_0 v_0}{L i_0} \tilde{v} \tilde{\rho} \left[ 2 \left( \frac{\partial \tilde{u}}{\partial \tilde{x}} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial \tilde{v}}{\partial \tilde{y}} \right)^2 + \right]$$

$$+ \left( \frac{\partial \tilde{v}}{\partial x} + \frac{\partial \tilde{u}}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial \tilde{u}}{\partial z} \right)^2 - \frac{2}{3} \frac{v_0 v_0}{Li_0} \tilde{v} \tilde{\rho} \left( \frac{\partial \tilde{u}}{\partial x} + \frac{\partial \tilde{v}}{\partial y} \right)^2. \quad (6)$$

Оценка численных значений коэффициентов слагаемых в уравнении (6), приведенная в табл. 2, показывает, что изменением внутренней энергии за счет потери механической энергии

Таблица 2

Коэффициенты у слагаемых уравнения (6)	$n' = \frac{L}{H} = 1$	$n' = \frac{L}{H} = 10$	$n' = \frac{L}{H} = 10^2$
$\frac{P_0}{\rho_0 i_0} = \frac{\gamma - 1}{\gamma}$	0,29	0,29	0,29
$\frac{\lambda_0 T_0 L}{\rho_0 v_0 i_0 H^2} = \frac{n'}{Re'_0} \frac{1}{Pr_0}$	$0,35 \cdot 10^{-3}$	$0,35 \cdot 10^{-2}$	$0,35 \cdot 10^{-1}$
$\frac{v_0 v_0}{Li_0} = (\gamma - 1) \frac{1}{Re_0} M_0^2$	$0,4 \cdot 10^{-5}$	$0,4 \cdot 10^{-6}$	$0,4 \cdot 10^{-7}$
$\frac{K_0 L}{v_0 H^2} = \frac{10 n'}{Re'_0}$	$0,26 \cdot 10^{-2}$	$0,26 \cdot 10^{-2}$	0,26
$\frac{1}{3} \frac{\delta n_0 \Phi_0 L}{\rho_0 v_0 i_0}$	—	—	—

благодаря трению полностью можно пренебречь. Кроме того, отток тепла, обусловленный теплопроводностью на порядок меньше, чем отток тепла, обусловленный турбулентностью. Следует отметить, что численное значение выражения  $\frac{1}{3} \frac{\delta n_0 \Phi_0 L}{\rho_0 v_0 i_0}$  в табл. 2 не приводится из-за

того, что пока отсутствуют надежные данные о параметрах  $\Phi_0$  и  $\delta$ . Однако, несомненно, что приток тепла, обусловленный поглощением радиации Солнца, намного больше, чем приток тепла, обусловленный трением, поэтому уравнение (6) приближенно можно написать так:

$$\rho \frac{di}{dt} = \frac{dP}{dt} + \frac{1}{3} \delta n_0 \Phi - C_p K \rho \frac{\partial T}{\partial z^2}. \quad (7)$$

Использование уравнений (4) и (7) для анализа внутренних гравитационных волн связано с решением сложной математической задачи. Эта задача значительно упрощается, когда приток тепла отсутствует и движение имеет вид малых колебаний. Предполагая, что в  $E$  области ионосферы такое упрощение для небольшого промежутка времени допустимо, можно свести задачу к решенной Лайхтманом [5, 6] и условие возникновения неустойчивости внутренних гравитационных волн будет определяться выражением

$$\lambda < \frac{2\pi (\Delta u)^2 T_0}{g \Delta T + \sqrt{(g \Delta T)^2 + \frac{g \beta (\Delta u)^2 T_0^2}{8}}}, \quad (8)$$

где  $\Delta u = u_v - u_n$  — разность скорости в верхней и в нижней среде;  $\Delta T = T_v - T_n$  — разность температур в верхней и в нижней среде;  $T_0 = \frac{T_v + T_n}{2}$ ;  $\lambda$  — длина волны;  $\beta = \frac{1}{T_0} \left( \frac{dT_0}{dz} + \gamma_a \right)$ ;  $\gamma_a = 0,01$  град/м.

Из выражения (8) следует, что условие возникновения неустойчивости существенно зависит от  $\Delta u$ ,  $\Delta T$  и градиента температуры. Увеличение скачка и градиента температуры увеличивает устойчивость движения, а увеличение скачка ветра уменьшает его устойчивость.

Согласно стандартной атмосфере ARDC—1959, в интервале высот от 100 до 160 км средний градиент температуры порядка 0,019 град/м, тогда как градиент скорости ветра в этой области очень большой [7—10]. Скорость ветра очень быстро возрастает в слое от 105 до 110—115 км, здесь она достигает максимальных значений. Во многих случаях изменения скорости, превышающие 100 м/сек, наблюдаются в слое, вертикальная мощность которого меньше 5 км [10].

Из изложенного следует, что есть основание ожидать существование внутренних гравитационных волн в локальном участке  $E$  области ионосферы. Более того, исследование серебристых облаков, появляющихся в области мезопаузы, показывает, что они во многих случаях имеют вихреобразные и волновые формы [11]. Длина волны в серебристых облаках меняется в широких пределах, от 5—10 до 100 км и более. Эволюция волнового образования сходна с развитием волнистых форм тропосферных облаков, обусловленных внутренними гравитационными волнами.

Наличие внутренних гравитационных волн, возникающих на границе раздела двух сред в  $E$  области ионосферы, приведет к значительному перераспределению существующей ионизации. Когда волна стационарная, будет наблюдаться установившееся чередование областей восходящих и нисходящих движений. В обеих областях плавный ход изменения электронной концентрации будет нарушен и вследствие этого должны возникнуть большие градиенты электронной концентрации с

высотой, обусловленные членом  $\omega \frac{dN}{dz}$  уравнения непрерывности, осо-

бенно в области нисходящих движений, когда перенос ионизации происходит из участков с большей плотностью в участки с малой плотностью. Рассматриваемый процесс особенно существен в области ниже максимума слоя  $E$ , где даже плавный ход электронной концентрации имеет большой градиент ( $10^4$  эл/см<sup>3</sup>/км) [12].

При вертикальном зондировании ионосферы возникающие резкие градиенты отмечаются как отражающий слой, который называют спорадическим слоем  $E$ . Предельная частота отражения от  $E_s$  ( $f_o E_s$ ), по вышеприведенной схеме должна периодически изменяться. Причем увеличению  $f_o E_s$  должно соответствовать уменьшение  $h' E_s$  и наоборот, что в некоторых случаях отмечается и по экспериментальным данным.

В случаях, когда внутренние гравитационные волны теряют устойчивость, на границе раздела возникает ячейковая циркуляция и сильная турбулентность. В этом случае одновременно с резким градиентом  $N$  с высотой будут возникать большие флуктуации  $N$ , так как перенос ионизации, кроме ячейковой циркуляции, будет осуществляться и турбулентностью. Следует отметить, что флуктуации  $N$  в некоторых случаях могут значительно усиливаться в результате действия механизма Данжи [13, 14, 15]. Если в такой области распространяются радиоволны, мы, наряду с отражением от резкого градиента, будем наблюдать рассеяние также от флуктуаций электронной плотности, и на ионограмме спорадический слой  $E$  будет отмечаться как полупрозрачный слой.

## Выводы

Приведенные результаты подтверждают возможность существования механизма образования спорадического слоя  $E$  в средних широтах, предложенного в работе [1].

Институт физики Земли и атмосферы  
АН Туркменской ССР

Поступило  
31 мая 1965 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Овезгельдыев О. — Известия АН ТССР, сер. ФТХ и ГН, № 3, 1965.
2. Фаткулин М. Н. — Геомагнетизм и аэрономия, т. 4, № 1, 115, 1964.
3. Кондратьев К. Я., Филиппович О. П. — Тепловой режим верхних слоев атмосферы. Гидрометеониздат, 1960.
4. Johnson F. S., Wilkins E. M. — J. Geophys. research, vol. 70, № 6, 128, 1965.
5. Гандин Л. С., Лайхтман Д. Л., Матвеев Л. Т., Юдин М. Н. — Основы динамической метеорологии. Гидрометеониздат, 1955.
6. Лайхтман Д. Л. — Труды ГГО, вып. 2, (64), 3, 1947.
7. Миркотан С. Ф., Кушнеревский Ю. В. — Неоднородная структура и движения в ионосфере. Изд. «Наука», 1964.
8. Kochanski A. — j. Geophys. research, vol. 69, № 17, 365, 1964.
9. Rosenberg N. W. — j. Geophys. research. vol. 68, № 10, 3057, 1963.
10. Келлог В. В. — Ракетная и спутниковая метеорология. Гидрометеониздат, 1964.
11. Гришин Н. И. — Земля и Вселенная, № 3, 27, 1965.
12. Седден Дж. К., Джонсон Дж. Е. — Исследования верхней атмосферы с помощью ракет и спутников. Изд. ИЛ, 421, 1961.
13. Dungey J. W. — j. Geophys. research, vol. 64, № 12, 1288, 1959.
14. Dungey J. W. — j. Atmos. and Terrest. Phys. vol. 18, 39, 1956.
15. Данжи Дж. — Космическая электродинамика, М., 1961.

## ПРОЧНОСТЬ СЛАБОАРМИРОВАННЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ НАГРУЗКЕ ТИПА СЕЙСМИЧЕСКОЙ

Ряд строительных конструкций работает на динамическую нагрузку, действие которой непродолжительно и ограничивается небольшим числом повторных загрузений. Такой вид нагружений имеет место при обрывах проводов, канатов, тросов, в опорах линии связи и электросети, в подвесных канатных дорогах, в различных видах подъемного транспорта. Такой вид нагружения характерен также и для землетрясений, когда сооружения воспринимают явно выраженную динамическую нагрузку, действие которой непродолжительно. При этом частота нагружения отвечает частоте собственных колебаний большинства инженерных конструкций, то есть 0,5—10,0 герц, а количество повторных загрузений ориентировочно может быть оценено в 100—1000 циклов. Несущая способность конструкций при таком виде нагружения отличается как от случая статического нагружения, так и от предела выносливости, когда количество повторных загрузений исчисляется миллионами циклов.

В то же время по вопросу применения конструкций из преднапряженного железобетона в сейсмике существуют различные мнения. Часть исследователей считает возможным применять такие конструкции в районах возможных землетрясений без всяких ограничений. Другие — высказывают некоторые опасения, которые в основном связаны с малыми эластическими свойствами высокопрочных материалов, из которых, как правило, изготавливаются преднапряженные железобетонные конструкции [1].

Анализ последствий землетрясений на Аляске (1964 г.), в Скопле (1962 г.), в Нингата (1964 г.) также не дали ясного представления о поведении преднапряженных железобетонных конструкций при действии сейсмических сил, так как во всех случаях разрушение зданий и сооружений сопровождалось, как правило, обрушением несущих конструкций, на которые опирались преднапряженные элементы [2, 3]. Между тем, все чаще проектируются для сейсмических районов СССР и за рубежом здания с преднапряженными железобетонными конструкциями.

С целью выяснить, чем отличается работа предварительно напряженных железобетонных элементов при воздействии сейсмической нагрузки в ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко под руководством проф. И. Л. Корчинского были проведены экспериментальные исследования образцов с различным содержанием арматуры.

Настоящая работа посвящена слабоармированным элементам.

Для исследования выбраны образцы, армированные сталями классов А-III<sub>в</sub> и А-IV, а для выяснения влияния предварительного напряжения на работу элементов часть этих образцов была изготовлена без предварительного напряжения. Кроме того, целесообразно было сравнить работу образцов, армированных сталями высоких классов, с балками, в которых использована сталь класса А-I. Поэтому эксперимент поставлен с балками пяти типов:

I тип — балки обычные (БО<sub>1</sub> и БО<sub>2</sub>), армированные сталью класса А-I (Ст. 3);

II тип — балки (БГО), армированные сталью класса А-III<sub>в</sub> (сталь 35ГС, упрочненная вытяжкой до  $\sigma_T = 5500 \text{ кг/см}^2$ );

III тип — балки (БГН), аналогичные типу БГО, но предварительно напряженные до  $0,9\sigma_T$ ;

IV тип — балки (БХО), армированные сталью класса А-IV (сталь 30ХГ2С);

V тип — балки (БХН), аналогичные типу БХО, но предварительно напряженные до  $0,9\sigma_T$  арматуры.

Все образцы изготовлены из бетона марки 300. Процент армирования: для балок I, IV и V типов  $\mu = 0,3\%$ ; типов II и III  $\mu = 0,21\%$ .

Величина напряжения арматуры в предварительно напряженных балках к моменту испытания составляла: в балках типа III (БГН) —  $0,65 \sigma_B$ , а в балках типа V (БХН) —  $0,5 \sigma_B$ .

Испытания проводились на изгиб двумя сосредоточенными силами, расположенными в третях пролета.

Перед основными испытаниями по три образца каждой серии испытывались статической нагрузкой, в результате чего определялась величина фактической разрушающей нагрузки, прогиба в процессе испытаний и связанные с этим данные по энергоемкости балок. Эти же величины определялись и при основных (динамических) испытаниях.

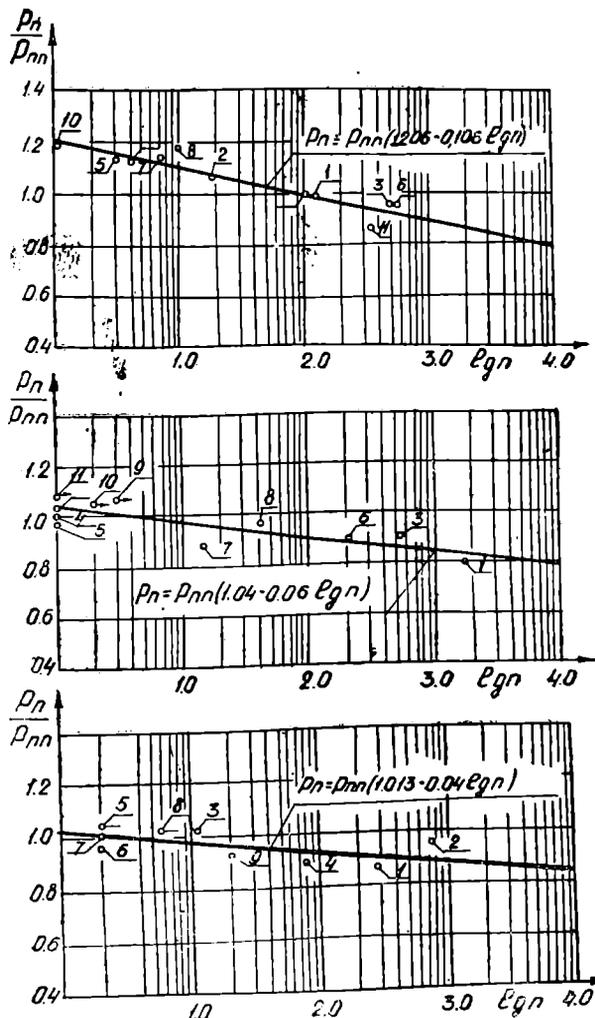


Рис. 1. Результаты динамических испытаний балок; армированных сталью класса: а) — А-I, типа БО<sub>1</sub>, б) — А-III<sub>в</sub>, типов БГО и БГН.

Для моделирования сейсмического воздействия использована установка фирмы «Losenhausenwerk» — SBE, которая давала возможность получить заданную нагрузку при первых же циклах испытания, поддерживать динамическую нагрузку заданной частоты в области небольшого количества циклов и обеспечивать получение перегрузок. При этом в течение всего периода загрузки проводилась запись нагрузки, действующей на образец, и прогибов балки на ленту осциллографа. Нагрузка измерялась динамометром, а прогиб регистрировался динамическим прогибомером.

Таким образом, на ленте осциллографа получалась запись фактической нагрузки, действующей на образец, и прогибов балки. По этим же записям определялось общее количество циклов динамической нагрузки, которое выдержал образец до разрушения.

Разрушение балок как при статических, так и при динамических испытаниях имело сходный характер и происходило вследствие разрыва стержней арматуры.

На рис. 1 представлены некоторые результаты описываемых исследований. Здесь величина  $P_n$  представляет собой среднее значение максимальной динамической нагрузки, действующей на образец в течение всего периода испытаний;  $P_{nn}$  — величина статической разрушающей нагрузки (средняя по трем балкам) для данной серии балок;  $\lg n$  — логарифм числа нагружений, выдержанных образцом до разрушения.

Как видно из рис. 1, прочность рассматриваемых железобетонных элементов при динамических нагрузках в ряде случаев оказывается выше статической прочности этих же элементов. В то же время, сравнивая полученные результаты для разных серий балок, видим, что это превышение для различных образцов неодинаково. В максимальной степени разница проявляется для образцов, армированных сталью марки Ст. 3. У образцов, армированных сталью класса А-III<sub>в</sub>, прочности при однократном быстром приложении нагрузки и при статических испытаниях почти одинаковы.

Оказалось, что зависимость прочности испытанных образцов от логарифма числа нагружений линейны и выражаются уравнениями

$$\begin{aligned} &\text{для балок типа I серии } BO_1 \\ &P_n = P_{nn} (1,21 - 0,106 \lg n); \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} &\text{для балок типа I серии } BO_2 \\ &P_n = P_{nn} (1,10 - 0,08 \lg n); \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} &\text{средняя зависимость для балок типа I} \\ &P_n = P_{nn} (1,155 - 0,0963 \lg n); \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} &\text{для балок типа II} \\ &P_n = P_{nn} (1,04 - 0,06 \lg n); \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} &\text{для балок типа III} \\ &P_n = P_{nn} (1,01 - 0,04 \lg n); \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} &\text{для балок типа IV} \\ &P_n = P_{nn} (1,11 - 0,06 \lg n); \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} &\text{для балок типа V} \\ &P_n = P_{nn} (1,13 - 0,05 \lg n). \end{aligned} \quad (7)$$

Сравнивая серии  $BO_1$  и  $BO_2$  балок, армированных сталью класса А-I, интересно отметить, что отношение динамической прочности к статической выше для балок серии  $BO_1$ . Это объясняется различием прочностных характеристик арматуры разных партий.

Далее, на графиках  $P_n/P_{nn} - \lg n$  некоторые опытные точки снабжены стрелкой, указывающей, что несущая способность этих образцов не исчерпана. Это те балки, которые испытали перегрузки и разрушились не только в результате перегрузочных, но и от действия определен-

ного количества «обычных» циклов нагрузки, поэтому использованные данные не полностью отражали несущую способность этой части образцов.

Следует отметить, что такой подход к установлению экспериментальной зависимости  $P_n/P_{np} - \lg n$  дает несколько преуменьшенное представление о действительной прочности этих образцов.

Сравнивая работу элементов, армированных сталью марок 35ГС и 30ХГ2С, видим, что железобетонные элементы, армированные сталью класса А-IV, лучше ведут себя при динамических нагружениях, чем конструкции, армированные сталью класса А-III<sub>а</sub>, хотя у тех и у других пластические свойства примерно одинаковы.

С целью выяснения причин, вызвавших такой результат, нами проведены дополнительные исследования арматуры этих классов. Эти испытания состояли в том, что выяснялось, как влияет изменение скорости нагружения на работу этих сталей. Испытаны попарно стержни-близнецы из стали 30ХГ2С и 35ГС с разной скоростью нагружения.

Остановимся на результатах испытаний стержней из стали 30ХГ2С.

Оказалось, что хотя изменение скорости нагружения было и не столько значительно (длительность нагружения составляла 1 мин. и 2—3 часа) и практически почти не повлияло на величину временного сопротивления материала, тем не менее оно проявилось в характеристиках деформаций стержней. А именно, при более быстром испытании общие деформации стержня оказались большими, чем при испытании с выдержкой во времени.

Результаты аналогичных испытаний стержней из стали 35ГС оказались менее четкими. В этом случае некоторые из испытанных образцов показывали увеличение деформаций при более быстром нагружении, чем при более медленном. Однако были случаи и с обратными характеристиками. Все же в большинстве случаев (в четырех случаях из пяти испытаний) большие деформации отвечали медленному статическому нагружению.

Переходя к вопросу о том, почему балки БХО и БХН, армированные сталью марки 30ХГ2С, имели повышенную несущую способность при динамических испытаниях по сравнению с их статической прочностью можно высказать следующие соображения.

По-видимому, так же как и при испытаниях самой арматуры, при динамических испытаниях балок, армированных сталью марки 30ХГ2С, их арматура давала большие удлинения, чем при их статическом нагружении. В этом случае следует ожидать, что повышенные деформации арматуры приводили к уменьшению сжатой зоны бетона, следовательно, и к увеличению плеча внутренних сил. Тогда даже при одном и том же пределе прочности арматуры максимальный разрушающий момент балки должен был увеличиться по сравнению с ее статической несущей способностью. Если к тому же учесть, что возможно было также и некоторое увеличение предела прочности арматуры при динамическом нагружении, то общий эффект, по-видимому, и привел к тому увеличению несущей способности балок, которое наблюдалось при испытании.

Балки же типов БГО и БГН относятся к тем образцам, арматура которых не увеличивает прочности и удлинений при динамических испытаниях. Поэтому надо считать, что это явилось причиной того, что при повторных нагружениях прочность их во всех случаях не превышала статической.

Далее, сравнивая уравнения зависимостей прочности исследуемых образцов от количества циклов динамической нагрузки для балок типов БГН и БХН — предварительно напряженных балок и типов БГО и БХО, аналогичных балкам БГН и БХН, но без предварительного напря-

жения, можно заметить, что эти зависимости практически одинаковы. Другими словами, предварительное напряжение не оказывает влияния на прочность железобетонных элементов, работающих в области немногочисленных повторных нагружений.

Как отмечалось выше, часть образцов испытывалась динамической нагрузкой, при которой встречались отдельные перегрузочные циклы. Количество перегрузочных циклов составляло 5% от общего числа нагружений. Эта величина установлена на основании обработки акселерограмм реальных землетрясений (по Ржевскому, 1965 г.).

Понятно, что создать нагрузку, в 2—3 раза превышающую значение статической разрушающей нагрузки, не представлялось возможным в силу того, что образец, работая в пластической стадии, не мог воспринять столь большие усилия. В то же время в реальных условиях сейсмического воздействия нагрузка, по-существу, скорее характеризуется количеством энергии, сообщаемой сооружению, чем величиной силы, так как последняя зависит от деформативности конструкций.

С учетом этого, перегрузки создавались не по «силам», а по «энергии», воспринимаемой опытной балкой при обычном и перегрузочном циклах. Энергия, сообщаемая при перегрузочном цикле, определялась следующим образом.

На диаграмме (средней по трем балкам) зависимости прогиба от нагрузки, полученной в результате статических испытаний, наносилась

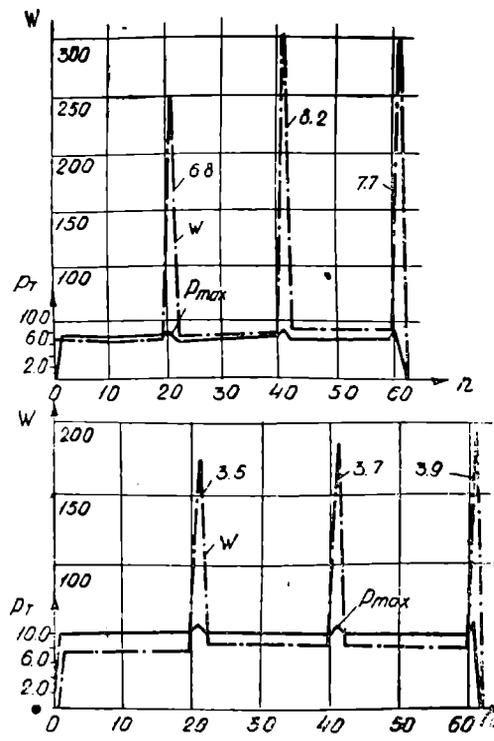


Рис. 2. Сравнение динамической нагрузки, определенной по силе или по энергии, для балок, испытанных с перегрузками (пунктирная линия): а) — балка БО<sub>2</sub>-9; б) — балка БГО-12.

величина нагрузки, действующей за время перегрузочного цикла из предположения, что балка все время работала только в упругой стадии. Тогда работа, затраченная за „пиковый“ цикл, выразится площадью  $F_1$ . Однако, поскольку балка не может воспринять этой нагрузки, она во время перегрузочного цикла, по-видимому, будет испытывать повышенные деформации. Деформации при перегрузке определялись из условия, что количество работы, затраченной при „пиковом“ цикле для упругой и упруго-пластической систем должно быть одинаковым. Поэтому на фактической диаграмме „нагрузка—прогиб“ определялась площадь  $F_2$ , выражающая работу испытываемого образца, равная  $F_1$ .

Величина прогиба  $\Delta l$ , соответствующая площади  $F_1$ , и является величиной деформации, которая задавалась при перегрузке.

Для осуществления перегрузок в секторе механических испытаний ЦНИИСК сконструировано специальное устройство.

При обработке осциллограмм определялось количество работы,

затраченной при каждом цикле динамической нагрузки. Величина перегрузки определялась как отношение количества работы, затраченной при «пиковом» цикле к среднему значению обычного цикла. В отдельных случаях перегрузки, вычисленные подобным образом, достигали значительной величины (отдельные из них превышали средние значения в 5—6 и более раз). Для примера на рис. 2 показан характер изменения величины нагрузки в процессе нагружения для балок БО<sub>2</sub>-9 и БГО-12. Сплошная линия выражает характер изменения нагрузки по «силам» в тоннах.

Как видно из рисунка, если оценку вести по силам, то перегрузочное значение всего на 20—30% превышает среднее значение нагрузки. В то же время энергоемкость «пикового» цикла значительно (более чем в 3 раза) превышает энергоемкость «обычного».

Как и следовало ожидать, «пиковые» циклы оказали определенное влияние на несущую способность исследуемых железобетонных балок. При этом, конечно, прочность образцов, подверженных действию перегрузок, снижалась по сравнению с прочностью образцов, испытание которых проводилось на обычную динамическую нагрузку с постоянной амплитудой изменения пределов нагрузки.

При обработке осциллограмм обязательно подсчитывалась работа, затраченная при каждом перегрузочном цикле, что давало возможность определить общее количество работы, затраченной только во время перегрузочных циклов.

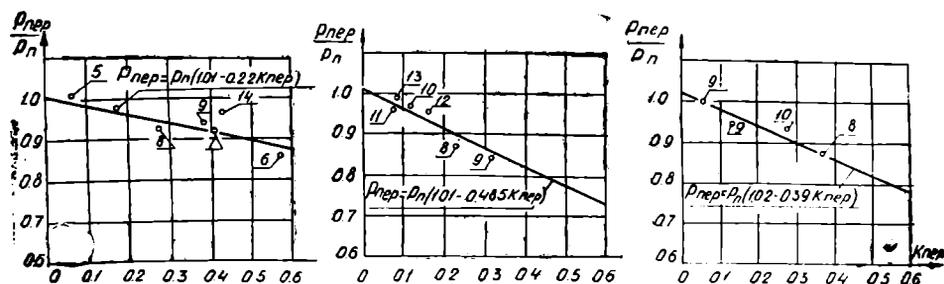


Рис. 3. Зависимость прочности от объема энергии, затраченной при перегрузках для балок, армированных сталью класса: а) — А-I; б) — А-III<sub>в</sub>; в) — А-IV.

Для установления зависимости прочности испытанных балок от величины и количества перегрузочных циклов, полученные результаты нанесены на рис. 3, где по оси ординат отложены величины  $P_{пер}/P_{н}$ , а оси абсцисс — значение коэффициента перегрузки  $K_{пер}$ , где величина  $P_{пер}/P_{н}$  представляет собой отношение фактической прочности образца, выдержавшего перегрузку, к прочности этого же образца для случая, если бы он был испытан без перегрузок. Значение  $P_{н}$  определялось по формулам (1—7), выражающим зависимость прочности данной серии балок от логарифма числа нагружений.

Как видно из рис. 3, общий объем работы, затраченной при перегрузочных циклах, оказывает существенное влияние на прочность исследуемых образцов. Причем чем больше величина  $K_{пер}$ , то есть чем выше интенсивность перегрузки, тем больше снижение прочности как обычных, так и предварительно напряженных железобетонных балок.

Судя по приведенным графикам, снижение прочности образцов находится в линейной зависимости от объема энергии, затраченной на их разрушение при перегрузках.

Прочность балок, испытавших перегрузки, может быть представлена формулами:

для балок типа I

$$P_{\text{пер}} = P_n (1,00 - 0,22 K_{\text{пер}}) \quad (8)$$

для балок типов II и III

$$P_{\text{пер}} = P_n (1,00 - 0,485 K_{\text{пер}}) \quad (9)$$

для балок типов IV и V

$$P_{\text{пер}} = P_n (1,00 - 0,39 K_{\text{пер}}) \quad (10)$$

Сравнивая уравнения (8)—(10), полученные для элементов, армированных разными сталями; можно сказать, что перегрузки по-разному влияют на снижение прочности этих образцов. Так, балки, армированные сталью класса А-I, подвержены действию перегрузок в меньшей степени, чем образцы, армированные сталями меньшей пластичности. Такова качественная сторона этого вопроса.

Если рассматривать действие перегрузок в объеме, обычном для землетрясений, то количество энергии перегрузочных циклов может составить 60—70% всей энергии, сообщаемой конструкции. Если принять  $K_{\text{пер}}=0,7$ , то прочность балок, арматурой которых является сталь класса А-I, составит 0,85  $P_n$ , элементов, выполненных из арматуры класса А-III<sub>в</sub>, — 0,67  $P_n$ , а образцов, армированных сталью класса А-IV, — 0,73  $P_n$ .

Таким образом, и количественная оценка возможного снижения прочности железобетонных образцов при действии динамической нагрузки типа сейсмической показывает, что действие перегрузок на железобетонные образцы, армированные разными сталями, неодинаково. Если снижение прочности балок, армированных сталью класса А-I, достигает лишь 10—15%, то для образцов, армированных сталями классов А-III<sub>в</sub> и А-IV, это снижение довольно значительно — до 30%.

Из приведенных данных видно, что наличие пиковых циклов при землетрясении существенно сказывается на прочности элементов и, по-видимому, следует считаться с этим фактором. Особенно опасны перегрузки для элементов, армированных сталью класса А-III<sub>в</sub>.

Для оценки количества работы, необходимой для разрушения железобетонного элемента, на основе экспериментов были установлены предельные значения углов поворота в пластичном шарнире перед самым разрушением образцов. Такой принцип оценки несущей способности конструкций при динамическом их нагружении был предложен А. А. Гвоздевым еще в 1943 г. [4].

Оказалось, что предельный угол поворота в шарнире пластичности при статических испытаниях для балок I типа  $\varphi=0,13$ , II и III типов  $\varphi=0,05$ ; IV и V типов  $\varphi=0,017$ , а при динамических испытаниях соответственно  $\varphi=0,15$ ; 0,7 и 0,02.

Сравнивая величины углов поворота в пластическом шарнире при действии динамической и статической нагрузок, можно сказать, что рассматриваемые железобетонные образцы обладают способностью в большей мере сопротивляться действию динамической нагрузки, чем статической.

## Выводы

1. Прочность железобетонных элементов при динамических нагрузках типа сейсмических при малом числе нагружений в ряде случаев была выше статического предела прочности.

2. Зависимость между прочностью и логарифмом числа нагружений для всех типов балок может быть принята линейной и выражаться уравнениями (1)—(7).

3. Сопоставление зависимостей (4), (5) и (6, 7) показывает, что они практически одинаковы, то есть предварительное напряжение не сказывается влияния на прочность железобетонных элементов, армированных сталями классов А-III<sub>в</sub> и А-IV, работающих в области немногочисленных повторных нагружений.

4. При действии перегрузок несущая способность железобетонных элементов снижается. При этом снижение прочности при действии перегрузок находится в линейной зависимости от количества энергии, затраченной на разрушение при перегрузочных циклах ( $K_{пер}$ ).

5. Количество работы, необходимое на разрушение балок, испытанных при динамическом нагружении, оказалось выше энергии, затраченной на разрушение образцов, испытанных статической нагрузкой.

Туркменский политехнический  
институт

Поступило  
8 декабря 1965 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Корчинский И. Л. — Бетон и железобетон, № 1, 1965.
2. Prestressed Concrete Institute, June 1964, Vol. 10, № 6.
3. WGEE. Third World Conference on Earthquake Engineering January 22—February 2.
4. Гвоздев А. А. — Строительная промышленность, № 1—2, 1943.

УДК 541. 123.7+546.32.33.46.131+546.32.33.46.226

О. Д. КАШКАРОВ  
Г. М. САПАРОВ

### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ РАВНОВЕСИЙ ПРИ ИЗОТЕРМИЧЕСКОМ ИСПАРЕНИИ В СИСТЕМЕ ( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ ), ( $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ ), $\text{H}_2\text{O}$ при $70^\circ\text{C}$ ( $343,2^\circ\text{K}$ )

В отличие от предыдущих исследований [1, 2], мы исследовали инконгруэнтные твердые фазы, солевой состав которых, как известно, не совпадает с солевым составом растворов, находящихся в равновесии с ними. Это обстоятельство привело к необходимости испарять сравнительно большое количество синтетических растворов, так как обычно не удавалось использовать одну и ту же исходную жидкую фазу для получения более чем одного раствора, насыщенного относительно четырех солей.

Таким образом, экспериментальная часть работы состояла в изотермическом испарении четырнадцати растворов (№ 6—19), из которых десять относятся к системе ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ), ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ),  $\text{H}_2\text{O}$ ; один к системе ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ),  $\text{H}_2\text{O}$ ; один к системе ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{M}^{2+}$ ) ( $\text{Cl}^-$ ),  $\text{H}_2\text{O}$  и два — к системе ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ), ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ),  $\text{H}_2\text{O}$ .

Полученные аналитические данные, включая результаты определения состава твердых фаз, приведены в табл. 1, послужившей основанием для последующей обработки экспериментального материала.

На основании экспериментальных данных и данных [1] построена (рис. 1) основная проекция изотермической модели, на которой наши наблюдения сопоставлены с результатами исследования стабильных равновесий.

Так как мы не располагаем экспериментальными данными по стабильным равновесиям в изучаемой системе при  $70^\circ$  ( $343,2^\circ\text{K}$ ), то мы определили координаты инвариантных точек путем интерполяции результатов работы Е. Ф. Соловьевой [3], изучавшей стабильные равновесия при  $65^\circ$  ( $338,2^\circ\text{K}$ ), и вероятных значений растворимости при  $75^\circ$  ( $348, 2^\circ\text{K}$ ), заимствованных из справочника по растворимости солевых систем [4]. При этом нам пришлось нанести на диаграмму стабильных равновесий изобразительные точки состава инвариантных растворов, насыщенных относительно галита, наонасульфата, глазерита и тенардита, а также галита, наонасульфата, глазерита и вантгоффита ( $3 \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4$ ) на основании исследований [3] при  $65^\circ$ , так как экспериментальных данных для других температур в литературе нет.

Основная проекция треугольной диаграммы метастабильных равновесий исследуемой пятикомпонентной системы состоит из 11 полей совместной кристаллизации сульфатов и хлоридов калия, магния и натрия с объемом кристаллизации галита (рис. 1).

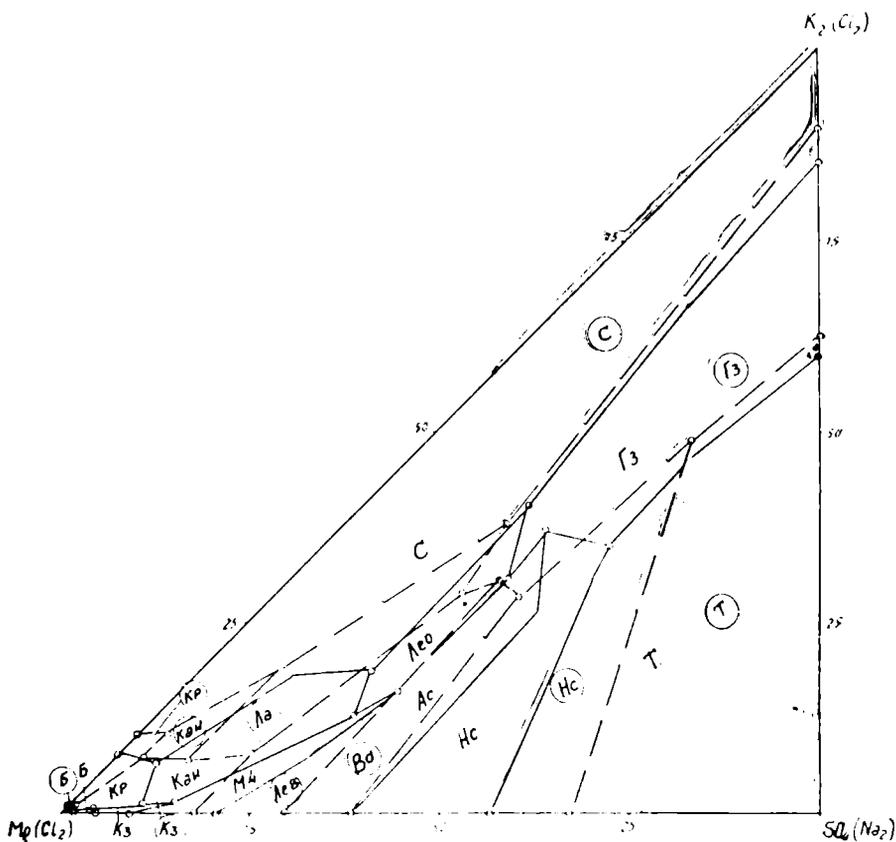


Рис. 1. Графическое сопоставление диаграмм стабильных и метастабильных равновесий системы  $(\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Mg}^{2+}), (\text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}), \text{H}_2\text{O}$  при  $70^\circ\text{C}$  в присутствии твердой фазы галита. — границы между полями при метастабильных равновесиях; --- границы между стабильными полями; в кружках—названия твердых фаз, соответствующих стабильным равновесиям.

При сравнении результатов, полученных при изотермическом испарении и исследованиях стабильных равновесий, мы убеждаемся в том, что при изотермическом испарении возникают метастабильные равновесия, как правило, точки и линии не совпадают. На диаграмме, построенной по данным изотермического испарения, есть поля леонита, астраханита и тетрагидрата с галитом, отсутствующие на диаграмме стабильных равновесий. Кроме того, на диаграмме метастабильных равновесий отсутствуют поля ленгбейнита  $(\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4)$ , левента  $(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$  и вантгофита с галитом, присутствующие на диаграмме стабильных равновесий. Наблюдаются также различия в размерах и местоположении отдельных полей. Все это приводит к выводу, что при испарении растворов в системе  $(\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Mg}^{2+}), \text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}), \text{H}_2\text{O}$  наблюдаются не стабильные, а метастабильные равновесия и, следовательно, для расчета таких процессов следует пользоваться не стабильной, а метастабильной диаграммой.

Изотермическая диаграмма пятерной системы ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ),  $\text{H}_2\text{O}$  представляет собою четырехмерную фигуру, для полного представления о которой требуется не менее трех проекций. До сих пор мы разбирали одну из них, основную. Конечно, одна эта проекция диаграммы не может показать все различия между диаграммами стабильных и метастабильных равновесий в столь сложной системе. Однако наши выводы могут быть полностью распространены на пространственную модель в целом, путем сопоставления натронной и водной проекций стабильной и метастабильной пространственной модели или путем нанесения изолиний концентраций воды и натрия на основную проекцию (рис. 2 и 3). На рисунках показаны концентрации воды и натрия, соответствующие метастабильным растворам, насыщенным относительно не менее двух солей, одной из которых всегда будет  $\text{NaCl}$ .

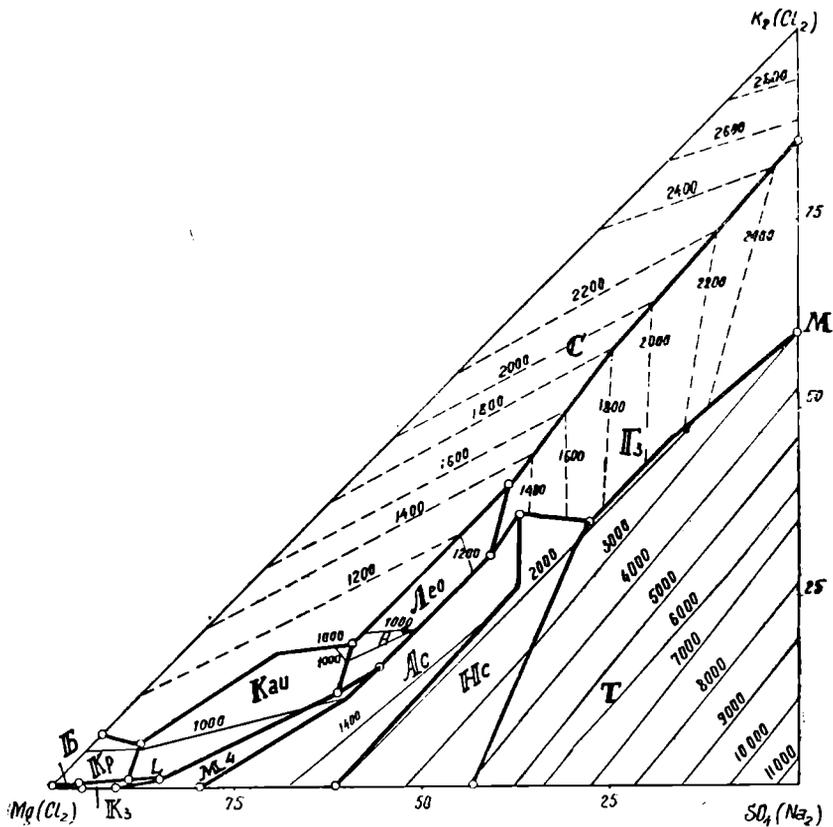


Рис. 2. Изотермическая метастабильная диаграмма системы ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ),  $\text{H}_2\text{O}$  при  $70^\circ\text{C}$  с нанесением изолиний содержаний воды.

Такая комбинация двух диаграмм дает достаточно полное представление о метастабильной изотермической диаграмме изучаемой системы (при  $70^\circ$ ) и может быть использована для определения полного состава рассолов, отвечающих заданным условиям. Действительно, пользуясь рис. 2 и 3, можно определить состав любого раствора при метастабильных равновесиях исследуемой системы при  $70^\circ$  следующим образом:

с помощью рис. 2 определяем концентрации  $K_2$ ,  $Mg$ ,  $SO_4$  в эквивалент-процентах и содержание  $H_2O$  в индексах  $\left(\frac{M H_2O}{100 \text{ экв.}}\right)$ ; с помощью

рис. 3 определяем концентрации  $Na_2$  в индексах  $\frac{Na_2}{100 \text{ экв.}}$ ;

зная, что  $K_2 + Mg + Na_2 = Cl_2 + SO_4$ , определяем концентрацию  $Cl_2$ .

Таким образом, получаем состав любого раствора, состоящего из пяти компонентов и воды.

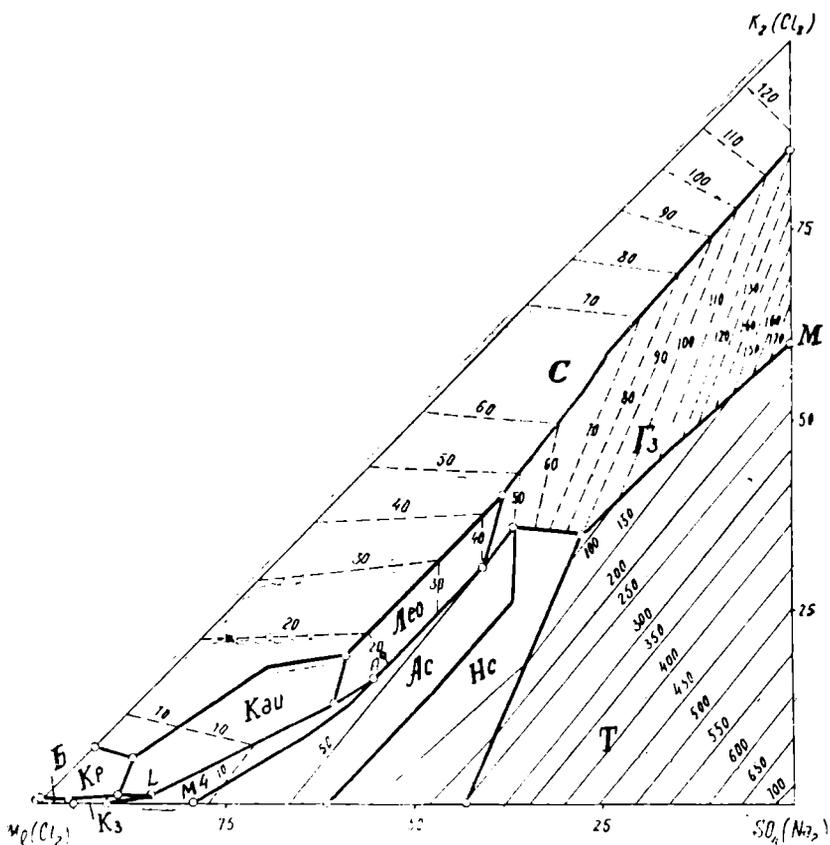


Рис. 3. Изотермическая метастабильная диаграмма системы  $(Na^+, K^+, Mg^{2+}), (Cl^-, SO_4^{2-}), H_2O$  при  $70^\circ C$  с нанесением изолиний концентраций натрия.

Большой практический интерес представляет вопрос о том, какие равновесия (стабильные или метастабильные) наблюдаются при выпарке в заводских условиях. Теоретически, исходя из того, что в заводских условиях выпарка происходит быстро и сопровождается кипением, следует ожидать метастабильных равновесий. Однако до настоящего времени не были известны экспериментальные данные, подтверждающие это положение.

Мы имели возможность ознакомиться с выпаркой рассолов, относящихся к исследуемой системе при  $78^\circ C$ , которая производится в цехе Калужского калийного комбината. В табл. 2 приводятся результаты выпарки так называемого маточного шенитового щелока в аппаратах погружного горения.

Составы жидких фаз, полученных при изотермическом испарении растворов при 70°C

Наименование фаз	Номера растворов	Состав (вес. %)					Индексы для диаграммы $2K + Mg^{++} + SO_4 = 100$					Твердые фазы	
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H <sub>2</sub> O	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sub>2</sub>		H <sub>2</sub> O
Исходный раствор	6	8,06	2,55	0	12,14	3,54	73,71	47,05	0	52,95	252,08	6882	
Жидкая фаза в н. к.	6	10,30	3,36	0	15,98	4,00	66,36	50,83	0	49,17	264,25	4351	
Жидкая фаза 1	6	9,65	5,38	0	16,51	4,39	64,09	59,98	0	40,02	183,63	3117	Г + Г <sub>3</sub> + Т
Исходный раствор	7	7,47	2,34	0,27	11,14	4,44	74,34	31,29	12,73	52,98	186,12	4736	
Жидкая фаза в н. к.	7	9,40	3,83	0,53	15,85	4,95	65,44	40,02	17,84	42,14	167,18	2974	Г + Г <sub>3</sub> + Т
Жидкая фаза 1	7	8,47	5,92	0,68	15,99	5,99	62,95	45,60	16,82	37,58	141,03	2109	
Жидкая фаза 2	7	7,28	6,31	1,09	16,21	5,31	63,80	44,60	24,80	30,60	87,54	1961	Г + Г <sub>3</sub>
Жидкая фаза 3	7	5,83	8,32	1,43	17,50	4,35	63,57	50,47	28,02	21,51	60,16	1676	
Исходный раствор	8	7,34	1,27	0,32	9,04	5,92	75,11	17,82	14,41	67,77	175,46	4651	
Жидкая фаза в н. к.	8	9,66	2,14	0,51	14,91	4,62	68,16	28,35	21,70	49,95	228,45	3932	
Жидкая фаза 1	8	10,56	3,52	0,84	17,45	6,06	61,57	31,56	24,19	44,25	160,93	2398	Г + Т
Жидкая фаза 2	8	8,49	4,43	1,05	15,76	5,99	64,28	34,90	26,63	38,47	113,74	2201	Г + Т + Hc
Жидкая фаза 3	8	8,28	5,40	1,32	16,28	7,09	61,63	35,01	27,55	37,44	91,32	1737	Г + Т + Г <sub>3</sub> + Hc
Жидкая фаза 4	8	7,24	5,82	1,48	16,09	6,34	63,03	36,96	30,25	32,79	78,14	1739	Г + Г <sub>3</sub> + Hc
Жидкая фаза 5	8	5,80	7,12	2,24	17,10	6,55	61,19	36,15	36,75	27,10	50,05	1350	Г + Г <sub>3</sub> + Hc + Ac
Исходный раствор	9	8,21	1,05	0,43	11,49	4,56	74,26	17,07	22,42	60,51	227,26	5256	
Жидкая фаза в н. к.	9	10,14	1,58	0,61	15,51	4,52	67,64	21,89	27,19	50,92	238,78	4071	
Жидкая фаза 1	9	9,86	2,07	0,73	15,53	4,98	66,83	24,40	27,73	47,87	198,05	3421	Г + Т
Жидкая фаза 2	9	9,26	2,82	0,89	15,60	5,19	66,24	28,35	29,13	42,52	158,89	2898	Г + Т + Hc
Жидкая фаза 3	9	8,22	3,97	1,18	15,39	5,86	65,38	31,65	30,27	38,08	111,48	2267	
Жидкая фаза 4	9	6,66	6,67	1,85	15,15	8,89	60,78	33,56	29,97	36,47	56,99	1329	
Средняя жидкая фаза								31,19	29,79	39,02	109,12	2161	Г + Т + Hc
Исходный раствор	10	5,98	2,33	0,79	10,44	4,34	76,12	27,65	30,26	42,09	121,04	3937	
Жидкая фаза в н. к.	10	9,28	3,54	1,37	14,97	8,87	61,97	23,31	29,09	47,60	104,02	1775	
Жидкая фаза 1	10	6,81	5,45	1,90	15,20	7,86	62,78	30,33	34,03	35,64	64,48	1519	Г + Hc + Ac
Жидкая фаза 2	10	5,07	6,58	2,72	15,99	7,75	61,89	30,62	40,74	28,64	40,11	1249	Г + Г <sub>3</sub> + Ac + Лео
Исходный раствор	11	7,19	1,43	0,70	11,50	3,96	75,22	20,64	32,65	46,71	177,21	4736	
Жидкая фаза в н. к.	11	8,57	2,93	1,33	15,25	6,10	65,82	24,09	35,13	40,78	119,65	2348	
Жидкая фаза 1	11	7,83	3,92	1,69	15,48	6,84	64,20	26,21	36,34	37,45	89,01	1865	Г + Ac + Hc
Жидкая фаза 2	11	6,36	5,84	2,51	15,22	9,77	60,30	26,57	37,22	36,21	49,21	1193	
Жидкая фаза 3	11	4,92	6,37	2,92	16,32	7,56	61,91	29,04	42,85	28,11	38,13	1226	Г + Лео + Ac
Исходный раствор	12	9,00	0,63	0,79	13,77	4,03	71,78	9,82	39,69	50,79	237,09	4833	
Жидкая фаза в н. к.	12	10,12	1,01	1,37	14,76	7,79	64,95	8,58	37,46	53,96	146,37	2401	
Жидкая фаза 1	12	8,39	1,65	1,91	14,92	6,86	66,27	12,33	45,91	41,76	106,48	2150	Г + Hc

Жидкая фаза 2	12	6,49	2,59	2,78	14,18	8,54	65,42	14,00	48,39	37,61	61,05	1537	Г + Нс + Ас
Жидкая фаза 3	12	4,47	4,39	4,03	15,65	9,44	62,02	17,52	51,78	30,70	32,35	1076	Г + Ас
Исходный раствор	13	5,45	1,48	1,85	11,00	5,59	74,63	12,34	49,67	37,99	77,28	2706	
Жидкая фаза в п. к.	13	6,06	2,40	3,10	14,29	8,48	65,67	12,46	51,72	35,82	53,42	1485	
Жидкая фаза 1	13	4,07	3,91	4,27	15,84	8,72	63,19	15,79	55,51	28,69	27,93	1109	Г + Ас + М4
Жидкая фаза 2	13	2,96	4,77	5,18	16,24	10,52	60,33	15,88	55,54	28,58	16,77	873	Г + М4 + Лео + Ас
Исходный раствор	14	5,95	0,42	2,13	11,69	5,55	74,26	3,52	58,13	38,35	81,16	2737	
Жидкая фаза в н. к.	14	6,13	1,02	3,68	14,44	8,99	65,74	5,04	58,68	36,28	51,62	1425	
Жидкая фаза 1	14	3,16	1,95	5,23	16,00	7,96	65,70	7,70	66,63	25,67	21,26	1133	Г + М4 + Ас
Жидкая фаза 2	14	1,63	1,32	7,00	17,86	8,48	63,71	4,30	73,25	22,45	9,00	899	"
Исходный раствор	15	5,01	0,96	1,86	10,72	4,46	76,99	9,09	56,54	34,37	80,48	3161	
Жидкая фаза в п. к.	15	6,91	1,65	2,83	14,86	7,50	66,25	9,78	54,01	36,21	69,63	1683	
Жидкая фаза 1	15	3,93	3,40	4,82	16,43	9,17	62,25	12,90	58,79	28,31	95,32	1025	Г + М4 + Ас
Жидкая фаза 2	15	2,51	3,94	5,84	17,09	9,99	60,63	12,74	60,90	26,36	13,84	854	Г + Каи + Лео + М4
Исходный раствор	16	1,50	0,84	4,38	12,55	4,45	76,28	4,51	75,94	19,55	13,73	1786	
Жидкая фаза в н. к.	16	1,63	1,47	6,94	19,13	6,71	61,12	5,03	76,30	18,67	9,45	952	
Жидкая фаза 1	16	1,00	0,35	8,25	22,01	5,31	63,68	1,13	85,02	13,85	5,43	898	Г + М4 + Каи + Кз
Жидкая фаза 2	16	0,69	0,32	9,12	25,03	3,93	60,91	0,98	89,29	9,73	3,57	805	Г + Каи + Кр + Кз
Жидкая фаза 3	16	0,54	0,66	9,83	28,35	1,61	59,61	0,19	95,83	3,98	2,77	785	Г + Кр + Кз + В
Исходный раствор	17	0,52	0,74	4,72	15,24	0	78,78	4,66	95,34	0	5,54	2148	
Жидкая фаза в н. к.	17	1,61	1,08	6,89	23,55	0	66,87	4,64	95,36	0	11,77	1249	
Жидкая фаза 1	17	0,31	0,15	9,31	27,77	0	62,46	0,52	99,48	0	1,74	901	Г + Кр + Б
Исходный раствор	18	7,87	0	0,33	9,43	4,96	77,41	0	20,74	79,26	262,67	6605	
Жидкая фаза в п. к.	18	11,03	0	0,43	14,77	4,86	68,65	0	25,92	74,08	352,85	5600	
Жидкая фаза 1	18	10,65	0	0,58	15,03	4,18	69,56	0	35,36	64,64	343,98	5742	Г + Т
Жидкая фаза 2	18	10,60	0	0,76	15,04	4,47	68,83	0	38,61	61,39	285,14	4732	"
Жидкая фаза 3	18	10,62	0	0,96	15,51	4,96	67,95	0	43,36	56,64	253,34	4145	Г + Т + Нс
Жидкая фаза 4	18	10,16	0	1,23	15,20	5,49	67,92	0	46,98	53,62	205,01	3503	Г + Нс
Жидкая фаза 5	18	9,06	0	1,66	14,96	5,22	69,10	0	55,71	44,29	155,16	3131	"
Жидкая фаза 6	18	7,63	0	2,68	14,69	6,64	68,36	0	61,45	38,55	92,36	2115	Г + Нс + Ас
Исходный раствор	19	4,97	0	2,55	12,09	4,08	76,31	0	68,54	31,46	79,94	3178	
Жидкая фаза в н. к.	19	7,21	0	3,56	16,85	6,29	66,09	0	69,10	30,90	73,92	1732	
Жидкая фаза 1	19	5,42	0	5,61	14,92	9,07	66,98	0	70,95	29,05	22,34	1143	Г + Ас
Жидкая фаза 2	19	2,10	0	6,76	16,97	8,08	66,09	0	76,79	23,21	12,58	1013	"
Жидкая фаза 3	19	1,19	0	8,17	19,54	8,30	62,80	0	79,56	20,44	6,10	825	Г + Ас + М4
Жидкая фаза 4	19	0,69	0	8,89	24,39	3,52	62,50	0	90,86	9,14	3,73	862	Г + М4 + Кз
Жидкая фаза 5	19	0,05	0	10,13	28,18	1,95	59,69	0	95,36	4,64	0,26	758	Г + Кз ± Б

ПРИМЕЧАНИЕ. Здесь и на рис. 1, 2, 3 приняты следующие сокращения: Г — галит (NaCl); С — сильвин (KCl); Гз — глазерит (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·3K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>); Лео — леонит (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·MgSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O); Каи — кайнит (KCl·MgSO<sub>4</sub>·3H<sub>2</sub>O); Кр — карналлит (KCl·MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O); Б — бишофит (MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O); М4 — тетрагидрат (MgSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O); Ас — астраханит (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·MgSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O); Т — тенардит (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>); Нс — нонасульфат (9Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·MgSO<sub>4</sub>·3NaCl); Кз — кизерит (MgSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O).

Аналитические данные по выпарке маточного шенитового щелока в заводских условиях при 78°C (по Ю. Н. Лунькову и др.)

Наименование	Состав в индексах				
	K <sub>2</sub> +	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sub>2</sub> +	H <sub>2</sub> O
Исходный маточный шенитовый щелок	20,18	58,26	26,56	37,12	1638
Щелок после выпарки	20,23	53,83	25,94	24,63	1062
Твердая фаза получения при выпарке	20,50	51,64	27,86	1490	739

На диаграмме метастабильных равновесий при 70°C изобразительная точка А состава исходного рассола находится в поле леонита с галитом (рис. 2 и 3). На диаграмме стабильных равновесий при 75°C мы находим ее в поле левеита с галитом и кристаллизация левеита с галитом в условиях стабильных равновесий должна была начаться при содержаниях  $1750 \frac{M_{H_2O}}{100 \text{ экв.}}$  и  $65 \frac{Na_2}{100 \text{ экв.}}$ .

Для 78°C полной диаграммы метастабильных равновесий построить нельзя.

Однако, по данным исследования О. Д. Кашкарова с сотрудниками, можно построить небольшой участок диаграммы метастабильных равновесий при 90°C [5], внутри которого мы находим изобразительную точку состава раствора. Она находится в метастабильном поле каинита с галитом и в этом случае совместная кристаллизация смеси каинита с галитом началась бы при  $1000-900 \frac{M_{H_2O}}{100 \text{ экв.}}$  и  $20 \frac{Na_2}{100 \text{ экв.}}$ .

Исходя из местоположения изобразительной точки состава маточного раствора на рис. 2 и 3, находим, что метастабильная кристаллизация леонита с галитом при 343,2°K возможна при  $1000 \frac{M_{H_2O}}{100 \text{ экв.}}$  и

$20 \frac{Na_2}{100 \text{ экв.}}$ . Следовательно, пока содержания воды и натрия в рас-

творе будут больше  $1000 \frac{M_{H_2O}}{100 \text{ экв.}}$  и  $20 \frac{Na_2}{100 \text{ экв.}}$  при метаста-

бильном равновесии должна иметь место только кристаллизация галита.

В заводских условиях происходила только кристаллизация галита, а после его отделения маточный раствор имел следующие концентрации:  $1062 \frac{M_{H_2O}}{100 \text{ экв.}}$  и  $24,63 \frac{Na_2}{100 \text{ экв.}}$ .

Отсюда мы сделаем вывод, что процесс выпарки рассолов морского типа в заводских условиях сопровождается развитием устойчивых метастабильных равновесий в полном соответствии с данными лабораторных опытов по изотермическому испарению.

## Выводы

1. Изучены области кристаллизации хлоридов и сульфатов калия, магния и натрия в условиях метастабильных состояний при испарении рассолов системы  $(\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Mg}^{2+})$ ,  $(\text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-})$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  при  $70^\circ\text{C}$  ( $343,2^\circ\text{K}$ ).

2. Построена полная диаграмма метастабильных состояний в системе  $(\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Mg}^{2+})$ ,  $(\text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-})$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  при  $70^\circ\text{C}$  ( $343,2^\circ\text{K}$ ), соответствующая условиям изотермического испарения растворов при постоянном перемешивании.

3. Установлено, что на диаграмме метастабильных равновесий изучаемой системы присутствуют поля совместной кристаллизации леонита, астраханита и тетрагидрата с галитом, которых нет на стабильной диаграмме и отсутствуют поля совместной кристаллизации лангбейнита, вантгоффита и левеита с галитом, присутствующие на диаграмме стабильных равновесий.

4. Контуры и местоположение области кристаллизации отдельных солей на диаграмме стабильных состояний существенно отличаются от тех, которые наблюдаются на диаграмме метастабильных состояний.

5. Для технологических расчетов построена диаграмма метастабильных равновесий в системе  $(\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Mg}^{2+})$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  при  $70^\circ\text{C}$  изолиниями концентраций натрия и воды.

6. Выпарка растворов, относящихся к системе  $(\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Mg}^{2+})$ ,  $(\text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-})$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , как правило, сопровождается развитием метастабильных равновесий в полном соответствии с диаграммой метастабильных равновесий.

Всесоюзный научно-исследовательский  
институт галургии  
Институт химии  
АН Туркменской ССР

Поступило  
23 декабря 1965 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кашкаров О. Д., Сапаров Г. М. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 6, 1964.
2. Кашкаров О. Д., Сапаров Г. М. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 1, 1964.
3. Соловьева Е. Ф. — Тр. ВНИИГ, вып. XXXVI, стр. 68, 1959.
4. Здановский А. Б., Ляховская Е. И., Шлеймович Р. Э. — Справочник по растворимости солевых систем, т. II. Госхимиздат, 1954.
5. Кашкаров О. Д., Зитар Э. А., Храброва Н. И., Грязина Е. Я., Коробочкина Т. В. — Тр. ВНИИГ, вып. XXXVI, стр. 229, 1959.

Б. А. ХАНМУРАДОВ

Г. Г. АШУМОВ  
Ю. А. БЕДОВ  
А. А. СУЧКОВА  
Р. М. АГАЕВА

## ПАРАФИНОВЫЕ И АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В КОТУР-ТЕПИНСКОЙ НЕФТИ

Котур-тепинская нефть является одной из новых и перспективных в Туркменской ССР. Рациональное использование этой нефти и ее производных для получения различных топлив и масел, а также в качестве исходного сырья при производстве новых видов химических продуктов возможно при наличии данных об ее углеводородном составе. В связи с этим исключительно важное значение приобретают исследования в области разработки методов выделения и изучения строения нефтяных углеводородов.

Как известно, в настоящее время наиболее подробно изучен углеводородный состав бензинов прямой гонки.

Углеводородный состав средних фракций нефтей, в частности Туркмении, мало изучен [1, 2].

В настоящем сообщении излагаются результаты исследования индивидуального состава моно-, бициклических ароматических углеводородов, а также н. парафинов, выделенных из фракции 157—272°C котур-тепинской нефти.

Указанная фракция получалась атмосферно-вакуумной перегонкой сортовой индивидуальной котур-тепинской нефти [3] на опытной базе института.

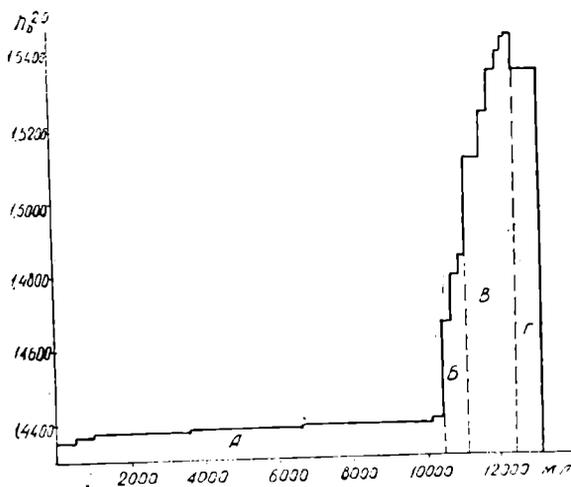


Рис. 1. Хроматографическое разделение на алюмосиликате фракции 157—272°C котур-тепинской нефти. А—нафтено-парафиновая фракция; Б—промежуточная фракция; В—ароматическая фракция; Г—ароматическая фракция (окрашенная).

Выделялись ароматические углеводороды из исследуемой фракции

адсорбционным методом на металлической трехступенчатой колонне из нержавеющей стали высотой 12 м. В качестве адсорбента использовалась крошка алюмосиликатного катализатора размером зерен 60—100 меш. Десорбентом служил безводный изопропиловый спирт.

Хроматограмма разделения приведена на рис. 1.

Нормальные парафиновые углеводороды из деароматизированной фракции выделялись методом комплексообразования с карбамидом. Соотношение карбамида к сырью принято 1:1.

Активатором служил метиловый спирт.

Таблица 1

Физико-химические свойства групп углеводородов, выделенных из фракции 157—272° котур-тепинской нефти

Продукты	Выход на нефть, % вес.	$\rho_4^{20}$	$n_D^{20}$	$\gamma_{20}$	М. В.	Температура застывания, °С
Исходная фракция	27,0	0,8166	1,4536	2,15	175	—48
Деароматизированная фракция	21,7	0,7937	1,4382	1,9	173	—44
Деароматизированная и депарафинированная фракции	16,7	0,8068	1,4435	2,00	174	—60 дв.
Фракция ароматических углеводородов	3,2	0,9081	1,5200	2,10	152	—60 дв.
Фракция n-парафиновых углеводородов	5,0	0,7365	1,4145	1,51	169	—28

В табл. 1 приведены физико-химические свойства исходной, деароматизированной, депарафинированной фракций, а также выделенных ароматических и n. парафиновых углеводородов.

Полученные ароматические углеводороды для разделения по структурным типам подвергались элюентной хроматографии (рис. 2) на окиси алюминия размерами зерен 60—100 меш. по описанной методике [4].

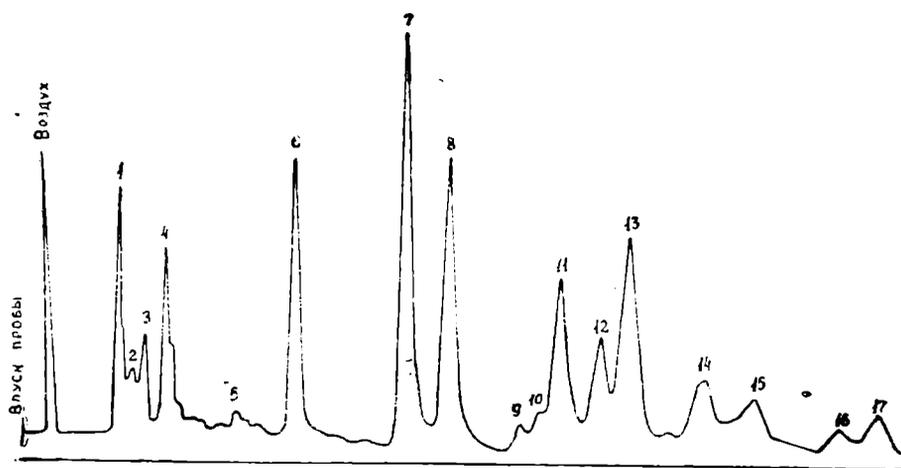


Рис. 2. Хроматограмма бициклических ароматических углеводородов керосина котур-тепинской нефти. 1—5—пики неарасшифрованные; 6—нафталин; 7—3-метилнафталин; 8—2-метилнафталин; 9—3-этилнафталин; 10—2-этилнафталин; 11—2,6-; 2,7-диметилнафталин; 12—1,7-; 1,3-диметилнафталин; 13—1,6-диметилнафталин; 14—1,4, 1,5-; 2,3-диметилнафталин; 15—1,2-диметилнафталин; 16—неарасшифрованный; 17—1,8-диметилнафталин.

В ароматической части исследуемого керосина моноциклических ароматических углеводородов в три с лишним раза больше, чем бициклических (табл. 2). Моноциклические ароматические углеводороды для упрощения состава фракционировались под вакуумом на колонке эффективностью 40 теоретических тарелок. Получено 24 узких фракций.

Таблица 2

Выход и качества моно- и бициклических ароматических углеводородов керосина котур-тепинской нефти

Группа углеводородов	Выход, вес. %		$\rho_4^{20}$	$n_D^{20}$	$\gamma_{20}$	Молекулярный вес
	на исходное количество	на суммарный выход				
Нафто-парафиновые	2,3	2,5	0,8287	1,4550	2,59	171
Моноциклические ароматические	65,4	74,0	0,8868	1,5035	2,02	154
Промежуточная фракция	1,6	1,8	0,9374	1,5430	2,55	169
Бициклические ароматические	19,1	21,7	0,9797	1,5860	3,17	158
Потери при хроматографии	11,6					

Таблица 3

Состав моноциклических ароматических углеводородов керосина котур-тепинской нефти

Углеводороды	Содержание, %	
	на моноциклическую ароматическую часть	на ароматическую часть керосина
Этилбензол	0,037	0,024
п-ксилол	0,057	0,037
м-ксилол	0,096	0,063
о-ксилол или изопропилбензол	0,179	0,117
н. пропилбензол	0,339	0,222
1-метил-4-этилбензол	0,375	0,245
1-метил-2-этилбензол	0,312	0,204
1,2,4-триметилбензол или 1-метил-4-изопропилбензол	1,376	0,900
н. бутилбензол или 1,4-диэтилбензол	0,681	0,445
1,2-диэтилбензол	0,895	0,585
Индан	1,110	0,661
1,2-диэтилбензол или 1,2,3-триметилбензол	0,538	0,352
1,2-диметил-4-этилбензол	1,225	0,801
1,2-диметил-3-этилбензол	1,131	0,740
1,3,5-триметилбензол	0,298	0,195
1,2,4,5-тетраметилбензол	1,270	0,831
1,2,3,4-тетраметилбензол	2,330	1,524
Тетралин	0,296	0,194
Итого расшифровано	12,45	8,14
Не расшифровано	9,50	6,21

Изучение индивидуального состава узких фракций производилось газо-жидкостной хроматографией. Анализ производился в колонке длиной 13 м и диаметром 4 мм при температуре 125°C и рас-

ходе гелия 50 мл/мин. Неподвижной жидкостью служил адипинобензойный эфир триэаноламина. Идентификация углеводородов производилась по времени удерживания. Количественное содержание найденных углеводородов определялось методом суммирования площадей пиков. Этим методом исследованы первые шесть узких фракций моноциклических ароматических углеводородов (табл. 3). В ароматической части керосина котур-тепинской нефти обнаружено и количественно определено 18 индивидуальных моноциклических ароматических углеводородов, кипящих в пределах 136,19—207,6°C. Среди найденных алкилбензолов преобладает 1, 2, 3, 4-тетраметилбензол. Количество этого углеводорода составляет свыше 18% от общего содержания найденных углеводородов. Почти в равных количествах находятся в исследованной части 1, 2, 4, 5-тетраметилбензол и 1, 2-диметил-4-этилбензол, пидан и 1, 2-диметил-3-этилбензол, тетралин и 1, 3, 5-триметилбензол.

Таблица 4

Индивидуальные бициклические ароматические углеводороды керосина котур-тепинской нефти

Номера пиков	Углеводороды	Содержание, %	
		на широкую фракцию бициклических углеводородов	на ароматическую часть керосина
6	Нафталин	8,33	1,604
7	$\beta$ -метилнафталин	17,49	3,348
8	$\gamma$ -метилнафталин	13,79	2,639
9	$\beta$ -этилнафталин	1,55	0,297
10	$\gamma$ -этилнафталин	2,41	0,461
11	2,6-; 2,7-диметилнафталин	0,56	2,021
12	1,7-; 1,3-диметилнафталин	7,26	1,39
13	1,6-диметилнафталин	14,91	2,854
14	1,4-; 1,5-; 2,3-диметилнафталин	5,66	1,083
15	1,2-диметилнафталин	4,60	0,880
17	1,8-диметилнафталин	3,60	0,689
	Итого расшифровано	90,21	17,27
1—5,16	Не расшифровано	9,79	1,87

Таблица 5

Индивидуальные парафиновые углеводороды нормального строения из керосина котур-тепинской нефти

Номера пиков	Углеводороды	Содержание, %	
		на парафиновую фракцию	на нефть
1	Октап	0,43	0,022
2	Нонап	0,10	0,005
3	Декап	0,56	0,028
4	Ундекан	3,40	0,170
5	Додекан	11,39	0,568
6	Тридекан	23,53	1,174
7	Тетрадекан	28,41	1,419
8	Гексадекан	22,22	1,109
9	Пентадекан (цетан)	7,90	0,394
	Итого расшифровано	97,97	4,89
	Не расшифровано	2,03	0,10

Исследовались фракции бициклических ароматических углеводородов на том же хроматографе, в тех же условиях, при температуре 200°C. Результаты хроматографического исследования приведены в табл. 4 и рис. 2. Как видно из таблицы, среди найденных гомологов нафталина преобладают диметилпроизводные. Из монозамещенных гомологов наибольшая концентрация приходится на долю  $\beta$ -метилнафталина, а наименьшая на долю  $\beta$ -этилнафталина.

Состав широкой фракции бициклических ароматических углеводородов расшифрован на 90%. Полученные данные указывают на большое сходство состава фракций моно- и бициклических ароматических

углеводородов керосина котур-тепинской нефти с составом аналогичных фракций азербайджанских нефтей [5]. Индивидуальный состав выделенных н. парафинов исследовался на высокотемпературном

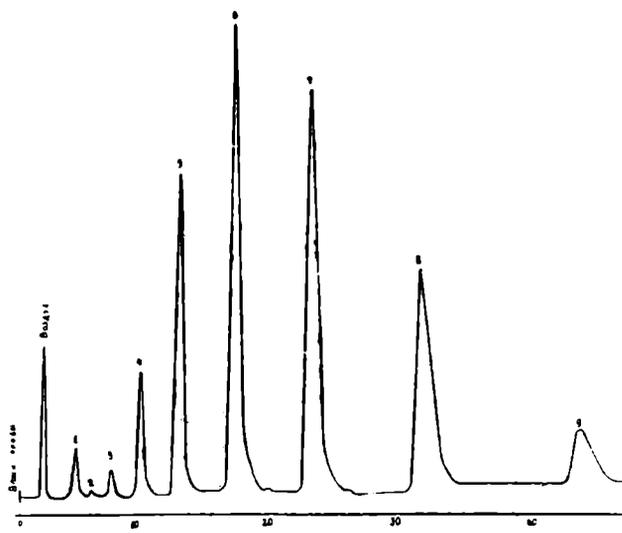


Рис. 3. Хроматограмма н. парафиновых углеводородов керосина котур-тепинской нефти. Цифры 1—9 соответствуют порядковым номерами углеводородов в табл. 5.

хроматографе [6] при 225°C. Использовалась колонка длиной 12 м диаметром 6 мм. Давление на входе в колонку 950 мм рт. ст., расход гелия 5,7 л/час. Неподвижной жидкостью служило силиконовое масло, нанесенное в количестве 20% на огнеупорный кирпич. Результаты исследования приведены в табл. 5 и рис. 3. В широкой фракции обнаружено и количественно определено 9 индивидуальных и н. парафиновых углеводородов, начиная с октана и кончая гексадеканом. Среди идентифицированных углеводородов преобладает тетрадекан. Состав исследуемой фракции н. парафинов расшифрован на 97,97%.

### Выводы

1. Комбинированным методом, включающим хроматографию на алюмосиликате, окиси алюминия, четкую ректификацию, комплексообразование с карбамидом и газо-жидкостную хроматографию, выделены моно-, бициклические ароматические и н. парафиновые углеводороды из средней (157—272°C) фракции котур-тепинской нефти и изучен их состав.

2. Во фракции 157—272°C определено (в пересчете на нефть) 2,01% моноциклических, 0,59% бициклических и 4,89% н. парафиновых углеводородов.

3. Газо-жидкостной хроматографией определено содержание 18 индивидуальных моноциклических, 11 бициклических и 9 н. парафиновых углеводородов. Из найденных алкилбензолов наибольшая концентрация приходится на долю 1, 2, 3, 4-тетраметилбензола. Среди идентифицированных производных нафталина преобладает β-метилнафталин. Тетрадекан преобладает над другими найденными н. парафиновыми углеводородами.

Институт нефтехимических процессов  
им. Ю. Г. Мамедалиева АН АзССР

Поступило  
20 мая 1965 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Вахабова Х., Мусаев И. А., Ниязов А. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 6, 1964.
2. Вахабова Х., Мусаев И. А., Ниязов А. Н. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН № 6, 1963.
3. Ханмуратов Б. А., Ашумов Г. Г., Эйвазова С. А. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 2, 1965.
4. Топчиев А. В., Ниפוштова С. С., Мусаев И. А., Санин П. И., Сучкова А. А., Сушик Р. Я., Чекалова Н. Н. — Тр. Института нефти, т. 14. Изд-во АН ТССР, М., 1960.
5. Агаева Р. М., Ашумов Г. Г., Мусаев И. А. — Сб. НТИ АЗИНТИ, вып. 2, Баку, 1963.
6. Мусаев И. А., Гу Ци-Вей, Топчиев А. В., Санин П. И. — Нефтехимия, т. 1, № 4, АН СССР, М., 1961.

УДК 547.972+543.544.42

П. К. ДЕНЛИЕВ  
А. А. МЕЩЕРЯКОВ

### РАЗДЕЛЕНИЕ СУММЫ ФЛАВОНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ РАСТЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ БУМАЖНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

В последнее время возрос интерес к изучению флавоновых веществ — сложных безазотистых органических соединений, довольно широко распространенных в растительном мире [1].

Ведутся интересные поиски новых сырьевых ресурсов для получения флавоновых веществ, используемых в качестве лечебных препаратов в медицине, ветеринарии, в аналитической химии и для других целей [2, 3, 4, 5, 6].

Настоящая статья является первой сводкой по изучению растений Туркмении с указанием качественного разделения суммы флавоновых веществ на отдельные компоненты при помощи бумажной хроматографии. Это должно значительно облегчить работу химиков по отбору растительного сырья с целью углубленного химического исследования флавоноидов.

Ботанические названия растений определены А. А. Мещеряковым. Сырье собрано комплексной экспедицией Института химии и ботаники АН ТССР в 1964 г. в Малых и Больших Балханах.

Растения располагаются в систематическом порядке по флоре Туркмении [7].

#### Методика исследований

Образцы высушенного и размолотого растения (по 2—4 г) предварительно обрабатывались петролейным эфиром, а потом экстрагировались метиловым спиртом в течение 30 минут на водяной бане с обратным холодильником. Фильтрат после концентрирования наносился на хроматографическую бумагу и хроматографировался восходящим методом в системе изобутанол—уксусная кислота—вода (4:1:5), до продвижения фронта растворителя на 45—55 см (48—72 часа, в зависимости от окружающей температуры). Пятна флавоновых веществ проявлялись 1%-ным раствором соды, что вызывает окрашивание флавоновых веществ в желтый цвет.

Проявленная хроматограмма для более четкого разграничения флавоноидов дополнительно обрабатывалась парами аммиака, после чего просматривалась в УФ-свете. Количество компонентов хроматограммы оценивалось по  $R_f$  для каждого растения отдельно.

**Количество компонентов (флавоноидов) в хроматограммах  
некоторых растений флоры Туркмении**

Номера растений	Семейство, род и вид	Исследуемая часть растений	Kf (число компонентов)
	1. Cupressaceae		
1	<i>Juniperus turcomanica</i> B. Fedtsch.	надземная	0,41; 0,79
	2. Ephedraceae		
2	<i>Ephedra intermedia</i> Schrenk ex C. A. Mey.	"	0,19; 0,46
	3. Liliaceae		
3	<i>Eremurus inderinsis</i> (M. B.) Rgl.	"	0,46; 0,77
	4. Iridaceae		
4	<i>Tris</i> sp.	"	0,58; 0,72; 0,83
	5. Urticaceae		
5	<i>Parietaria judauca</i> Strend.	"	0,46; 0,79
	6. Polygonaceae		
6	<i>Rumex dictyocarpus</i> Boiss. et Buhse	плоды	0,47; 0,67
7	<i>Calligonum junceum</i> (Fisch. et Mey.) Litv.	"	0,45; 0,64
8	" " "	надземная	0,55; 0,72
	7. Chenopodiaceae		
9	<i>Atriplex tatarica</i> L.	"	0,58; 0,66; 0,78;
10	<i>Halostachys caspica</i> (Pall.) C. A. Mey.	"	0,50; 0,68; 0,74
11	<i>Suaeda arcuata</i> Bge.	"	0,59; 0,78
12	<i>Salsola richteri</i> Kar.	"	0,39; 0,46; 0,67; 0,77
13	" <i>gemmascens</i> Pall.	"	0,46
14	" <i>arbuscula</i> Pall.	"	0,20; 0,25; 0,39
15	<i>Anabasis eriopoda</i> (Schrenk) Benth.	"	0,19; 0,46; 0,66
	8. Caryophyllaceae		
16	<i>Acanthophyllum adenophorum</i> Freyn.	"	0,74; 0,95
	9. Ranunculaceae		
17	<i>Ranunculus arvensis</i> L.	"	0,16; 0,27; 0,33; 0,46; 0,63; 0,93
	10. Cruciferae		
18	<i>Matthiola chenopodiifolia</i> Fisch. et Mey.	"	0,25; 0,37; 0,45; 0,53; 0,58
	11. Resedaceae		
19	<i>Reseda luteola</i> L.	"	0,39; 0,59; 0,67; 0,79
20	Многолетнее из Resedaceae	"	0,46; 0,76
	12. Rosaceae		
21	<i>Amygdalus scoparia</i> Spach	"	0,36; 0,55
22	<i>Cerasus microcarpa</i> (C. A. Mey.) Boiss.	"	0,65; 0,71; 0,74; 0,77; 0,94
23	<i>Cotoneaster racemiflora</i> (Desf.) C. Koch.	"	0,36; 0,50

Номера растений	Семейство, род и вид	Исследуемая часть растений	Kf (число компонентов)
	13. Leguminosae		
24	<i>Astragalus ellbrusensis</i> Boiss.	плоды	0,46
	14. Geraniaceae		
25	<i>Erodium oxyrhynchum</i> M. B.	корни	0,54; 0,77; 0,80
26	"	надземная	0,35; 0,46; 0,77
27	<i>Biebersteinia "multifida"</i> Dc.	корни	0,65
	15. Zygophyllaceae		
28	<i>Zygophyllum atriplicoides</i> Fisch.	плоды	0,15; 0,55; 0,77
	16. Euphorbiaceae		
29	<i>Chrosophora gracilis</i> Fisch. et Mey.	надземная	0,38; 0,52
	17. Guttiferae		
30	<i>Hypericum elongatum</i> Ledeb.	"	0,46; 0,60; 0,75
	18. Tamaricaceae		
31	<i>Reaumuria reflexa</i> Lipsky	"	0,17; 0,25; 0,32; 0,44; 0,62; 0,75
	19. Umbelliferae		
32	<i>Dorema hyrcanum</i> P.—Pol.	"	0,65; 0,86
33	<i>Scaligeria korovinii</i> Borb.	"	0,25; 0,47; 0,76
	20. Cornaceae		
34	<i>Cornus mas</i> L.	"	0,72; 0,80; 0,89; 0,91
	21. Plumbaginaceae		
35	<i>Acantholimon balchanicum</i> Korov.	"	0,46; 0,91
	22. Boraginaceae		
36	<i>Heliotropium arguzioides</i> Kar. et Kir.	"	0,46; 0,58; 0,76
37	<i>Rochelia</i> sp.	"	0,56; 0,81; 0,86; 0,91
38	<i>Nonea caspica</i> (Stev.) G. Don.	"	0,46
	23. Labiatae		
39	<i>Teucrium polium</i> L.	"	0,60; 0,66; 0,72; 0,78
40	<i>Stachys turcomanica</i> Trautv.	"	0,64; 0,91
	24. Orobanchaceae		
41	<i>Cistanche salsa</i> (C. A. Mey.) G. Beck.	"	0,71; 0,93
	25. Rubiaceae		
42	<i>Rubia pauciflora</i> Boiss.	все растение	0,46; 0,72
	26. Compositae		
43	<i>Lepidolopsis turkestanica</i> (Rgl. et Schmalh.) Poljak.	надземная	0,35; 0,53; 0,70
44	<i>Artemisia balhanorum</i> Krasch.	"	0,66; 0,75; 0,80; 0,86

Номера растений]	Семейство, род и вид	Исследуемая часть растений	К <sub>f</sub> (число компонентов)
	13. Leguminosae		
24	<i>Astragalus ellbrusensis</i> Boiss.	плоды	0,46
	14. Geraniaceae		
25	<i>Erodium oxycorynchum</i> M. B.	корни	0,54; 0,77; 0,80
26	"	надземная	0,35; 0,46; 0,77
27	<i>Biebersteinia "multifida"</i> Dc.	корни	0,65
	15. Zygophyllaceae		
28	<i>Zygophyllum atriplicoides</i> Fisch.	плоды	0,15; 0,55; 0,77
	16. Euphorbiaceae		
29	<i>Chrosophora gracilis</i> Fisch. et Mey.	надземная	0,38; 0,52
	17. Guttiferae		
30	<i>Hypericum elongatum</i> Ledeb.	"	0,46; 0,60; 0,75
	18. Tamaricaceae		
31	<i>Reaumuria reflexa</i> Lipsky	"	0,17; 0,25; 0,32; 0,44; 0,62; 0,75
	19. Umbelliferae		
32	<i>Dorema hyrcanum</i> P.—Pol.	"	0,65; 0,86
33	<i>Scaligeria korovinii</i> Borb.	"	0,25; 0,47; 0,76
	20. Cornaceae		
34	<i>Cornus mas</i> L.	"	0,72; 0,80; 0,89; 0,91
	21. Plumbaginaceae		
35	<i>Acantholimon balchanicum</i> Korov.	"	0,46; 0,91
	22. Boraginaceae		
36	<i>Heliotropium arguzioides</i> Kar. et Kir.	"	0,46; 0,58; 0,76
37	<i>Rochelia</i> sp.	"	0,56; 0,81; 0,86; 0,91
38	<i>Nonea caspica</i> (Stev.) G. Don.	"	0,46
	23. Labiatae		
39	<i>Teucrium polium</i> L.	"	0,60; 0,66; 0,72; 0,78
40	<i>Stachys turcomanica</i> Trautv.	"	0,64; 0,91
	24. Orobanchaceae		
41	<i>Cistanche salsa</i> (C. A. Mey.) G. Beck.	"	0,71; 0,93
	25. Rubiaceae		
42	<i>Rubia pauciflora</i> Boiss.	все растение	0,46; 0,72
	26. Compositae		
43	<i>Lepidolopsis turkestanica</i> (Rgl. et Schmalh.) Poljak.	надземная	0,35; 0,53; 0,70
44	<i>Artemisia balhanorum</i> Krasch.	"	0,66; 0,75; 0,80; 0,86

## Выводы

Методом бумажной хроматографии исследованы 44 вида (26 семейств) растений Западной Туркмении, у большей части которых компонентами флавоновых соединений богата надземная часть растений.

Институт химии  
и  
Институт ботаники  
АН Туркменской ССР

Поступило  
23 ноября 1965 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Джемухадзе К. М., Нестюк М. Н. — ДАН СССР, 131, 203, 1960.
2. Бокучава М. А., Ульянова М. С. — Биохимия, 26, 4, 615, 1961.
3. Денлиев П. К., Пакудина З. П., Садыков А. С. — ДАН УзССР № 8, 43, 1963.
4. Oshima I., Narabayashi T. I. Agr., Japon, 27, 759, 1953.
5. Neelakantam K., Seshadri T. R. — a oth. Proc. Indian Acad. Sci. A, 1, 87, 1953.
6. Gage T. B. — a oth. I. Analit. Chem., 23, 1582, 1951.
7. Флора Туркмении, т. I—VII. Л.—Ашхабад, 1932—1960.

УДК 550.8:553.982 + 553.98(575.4)

Г. И. АМУРСКИЙ  
Г. И. МОРОЗОВ  
В. И. РУБАН  
В. А. СПИКИН  
З. Б. ХУСНУДИНОВ

## О НАПРАВЛЕНИИ ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА НЕФТЬ И ГАЗ В ЮЖНЫХ РАЙОНАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ТУРКМЕНИИ

Все известные промышленные запасы газа в мезозойских отложениях Центральной Туркмении связаны с антиклинальными структурами. В пределах Центрально-Каракумского свода выявлено 25 локальных антиклинальных структур, из которых на 14 доказана промышленная газоносность. Наиболее продуктивными здесь являются аптские горизонты; меньшие запасы содержат более молодые горизонты до туронских включительно.

Наиболее характерным типом ловушек на своде являются малоамплитудные брахиантиклинали относительно небольших размеров (3—5×6—8 км), фонд которых относительно невелик. Изученность Центрально-Каракумского свода сейсморазведкой и бурением достаточно высока и выявление здесь новых крупных антиклинальных структур маловероятно. Наиболее справедливо это для его центральной части, западного и южного присводовых склонов.

Ввод в эксплуатацию газопроводов Средняя Азия — Центр требует со временем значительного увеличения прироста запасов природного газа. Это увеличение может быть обеспечено в основном за счет выявления новых газовых залежей в близлежащих районах. В этой связи большое значение приобретает проблема изучения геологического строения и поисков газовых залежей, приуроченных к литологическим, стратиграфическим и тектоническим экранированным ловушкам южного склона платформы (зоны периплатформенного опускания) в Центральной Туркмении. Как будет показано ниже, для этого имеются необходимые геологические предпосылки.

Южный склон Центрально-Каракумского свода и прилегающая с юга зона периплатформенного опускания (южный склон Туркменской антеклизы) большинством исследователей относится к высокоперспективным землям. Благоприятное геотектоническое положение, наличие мощного терригенного комплекса в разрезе мезозойских отложений, открытие газовых месторождений на Зеагли-Дарвазинском поднятии повсеместное распространение растворенных газов в водах мезозойских коллекторов явились основными критериями положительной оценки перспектив нефтегазоносности. Основной проблемой геолого-разведочных работ на рассматриваемой территории является выявление лону-

шек, благоприятных для скопления залежей нефти и газа. Отсутствие фонда подготовленных структур сильно сдерживает развертывание глубокого поискового и разведочного бурения.

Проведенными в больших объемах региональными и площадными сейсмическими исследованиями установлены следующие наиболее характерные особенности геологического строения рассматриваемой территории:

1. Отсутствие крупных, резко выраженных поднятий в меловых и палеогеновых отложениях, обусловленное крутым моноклиальным наклоном слоев и раскрытостью большинства структур по восстанию моноклинали.

2. Резкое, ступенчатое погружение поверхности палеозойского фундамента и увеличение мощностей неокомских и юрских отложений от купола Центрально-Каракумского свода в направлении Предкопетдагского и Заунгузского прогибов.

С этими ступенями связаны наиболее резкие градиенты мощностей нижней части мезозойских отложений.

3. Наличие региональных разломов и флексурно-разрывных зон в фундаменте и осадочном чехле.

4. Региональные изменения разреза мезозойских отложений от свода к югу и юго-востоку, выражающиеся как в увеличении мощностей, так и изменении литологического состава, замещении и появлении новых литологически обособленных пачек.

5. Поверхность палеозойского фундамента характеризуется резко выраженной дифференцированностью с амплитудами относительных превышений приподнятых блоков над опущенными, достигающими нескольких сотен метров.

6. Наличие крупного регионального предверхнеюрского размыва.

Исходя из вышеуказанных особенностей геологического строения, основные перспективы нефтегазоносности будут связаны с ловушками литологически, стратиграфически и тектонически экранированных типов в меловых и юрских отложениях, а также с погребенными поднятиями в юрских отложениях, приуроченными к выступам палеозойского фундамента.

Наиболее рациональным методом для выявления вышеперечисленных ловушек является комплекс сейсмических исследований и параметрического бурения. Основной проблемой, стоящей перед сейсмическими исследованиями, является выработка высокоточной методики для выявления слабо выраженных (пологих) структур, зон выклинивания и стратиграфических несогласий и их площадного распространения, изучение характера тектонических нарушений.

Особенности геологического строения южного склона Центрально-Каракумского свода и прилегающей к нему территории зоны периплатформенного опускания позволяют рассматривать их как два самостоятельных объекта для постановки параметрического бурения. Параметрические скважины наиболее целесообразно расположить по профилям, ориентированным вкrest простирания региональной моноклинали, приурочив их к наиболее сложным в тектоническом отношении районам, слабо освещенным глубоким бурением (рис. 1—4).

Скважины на профилях должны располагаться в наиболее оптимальных геологических условиях: с учетом возможного подтверждения погребенных поднятий, зон литологического выклинивания и стратиграфического несогласия, а также развития разрывных нарушений. Наиболее сложная задача — это изучение зон литологического выклинивания и стратиграфического несогласия. Для выработки методики

их выявления необходимо предусмотреть сгущение скважин в вышеуказанных зонах. Наиболее благоприятными участками для заложения скважин являются зоны резкого увеличения мощностей нижнемеловых и юрских отложений. В первоначальный период бурение скважин будет производиться по разряженной сети с последующим их сгущением в наиболее сложных участках.

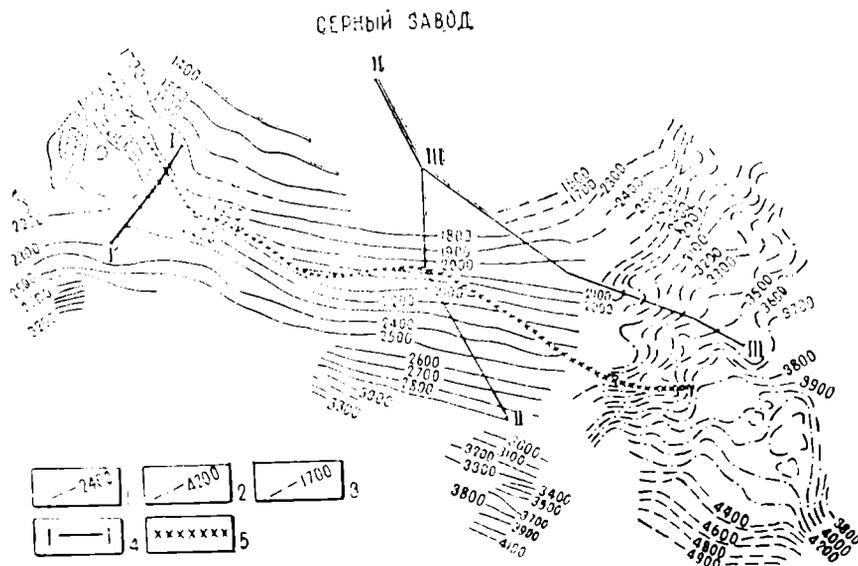


Рис. 1. Структурная схема южных районов Центральной Туркмении (по материалам И. В. Васильева, В. И. Чехова, В. А. Николенко). 1—Изогипсы опорного сейсмического горизонта, приуроченного к нижнебарремским отложениям; 2—изогипсы опорного сейсмического горизонта, приуроченного к верхнеюрским (келловей—оксфорд) отложениям; 3—предполагаемые изогипсы; 4—линии геологических профилей; 5—зона разломов.

1. Южный и юго-восточный склоны Центрально-Каракумского свода. Сейсмическими данными установлено, что поверхность палеозойского фундамента этого района характеризуется сравнительно неглубоким залеганием (в пределах 2000—3000 м) и резко выраженной разновысотностью. Здесь выделяется серия выступов и впадин с амплитудами относительных превышений до 500 м (Модарский, Кенекский и Восточно-Курукский выступы фундамента). В пределах этих выступов отмечается резкое сокращение мощностей юрских отложений, обусловленное предверхнеюрским перерывом в осадконакоплении и последующим размывом.

Сокращение мощности юрских отложений в зонах приподнятого залегания фундамента свидетельствует об унаследованности юрского структурного плана от рельефа поверхности фундамента. Следовательно, к выступам фундамента могут быть приурочены погребенные поднятия типа структур облекания в юрских отложениях. Для подтверждения наличия выступов фундамента и связанных с ними погребенных поднятий, изучения разреза и нефтегазоносности юрских отложений необходимо бурение параметрических скважин до вскрытия фундамента на сводах Модарского, Кенекского и Восточно-Курукского выступов (рис. 2, 4).

Максимальные увеличения мощностей юрских отложений отмечаются в направлениях наиболее резкого погружения поверхности фун-

дамента, что создает благоприятные условия для поисков в таких зонах ловушек литологического и стратиграфического типов; здесь же наблюдается появление новых горизонтов в разрезе юрских отложений.

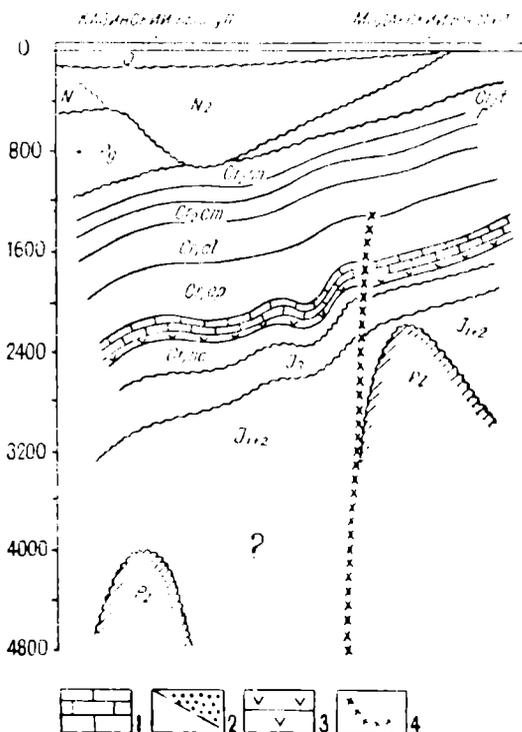


Рис. 2. Геологический профиль по линии 1—1  
Условные обозначения к рис. 2—4:

1—барремские известняки; 2—предполагаемые зоны выклинивания и срезания в нижнемеловой и юрской толщах; 3—опорный сейсмический горизонт; 4—разломы.

зоны мощности нижнемеловых и юрских носных отложений гаурдакской свиты.

Наибольший интерес для постановки параметрического бурения представляют Южно-Кенекский, Восточно-Ербентский и Халимергенский участки (рис. 3).

Южно-Кенекский и Восточно-Ербентский участки с севера непосредственно примыкают к региональной зоне Каракумского разлома, проходящей по линии Модар—Ербент—Чешме, по которой в настоящее время и проводится граница между сводом и южным склоном антеклизы.

По этой зоне тектонических нарушений фиксируется смещение поверхности фундамента с амплитудой 1000—1500 м, за счет чего происходит резкое увеличение мощности отложений осадочного чехла и особенно юрских отложений. Этому разлому в верхней части осадочной толщи (по данным МОВ) соответствует флексуобразный изгиб слоев.

Южнее разлома фундамент испытывает сравнительно интенсивное погружение, что сопровождается появлением новых горизонтов в нижнемеловых и юрских отложениях; с этой же линией совпадает и граница литологического замещения. Появление значительных по мощности из-

Вывявление газовых залежей связано с установлением линий выклинивания коллекторов.

Первоочередными объектами для постановки параметрического бурения в этих условиях следует считать юго-западный склон Модарского, южный склон Кенекского и юго-восточный склон Восточно-Курукского выступов фундамента.

**II. Зона флексурно-разрывного обрамления Центрально-Каракумского свода** и прилегающая к ней территория южного склона Туркменской антеклизы. По сейсмическим данным характерными особенностями этой зоны являются: наличие разрывных нарушений в фундаменте и осадочном чехле, создающих благоприятные условия для образования тектонически экранированных ловушек; приуроченность к этой зоне слабо выраженных локальных структур; значительное увеличение в южном и восточном направлениях от этой зоны мощности отложений; появление соле-

вестняков в юрских и неокомских отложениях подтверждается наличием южнее разлома высокоскоростных преломляющих сейсмических горизонтов ( $V_r = 5000-5700$  м/сек).

Халимергенский участок занимает промежуточное положение между геотектонически различными районами, характеризующимися различными типами разреза и стратиграфической приуроченностью продуктивных горизонтов. В этом районе наблюдается замещение соленосных отложений терригенно-карбонатными отложениями до их полного выклинивания и переход регионально-газоносной карабильской толщи в одновозрастные аналоги склона Центрально-Каракумского свода. Кроме того, по сейсмическим данным устанавливается выклинивание глубоких горизонтов, обусловленное уменьшением мощностей отдельных пластов и срезанием подсольевых отложений и их аналогов. Здесь же выявлено большое количество слабо выраженных осложнений типа структурных носов и очень

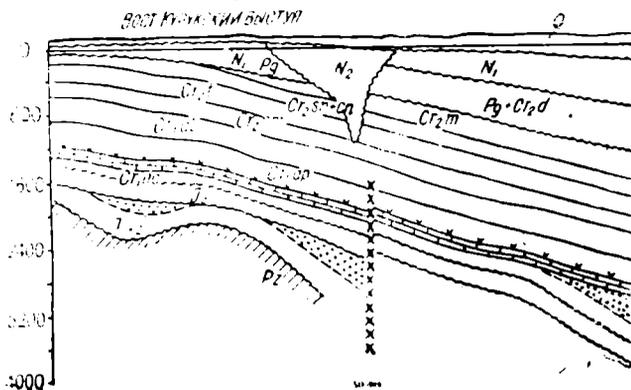


Рис. 3. Геологический профиль по линии II—II.

регионально-газоносной карабильской толщи в одновозрастные аналоги склона Центрально-Каракумского свода. Кроме того, по сейсмическим данным устанавливается выклинивание глубоких горизонтов, обусловленное уменьшением мощностей отдельных пластов и срезанием подсольевых отложений и их аналогов. Здесь же выявлено большое количество слабо выраженных осложнений типа структурных носов и очень

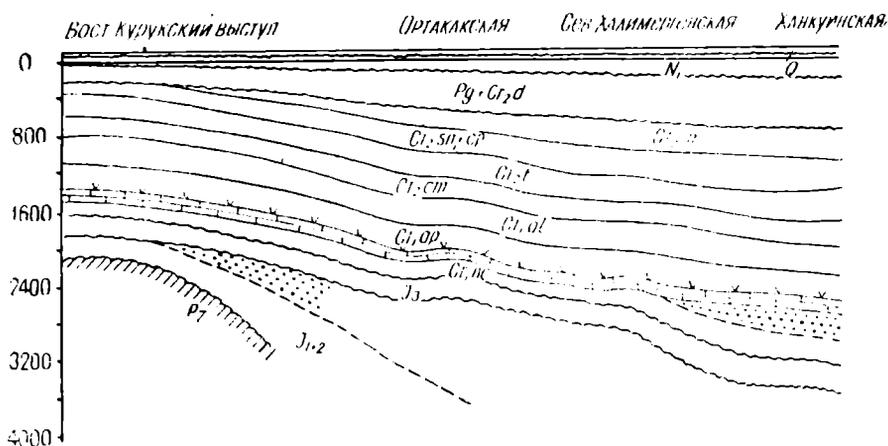


Рис. 4. Геологический профиль по линии III—III.

геологических поднятий (Ортакакское, Халимергенское, Северное Халимергенское, Ханкуинское и др.).

### Выводы

Параметрическому бурению должны предшествовать методические и производственные работы КМПВ и РНП по выявлению зон выклинивания и детальные гравиметрические исследования в комплексе с РНП и КМПВ для трассирования разрывных нарушений и т. д. Одновременно с проведением параметрического бурения, в целях более рационального размещения скважин, необходимы специализированные геологические исследования по составлению детальных литолого-фациальных карт и их совмещения со структурными картами.

УДК 551.241.

К. МАШРЫКОВ  
Р. ЮФЕРЕВ  
К. АМАННИЯЗОВ.

## К ПАЛЕОТЕКТОНИКЕ ВЕРХНЕЙ ЮРЫ ТЕРРИТОРИИ ТУРКМЕННОЙ ССР

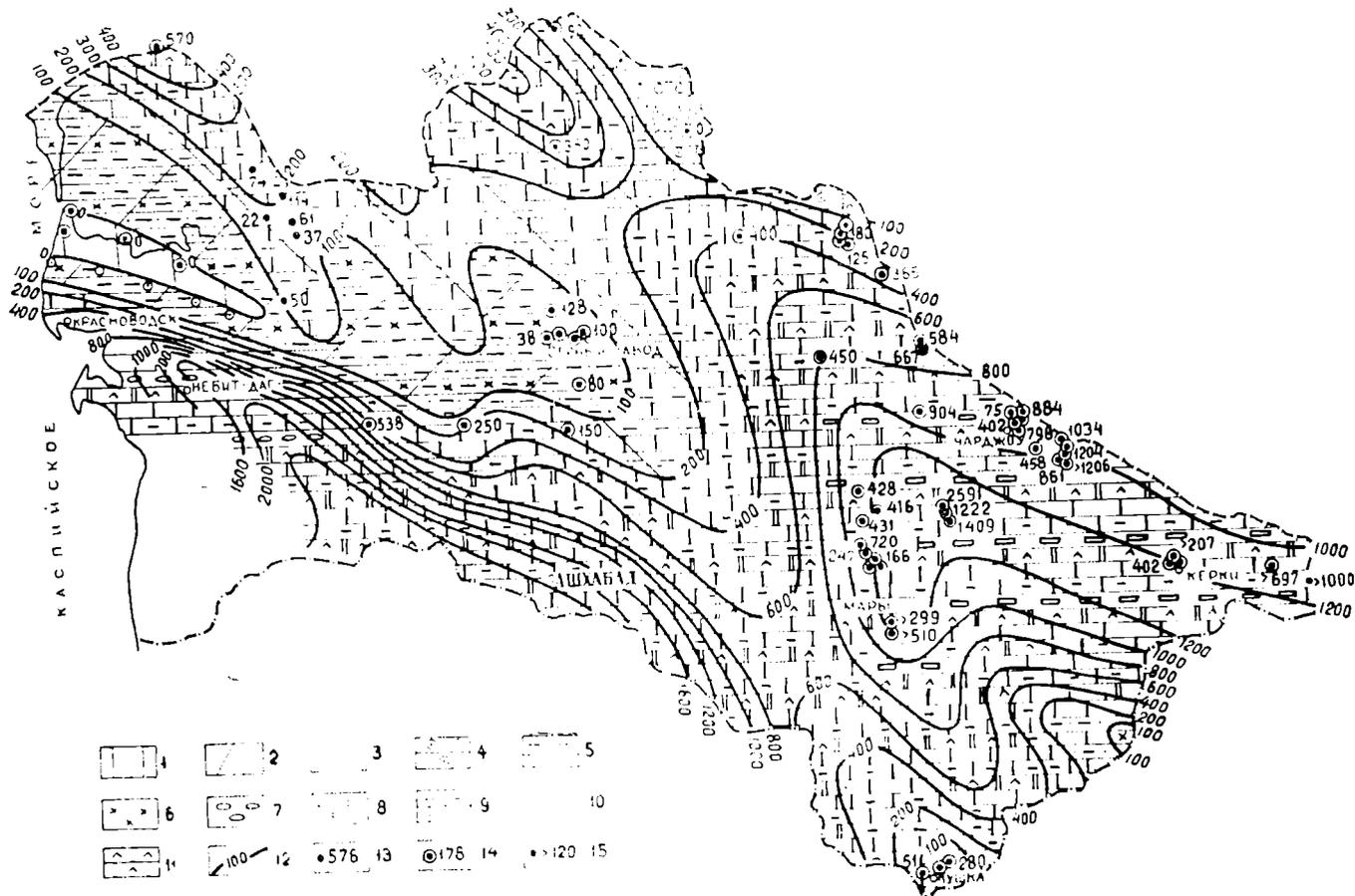
С верхнеюрскими отложениями территории Туркменской ССР связаны крупные месторождения серы, калийных и каменной солей, полуметаллов, газа, разнообразных строительных материалов, а также перспективы широкого фронта нефтегазопонсковых работ. На подавляющей части площади республики верхняя юра залегает на больших глубинах под чехлом позднейших образований мезо-кайнозоя и слабо охарактеризована каменным фактическим материалом.

Между тем, проектирование поисково-разведочных работ нуждается в обеспечении прогнозом наличия, состава и мощностей погребенных верхнеюрских пород в перспективных районах. Такой прогноз должен базироваться на научно обоснованных реконструкциях условий осадконакопления юрского периода в Туркмении, и в первую очередь — на восстановлении палеотектонического режима, как решающего палеогеографического фактора. В последние годы сделаны первые обобщения в виде литолого-фациальных и литолого-палеогеографических карт. Однако палеотектонические построения не предпринимались.

Накопленный нами опыт работы по изучению юрских отложений Туркменской ССР, а также имеющийся на сегодняшний день материал позволяют составить схематическую палеотектоническую карту верхней юры Туркмении, используя палеотектоническую легенду Атласа литолого-палеогеографических карт Русской платформы [3]. Эта карта приводится на рис. 1.

Стратиграфия и вещественный состав верхнеюрских отложений Туркмении рассматривались нами ранее [1] и мы не приводим их подробной характеристики. Отметим лишь, что материалы биостратиграфических и фациально-литологических исследований указывают на существование в позднеюрской эпохе на территории Туркменской ССР трех морских бассейнов, имевших между собой связь, но в значительной мере самостоятельных, как по составу населявшего органического мира, так и по набору отлагавшихся формаций.

Южный бассейн характеризуют обнажения верхней юры в Копедаге, Большом Балхане и Куба-Даге. Они отличаются различной полнотой, однако в целом разрез может быть представлен в следующем виде. Келловой сложен формацией глинистых известняков и мергелей, оксфорд — формацией зоогенных известняков, кимеридж и титон — фор-



Области: 1 — интенсивного поднятия; 2 — слабого поднятия; 3 — весьма слабого поднятия, перемежающегося с опусканием; формации: 4 — верхняя континентальная моласса; 5 — полимиктовых песков и глин; 6 — красноцветная; 7 — верхняя морская моласса; 8 — соленосная; 9 — пелитоморфных известняков и мергелей; 10 — зоогенных известняков; 11 — доломитов и ангидритов (гипсов); 12 — изобаты; мощности: 13 — по обнажениям; 14 — по скважинам; 15 — неполные.

мацей доломитов и гипсо-ангидритов. В Большебалханском районе разрез венчается прослоями грубообломочного материала, который мы показываем как верхнюю морскую молассу. Общая мощность верхней юры достигает в Копет-Даге 2000 м.

На востоке в пределах Западного Узбекистана и Амударьинской впадины обнажается и вскрыта буровыми скважинами верхняя юра, в которой выделяются формации: глинистых известняков и мергелей (келловей), зоогенных известняков (оксфорд), доломитов и гипсоангидритов (оксфорд, кимеридж—титон) и соленосная (верхи кимеридж-титона). Мощность верхнеюрских отложений в Кугитанге составляет более 1000 м и к центральным частям впадины, по-видимому, увеличивается.

От вышеописанных заметно отличаются верхнеюрские отложения, развитые на северо-западе республики. На дневную поверхность они обнажены в районе Туаркыра и Бейнеу и вскрыты скважинами полностью в Чагаласоре и частично в Карашорской складке. Туаркыро-Карашорские разрезы от Чагаласора отличаются отсутствием верхнего оксфорда, кимериджа и титона, которые были размыты в предмеловое время.

Верхняя юра здесь обладает резко сокращенными мощностями (келловей + нижний оксфорд 30—114 м). Облик отложений, в особенности оксфордских, резко отличается от копетдагских и кугитангских. Если в последних развиты темноцветные зоогенные известняки и доломиты, то здесь преобладают окремненные известняки почти белого цвета. В зоне Туаркыра и Карашора развиты две формации: полимиктовых песков и глин (келловей) и зоогенных известняков (нижний оксфорд).

В Чагаласоре мощность верхнеюрских отложений возрастает до 450 м и появляются осадки верхнего оксфорда, кимериджа и титона, выраженные в формации доломитов и гипсоангидритов.

По-видимому, в пределах Северо-Западной Туркмении располагались мелководные окраинные части Южно-Мангышлакского бассейна.

Большой интерес представляют области отсутствия морских карбонатных образований верхней юры, располагающиеся в пределах Кара-Богаза, Центральных Кара-Кумов, Кушки, а также Султан-Уиз-Дага. Здесь верхняя юра представлена терригенными отложениями, образующими формацию полимиктовых песков и глин и, по-видимому, имеет преимущественно континентальное происхождение. Мощность отложений здесь подвержена сильной изменчивости на незначительных расстояниях.

Исходя из рассмотренного выше фактического материала, палеотектоника поздней юры на территории Туркменской ССР может быть представлена следующим образом. Начало поздней юры (келловейский век) характеризуется значительными опусканиями, охватившими обширные пространства и вызвавшими трансгрессию моря, залившего более трех четвертей площади Туркмении. Очевидно, рельеф дна образовавшегося бассейна, а также прилегающей суши был расчлененным и это привело к отложению формации глинистых известняков и мергелей. В начале оксфорда эти неровности исчезают, режим бассейна стабилизируется, пышно расцветает подводный органический мир, давший материал для образования формации зоогенных известняков.

Не все участки Кара-Кумской платформы были в равной степени охвачены опусканием. В пределах Кара-Богаза, Туаркыра—Карашора и Центральных Кара-Кумов проходит полоса резкого сокращения общей мощности верхнеюрских отложений (вплоть до исчезновения на южном побережье Кара-Богаза), а также большой изменчивости ее по

простирацию. Эта полоса разграничивала южный геосинклинальный и северо-западный платформенный бассейны.

Второй областью развития маломощных терригенных отложений верхней юры является Кушкинский район. Очевидно, здесь также располагались массивы, не вовлеченные в позднеюрское опускание. Учитывая заметные различия между Копетдагским бассейном и Аму-Дарьинским, следует допустить, что Кара-Богаз-Каракумская полоса поднятий сочленялась с Кушкинской, андулируя в Тедженском районе. Погибание здесь обеспечивало связь двух бассейнов почти до самого конца позднеюрской эпохи. Наличие подводного барьера, протянувшегося от Кушки до Красноводска, препятствовало полной ассимиляции вод и населявшего органического мира трех бассейнов. На севере Аму-Дарьинский и Южно-Мангышлакский бассейны, по-видимому, также были разъединены, о чем свидетельствует отсутствие морских отложений в районе Тахта.

К югу от полосы Кушка — Центральнокаракумский свод — Южный Кара-Богаз градиент нарастания мощности верхнеюрских отложений резко увеличивается. В Копет-Даге прогибание за позднюю юру, судя по мощностям отложений, достигло 2000 м. В Центральных Кара-Кумах, на южном побережье Кара-Богаза, а также в Кушкинском районе мощности верхней юры измеряются первой сотней метров, а на отдельных участках и вовсе не достигают ее. Здесь верхняя юра выражена терригенным материалом и, по-видимому, представлена преимущественно континентальными фациями.

Следовательно, если допустить, что эти две сопряженные области были консолидированы и совместно испытывали опускание, то малые мощности в северной полосе можно рассматривать как свидетельство существования здесь к концу средней юры высокогорного рельефа с положительными отметками более 1000 м. Однако здесь, в частности, на территории Центрально-Каракумского свода, мы имеем характерные для всей Туркмении угленосные среднеюрские отложения, а не толщи грубообломочных конгломератов, которые следовало бы ожидать в районе высокогорья.

Очевидно, уместнее допустить, что полоса Южный Кара-Богаз — Центральные Кара-Кумы — Кушкинский район по характеру движений была областью поднятия, перемежавшегося опусканием. Таким образом, центрально-туркменская полоса двигалась контрастно с копетдагской.

В конце оксфорда в областях поднятий активизируются восходящие тектонические движения. Это приводит к осушению подводных перемычек, обособлению трех бассейнов и отложению в них различных формаций хомогенного ряда. В Копетдагском — это доломиты и известняки с гипсовыми прослоями, в Амударьинском — мощные толщи ангидритов, в Южно-Мангышлакском — терригены и карбонаты с прослоями гипсов. В течение кимериджа и титона области поднятий разрастаются и на территории Туркменской ССР преобладают континентальные условия осадконакопления. В центральной части Амударьинской впадины обособляется лагуна, в которой осаждаются мощная толща солей. Лагунный бассейн образуется и в области Копет-Дага. С юга его ограничивают киммерийские горные сооружения, с севера — центрально-каракумская суша, с востока — Бадхыз-Карабильская суша. Возможно, что в некоторых участках этого бассейна отлагались и соленосные осадки.

Восходящие движения отразились и на Южно-Мангышлакском бассейне. Площадь его сократилась еще в оксфорде за счет осушения участка между Кара-Богазом и Центральными Кара-Кумами. В титоне

становится сушей и горный Мангышлак, а в районе Чагаласора в осадках преобладают гипсоангидриты и грубообломочные породы.

Характер распределения мощностей верхнеюрских отложений на платформе показывает на общее повышение рельефа с востока на запад. В западных районах раньше воцарились континентальные условия осадконакопления и поэтому низы красноцветных отложений, относимых к неокому, здесь могут иметь юрский возраст.

В заключение следует отметить, что контрастный характер движений полосы Кара-Богаз—Центральные Кара-Кумы—Кушка и Копет-Даг—Большой Балхан—Куба-Даг при наличии между ними больших градиентов мощностей можно связывать с существованием здесь в поздней юре крупного раскола земной коры.

## Выводы

1. В верхнеюрскую эпоху на территории Туркменской ССР намечаются три крупные области прогибания земной коры, разделенные поднятиями. Одно из них протянулось от Кара-Богаза через Центральные Кара-Кумы до района Кушки.

2. Для келловея характерны нисходящие движения. В оксфорде происходит инверсия тектонического режима и дальнейшая история региона представляет непрерывное поднятие, приведшее к осушению морских бассейнов, распаденнию их на лагуны и образованию в конце юры суши, охватывающей подавляющую часть территории платформы.

Институт физики Земли и атмосферы  
АН Туркменской ССР  
Институт геологии  
МГ СССР (Ашхабад)

Поступило  
22 января 1966 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Машрыков К., Аманниязов К., Юферев Р.—В сб. Вопросы геологии Туркмении (материалы к XXII Международному геологическому конгрессу). Туркмениздат, Ашхабад, 1965.

2. Условия осадконакопления и геохимическая характеристика мезо-кайнозойских отложений западных районов Средней Азии. Изд. «Недра», М., 1964.

3. Атлас литолого-палеогеографических карт Русской платформы и ее геосинклинального обрамления. Часть II (Мезозой и Кайнозой), масштаб 1:5 000 000. Госгеолтехиздат, М.—Л., 1961.

### МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ И КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ ВЕРХНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ И СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ТУРКМЕНИИ

В течение 1960—1963 гг. автором выполнен иммерсионный анализ 500 образцов верхнемеловых пород из Южного Приаралья, Восточного Заунгузья и Кабаклинского района. Наиболее полно минералогический состав изучен в разрезе Восточного Заунгузья, достаточно обоснованное расчленение которого позволило выявить приуроченность характерных комплексов минералов к определенным стратиграфическим подразделениям. Сравнительный анализ полученного материала показал, что выделенные в этом разрезе на основании количественных вертикальных изменений минералогические комплексы хорошо выдерживаются по площади рассматриваемого района.

*Сеноманский ярус* в Восточном Заунгузье представлен переслаиванием глин, алевролитов и песчаников. В легкой фракции пород отмечаются близкие содержания кварца и полевых шпатов (40—50%), иногда с явным преобладанием последних; нередки обломки изверженных пород. Отмечается повышенное количество глауконита (2%). Изредка встречается опал. Минералогический состав тяжелой фракции характеризуется преобладанием магнетита (35%) и группы устойчивых минералов: циркона (25%), граната (9%) и турмалина (2%). В отдельных горизонтах содержание магнетита в 1,5—2,0 раза превосходит среднее и сопровождается обычно незначительным количеством неустойчивых к выветриванию минералов и пирита, а также резким увеличением нерудных непрозрачных минералов, циркона, граната и турмалина. Приуроченность к этим прослоям мелкой глянцевой гальки фосфоритов и почти полное отсутствие пирита позволяет рассматривать их как зоны перебива, отражающие кратковременные перерывы в осадконакоплении. В нижней части сеноманских отложений выделяется пачка мощностью 40—50 м, обогащенная нерудными непрозрачными минералами и гранатом. К верхам разреза количество рутила, сфена, турмалина, полевых шпатов, магнетита и пирита постепенно увеличивается. Весьма близкий минералогический состав имеют отложения сеномана Южного Приаралья и Кабаклинского района. По сравнению с Восточным Заунгузьем эти районы выделяются несколько повышенным содержанием магнетита (до 45%) и более низким содержанием циркона (23%), граната (5—12%) и турмалина (1%). Подстилающие альбские отложе-

Схема минералого-стратиграфического расчленения верхнемеловых отложений Восточной и Северо-Восточной Туркмении

Схема стратиграфического расчленения района Кабаклы (по В. Д. Ильину)		Руководящая ассоциация минералов	Ассоциация характерных минералов			Стратиграфическая шкала	
			Кабаклы	Восточное Заунгузье	Южное Приаралье		
Эоцен	Pg <sub>2</sub>	Рутил - турмалин - ставролит - эпидот - роговообманково - гранат - циркон - магнетитовая	опал, пирит			Pg	
	Маастрихт		m <sub>2</sub>	магнетит, лимонит, дистен, ставролит, зеленая роговая обманка			
m <sub>1</sub>			нерудные непрозрачные минералы, циркон, гранат, рутил, сфен, дистен, турмалин, рутил				
Кампан	Cp <sub>1</sub>		магнетит, турмалин, дистен, ставролит, зеленая роговая обманка, моноклинные шпороксины, глаукоцит			m <sub>1</sub>	
			лимонит, эпидот, нерудные непрозрачные минералы, гранат, рутил, пирит				
	Cp <sub>1</sub>		лимонит, эпидот, ставролит, нерудные непрозрачные минералы, циркон, турмалин, дистен			Cp <sub>2</sub>	
Сантон	st <sub>2</sub>		лимонит, гранат, зеленая роговая обманка, рутил			Cp <sub>1</sub>	
			магнетит, циркон, рутил, турмалин				
	st <sub>1</sub>		эпидот, зеленая роговая обманка, гранат, сфен, пирит			st <sub>2</sub>	
Коньяк	Cn		гранат, сфен, дистен, ставролит			st <sub>1</sub>	
			зеленая роговая обманка				
Турон	t <sub>2</sub>	эпидот, турмалин			Cn		
		лимонит, дистен, ставролит, глаукоцит, сфен, эпидот, зеленая роговая обманка, турмалин					
	t <sub>1</sub>	нерудные непрозрачные минералы, гранат, циркон			t <sub>2</sub>		
Сеноман	Cm	зеленая роговая обманка, лимонит, эпидот, рутил, сфен, турмалин, глаукоцит			t <sub>1</sub>		
		нерудные непрозрачные минералы, гранат, пирит				Cm	

ния содержат аналогичный комплекс минералов, однако количественные соотношения их заметно изменяются. По сравнению с вышележащими они содержат заметно меньше магнетита, эпидота, рутила, сфена, пирита и повышенное количество циркона, граната и нерудных непрозрачных минералов. По данным В. Т. Кривошеева, подобную же минералогическую характеристику имеют породы альбского возраста в Центральных Кара-Кумах [1]. Сопоставление этих отложений позволяет провести нижнюю границу сеномана в Восточном Заунгузье по смене минералогического состава в кровле песчаной пачки, где она совпадает с границей, проводимой на основании электро-каротажной корреляции с разрезами Кабаклинского и Байрамалийского районов.

Туронский ярус в Восточном Заунгузье сложен 300-метровой толщей глин и алевролитов в верхней части преимущественно с прослоями песчаных устричников. Комплекс минералов аналогичен нижележащему, однако особенности распределения по разрезу и количественная характеристика минералов позволяют выделить эти отложения в самостоятельную минералогическую толщу. Легкая фракция пород характеризуется несколько пониженным по сравнению с сеноманом содержанием полевых шпатов (38%) и повышенным количеством кварца (53%); несколько снижается содержание глауконита (1%), однако он по-прежнему играет роль ведущего аутигенного минерала и пользуется широким распространением на рассматриваемой территории. Для тяжелой фракции характерно общее повышенное количество эпидота (3—6%), зеленой роговой обманки (1,0—1,5%), магнетита (37—45%) и лимонита (6—13%), которые являются здесь корреляционными. Особенности распределения минералов по разрезу позволяют выделить в туронских отложениях две примерно равные по мощности пачки. В нижней алевроново-глинистой концентрируются в основном нерудные непрозрачные минералы, циркон, гранат и турмалин. Характерно незначительное количество лимонита, резко подчиненное по сравнению с нижележащими отложениями содержание рутила, сфена, в меньшей мере магнетита и пирита. Верхняя, преимущественно песчано-алевритовая, пачка выделяется высоким содержанием эпидота, зеленой роговой обманки и лимонита. Аналогичные по минералогическому составу пачки прослеживаются в туроне Кабаклинского разреза, где так же, как и в Восточном Заунгузье, границу между ними условно считаем границей между подъярусами турона. В районе Южного Приаралья отложения турона по присутствующему в них комплексу минералов хорошо сопоставляются лишь с верхней пачкой, выделяющейся в разрезе турона Восточного Заунгузья. Это подтверждает присутствие в Южном Приаралье только верхнего турона и указывает на правильность проведения границы между его подъярусами (во всяком случае не выше подошвы песчано-алевритовой пачки) в разрезе Восточно-Заунгузских Кара-Кумов. *Коньякский ярус* в Восточном Заунгузье представлен переслаиванием глин и алевролитов и имеет мощность около 60—75 м. В легкой фракции отмечаются близкие содержания кварца (48%) и полевых шпатов (40%). В тяжелой фракции комплекс минералов в общем аналогичен туронскому. По сравнению с нижележащими отложениями, характерным является высокое содержание магнетита (40—50%), нерудных непрозрачных минералов (7—10%), зеленой роговой обманки (3%) и пониженное — лимонита (5—6%), сфена (доли процента) и эпидота (2—3%). В нижней части разреза заметно преобладают полевые шпаты, нерудные непрозрачные минералы, эпидот, зеленая роговая обманка и сфен. Вверх по разрезу, наряду с общим снижением содержания всех перечисленных выше минералов, увеличивается количество кварца, граната и рутила. В Кабаклинском разрезе коньяк и сантон по

палеонтологическим остаткам не расчленены и представлены толщей переслаивающихся алевролитов, песчаных известняков, песчаников и глин мощностью около 220 м. По минералогическому составу толща оказывается неоднородной. Нижняя часть ее мощностью 130 м по комплексу минералов довольно близка к коньякским отложениям Восточного Заунгузья и может быть на основании этого условно отнесена к коньяку. Изменение минералогического состава по разрезу, слабо выраженное в Восточном Заунгузье, здесь выступает более отчетливо. Нижняя пачка мощностью около 75 м, содержащая фауну раннеконьякского возраста [2], может быть отнесена к нижнему подъярису коньяка. Верхняя пачка (60 м) условно выделяется в верхний его подъярус. Данные минералогического анализа в этом случае не противоречат выводам, полученным при сопоставлении Кабаклинского разреза с разрезами юго-западных отрогов Гиссарского хребта. В разрезе Южного Приаралья толщи, сопоставимые по минералогическому составу с коньякскими отложениями Восточного Заунгузья и Кабаклы, отсутствуют. Это хорошо согласуется с выводом об отсутствии коньякского яруса в Южном Приаралье, сделанным ранее на основании корреляции каротажных диаграмм скважин [5].

*Сантонский ярус* в разрезе Восточного Заунгузья представлен алевролитами и алевроитовыми глинами мощностью от 50 до 80 м. В легкой фракции заметно преобладает кварц (59%), полевые шпаты составляют 28—36%, количество глауконита уменьшается (доли процента). Тяжелая фракция характеризуется заметным увеличением эпидота (5%) и зеленой роговой обманки (2—4%). По минералогическому составу в разрезе выделяются две пачки, соответствующие нижнему и верхнему подъярусам сантона. Нижняя пачка выделяется аномально высокими содержаниями эпидота (20%), зеленой роговой обманки (10%) и моноклинного пироксена (5%), что является ее характерной особенностью. Наряду с этим отмечается уменьшение магнетита, отсутствие заметных количеств лимонита, нерудных непрозрачных минералов, циркона, рутила, турмалина и дистена и увеличение содержания граната, сфена, ставролита и пирита. Верхняя пачка начинается резким увеличением содержания магнетита, нерудных непрозрачных минералов, циркона, рутила и турмалина, количество которых к кровле ее постепенно снижается. Обе описанные пачки четко прослеживаются в верхней части нерасчлененных коньяка и сантона в Кабаклинском разрезе. Нижняя пачка, мощностью 90 м, слагается часто переслаивающимися песчаными известняками, песчаниками, алевролитами и глинами и имеет характерный для нижнего сантона минералогический состав. Корреляционными минералами для нее, как и в разрезе Восточного Заунгузья, являются эпидот, зеленая роговая обманка и моноклинные пироксены, содержания которых, однако, по сравнению с Восточным Заунгузьем, понижены и обычно не превышают 5%. Верхняя пачка (40 м) представлена глинами и также хорошо сопоставляется с отложениями верхнего сантона Восточного Заунгузья, в отличие от которых в верхней части пачки наблюдаются высокие содержания циркона, турмалина, граната, что обуславливает более четкий переход к вышележащим отложениям. Возможно, это свидетельствует об отсутствии верхних горизонтов сантона в Кабаклинском разрезе. Присутствующие в средней части пачки характерные палеонтологические остатки также определяют возраст ее как верхнесантонский [2] и подтверждают правильность сопоставления. Отложения с минералогическим составом, характерным для нижнего сантона Восточного Заунгузья и Кабаклы в разрезе Южного Приаралья отсутствуют. Минералогический состав

залегающей на отложениях туона в Южном Приаралье пачки пород мощностью до 10—25 м, ввиду незначительного количества образцов, охарактеризовать не удастся. Вышележащие отложения по минералогическому составу уверенно сопоставляются с нижнекампанскими отложениями разрезов Восточного Заунгузья и Кабаклы.

Кампанский и маастрихтский ярусы наиболее обоснованно расчленены в Кабаклинском разрезе [2]. Кампан здесь представлен толщей известковых алевролитистых глин мощностью 210 м. В легкой фракции, как и в нижележащих отложениях, преобладают кварц (50%) и полевые шпаты (38%). Основную массу тяжелой фракции составляет магнетит (34%), циркон (25%) и лимонит (20%). Нерудные непрозрачные минералы, гранат и эпидот присутствуют в количестве 5—7%. Содержание рутила, сфена, зеленой роговой обманки, моноклинного пироксена, турмалина и ставролита обычно не превышает 1%. От подстилающих пород сантонского возраста кампанские отложения отличаются резким увеличением граната, эпидота и полевых шпатов, которые, как и магнетит, нерудные непрозрачные минералы, циркон, турмалин и лимонит, в основном, концентрируются в нижней части толщи и характеризуют минералогический состав нижнего подъяруса кампана. Верхний подъярус отличается значительным преобладанием кварца над полевыми шпатами, а в тяжелой фракции устойчивыми низкими содержаниями указанных выше минералов за исключением лимонита, который здесь весьма обилен и нередко составляет 70—90% тяжелой фракции. К кровле кампанских отложений содержание минералов в тяжелой фракции постепенно увеличивается и граница кампанского и маастрихтского ярусов проходит в минералогически однородной пачке пород. Характерно, что распространение верхнекампанских аммонитов в Кабаклинском разрезе ограничивается толщей пород с аномально высоким содержанием лимонита почти при полном отсутствии магнетита, пирита и группы метаморфических минералов. В разрезе Восточного Заунгузья обилие лимонита и состав сопутствующего комплекса минералов тяжелой фракции отмечается с нижнего кампана и характерно для толщи пород, имеющей, по данным изучения фораминифер, нижнемаастрихтский возраст. Вышележащие породы в этом разрезе содержат комплекс минералов, характерный для алевроитово-глинистой пачки, венчающей кампанский ярус в Кабаклинском разрезе. На границе этой пачки состав минералов резко меняется. В породах исчезает лимонит, скачкообразно увеличивается количество магнетита, сфена, эпидота, зеленой роговой обманки, моноклинного пироксена, турмалина, дистена, ставролита и пирита. Таким образом, сопоставление минералогического состава этих частей разреза с учетом существующего стратиграфического расчленения позволяет предположить отсутствие в Кабаклинском разрезе верхних горизонтов глинистой толщи и существование перерыва на границе с вышележащей алевроитово-глинистой пачкой пород, что подтверждается присутствием в подошве последней многочисленных желваков фосфоритов. Залегающая над отложениями сантона толща мергелей и известняков в районе Южного Приаралья по своему минералогическому составу обнаруживает большое сходство с толщей мергелей и известковых глин Восточного Заунгузья и с описанными отложениями кампанского яруса Кабаклинского разреза. Однако в разрезах Восточного Заунгузья и Южного Приаралья эта толща включает отложения кампана и большую часть маастрихтского яруса. Следовательно, части разрезов, весьма близкие по литологическому и минералогическому составу, при сопоставлении оказываются разновозрастными.

*Маастрихтский ярус* в Кабаклинском разрезе представлен алеври-

товыми глинами, песчаниками, доломитами и доломитизированными известняками мощностью 44 м. Распределение минералов по разрезу неравномерно. Для пачки алевролитов и алевритовых глин нижнего подъяруса маастрихта характерно значительное количество магнетита (45%), граната (5%), сфена (0,8%), эпидота (11%), зеленой роговой обманки (3,5%), моноклинного пироксена (1,7%), турмалина (2,8%), дистена (0,8%) и ставролита (1,6%). По литологическому и минералогическому составу, а также каротажной характеристике эта часть разреза хорошо сопоставляется с глинисто-алевролитовыми отложениями верхнего маастрихта Восточно-Заунгузского разреза. В верхней песчано-доломитовой пачке верхнего маастрихта повышается количество кварца и лимонита. Характеристика этой пачки приводится по разрезу Восточного Заунгузья, где она в результате менее глубокого предплеоценового размыва имеет большую мощность. Пачка отличается максимальным содержанием кварца при заметном уменьшении количества полевых шпатов, а также резким увеличением магнетита, эпидота и зеленой роговой обманки. Для отложения маастрихта на всей рассматриваемой площади характерной является интенсивно окрашенная в желто-бурый цвет, нередко сдвойникованная разновидность ставролита с призматической, реже неправильной формой зерен с резко зазубренными краями. Отмечаемые на зернах пилообразные наросты указывают на возможность образования (роста) ставролита в осадочных породах [3]. Залегающие выше отложения палеоцена характеризуются резким падением содержания кварца, нерудных непрозрачных минералов, сфена, эпидота, турмалина, ставролита и увеличением количества полевых шпатов и пирита. Весьма характерна четкая приуроченность к этим отложениям опала, количество которого достигает в легкой фракции 40%.

Приведенный материал показывает, что состав и содержание терригенных минералов в разрезе верхнего мела рассматриваемых районов изменялись весьма постепенно. Вверх по разрезу наряду с обогащением пород кварцем происходило уменьшение количества слюд и глауконита. Последний имеет широкое распространение в сеномане и туроне, затем встречается по разрезу спорадически и, начиная с кампана, в породах почти отсутствует. В тяжелой фракции постепенно увеличивается количество неустойчивых минералов эпидота, зеленой роговой обманки и моноклинного пироксена. Накопление их особенно усилилось с сантонского времени. В целом для верхнемеловых отложений характерна рutil-турмалин-ставролит-роговообманково-эпидот-гранат-циркон-магнетитовая ассоциация минералов. Возможность выделения для каждого яруса корреляционных комплексов минералов и выдержанность их на обширной площади Северной и Восточной Туркмении свидетельствуют о генетической связи этих отложений с единым по составу источником питания, что обуславливает отнесение всей рассматриваемой территории к единой терригенно-минералогической рutil-турмалин-ставролит-эпидот - роговообманково - гранат-циркон-магнетитовой провинции.

## Выводы

Основными характерными признаками являются:  
для сеномана — полимиктовый состав обломочного материала, слабая окатанность и плохая сортировка зерен, близкое содержание кварца и полевых шпатов, постоянное присутствие глауконита, высокое содержание устойчивых минералов (особенно в районе Восточного

Заунгузья), приуроченность фосфатонакопления, гидрослюдистый состав глин;

для турона — заметное преобладание кварца над полевыми шпатами, обогащение лимонитом и глауконитом, особенно верхних частей разреза, появление сидерита (наблюдается в шлифах), повышенные содержания эпидота и зеленой роговой обманки;

для коньяка — близкое содержание кварца и полевых шпатов, высокое содержание эпидота и зеленой роговой обманки, особенно в пограничных с туроном слоях, высокое содержание магнетита, почти полное отсутствие лимонита и общее уменьшение количества устойчивых минералов;

для сантона — резкое обогащение кварцем и карбонатом кальция, аномально высокое содержание минералов группы эпидота и зеленой роговой обманки (особенно в разрезе Восточного Заунгузья), незначительное количество лимонита и глауконита, четкое двучленное строение разреза;

для кампана — обильное количество лимонита (ожелезнение часто видно макроскопически), значительное обогащение гранатом, цирконом, магнетитом, а в разрезах Восточного Заунгузья и Приаралья наряду с этим более резкое увеличение содержания эпидота, зеленой роговой обманки и пирита, резкое изменение состава глин на монтмориллонитовый;

для маастрихта — более повышенные, по сравнению с кампаном, содержания нерудных непрозрачных минералов, эпидота, зеленой роговой обманки, моноклинного пироксена, турмалина и ставролита. Выделенные характерные комплексы минералов, как показали проведенные исследования, могут быть использованы при расчленении и сопоставлении разрезов верхнемеловых отложений Восточной и Северо-Восточной Туркмении (см. схему).

Туркменская геолого-геофизическая экспедиция  
УГ СМ ТССР

Поступило  
5 июня 1965 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Габриэлянц Г. А., Кривошеев В. Т., Блискавка А. Г. и др. — Сб. новые данные по геологии Туркменской ССР, вып. 1, М., 1963.
2. Ильин В. Д. — Верхнемеловые отложения Западного Узбекистана и сопредельных районов Туркмении. Автореферат диссертации, ВНИГНИ, 1963.
3. Саркисян С. Г., Преображенский П. А. — Минералы осадочных пород. Гостехиздат, М., 1954.
4. Фартуков М. М. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 1, 1965.

## БИОСТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ ВЕРХНЕГО МИОЦЕНА ЗАПАДНОГО И ЦЕНТРАЛЬНОГО КОПЕТ-ДАГА

Верхний миоцен Западного и Центрального Копет-Дага представлен только сарматским ярусом. Морские отложения мэотиса здесь отсутствуют.

Впервые изучением сарматского яруса Закаспийской области начал заниматься Н. И. Андрусов, который расчленил его на три подъяруса — нижний, средний и верхний. Это деление применяется и в настоящее время без каких-либо существенных изменений.

Широкое распространение ниже- и среднесарматских отложений в Западном Копет-Даге (Узек-Даг, Иланлы, Карагез) было установлено в 1913 г. Н. И. Андрусовым [1]. В дальнейшем многие исследователи отмечали присутствие ниже- и среднесарматских отложений в Центральном и Западном Копет-Даге.

В. П. Колесников [4] и А. В. Данов [2] обнаружили в толще красноватых песчаников и глин южнее Кизыл-Арвата *Mastra naviculata Bajly*, *M. praecaspiа Kol.* и отнесли ее к верхнему сармату.

В 1963 г. М. М. Судо [8] по моллюскам расчленил сарматский ярус хребта Иланлы. В нижнем сармате он выделяет (снизу вверх) слои с *Abra reflexa Eichw.*, слои с *Tornatina sp.*, слои с *Cardium ex. gr. dongingki Sinz.* и слои с *Cerithium disjunctum Sow.*, а в среднем сармате — слои с *Tapes gregarius (Goldf.)*, слои с *Barbotella sp.* и слои с *Mastra podolica Eichw.*

В 1958—1963 гг. нами, совместно с Т. Розевой, проводились полевые работы в предгорьях Западного и Центрального Копет-Дага. Были описаны основные разрезы миоценовых отложений. Некоторые результаты этих работ использованы в настоящей статье. По изменению родового и видового состава моллюсков нами детально расчленяются отложения сарматского яруса и уточняется возраст преимущественно континентальных формаций неогена в Западном и Центральном Копет-Даге.

Сарматские отложения в пределах Копет-Дага занимают значительную большую площадь, чем тортонские, более мощны, литологически разнообразны и палеонтологически богато охарактеризованы.

Во всех разрезах сармат согласно залегает на веселянских слоях конкского горизонта. Породы конкского горизонта (веселянские слои) и нижнего сармата во многих разрезах Копет-Дага имеют сходный ли-

тологический состав (постепенный переход). В этих случаях нижняя граница нижнего сармата устанавливается только по моллюскам.

Вертикальное изменение видового состава миоценовых моллюсков в разрезах Копет-Дага указывает, что некоторые нижнесарматские виды (*Mastra eichwaldi* Lask., *Cardium ruthenicum* Hilb., *C. praeplicatum* Hilb., *Tapes vitalianus* Orb., *Abra reflexa* Eichw. и другие) появляются еще в веселянское время, когда они существовали вместе с сартаганско-веселянскими стеногаллиными видами, такими как *Chlamys malvinae* Dub., *Arca turonica bosporana* David, *Anomia ehippium* L., *Cardium hispidum* Hilb., *C. andrusovi* Sok., *Turritella atamanica* Bog. Однако последние виды не переходят в вышележащие слои нижнего сармата, тогда как виды, перечисленные выше, находят в нижнем сармате благоприятные условия для дальнейшего развития. Таким образом, в конце конкского времени все стеногаллинные формы исчезают и остаются только лишь сарматские виды. Это дало нам возможность повсеместно установить нижнюю границу сарматского яруса.

По видовому составу моллюсков в исследуемом районе выделяются нижний, средний подъярусы сармата и условные красноцветные слои без фауны верхнего сармата.

### Нижний сармат

Нижнесарматские отложения по вертикальному изменению к горизонтальному распространению фауны моллюсков можно разделить на два слоя (зоны). Нижняя зона — слои с *Abra reflexa* и *Mastra eichwaldi*, верхняя — слои с *Cardium plicatum* (табл. 1).

Слои с *Abra reflexa* и *Mastra eichwaldi* сложены в основном серыми, голубовато-серыми известняковистыми глинами с прослойками плотных мергелей, известняков-ракушняков. Мощность их доходит до 76 м. Характеризуются они наличием форм: *Abra reflexa* (Eichw.), *Mastra eichwaldi* Lask., *Tapes vitalianus* Orb., *Cardium ruthenicum* Hilb., *C. praeplicatum* Hilb., *Donax lucidus* Eichw., *D. dentiger* Eichw., *Ervilia pusilla dissita* (Eichw.). Среди этих видов в большом количестве встречаются *Abra reflexa* (Eichw.) и *Mastra eichwaldi* Lask. Здесь надо отметить, что *Abra reflexa* (Eichw.) приурочены во всех разрезах к относительно глубоководным глинистым отложениям бассейна, тогда как *Mastra eichwaldi* Lask. распространены в прибрежных мелководных песчано-известковистых осадках. В результате этого, участками получает широкое развитие *Mastra eichwaldi* Lask., в то время как *Abra reflexa* (Eichw.) встречается редко; участками картина меняется. Таким образом, по фауне и по литологии эти слои хорошо выделяются в разрезах и хорошо прослеживаются по простираанию.

Выше этих слоев родовой и видовой состав фауны резко меняется. появляются новые представители родов *Cardium*, *Tapes*, *Buccinum*, *Bulla* и других. Среди них преобладающую роль играет пышно развивающийся вид *Cardium plicatum*. Поэтому, верхняя половина нижнего сармата выделена нами как слои с *Cardium plicatum*.

Слои с *Cardium plicatum* характеризуются наличием следующих видов: *Cardium plicatum* Eichw., *C. ustjurtense* Kol., *C. vindobonense* (Partsch.) Lask., *C. lithopodolicum* Dub., *C. transcarpaticum* Grish., *C. sarmaticum* Bog., *C. praeplicatum* Hilb., *Mastra eichwaldi* Lask., *Tapes vitalianus* Orb., *T. vitalianus* Orb. var. *aksajica* Bog., *T. ex gr. naviculatus* R. Hoern, *Modiola sarmatica* Gat., *Ervilia pusilla dissita* Eichw., *Donax ex gr. dentiger* Eichw., *Bulla ustjurtensis* Eichw., *Buccinum duplicatum* Sow. var. *gradoria* Kol., *Akburenella scalaris* Andrus., *Trochus* sp., *Cerithium mitrale* Eichw., *C. ministrieri* Orb., *Griptomactra pes-aneris?* Andrus

и других. Все эти виды приурочены в основном к известковистым песчаникам, известнякам, мергелям, изредка к песчанистым глинам. Слои с *Cardium plicatum* представлены серыми, зеленовато-серыми, слегка песчанистыми известковистыми глинами с пропластками известняков-ракушнякав, мергелей и песчаников. В южной части юго-западного Копет-Дага они сложены преимущественно органогенными известняками с прослоями глил и известняковистых песчаников. Общая мощность этих слоев в Западном и Центральном Копет-Даге колеблется от 29 до 92 м. Верхняя граница слоев с *Cardium plicatum* определяется на основании резкого количественного уменьшения, а местами исчезновения некоторых представителей родов *Cardium* и *Abra* и появления крупных, типично среднесарматских форм, таких как *Mastra vitaliana* Orb., *M. vitaliana pallasii* Orb., *Tapes gregarius* (Goldf.) и другие. На границе нижнего и среднего сармата появляется много новых родов и видов, которые пышно развивались лишь в среднесарматском бассейне.

Таблица 1

Биостратиграфическое расчленение верхнемиоценовых (сарматских) отложений в предгорьях Западного и Центрального Копет-Дага по моллюскам

Отдел	Ярус	Под-ярус	Зоны или слои	Мощн. в м.	Характерные комплексы макрофауны	
						М и о ц е н
С а р м а т с к и й		Вер-хний	Красноцветные слои без фауны	70-210		
			Средний	Красноцветные слои с <i>Mastra</i>	40-80	<i>Mastra podolica</i> Eichw., <i>M. podolica naviculata</i> Bajly., <i>M. subvitaliana</i> Kol., <i>M. georgei</i> Bajly., <i>M. aff. andrusovi</i> Kol., <i>Donax aff. dentiger</i> Eichw., <i>Solen subfragilis</i> Lask., <i>Cardium subfittoni</i> Orb., <i>Modiola aff. gatuevi</i> Kol.
				Слой с <i>Buccinum</i> и <i>Trochus</i>	30-154	<i>Trochus sarmates</i> Eichw., <i>Trochus angulata-sarmates</i> Sinz., <i>Tr. praefienconianus</i> Kol., <i>Buccinum omnivagum</i> Kol., <i>B. opinoble</i> Kol., <i>Cardium dongingki</i> Sinz., <i>C. kishinevense</i> Kol.
				Слой с <i>Mastra vitaliana</i> и <i>Tapes gregarius</i>	14-201	<i>Mastra vitaliana</i> Orb., <i>M. vitaliana pallasii</i> (Bajly.), <i>M. vitaliana turkmena</i> Neves. et Merkl., <i>M. vitaliana fabreana</i> Orb., <i>Tapes gregarius</i> (Goldf.), <i>T. naviculatus</i> R. Hörn., <i>T. vitalianus</i> Orb. var. <i>mediosarmatica</i> Andrus., <i>Cardium dongingki</i> Sinz., <i>C. Loveni</i> Sinz., <i>C. quadripartitum</i> Kol., var. <i>protractiformis</i> Andrus., <i>C. ingratum</i> Kol., <i>C. fittoni</i> Orb., <i>Donax priscus</i> Eichw., <i>Trochus</i> sp., <i>Buccinum</i> sp.
			Нижний	Слой с <i>Cardium plicatum</i>	20-92	<i>Cardium plicatum</i> Eichw., <i>C. praeplicatum</i> Hilb., <i>C. vindobonense</i> (Partsch.) Lask., <i>C. lithopodolicum</i> Dub., <i>C. transcarpaticum</i> Grish., <i>C. sarmaticum</i> Bog., <i>Mastra eichwaldi</i> Lask., <i>Tapes vitalianus</i> Orb., <i>T. vitalianus aksajicus</i> Bog., <i>Modiola sarmatica</i> Gat., <i>Ervilia pusilla dissita</i> Eichw., <i>Donax dentiger</i> Eichw., <i>Bulla ex gr. ustjurtensis</i> Eichw.
				Слой с <i>Mastra eichwaldi</i> и <i>Abra reflexa</i>	11-76	<i>Abra reflexa</i> (Eichw.), <i>A. alba scythica</i> Sok., <i>Mastra eichwaldi</i> Lask., <i>Tapes vitalianus</i> Orb., <i>Cardium ruthenicum</i> Halb., <i>C. praeplicatum</i> Hilb., <i>Donax lucodus</i> Eichw., <i>Ervilia</i> sp., <i>Modiola</i> sp.

Среднесарматские отложения предгорий Западного и Центрального Копет-Дага по моллюскам расчленяются (снизу вверх) на слои с *Maetra vitaliana* и *Tapes gregarius*, слои с *Buccinum* и *Trochus* и красноватые слои с *Maetra*.

*Слои с Maetra vitaliana и Tapes gregarius.* Из этих слоев определены нами следующие виды: *Maetra vitaliana* Orb., *M. vitaliana pallasi* (Bajly.), *M. vitaliana turkmena* Nevess. Merkl., *M. vitaliana fabreana* Orb., *M. podolica* Eichw., *M. subvitaliana* Kol., *M. podolica naviculata* Bajly., *M. georgei* Bajly., *M. nalivkini* Kol., *M. quasi-deltoides* Sinz., *M. tapesoides* Sinz., *Tapes (Paphia) gregarius* (Goldf.), *T. naviculatas* R. Hoern., *T. vitalianus* Orb. var. *mediosarmatica* Andrus., *T. tricuspis* (Eichw.), *Cardium dongingki* Sinz., *C. loveni* Sinz., *C. quadripartitum* Kol. var. *protractiformis* Andrus., *C. ingratum* Kol., *C. fittoni* Orb., *C. plicatofittoni* Sinz., *C. pium* Zhizh., *C. ustjurtense* Kol., *C. gatuevi* Kol., *C. kishinevense* Kol., *C. vindobonense* Lask., *C. plicatum nexingense* Papp., *C. michailovi* Toul., *C. desperatum* Kol., *C. ingratum* Kol., *C. nalivkini* Kol., *C. inflatum* Sinz., *C. danovi* Kol., *C. sartanse* Merkl., *Solen subfragilis* Eichw., *Ervilia dissita* Eichw. var. *andrussovi* Kol., *Trochus angulata-sarmates* Sinz., *Tr. pseudoangulatus* Sinz. var. *tschebrikensis* Usp., *Tr. beaumontii* Kol., *Tr. sarmates* Eichw. var. *akburunensis* Kol., *Barbotella hornesi* Sinz., *Monodonta mamila* Andrus., *Cerithium mitreolum* Eichw., *C. penetrabiba* Kol., *C. nymphoides* Kol., *C. disjunctum* Sow., *Buccinum trifurmis* Kol. var. *pellax* Kol., *B. corbium* Orb., *B. dissitum* Kol., *Bulla reseniensis* Kol., *B. ustjurtensis* Eichw. и другие. Как видно, среднесарматская фауна (слои с *Maetra vitaliana* и *Tapes gregarius*) резко отличается от фауны нижнего сармата. Для нее характерно то, что некоторые виды родов *Maetra* и *Tapes*, *Trochus* и др., сильно развиваясь, достигают больших размеров, образуют большие скопления и являются руководящими формами для среднего сармата. Такие особенности наблюдаются во всех разрезах Западного и Центрального Копет-Дага. Это позволило установить границу между отложениями нижнего и среднего сармата.

Слои с *Maetra vitaliana* и *Tapes gregarius* в разрезах Узек-Дага, Иланлы, Эзет-Дага, Ак-Япы и Кел-Ата сложены глинами, известняками и известковистыми песчаниками с прослойками ракушнякав. В юго-западной части Копет-Дага, в частности в разрезах Калаус, Яловач, Умгалы и Уйля они представлены преимущественно белыми, розоватыми оолитовыми известняками-ракушняками малой мощности, а в разрезах Ак-Даг (Диоджи) песчанистыми известняками-ракушняками. Общая мощность этих слоев в разрезах Западного и Центрального Копет-Дага колеблется от 14 до 204 м.

*Слои с Buccinum и Trochus* представлены в основном песчанистыми глинами, песчаниками с прослойками песчанистых известняков с многочисленными гастроподами. Мощность слоев от 30 до 154 м. Они характеризуются наличием крупных и хорошо сохранившихся представителей родов *Buccinum* и *Trochus*: *Buccinum duplicatum* Sow. var. *gradoria* Kol., *B. ominosa* Kol., *B. opinabile* Kol. var. *trabalis* Kol., *B. superabile* Kol. var. *mercida* Kol., *B. dovelinum* Orb., *B. corbium* Orb., *B. omnivagum* Kol., *B. dissitum* Kol., *B. duplicatum naueri* Sinz., *Tr. praefenationianus* Kol., *Tr. pseudoangulatus* Sinz., *Tr. robur* David., *Tr. angulatoformis* Sinz., *Tr. kishinevensis* Orb., *Tr. beamontii* Kol., *Tr. cardieranus* Orb., *Tr. rolandianus* Orb., *Tr. margaritoideus* Sinz., *Barbotella grossocostata* Rod., *B. hornesi* Barb., *Monodonta noduliformis* Sinz., *Cerithium nefaris* Kol., *Solen subfragilis* Eichw., *Maetra podolica* Eichw.,

*M. subvitaliana* Kol., *M. vitaliana* Orb., *M. podolica naviculata* Bajly, *M. tapesoides* Sinz., *Tapes gregarius* (Goldf.), *T. vitalianus* Orb. var. *mediosarmatica* Orb., *Cardium dongingki* Sinz., *C. fittoni fittoni* Orb., *C. plicatofittoni* Sinz., *C. transcarpaticum* Grischk., *C. nalivkini* Kol., *C. danovi* Kol., *Modiola sarmatica* Gat. и другие. Перечисленные формы приурочены к песчано-глинистым осадкам. Площадь распространения фаунистически охарактеризованных слоев с *Vuccinum* и *Trochus* несколько сокращается, по сравнению с площадью развития предыдущих слоев, и самый восточный их выход расположен у г. Диоджи. Далее, на восток, в предгорьях Копет-Дага палеонтологически охарактеризованные отложения этих слоев отсутствуют; аналоги их здесь представлены прибрежными грубообломочными терригенными породами (рис. 1).

Это объясняется тем, что к востоку от г. Диоджи регрессия моря началась гораздо раньше. Вследствие этого здесь раньше возникли континентальные условия осадконакопления. Аналогичная регрессия моря имела место во время образования слоев с *Vuccinum* и *Trochus* в Юго-Западном Копет-Даге; в частности, в районах Кулмач, Сирим, Яловач и Кафи-Даг, морские отложения слоев с *Vuccinum* и *Trochus* также отсутствуют, они замещаются континентальными грубообломочными прибрежными породами. Следовательно, в это время в предгорьях Копет-Дага береговая линия сарматского бассейна несколько сокращается. Таким образом, уже в это время в Западном Копет-Даге местами начали образовываться красноцветные слои «надсарматской» свиты.

В Западном Копет-Даге эти слои сложены красновато-бурыми, коричневыми, серыми песчанистыми глинами, песчаниками с включением гравия и галек. Мощность их от 30 до 300 м. Перекрываются они с угловым несогласием и разрывом отложениями ачкагыльского яруса.

Надо отметить, что в разрезах Эзет-Дага, Иланлы и Узек-Дага красноцветные слои фаунистически полностью охарактеризованы. Нами определены следующие виды: *Mastra podolica* Eichw., *M. podolica naviculata* Bajly, *M. subvitaliana* Kol., *M. geargei* Bajly, *Donax* aff. *dentiger* Eichw., *Solen subfragilis* R. Hoern, *Cardium subfittoni* Orb., *Modiola* ex gr. *gatuevi* Kol. Все они приурочены к известковистым песчаникам, песчанистым глинам и редко мергелям. Слои хорошо прослеживаются по простиранию. Перечисленная выше фауна является реликтовой по отношению к среднесарматской. Из всех пышно развитых среднесарматских видов лишь эти формы дожили до конца среднего сармата. Аналогичные ассоциации фауны обнаружены нами в разрезах Ак-Дага (Диоджи), Акча-Дага, они приурочены к нижней части красноцветных слоев. Фаунистически охарактеризованная их часть в Акчадагском разрезе — 40 м, в Акдагском (Диоджи) — около 60 м. В более высоких частях этих разрезов фауна пока не обнаружена. Однако по литологическому составу они являются непосредственным продолжением нижней части. Поэтому мы их относим к позднему сармату.

Таким образом, красноцветные отложения в разрезах Акча-Дага, Ак-Дага (Диоджи) могут быть подразделены на две части: 1) нижнюю — красноцветные слои с *Mastra*, относящиеся к верхам среднего сармата; этим слоям также соответствуют красноцветные слои Эзет-Дага, Иланды, Узек-Дага и 2) верхнюю — красноцветные слои без фауны, соответствующие верхнему сармату (рис. 1).

Надо отметить, что о возрасте этих слоев Западного Копет-Дага и казганчайской свиты Центрального Копет-Дага существуют разные мнения.

В 1932 г. в Западном Копет-Даге выделены И. И. Никшичем красноцветные отложения «надсарматской свиты», которые им отнесены по возрасту к верхнему сармату — нижнему плиоцену. В. П. Колесников [4] в 1935 г. на основании находок фауны пришел к выводу, что нижняя часть «надсарматской» толщи отлагалась в позднесарматское время.

П. И. Калугин в 1964 г., выделив в Центральном Копет-Даге казганчайскую свиту, сопоставил ее с «надсарматской свитой» Западного Копет-Дага и отнес к верхнему миоцену и нижнему плиоцену. М. П. Сукачева (1950 г.) отмечает, что «надсарматская свита» (континентальная толща Западного Копет-Дага) соответствует подакчагыльским конгломератам Малого Балхана и красноцветной толще Прибалханской депрессии.

А. В. Данов [2] все эти свиты объединяет, дает им название «иомудская серия» и относит к верхнему миоцену и нижнему плиоцену.

С. Д. Иванов [3], изучая неогеновые отложения Западного Копет-Дага, на основании определений фауны А. Г. Эберзиным, пришел к правильному выводу, что «надсарматская» красноцветная свита Западного Копет-Дага по возрасту относится к сармату.

Изучив более детально надсарматскую свиту Западного Копет-Дага в течение 1958—1961 гг., Т. Р. Розьева и О. Узакон [7], на основании моллюсков и остракод, найденных в разрезах Эзет-Дага, Иланлы, Узек-Дага, Акча-Дага (Диоджи), уверенно относят ее к среднему — верхнему сармату.

Г. И. Попов [6] по фауне, найденной в разрезе Иланлы, считает, что «надсарматская» красноцветная толща Западного Копет-Дага по возрасту относится к среднему сармату.

Разные мнения ученых о возрасте «надсарматской свиты» Западного Копет-Дага и казганчайской свиты или иомудской толщи Центрального Копет-Дага свидетельствуют о недостаточной изученности континентальных миоцен-плиоценовых отложений Копет-Дага.

В настоящее время у нас имеется большой фактический материал, который дает возможность не только подробно расчленить морские осадки миоцена (табл. 1), но и позволяет в некоторой степени уточнить возраст преимущественно континентальной толщи неогена в Западном и Центральном Копет-Даге (рис. 1).

В южной части Юго-Западного Копет-Дага (г. Сирим) красноцветные образования начинаются с конкского горизонта (фоладовые слои). Здесь, в песчано-глинистом пласте, встречается фауна, определяющая его конкский возраст.

В районе г. Кулмач континентальные условия осадконакопления начались со среднего сармата (слои с *Mastra vitaliana*, *Tapes gregarius*) и продолжались до конца миоцена.

В Акча-Дагском разрезе континентальные красно-бурые пески и песчаники мощностью около 120 м относятся к верхам среднего сармата (слои с *Vuccinum* и *Trochus*). Нижняя часть (40 м) этой красноцветной толщи фаунистически охарактеризована и сопоставляется с красноцветными слоями Эзет-Дага, Иланлы и Узек-Дага, которые отнесены нами к среднему сармату — красноцветные слои с *Mastra* (рис. 1).

Аналогичный разрез нами описан в толще Диоджи (Кизыл-Арват), где мощность красноцветной толщи доходит до 300 м. Здесь нижняя ее часть (примерно 60 м) фаунистически охарактеризована (здесь фауна обнаружена также Л. Н. Смирновым, Т. М. Лаптевой, Т. М. Телюшенко) и хорошо сопоставляется с разрезом Акча-Дага.

В Актепинском районе Центрального Копет-Дага континентальные условия осадконакопления начались с раннего—среднего миоцена (ка-

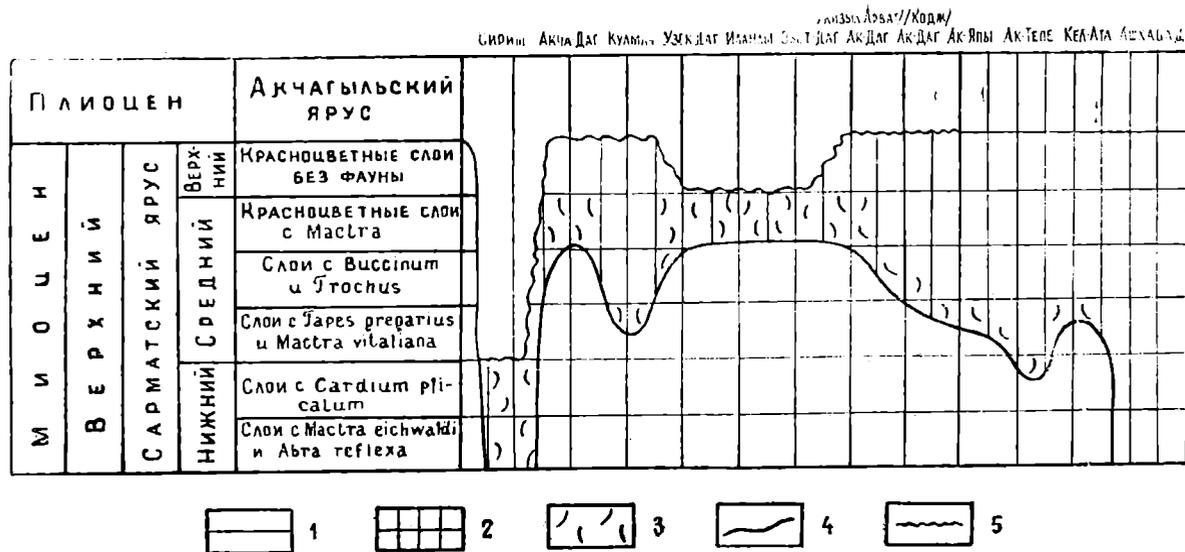


Рис. 1. Распространение красноцветных, преимущественно континентальных формаций неогена и их возраст в предгорьях Западного и Центрального Копет-Дага. 1 — Распространение морских осадков неогена; 2 — распространение красноцветных, преимущественно континентальных формаций неогена; 3 — фауна маллюсков; 4 — границы преимущественно континентальных формаций неогена с морскими; 5 — размыв между миоценом и акчагылом.

рагауданское время), однако во время отложения фоладовых и сартаганских слоев конкского горизонта и в раннесарматское время (слой с *Cardium plicatum*) континентальный режим кратковременно сменялся морским. Об этом свидетельствует морская фауна моллюсков, приуроченная к песчанистым известнякам, мергелям и глинам, встреченная нами среди гравийных конгломератов. Следовательно, актепинский район неоднократно заливался морем. Эти периодические колебания прекратились после отложения слоев с *Cardium plicatum*; континентальные условия осадконакопления продолжались, очевидно, до конца неогена. Поэтому здесь накопилась мощная пачка гравийных конгломератов и песчано-глинистых пород. Они, по нашему мнению, соответствует среднему и среднему-верхнему сармату. Это доказывается сопоставлением с разрезом Кел-Ата, где средний сармат фаунистически охарактеризован.

В разрезе Кел-Ата континентальный режим начался со среднего сармата (верхняя часть слоев с *Macra vitaliana* и *Tapes gregarius*) и продолжался, очевидно, до конца, неогена.

Надо отметить, что в разрезе Кел-Ата фаунистически охарактеризованный средний сармат постепенно переходит в казганчайскую толщу, сложенную песчано-глинистыми породами с отдельными пластинами гравийных конгломератов мощностью 400—420 м. Она соответствует времени отложения верхней части слоев с *Macra vitaliana* и *Tapes gregarius*, слоев с *Vuccinum* и *Trochus* и красноцветных слоев с *Macra* среднего сармата и красноцветных слоев без фауны верхнего сармата (рис. 1). По объему она соответствует фаунистически охарактеризованному разрезу Эзет-Дага и Иланлы. Учитывая эти данные, песчано-глинистую красноцветную толщу разрезов Ак-Тепе и Кел-Ата условно можно отнести к сармату. Выше залегает другая пачка конгломератов (мощностью 200—300 м), которая резко отличается от нижележащих слоев по цвету и по литологическому составу пород.

Проследивание морских осадков акчагыльского яруса в предгорьях Копет-Дага указывает, что к востоку от г. Ак-Япы (Арчман) морские отложения акчагыла полностью замещаются прибрежными континентальными грубообломочными породами. Если так, то конгломератовая пачка в разрезах Ак-Тепе и Кел-Ата в какой-то степени может соответствовать акчагылу (рис. 1).

Следует отметить, что все преимущественно континентальные верхнемиоценовые отложения Западного и Центрального Копет-Дага согласно залегают на разных морских слоях миоцена и с резким угловым несогласием, с глубоким размывом перекрываются морскими и континентальными отложениями акчагыльского яруса (рис. 1). Это наводит на мысль о том, что осадки моложе сармата, до акчагыла (если они были), очевидно, уничтожены преакчагыльским размывом. Не исключено, что в мезотическое и ранне-среднеплиоценовое время в предгорьях Западного и Центрального Копет-Дага происходила длительная денудация, вследствие чего мы не имеем здесь морских аналогов этих отложений.

Из приведенных выше данных видно, что преимущественно континентальные образования миоцена и плиоцена начали формироваться в разных местах в разное время: нижняя граница красноцветной толщи в Западном Копет-Даге (Иланлы, Эзет-Даг, Узек-Даг, Акча-Даг, Ак-Даг) несколько моложе, чем нижняя граница ее в Центральном Копет-Даге, тогда как верхняя граница ее в Западном Копет-Даге несколько древнее, чем в Центральном Копет-Даге (рис. 1). Поэтому, устанавливая возраст в каждом разрезе отдельно, необходимо рассматривать эту толщу как преимущественно континентальную формацию



неогена. Вертикальные изменения сарматской фауны предгорий Западного и Центрального Копет-Дага указывают, что фауна нижнего сармата произошла из конкских форм, а среднесарматские формы получили свое начало от нижнесарматских. В позднесарматское время в пределах Копет-Дага не было благоприятных условий для развития фауны, поэтому в конце среднего сармата вымерли почти все среднесарматские представители. Таким образом, в сарматский век фауна моллюсков в предгорьях Западного и Центрального Копет-Дага претерпевает сильные изменения, об этом свидетельствует количественное распределение родов и видов (табл. 2).

### Выводы

Вертикальное изменение родового и видового состава моллюсков в сарматских отложениях Копет-Дага дало нам возможность (снизу вверх) выделить слои в *Abra reflexa* и *Macra eiswaldi*, слои с *Cardium plicatum* в нижнем сармате, слои с *Macra vitaliana* и *Tapes gregarius*, слои с *Vuccinum* и *Trochus* и красноцветные слои с *Macra* в среднем сармате, красноцветные слои без фауны в верхнем сармате (табл. 1).

Пречисленные слои (кроме последних) характеризуются рядом хорошо обособленных видов и родов пелеципод и гастропод (табл. 1). Основанием для выделения указанных слоев послужило массовое появление или исчезновение в разрезе сарматского яруса тех или иных видов и родов, а также смена одних характерных комплексов другими.

Биостратиграфическое расчленение сарматского яруса в предгорьях Западного и Центрального Копет-Дага позволило уточнить возраст преимущественно континентальной формации неогена, формирование которой началось в разных местах в разное время. Континентальные красноцветные отложения Западного и Центрального Копет-Дага соответствуют в разных местах разным стратиграфическим интервалам миоцена и плиоцена (рис. 1). «Надсарматская» свита Копет-Дага образовалась главным образом в средне-верхнесарматское время и не соответствует своему названию. Предлагаем новое название — «диоджинская» свита, так как ее наиболее полные разрезы имеются в г. Дюджи, расположенном 3—5 км к югу и юго-востоку от Кизыл-Арвата.

Институт геологии  
МГ СССР (Ашхабад)

Поступило  
5 марта 1965 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Андрусов Н. И. — Известия Геол. Ком., т. XXXIII, № 8, 1913.
2. Данов А. В. — Геология СССР, т. XXII, ч. I, 1957.
3. Иванов С. Д. — Тр. ВНИГНИ, вып. XXXV, 1961.
4. Колесников В. П. — Палеонтология СССР, т. X, ч. 2, 1935.
5. Мерклин Р. Л., Невеская Л. А. — Тр. ПИН АН СССР, т. LIX, М., 1955.
6. Попов Г. И. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 4, 1963.
7. Розыева Т. Р., Узakov О. — Вопросы геологии Туркмении. Сборник, посвященный XXII МГК, Ашхабад, 1965.
8. Судо М. М. — Сб. Новые данные по геологии Туркменской ССР, вып. I, М., 1963.

### МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПАЛЕОГЕНОВЫХ ГЛИН ЦЕНТРАЛЬНОГО КОПЕТ-ДАГА ПО ДАННЫМ РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА

Исследование палеогеновых глин Центрального Копет-Дага велось на стратиграфической основе, разработанной А. В. Дмитриевым и Г. Е. Кожевниковой [1], от которых получен фактический материал. В статье также использованы материалы П. И. Калугина, Ю. Б. Айзенберга и автора. Литологическое описание пород в статье А. В. Дмитриева и Г. Е. Кожевниковой выполнено Т. Х. Таповицкой.

Исследования образцов глин проводились на УРС-55, с Fe-излучением в камере РДК=57,3 мм с измененными ловушками;  $I=14$  ма,  $V=50$  кV, время экспозиции 15 минут, интенсивность оценивалась визуально по 10-бальной шкале. Рентгенограммы снимались с пород, с их фракций меньше 0,001 мм; с фракций меньше 0,001 мм, насыщенных глицерином, искусственно ориентированных и прокаленных при температурах 600—700° и обработанных раствором КОН.

В Центральном Копет-Даге палеогеновые отложения обнажаются в предгорной полосе, к северу от передовой цепи Копет-Дага, и слагают Келятинскую, Актепинскую и Куручайскую гряды. В районе Арчмана палеогеновые отложения образуют узкую полосу по северному крылу Келатской складки. Отложения палеогена Центрального Копет-Дага представлены глинами, мергелями, известняками и алевролитами, которые обычно прикрыты с поверхности наносами. Более полному исследованию подвергались глины Келятинской гряды на предмет промышленного использования их в качестве исходного сырья для производства керамзитового гравия и керамических изделий.

Известно, что основные физико-химические и механические свойства керамических изделий зависят от природы исходного сырья. Свойства сырья находятся в прямой зависимости от его минералогического состава. В 1963 г. опубликована работа А. Ф. Коваленко и В. Н. Виноградова [2], в которой авторы приводят только некоторые данные по минералогическому составу отдельных месторождений глин Туркмении.

В настоящей работе приводятся результаты детальных исследований минералогического состава (около 200 образцов) палеогеновых глин Центрального Копет-Дага.

## Палеоцен

Палеоцен Центрального Копет-Дага делится на два подотдела: нижний, верхний. Из нижнего подотдела мощностью 4 м исследовался один образец 032/1. Образец сильно карбонатный и выделение фракции меньше 0,001 мм было затруднено.

Из неглинистых минералов на рентгенограмме образца видны

Таблица 1

Порошковые рентгенограммы образцов палеоценовых глин Центрального Копет-Дага			
032/1		030/9	
нижний подотдел		верхний подотдел	
<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>
12,7	0,5	13,2	0,5
9,89	1,0	9,76	4,0
		7,03	1,0
4,89	0,5	4,93	2,0
4,50	1,0	4,47	10,0
4,18	0,5	4,25	2,0
3,70	1,0	3,68	3,0
3,48	0,5	3,46	0,5
3,31	9,0	3,33	10,0
3,16	0,5	3,16	0,5
2,99	10,0	3,003	2,0
2,80	2,0	2,80	2,0
2,70	1,0		
2,55	3,0	2,55	8,0
2,47	2,0	2,43	2,0
		2,36	2,0
2,26	2,0	2,25	1,0
2,17	0,5	2,18	0,5
2,07	2,6	2,10	1,0
1,972	1,0	1,97	1,0
1,899	3,0		
1,861	4,0	1,86	1,0
1,807	0,5	1,80	2,0
1,766	0,5		
1,733	0,5		
1,692	0,5	1,69	1,0
1,619	0,5	1,64	2,0
1,595	1,0		
1,567	0,5		
1,541	1,0	1,53	2,0
1,515	1,0		
1,495	1,0	1,49	4,0
1,43	1,0		
1,417	1,0	1,36	2,0

Примечание: *I* — интенсивность линии порошкограммы; *d* — межплоскостное расстояние.

кварц, кальцит, полевые шпаты, а из глинистых минералов — гидрослюда и монтмориллонит. Присутствие последнего минерала подтверждается данными рентгеноструктурного анализа при насыщении образца глицерином. До насыщения минерал имел отражение (001) 12,7 кХ, а после насыщения — 16,63 кХ. Очень характерна дифракционная картина других минералов (табл. 1). Верхний подотдел имеет мощность около 126 м и представлен в основном глинами. По данным рентгенограмм эти глины характеризуются постоянным составом и соотношением в них минералов, в отличие от глин нижнего подотдела. На рентгенограммах образцов глин верхнего палеоцена четко выделяются характерные линии гидрослюды (обр. 030/9 м). Область малых углов, начиная от первой линии гидрослюды к центру рентгенограммы, сильно затемнена. На затемнении, которое можно объяснить присутствием в образцах тонкозернистого монтмориллонитового минерала, видна линия  $cd = 13,2$  кХ. После насыщения образца глицерином рентгенограмма этого фона не имеет; линия 13,2 кХ остается на месте и появляется линия 17,7 кХ, подтверждающая присутствие в образцах монтмориллонитового минерала.

Кроме линии  $cd = 17,7$  кХ на рентгенограмме образцов, насыщенными глицерином, появилась слабая линия 11,56 кХ. Появление линии 11,56 кХ и присутствие линий 8,8; 7,92; 6,17 кХ можно объяснить наличием, кроме уже отмеченных минералов, смешанно-слоистых сростков минералов гидрослюда — монтмориллонит.

На рентгенограмме образца, искусственно ориентированного и прокаленного при 600°, отражения 7,03 и 3,56 кХ исчезли, что говорит о присутствии в породах минерала каолиновой группы. Линия 13,2 кХ на рентгенограмме прокаленного искусственно ориентированного образца и при 600 и 700° сохранилась, следовательно, в глинах еще присутствует хлоритовый минерал.

Таким образом, полный минеральный состав глин верхнего палеоцена таков: гидрослюда, монтмориллонит, каолинит, хлорит и минерал сросток.

### Эоцен

Эоценовые отложения Центрального Копет-Дага расчленяются на три подотдела: нижний, средний и верхний. В этот период накопление не носило постоянного характера. Так, в нижнем и среднем эоцене состав глин гидрослюдисто-монтмориллонитовый (табл. 2), последний минерал в некоторых интервалах незначительно изменяет свое количественное содержание. На рентгенограммах образцов глин нижнего эоцена резко выделяется дифракционный спектр каменной соли.

Таблица 2

Порошковые рентгенограммы образцов эоценовых глин Центрального Копет-Дага

Нижний эоцен				Средний эоцен		Верхний эоцен					
031/22		031/32		031/39		шурф № 5		шурф № 1		К - 281	
d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I
13,84	1,0			13,53	6,0	13,84	10,0	14,2	9,0	13,34	4,0
10,07	3,0	9,91	4,0	9,82	3,0	11,44	0,5	10,15	0,5	9,89	8,0
						9,99	0,5	8,80	0,5		
7,06	1,0	7,08	0,5	7,08	0,5					6,94	2,0
4,94	1,0	4,89	1,0	4,89	2,0	4,91	2,0	4,94	1,0	4,90	3,0
4,46	8,0	4,48	7,0	4,43	9,0	4,46	10,0	4,51	9,0	4,49	10,0
4,25	1,0	4,21	0,5	4,21	0,5						
		4,03	0,5	4,03	0,5	4,03	0,5	4,03	7,0		
		3,84	0,5	3,84	1,0						
3,71	2,0	3,66	3,0	3,66	2,0	3,66	0,5	3,70	1,0	3,67	1,0
3,50	1,0	3,48	0,5	3,48	0,5	3,49	0,0	3,52	0,5	3,50	0,5
3,33	5,0	3,33	10,0	3,32	10,0	3,32	0,5	3,33	10,0	3,33	10,0
		3,15	1,0	3,16	0,5			3,20	1,0	3,21	0,5
3,08	1,0					3,10	0,5				
3,02	1,0	3,006	5,0	3,006	7,0	3,03	0,5				
								2,98	0,5	2,98	0,5
2,81	10,0			2,78	1,0	2,80	1,0	2,78	0,0	2,83	2,0
2,55	3,0	2,55	4,0	2,55	7,0	2,55	6,0	2,56	3,0	2,55	10,0
		2,45	0,5	2,43	1,0	2,42	0,5	2,44	0,5	2,44	1,0
2,38	1,0	2,37	0,5	2,36	1,0	2,37	0,5	2,36	0,5	2,37	1,0
		2,27	1,0	2,25	1,0	2,26	0,5	2,25	0,5	2,24	0,5
		2,17	0,5					2,13	0,5	2,19	0,5
2,11	1,0	2,07	0,5	2,08	0,5			2,11	0,5	2,12	0,5
1,99	5,0	1,97	0,5	1,97	0,5			1,97	0,5	1,97	1,0
		1,90	0,5	1,90	1,0						
1,88	1,0	1,86	0,5	1,85	2,0			1,85	0,5	1,88	0,5
1,80	1,0	1,81	1,0	1,80	2,0	1,817	0,5	1,81	1,0	1,807	1,0
								1,79	0,5		
								1,76	0,5		
1,69	0,5			1,69	1,0	1,69	1,0	1,69	1,0	1,69	0,0
1,64	0,5			1,65	2,0	1,651	2,0	1,65	1,0	1,647	2,0
1,62	1,0										
1,53	1,0	1,54	1,0	1,53	2,0			1,53	1,0	1,53	0,5
1,50	1,0	1,49	3,0	1,49	4,0	1,495	6,0	1,99	2,0	1,49	9,0
1,40	1,0							1,41	0,5		
1,36	1,0	1,37	2,0	1,37	2,0			1,36	1,0	1,37	0,5

Среди неглинистых минералов выделяются кварц, кальцит и полевые шпаты. Соотношение минералогического состава глин в верхнем эоцене иное. Нижние горизонты глин верхнего эоцена (обр. шурфов № 5 и 1) сложены почти целиком из монтмориллонита. По эталонным снимкам определено приблизительное содержание монтмориллонита и гидрослюд.

Кровля глин верхнего эоцена представлена гидрослюдисто-монтмориллонитовыми глинами (обр. К-281).

На всех рентгенограммах, кроме рентгенограммы образцов шурфов № 6 и 1, четко выделяется характерный дифракционный спектр гидрослюд мусковитового типа, так как линия (060) имеет отражение  $d=1,50\text{кX}$ . Кроме характерных линий гидрослюд названных образцов (9,89—10,07кX; 4,89—4,94; 4,43—4,50; 3,33—3,34; 2,55; 1,50кX) присутствуют линии 13,34—13,84 и 6,94—7,08 кX, а также сильные линии 2,81; 1,99; 1,62; 1,15кX у образца 031/22. Последние линии слабо выражены у образцов 031/32 и 031/39. Линия 7кX искусственно ориентированных и прокаленных образцов при 600° исчезли, что говорит о присутствии в глинах каолинитового минерала. Линия 14кX сохранилась и при температуре 600 и 700°. Такими температурными свойствами обладают хлоритовые минералы. Отражения  $d=2,81\text{кX}$ ; 1,99; 1,62 и 1,55кX относятся к каменной соли. Надо отметить, что рентгенограммы в области между центром и линией 10кX указанных выше образцов завуалированы. Рентгенограмма образцов, насыщенных глицерином, не имеет вуали.

Таблица 3

Порошковые рентгенограммы образцов нижнеолигоценовых глин  
Центрального Колет-Дага

К - 275		К - 269		К - 263		К - 261		К - 256		К - 255	
<i>d</i>	<i>I</i>										
12,73	10,0	13,84	3,0	14,92	10,0	14,39	10,0	14,2	4,0	12,88	10,0
		10,07	4,0			9,81	5,0	9,89	3,0		
		7,07	0,5			7,02	0,5	6,94	0,5		
		5,45	0,5								
4,84	1,0	4,90	3,0	4,88	2,0	4,90	3,0	4,90	2,0	4,90	2,0
4,46	8,0	4,43	10,0	4,46	9,0	4,46	10,0	4,49	10,0	4,46	10,0
				4,15	1,0			4,25	0,5		
		3,85	0,5							3,73	0,2
		3,64	1,0			3,64	0,5	3,64	0,5		
		3,50	0,5			3,50	0,5	3,49	0,5	3,53	0,2
		3,31	10,0	3,30	1,0	3,33	8,0	3,33	9,0	3,33	0,2
		3,19	0,5			3,21	0,5	3,19	0,5		
3,06	1,0	3,07	0,5	3,04	1,0					3,04	0,5
		2,95	0,5								
		2,82	2,0	3,82	1,0	2,81	2,0	2,81	1,0	2,78	0,5
2,82	0,5			2,66	0,5			2,68	0,5		
2,69	0,5			2,55	4,0	2,55	10,0	2,56	10,0	2,55	5,0
2,56	3,0	2,44	1,0	2,43	4,0	2,44	1,0	2,44	1,0	2,43	1,0
2,46	0,5	2,37	1,0			2,37	1,0	2,37	1,0		
		2,23	0,5	2,23	0,5	2,24	0,5	2,25	0,5	2,21	0,5
		2,18	0,5	2,18	0,5	2,18	0,5	2,18	0,5		
		2,11	0,5			2,12	0,5	2,12	0,5	2,06	0,5
		1,97	0,5	1,961	0,5	1,97	1,0	1,97	0,5		
						1,86	0,5				
		1,81	0,5					1,82	0,5		
		1,80	0,5			1,80	0,5				
1,69	1,0	1,69	0,5	1,68	1,0	1,69	0,5	1,70	0,5	1,69	1,0
1,64	1,0	1,64	1,0	1,64	1,0	1,64	1,0	1,64	1,0	1,64	1,0
		1,53	0,5	1,55	0,5	1,53	0,5	1,54	0,5		
1,49	6,0	1,49	10,0	1,49	8,0	1,49	9,0	1,50	10,5	1,49	8,0
1,41	0,5			1,41	0,5					1,41	0,5

При этом появляется линия  $cd=17кХ$ . Это свидетельствует о наличии в породах очень дисперсного монтмориллонитового минерала. Из неглинистых минералов содержится в незначительном количестве кальцит и кварц.

Если в названных горизонтах глин основным минералом является гидрослюда, то в образцах шурфов № 6—1 основным минералом является монтмориллонит, а гидрослюда

Таблица 4

Порошковые рентгенограммы образцов среднеолигоценовых глин Центрального Копет-Дага

35/13 а, м		35/19 д	
<i>d</i>	<i>l</i>	<i>d</i>	<i>l</i>
12,73	3,0	12,73	2,0
9,81	0,5	9,89	2,0
7,12	0,5	7,07	0,5
4,89	2,0	4,91	0,5
4,46	10,6	4,41	3,0
		4,18	3,0
4,66	0,5	3,96	0,5
3,68	1,0	3,64	4,0
3,55	0,5	3,48	1,0
3,31	0,5	3,31	10,0
		3,15	2,0
		3,02	0,5
2,88	0,5	2,85	0,5
2,80	0,5	2,78	0,5
2,71	0,5		
2,59	3,0		
		2,54	3,0
		2,43	2,0
2,34	0,5	2,38	1,0
		2,26	2,0
		2,11	2,0
2,00	0,5	1,97	2,0
		1,80	2,0
		1,74	0,5
1,69	0,5	1,69	1,0
1,64	1,0	1,65	2,0
1,61	0,5		
		1,53	3,0
1,50	3,0	1,49	3,0
1,37	0,5	1,36	4,0

содержится в очень небольшом количестве. При насыщении глицерином сильная линия 14кХ отодвигается в положение 17кХ. Кроме монтмориллонита и гидрослюды в образцах присутствует кристобалит, линии которого более отчетливо выделяются на рентгенограмме образца шурфа № 1.

С целью определения природы монтмориллонитового минерала, образец его из шурфа № 1 насыщался катионом калия, он сжимает пакет до 10кХ, при образовании его не из слюдяных минералов пакет сжимается до 11—12кХ. На рентгенограмме с обработанного катионом калия образца линии 14кХ переместилась к 12кХ, но одновременно усилилась интенсивность линии 10кХ. Это можно, вероятно, объяснить присутствием в образце монтмориллонита, образовавшегося и из слюд и из неслюдяных минералов (возможно, вулканического пепла, если учесть присутствие кристобалита). На рентгенограмме образца шурфа № 5 есть линия очень слабой интенсивности  $d=11,44кХ$ . При насыщении образца глицерином она перемещается в положение 11кХ. По-видимому, присутствие этой линии указывает на содержание в образце минерала-сростка гидрослюда — монтмориллонит, в котором процентное содержание разбухающих слоев очень маленькое [3,4].

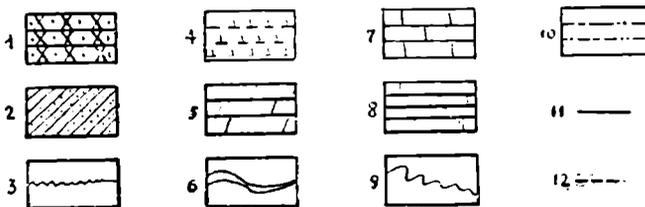
Исходя из исследований минерального состава эоценовых глин, можно сказать, что в течение нижнего и среднего времени шло равномерное осадконакопление глин, где преобладающим глинистым минералом была гидрослюда. Кроме гидрослюды присутствовали минералы хлоритовой, монтмориллонитовой и каолинитовой групп. В начале верхнего эоцена, основным осадкообразующим минералом стал монтмориллонит. Здесь наблюдаются монтмориллониты двух генетических типов: монтмориллонит, образовавшийся из слюд, и монтмориллонит неслюдяного происхождения.

#### Олигоцен

Олигоценовые отложения Центрального Копет-Дага подразделяются на 3 подотдела: нижний, средний и верхний. Глины, слагающие нижний подотдел, имеют гидрослюдисто-монтмориллонитовый состав. Присутствие монтмориллонита легко установить при насыщении образца

Примерное содержание двух основных минералов глин  
в отложениях Центрального Копет-Дага

СИСТЕМА	ОТДЕЛ	ПОДОТДЕЛ	СВИТА СЛОИ ГОРИЗОНТЫ	ЛИТОЛО- ГИЧЕСКАЯ КОЛОНКА	МОЩНОСТЬ в м	НОМЕРА ОБРАЗЦОВ	ПРОЦЕНТЫ	ХАРАКТЕРНЫЕ СХЕМАТИЧЕСКИЕ РЕНТГЕНОГРАММЫ	
ПАЛЕОГЕНОВАЯ	ОЛИГОЦЕН	ВЕРХНИЙ	КАРАГАУДАНСКАЯ СВИТА				25 50 75		
			АКТЕПИНСКИЕ СЛОИ		60.0	2/2-6 по с 2/1-а			
			СРЕДН. НИЖН.		25-12.0 25-22.0	3/1-а по 3/2 с 3/1-а(1)		3/1-а(7)	
	ЭОЦЕН	ВЕРХНИЙ	КЕЛЯТИНСКАЯ СВИТА		210.0 230.0	500/15 по с 500/1			
			НУММУЛИТОВЫЙ и ДРЕСЛОУДИКОВЫЙ ГОРИЗОНТ		71.0-72.0	по 41 с 03/137			
			НИЖНИЙ	КУРУЧАЙСКАЯ СВИТА		52.0- 92.0	по 03/36 с 03/32		
	ПАЛЕОЦЕН	ВЕРХНИЙ	МУРЧИНСКАЯ СВИТА		120.0	по 03/35 с 03/35			
			НИЖНИЙ	ЧАРАГДЖИНСКАЯ СВИТА		7.0		25 50 75	
	МЕЛОВАЯ	ДЯТСКИЙ ЯРУС							



- 1—песчаники; 2—алевролиты; 3—размыв; 4—известковые и известковистые глины;  
5—мергели; 6—неполная обнаженность; 7—известняки; 8—доломиты;  
9—фациальные замещения; 10—алевритовые и алевритистые глины;  
11—содержание монтмориллонита, %; 12—содержание гидрослюды, %.

глицерином. В некоторых образцах глин при насыщении их глицерином остаются слабые линии в области 14кХ, которые при насыщении образцов катионом калия или смещаются к 10кХ, или не меняют своего положения. В первом случае линии относятся к вермикулитовому минералу, а во втором — к хлоритовому.

Глины нижнего олигоцена переслаиваются прослойками, мощностью в несколько сантиметров, очень чистых монтмориллонитов: образцы К-275, К-263, К-255 (табл. 3). При насыщении глицерином их первые базальные отражения отодвигаются к 17кХ, а при насыщении катионом калия смещаются в положение 11,56—11,68кХ, что говорит о их неслюдястом происхождении. Надо отметить, что и по цвету и по поведению при насыщении катионом калия глины из прослоев отличаются от тех горизонтов, с которыми они контактируют (монтмориллонит из контактирующих горизонтов после обработки катионом калия имеет толщину пакета по оси  $c=10кХ$ ), что позволяет предполагать о их вулканическом происхождении. Глины среднего олигоцена Центрального Копет-Дага имеют гидрослюдясто-монтмориллонитовый состав. Характерные рентгенограммы для глин этого подотдела приводятся в табл. 4.

Отложения верхнего подотдела олигоцена представлены кварцевыми песчаниками.

### Выводы

Данные рентгенографического изучения глин Центрального Копет-Дага позволяют сделать выводы о качественном и приблизительном количественном содержании минералогического состава.

Выяснено, что в глинах фракции меньше 0,001 мм верхнего палеоцена, нижнего и среднего эоцена основным минералом является гидрослюда, количество которой меняется в пределах 50—90%. В келятинской свите количество гидрослюды в основном 5—10%, и только в верхней части свиты процентное содержание ее возрастает до 70—90%. Основным минералом глин келятинской свиты является монтмориллонит, содержание которого 70—80%.

Монтмориллонит в глинах келятинской свиты двух генетических типов. Основная масса образована из вулканического стекла, что подтверждается присутствием минерала кристобалита в этих слоях и уменьшением монтмориллонитового пакета при обработке его катионом калия до 11,6кХ; кроме того, в ней содержится, по-видимому, образовавшийся по слюде монтмориллонит.

В нижнем олигоцене гидрослюда составляет 60—90% глины, а монтмориллонит — 10—20%. В прослоях гиль-аби монтмориллонит имеет неслюдяное происхождение, содержание его 90—100%. На сводной колонке приводится примерное содержание двух основных глинистых минералов.

Природу монтмориллонитового минерала в отложениях келятинской свиты, а также присутствие в них кристобалита можно использовать как дополнительный корелятивный признак.

Глины келятинской свиты с наиболее богатым содержанием монтмориллонитовых минералов требуют дополнительных и более тщательных исследований с целью оценки их использования в производстве.

Институт геологии

МГ СССР (Ахшбад)

Поступило

1 сентября 1965 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев А. В., Кожевникова Г. Е. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 2, 1963.

2. Коваленко А. Ф., Виноградов Б. Н. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 2, 1963.

3. Сб. Рентгеновские методы определения и кристаллическое строение минералов глин. Изд. ИЛ, М., 1955.

4. Сб. Вопросы минералогии глин. Изд. ИЛ, М., 1962.

УДК 56 (116.2)

Н. У. НУРМАШЕВ

## СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ТУАРКЫРА И ИХ СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

В работе обобщаются результаты многолетних исследований спор и пыльцы из юрских отложений Туаркыра. Первые сведения о спорово-пыльцевом составе среднеюрских осадков исследуемого района принадлежат автору данной статьи [13]. В дальнейшем К. В. Виноградова [6] для среднего отдела юры выделяет 2 комплекса спор и пыльцы: ааленбайосский и батский. В данной статье на основании обработки 142 образцов из многих обнажений и скважин прослеживается закономерность распределения спор и пыльцы в юрских отложениях Туаркыра. Выделено 5 спорово-пыльцевых комплексов: нижнеюрский, ааленский, байосский, батский и верхнеюрский.

Систематическое описание юрской флоры данного района и выделение растительных комплексов на основании изучения листовых отпечатков произведено А. Т. Бураковой [3]. Литологическая характеристика, список ископаемых растений и фауны, стратиграфия юрских осадков исследуемого района приводятся в работах [1, 11, 12]. В данной работе автор придерживается стратиграфической схемы К. К. Машрыкова.

### Комплекс спор и пыльцы нижней юры (кизылтакирская свита)

Обоснование комплекса дано на материале изучения 12 образцов, содержащих споры и пыльцу.

Характерной особенностью спорово-пыльцевого комплекса нижнеюрских отложений Туаркыра является повсеместное преобладание спор плаунов, хвощей и папоротников (70—91%). Среди спор доминирующее положение принадлежит гладким формам треугольных очертаний: *Copiopteris* sp. — 6—24% (14,3%) и *Leiotriletes* Naum. (27%). Споры сем. *Lycosporodiaceae* (2,1%), *Selaginellaceae* (0,3%) встречены в малых количествах. Среди сем. *Selaginellaceae* характерно присутствие спор *Selaginella utrigera* Bolkh., а среди представителей папоротников выявлены споры сем. *Marattiaceae* (1,3%); *Marattisporites scabratus* Couper; *Osmundaceae* (2,1%); *Osmunda papillata* Bolkh., *O. sp.*, *Osmundi-*

Примечание. В скобках дано среднее процентное содержание спор и пыльцы.

tes plicatus (K.—M.) Bolkh., Schizaeaceae (1,6%); *Kluqisporites variegatus* Couper, K. sp., *Klukia* sp.; Dicksoniaceae (15%); *Coniopteris* sp., *Cibotium junctum* K.—M., Matoniaceae (3,1%); *Matonisporites phlebopteroides* Couper, *Matonia* sp., *Phlebopteris exornatus* Bolkh., *P. polypodioides* Brongn.; Dipteridaceae (2,8%); *Hausmannia anonyma* Bolkh., *Dictyophyllidites harrisii* Couper, *Dictyophyllum* sp., *Clathropteris obovata* var. *magna* Tur.—Ket., *Clathropteris* sp.

Среди спор, определенных по искусственной классификации, помимо подгруппы *Leiotriletes* Naum., необходимо отметить присутствие *Chomotriletes anagrammensis* K.—M. (1%), *Tripartina variabilis* Mal. (1%).

Пыльца голосеменных в комплексе занимает подчиненное положение. В ее составе постоянно встречаются пыльцевые зерна *Caytonia oncodes* Harris (1,1%), сем. Cycadaceae — Ginkgoaceae (12,5%), пор. Bennettitales (0,8%).

Среди пыльцы с воздушными мешками преобладающее место принадлежит формам примитивного строения (3,3%), принадлежащих, по-видимому, древним хвойным типа *Paleoconiferus*, *Protoconiferus*, *Paleoriceae*, *Pseudoriceae*, *Pseudoripus* и др. Пыльца, близкая по своим морфологическим особенностям к пыльце семейства Pinaceae, встречается в незначительном количестве (0,5%). Помимо перечисленных форм в осадках нижней юры определены пыльцевые зерна представителей сем. Podozamitaceae (3%), Araucariaceae (0,1%). Спорадически присутствует пыльца Cupressaceae — Taxodiaceae, *Eucommiidites troedssonii* Erdt., *Tetraporinites*.

По искусственной классификации определена некоторая часть представителей голосеменных: *Quadraculina limbata* Mal. (0,4%), *Psophosphaera* (1%), *Aggerella conferta* f. *typica* Mal. (2,6%), сближаемая с семейством Cupressaceae.

Следует отметить значительное участие спор сем. Matoniaceae, Dipteridaceae, представленных разнообразно в видовом отношении, что говорит за нижнеюрский возраст вмещающих их отложений. Нижнеюрский возраст отпечатков (кызылтакирская свита) подтверждается данными листовых отпечатков [3]. Заметное участие спор *Coniopteris* позволяет говорить о более высоких горизонтах нижнего отдела юры и предположительно датировать его верхним лейасом. Сопоставление спорово-пыльцевого комплекса нижней юры Туаркыра с одновозрастными спектрами Казахстана (Мангышлак, Орск, Ленгер), известными по данным З. П. Просвиряковой [14] и И. З. Фадеевой [15], а также с Северным Кавказом, по данным О. П. Ярошенко [15], не противоречит выводу о верхнелейасовом возрасте исследуемых осадков.

### Комплекс спор и пыльцы аалена

Спорово-пыльцевой комплекс аалена в разрезе юры охватывает осадки аалена и низы байоса в стратиграфической схеме К. Машрыкова [12]. Обоснование комплекса сделано на материале исследования 48 образцов, содержащих споры и пыльцу.

Характерной особенностью ааленского комплекса, подобно нижнеюрскому, является преобладание спор плаунов, хвощей и папоротников (63—90%).

Споры сем. Lycopodiaceae (1,9%) и Selaginellaceae (1%) присутствуют постоянно. Необходимо отметить среди плауновых появление спор *Selaginella rotundiformis* K.—M. Среди представителей папоротников обнаружены представители сем. Marattiaceae (3,8%); *Marattispori-*

rites scabratus Couper; Osmundaceae (0,6%); Schizaeaceae (3,6%); Klukisporites variegatus Couper; Gleicheniaceae (1%); Gleichenia laeta Bolkh., G. delicata Bolkh.; Dicksoniaceae (22,5%); Coniopteris sp. (21,1%), Dicksonia crocina Bolkh., D. sp., Cibotium junctum K.—M., Eboracia sp.; Matoniaceae (1%); Matonisporites phleboteroides Couper, Matonia sp., Phleboteris exornatus Bolkh., P. polypodioides Brongn.; Dipteridaceae (2,2%); Hausmannia anonyma Bolkh., Dictyophyllum sp., Clathropteris obovata var. magna Tur.—Ket., C. sp.

Споры семейств Equisetaceae, Pteridaceae, Cyatheaceae встречаются в малых количествах, составляя от 0,2 до 0,5%. Единичны споры сем. Sphagnaceae, Ophioglossaceae, Hymenophyllaceae, Polypodiaceae. Часть спор определена по искусственной системе: Leiotriletes Naum. (21,4%), Trachytriletes Naum. (9,5%), Cingulatisporites pseudoalveolatus Couper (ед.), Tripartina variabilis Mal. (ед.), Chomotriletes anagrammensis K.—M. (0,4%).

Пыльца голосеменных в комплексе занимает подчиненное положение, как и в нижней юре. В ее составе установлены представители пор. Caytoniales — Caytonia oncodes Harris (1%), сем. Cycadaceae — Ginkgoaceae (7,8%), пор. Bennettitales (0,3%).

Пыльца, близкая по своим морфологическим особенностям к пыльце семейства Pinaceae, составляет до 3%, а примитивные хвойные (Paleoconiferus, Protoconiferus, Pseudopinus) — 3,8%. Безмешковая пыльца, принадлежащая семействам Podozamitaceae и Araucariaceae, присутствует в небольших количествах и составляет соответственно 2,3—0,8%. Единичны находки пыльцевых зерен Podocarpaceae, Cupressaceae — Taxodiaceae и Eucosmiidites troedssonii Erdt.

Часть пыльцевых зерен определена по искусственной системе. Сюда относятся пыльца Aggerella conferta f. typica Mal. (2,6%), Quadraclina limbata Mal. (ед.).

Комплекс аалена отличается от комплекса нижней юры следующими признаками: снижается содержание спор сем. Matoniaceae, Dipteridaceae; увеличивается процентное содержание спор Klukisporites variegatus Couper, Marattisporites scabratus Couper; снижается содержание спор сем. Osmundaceae, а также Chomotriletes anagrammensis K.—M.; появляются споры: Gleichenia delicata Bolkh., G. laeta Bolkh., Selaginella rotundiformis K.—M., Ophioglossum sp.; увеличивается количество пыльцы хвойных сем. Pinaceae.

Спорово-пыльцевой комплекс ааленских отложений Туаркыра хорошо сопоставляется с одновозрастными комплексами Северного Кавказа (О. П. Ярошенко), Мангышлака [14].

### Комплекс спор и пыльцы байоса

Обоснование байосского комплекса дано на материале исследования 66 образцов, содержащих споры и пыльцу. Описываемый спорово-пыльцевой комплекс в стратиграфической схеме К. Машрыкова [12] охватывает осадки байоса и нижнюю часть чаирлинской свиты.

Для данного комплекса характерно преобладание спор плаунов, хвощей и папоротников, составляющих 56—82%. Представители плауновых играют значительную роль. Так, споры сем. Lycopodiaceae, Selaginellaceae (Selaginella rotundiformis K.—M., — 4,3%) составляют соответственно до 5,3 и 4,9%.

Среди папоротников выявлено присутствие сем. Marattiaceae (1,3%); Marattisporites scabratus Couper; Osmundaceae (1,6%); Schizaeaceae (0,5%); Klukisporites variegatus Couper, Lygodium sp.; Gleicheniaceae (5,4%); Gleichenia laeta Bolkh., G. delicata Bolkh., G. stellata

Bolikh.; Dicksoniaceae (21,6%): Coniopteris sp. (20,6%), Dicksonia sp., Cibotium junctum K.—M., Eboracia sp.; Matoniaceae (0,4%): Matonispores phleboteroides Couper, Matonia sp., Phleboteris exornatus Bolkh.; Dipteridaceae (0,9%); Hausmannia anonyma Bolkh., Dictyophyllum sp., Clathropteris sp.

В малых количествах отмечено присутствие спор сем. Sphagnaceae (0,3%), Equisetaceae (0,2%), Ophioglossaceae (0,1%), Hymenophylloceae (ед.), Pteridaceae (0,1%), Cyatheaceae (0,6%), Polypodiaceae (ед.).

Некоторая часть спор определена по искусственной классификации: Leiotriletes Naum. (12,3%), Trachytriletes Naum. (3%), Lophotriletes Naum. (0,2%), Campotriletes cerebriformis Naum. (0,5%), Chomotriletes anagrammensis K.—M. (ед.), Cingulatisporites pseudoalveolatus Couper (ед.).

Среди голосеменных постоянно присутствуют пыльцевые зерна Caytonia oncodes Harris (1%), сем. Cycadaceae — Ginkgoaceae (8%).

Представители пор. Bennettitales обнаружены в небольших количествах (0,3%). Значительно возрастает роль пыльцы хвойных с воздушными мешками сем. Pinaceae (8,8%), примитивных форм — Paleosconiferus, Protoconiferus, Pseudopinus (6,3%).

Несколько увеличивается содержание пыльцы Podocarpaceae (1%). Среди других представителей голосеменных выявлено присутствие пыльцы Podozamites (2,3%), Cupressaceae — Taxodiaceae (0,3%), Eucosmiidites troedssonii Erdt. (ед.).

По искусственной классификации определены: Aggerella conferta f. typica Mal. (2%), Psophosphaera (0,4%).

Необходимо особо отметить появление относительно большого количества пыльцы рода Classopollis, составляющей от 1 до 24% (2,6%).

Комплекс байоса отличается от комплекса аалена следующими признаками: резко повышается процентное содержание спор вида Selaginella rotundiformis K. — M; резко увеличивается процентное содержание спор сем. Gleicheniaceae, значительно повышается роль пыльцы хвойных сем. Pinaceae; появляется в больших количествах пыльца рода Classopollis; значительно повышается роль спор сем. Lycopodiaceae; появляются споры Lygodium, Schizaea; утрачивают роль споры сем. Matoniaceae, Dipteridaceae, Marattiaceae.

Байосский спорово-пыльцевой комплекс сопоставляется с одно-возрастными комплексами Северного Кавказа (О. П. Ярошенко) и Мангышлака [14].

### Комплекс спор и пыльцы бата

Выделение батского комплекса произведено на основании исследования 15 образцов, содержащих споры и пыльцу.

Комплекс охватывает осадки огрыдагской и кафаклинской свит.

Впервые в разрезе юрской толщи в батском комплексе пыльца голосеменных занимает доминирующее положение, составляя от 51 до 71%. Среди голосеменных пыльцевые зерна Cycadaceae — Ginkgoaceae преобладают в комплексе, составляя в среднем 19,3%, а Pinaceae — 9,5%. Пыльца примитивных хвойных (Paleosconiferus, Protoconiferus и др.) присутствует постоянно (5%). Среди других пыльцевых зерен голосеменных выявлены представители Caytonia oncodes Harris (1,5%), Podocarpaceae (1%), Bennettitales (0,7%), Podozamitaceae (1,3%), Araucariaceae (0,4%). Единичны находки пыльцы Eucosmiidites troedssonii Erdt. По искусственной классификации определены: Aggerella

Mal. (3%), *Quadraculina limbata* Mal. (0,3%), *Psophosphaera* (7,5%). Пыльца рода *Classopollis* составляет от 1 до 10% (1,8%).

Характеризуя споровую часть, необходимо отметить, что споры *Lycoperidaceae* (0,2%) и *Selaginellaceae* (0,6%) в батском комплексе присутствуют в значительно меньших количествах по сравнению с ааленским комплексом. Среди папоротников отмечено присутствие спор сем. *Marattiaceae* (0,5%), *Osmundaceae* (0,3%), *Schizaeaceae* (0,6%), *Gleicheniaceae* (5%): *Gleichenia stellata* Bolkh., *G. laeta* Bolkh., *G. delicata* Bolkh., *Dicksoniaceae* (8%), *Cyatheaceae* (0,8%).

Споры сем. *Matoniaceae* (0,4%) и *Dipteridaceae* (0,2%) встречены в малых количествах. Среди спор неустановленного систематического положения необходимо отметить: *Leiotriletes* Naum. (12%), *Trachytriletes* Naum. (7%), *Camptotriletes cerebriformis* Naum. (ед), *Chomotriletes anagrammensis* K. — M. (ед).

Батский спорово-пыльцевой комплекс отличается от байосского следующими признаками: резко снижается процентное содержание спор сем. *Lycoperidaceae*; утрачивают свое значение представители *Selaginella rotundiformis* K. — M.; отсутствуют споры рода *Klukisporites*; резко снижается процентное содержание спор *Coniopteris*; окончательно утрачивают свое значение споры сем. *Osmundaceae*, *Matoniaceae* и *Dipteridaceae*; пыльца *Cusadaceae* — *Ginkgoaceae* достигает максимума (19,3%); повышается количество пыльцы сем. *Pinaceae*; снижается процентное содержание пыльцы рода *Classopollis*; наблюдается общее преобладание пыльцы голосеменных над спорами плаунов, хвощей и папоротников.

Батский комплекс Туаркыра сопоставляется с одновозрастным комплексом Мангышлака [14].

### Комплекс спор и пыльцы верхней юры

Спорово-пыльцевой комплекс верхнеюрских отложений выделен из самых нижних слоев, условно относимых Н. П. Лупповым [9] и К. Мышрыковым [10] к нижнему келловею. Споры и пыльца выделены из одного образца темно-коричневых глин в разрезе Огры-Дага.

Характеризуя данный комплекс, следует указать на присутствие большого количества пыльцы рода *Classopollis*, составляющей 69%. Пыльца *Cusadaceae* — *Ginkgoaceae* составляет 5%. Представители *Podozamitaceae*, *Pinaceae* обнаружены в малых количествах.

В споровой части комплекса по-прежнему доминирующая роль принадлежит спорам папоротника *Coniopteris* (12%) и *Leiotriletes* Naum. (9%). Споры сем. *Gleicheniaceae* составляют 1%.

Верхнеюрский комплекс спор и пыльцы хорошо сравнивается с одновозрастными комплексами Северного Кавказа, Устюрта [7], Центральной Туркмении и Западного Узбекистана [2] и южных районов Западной Сибири.

Для всех сравниваемых районов характерна доминирующая роль пыльцы *Classopollis*. Так, в комплексах верхней юры Северного Кавказа представители *Classopollis* составляют 64—90%, Устюрта — 83, Кара-Тая — 94,6, Западного Узбекистана — 53—100, Центральной Туркмении — 46—99 и Тюмени 75—80%. Видовой состав папоротникообразных и голосеменных весьма обеднен.

Такая реконструкция растительного мира верхнеюрской эпохи вызвана резким изменением климата в сторону засушливого и повсеместной трансгрессией моря в пределах Индо-Европейской палеогеографической области [4].

## Выводы

1. Для юрских отложений Туаркыра выделено 5 спорово-пыльцевых комплексов: нижнеюрский, ааленский, байосский, батский и верхнеюрский.

2. Дается состав растительности верхней юры на основании исследования спор и пыльцы.

3. Спорово-пыльцевые комплексы юрских отложений Туаркыра сопоставляются с одновозрастными комплексами сопредельных районов.

4. Установлен верхнелейасовый возраст отложений нижнего отдела юры.

5. Данные спорово-пыльцевого анализа позволяют говорить о составе растительных сообществ для различных веков юры.

Институт геологии  
МГ СССР (Ашхабад)

Поступило  
1 июня 1965 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Баранова З. Е., Буракова А. Т., Бекасова Н. Б. — Тр. ВСЕГЕИ, нов. сер., т. 88, вып. 13, М., 1963.
2. Бархатная И. Н. — Спорово-пыльцевые комплексы юрских и нижнемеловых отложений Центральной Туркмении и Западного Узбекистана. Автореферат диссертации, М., 1964.
3. Буракова А. Т. — Юрская флора Туаркыра и ее стратиграфическое значение. Автореферат диссертации, Л., 1961.
4. Вахрамеев В. А. — Известия АН СССР, сер. геол., № 11, М., 1957.
5. Вахрамеев В. А., Ярошенко О. П. — ДАН СССР, т. 123, № 5, 1958.
6. Виноградова К. В. — Спорово-пыльцевые комплексы юрских и нижнемеловых отложений Горного Мангышлака, Туаркыра, Большого Балхана и их стратиграфическое значение. Палеонтология и стратиграфия нефтегазоносных областей СССР. Изд. АН СССР, 1963.
7. Гарецкий Р. Г., Котова И. З., Шлезингер А. Е. — Верхнеюрские континентальные толщи Устюрта. ДАН СССР, т. 154, № 1, 1964.
8. Зауер В. В., Мchedlishvili Н. Д. — Тр. ВСЕГЕИ. Матер. по палинологии и стратиграфии, М., 1954.
9. Луппов Н. П. — Геология СССР, т. XXII, 1957.
10. Машрыков К. — Тр. Лабор. геологии угля АН СССР, сб. VI, 1957.
11. Машрыков К. — Юрские угленосные отложения Северо-Западной Туркмении и их положение в Крымо-Кавказо-Прикаспийской угленосной провинции. Изд. АН ТССР, 1958.
12. Машрыков К., Аманнязов К., Юферев Р. Ф. — Сб., посвященный XXII геолог. конгрессу, Ашхабад, 1965.
13. Нурмашев Н. У. — Известия АН ТССР, № 6, 1957.
14. Просвирякова З. П. — Вопросы геологии угленосных отложений Азиатской части СССР. Изд. АН СССР, М.—Л., 1961.
15. Турутанова-Кетова А. И., Фадеева И. З. — Материалы к изучению юрской флоры Ленгерского месторождения угля. Изд. АН СССР, М.—Л., 1961.

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.763.12

В. Т. Кривошеев

### НОВОЕ О БАРРЕМСКОМ ЯРУСЕ ЦЕНТРАЛЬНЫХ И СЕВЕРНЫХ КАРА-КУМОВ

Барремские отложения широко развиты в пределах Каракумской платформы. Они вскрыты, в частности, многочисленными скважинами в Центральных и Северных Кара-Кумах. В районе Центральных Кара-Кумов на основе сопоставления с Туаркырским районом к барремскому ярусу (нерасчлененному) относилась толща карбонатных отложений (Блискавка, Габриэлянец и др.).

В Северных Кара-Кумах и низовьях Аму-Дарьи Н. Г. Попов и И. Ф. Кувшинова [3] к баррему (?) относят всю красноцветную толщу неокома.

На основе нового фактического материала и детального сопоставления в Центральных Кара-Кумах удалось расчленить разрез баррема на два подъяруса и проследить изменение его на площади Северных Кара-Кумов.

*Нижний баррем.* К нижнему баррему в центральной части района относится карбонатная толща морских отложений, выделявшаяся предыдущими исследователями как барремский ярус. Залегает она согласно на преимущественно континентальных красноцветных терригенных образованиях готерива. Здесь нижебарремские отложения представлены, в основном, темно-серыми, серыми, нередко с желтоватым оттенком, крепкими оолитовыми и реже — органогенно-оолитовыми известняками с мало-мощными прослоями зеленовато-серых, иногда красноцветных песчаников и алевролитов и темно-серых глин.

Разрез нижнего баррема южного склона платформы (район Бахардока и Казы) в значительной степени отличается от одновозрастных отложений центральной части Кара-Кумов как по мощности, так и по литологическим особенностям и очень близок к разрезу геосинклинальной области.

Здесь, помимо оолитовых, присутствуют пелитоморфные, оолитово-органогенно-обломочные и орбитолиновые известняки. Последние имеют очень важное стратиграфическое значение. К югу увеличиваются мощности не только известняков, но и мощности терригенных прослоев, причем встречаются и грубозернистые песчаники.

К северу от центральной части Кара-Кумов нижебарремская карбонатная толща постепенно фашиально замещается — в районе впадины Ахча-Кая представлены известковыми песчаниками, а в районе Ташауза и Куния-Ургенча — красноцветными и сероцветными песчаниками и конгломератами, состоящими из полуокатанных галек гранитов, выветрелых основных образований, кремнистых, карбонатных и глинистых пород. Следует отметить, что в районе Ахчакаинской группы складок большая часть барремских отложений уничтожена предаптским размывом.

Нижнебарремские отложения отчетливо прослеживаются в центральной и южной частях территории очень высокими кажущимися сопротивлениями, колеблющимися в пределах 12—30 ом в мощной толще терригенных пород, охарактеризованной, в основном, низкими сопротивлениями. В толще нижебарремских отложений в центральной части Кара-Кумов встречен большой комплекс фауны двустворчатых и брюхоногих моллюсков, обломки панцирей морских ежей, мшанок. Характерно присутствие крупных фораминифер, часто переполняющих породу. Здесь определены *Exogyna ex. gr. latissima* (Lam.), *Ex. sp.*, *Lima sp.*, *Cardium sp.*, *Turritella sp.*, многочисленные плохо сохранившиеся представители сем. *Rhyrchonellidae*, а из фораминифер

*Orbitolina delicata* Henson, *O. sp.*, *Miliolina sp.*, *Globigerina incraretacea* Glaessner, *D. barremiticus* Mjatl. *Discorbis sp.*

В отложениях, относимых нами к нижнему баррему, Л. П. Марковой определены остракоды *Cypridea ex gr. bispinosolormis* Lubim., *Sigilium cf. procerum* Kuzn., *Protocythere ex gr. hechti* (Tirbel), *Pr. ex gr. triplicata* (Roem.), *Pavloviella citima* Kuzn., *Paracypris ex gr. levis* Kuzn., *Cytherettina ex gr. rudispinata* (Chapman et Schrerb.), *Cytherettina subparallelata* Kuzn. и др., известные из барремских отложений Туаркыра и Азербайджана.

Таким образом, комплекс фораминифер и остракод говорит о барремском возрасте отложений, а многочисленные находки по всему разрезу орбитолин, в том числе *Orbitolina delicata* Henson, характерной для нижнего баррема Западной Туркмении [2] и Копет-Дага [1], позволяют отнести эту часть разреза к нижнему баррему. Мощность нижнебарремских отложений увеличивается с севера на юг от 10—15 м на крайнем севере района, до 30—46 м в районе Серного Завода и Дарвазы. Еще южнее, на южном склоне платформы наблюдается резкое увеличение мощности, которая в районе колодца Казы достигает 160 м, в районе Сансыза — 115 м, в районе Ербента — 100 м, а в Бахардокской опорной скважине — 174 м.

**Верхний баррем.** Верхнебарремскими отложениями в Центральных Кара-Кумах, как и в прилегающих районах Западной Туркмении, начинается мощный терригенный комплекс морской части нижнего мела. Они выражены пачкой зеленовато-серых алевролитов, глини и песчанников с несколькими невыдержанными прослоями сильно песчаных устричников, оолитовых и оолитово-органогенных известняков, согласно залегающих на нижнебарремских отложениях. Известняки встречаются, главным образом, в верхах описываемой пачки, а в Северных Кара-Кумах они замещаются песчаниками и алевролитами, обычно известковыми. В центральной и южной частях района верхняя граница баррема довольно четкая, она проводится по кровле последнего прослоя известняков, в Северных Кара-Кумах, в связи с фациальной изменчивостью отложений, в ряде случаев ее трудно установить. Граница между подъярусами в Центральных Кара-Кумах проводится по кровле карбонатной толщи, содержащей многочисленные орбитолины.

В описанной пачке пород, в основном, в верхних известковых прослоях встречены *Exogyra tuberculifera* (Koch. et. Dunk.), *E. ex gr. latissima* (Lam.), *E. sp.*, *Pterotrigonia ex gr. vectiana* (Lyc.), *Belbekella ex gr. geoktepensis* Moiseev, *Camptonectes cottaldinus* (Orb.), мшанки и редкие кораллы.

Из этой части разреза Л. П. Марковой определен барремский комплекс остракод, близкий к вышеуказанному.

Раннебарремский возраст отложений, ранее относимых к нижнему апту, устанавливается по находке *Exogyra tuberculifera* (Koch. et. Dunk.), массовые скопления которой характерны для верхнего баррема Туаркыра, Большого Балхана и Копет-Дага. Несколько выше этих находок в терригенной толще обнаружен нижнеаптический комплекс фауны и микрофауны.

Мощность отложений в районе Серного Завода и Дарвазы 20—30 м, к северу она заметно уменьшается, а к югу увеличивается в районе Модара — до 45 м, в районе Казы — до 51 м, в районе Ербента — до 49 м. В Бахардокской опорной скважине мощность верхнего баррема составляет 39 м.

По характеру осадконакопления верхнебарремский разрез Центральных Кара-Кумов очень хорошо сопоставляется с разрезами юга Туаркырского района.

## Выводы

Большие мощности барремских отложений в южной части Центральных Кара-Кумов (на широте Казы и далее к югу), присутствие в них эпигенетичного битума, наличие трещинных коллекторов в карбонатных породах и проникаемых песчано-алевритовых пластов, локальных структурных осложнений, а также довольно резкое выклинивание нижнебарремских отложений в направлении к Центрально-Каракумскому своду, ставят их в ряд перспективных нефтегазоносных объектов.

Туркменская геолого-геофизическая экспедиция  
УГ СМ ТССР

Поступило  
5 июня 1965 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Марченко В. И. — Тр. ВСЕГЕИ, нов. сер., вып. 11, 1962.
2. Прозоровский В. А., Коротков В. А. и др. — Тр. ВСЕГЕИ, нов. сер., вып. 6, 1961.
3. Попов Н. Г., Кувшинова И. Ф., — Тр. треста «Союзбургаз», вып. 4, 1964.

## НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ ОЛИГОЦЕНЕ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ НИЗМЕННЫХ КАРА-КУМОВ

В 1964 г. рядом картировочных скважин (№ 81, 82, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91), пробуренных в районе колодцев Чешме, Джарт, Донгузбурун, Дюекуи — в 140—220 км к западу от Чарджоу, — вскрыт разрез палеогена, позволяющий по-новому осветить стратиграфию олигоценовых отложений восточной части Низменных Кара-Кумов.

Наиболее полно фаунистически охарактеризован разрез скважин № 81 (колодец Донгузбурун) и 86 (колодец Дюекуи).

В скважине № 81 на мергелях белоглинского горизонта верхнего эоцена залегают (интервал, м.):

- 269—263 — Чередование прослоев (до 1 м) серых, с зеленоватым и буроватым оттенком алевролитов, участками глауконитовых и глин алевролитистых, неясно-слоистых, с редкими остатками моллюсков (*Lentidium?*) и остракод\*: *Krithe* sp., *Trachyleberis* aff. *depressa* Roz., *T. babadurmasensis* Roz., *Cytheropteron opiparum* Mand., *Cytheridea kamillae* Roz., *C. sukatschovae* Roz., *Loxococoncha* sp., *Pterygocythereis subsemitreticularis* Roz.
- 263—259 — Мергели алевролитистые серые, зеленоватые; в средней части прослой (0,5 м) оолитового песчаника. Присутствуют остатки остракод: *Loxococoncha* sp. ind., *Cytheridea sukatschovae* Roz.
- 259—254 — Глины известковистые, алеаритовые серые, с остатками остракод: *Pterygocythereis* sp., *Cytheridea* sp.
- 254—247 — Алевролиты глинистые зеленовато-серые, мелкозернистые, с примесью песчаного материала и остатками моллюсков: *Lentidium* (*Janschinella*) cf. *mekitopolitanum* Noss., *Cardium* sp. ind., *Corbula* sp. ind., *Siliqua* sp. ind.
- 247,0—241,5 — Глины алевролитистые пепельно-серые, розовые и алевролиты глинистые (верхняя часть), буровато-серые с ржаво-красными пятнами, с остатками моллюсков: *Astarte* sp. ind., фораминифер: *Nonion* ex gr. *granosus* (Orb.), *Cibicides oligocenicus* (Sam.), *Polymorphinidae* и остракод: *Cytheridea lubimovae* Roz., *C. kamillae* Roz., *Trachyleberis* aff. *depressa* Roz., *Loxococoncha adjunctusa* Roz.
- 241,5—233,0 — Алевролиты глинистые, пестроцветно-красноцветные (розовые, красно-коричневые, охристые, серые, голубые), пятнистые, в кровле глауконитовые, крупнозернистые, с остатками моллюсков: *Corbula* cf. *sokolovi* (Karl.).
- 233—211 м — Глины известковистые, алевролитистые, пестрые, серые, голубые, с рыбьей чешуей и многочисленными остатками моллюсков: *Cardium* ex gr. *cingulatum* Goldf., *C. cf. helmerseni* Il., *Cordiopsis* cf. *incrassata* Sow., *Nucula* sp., *Abra* (?) sp. ind., *Trochus* (?) sp., фораминифер: *Nonion dendriticum* Chalil., *N. granosus* (Orb.), *N. usbekistanensis* N. Bykova, *N. martkobi* (Bogd.), *N. aff. tchegaricus* Putrja, *Elphidium onerosum* Bogd., *Planorbulina anomalinoida* Balakhm., *Cibicides almaensis* Sam., *C. oligocenicus* (Sam.), *C. aff. speciosus* Cusm et Cederstrom, *C. ex gr. ornatus* Bogd., *Bolivina obovensis* Moroz. и остракод: *Cytheridea kamillae* Roz., *C. danovi* Roz., *C. explorata* Roz., *C. sukatschovae* Roz., *Pterygocythereis solitarius* Roz., *Trachyleberis* aff. *spongiosa* Liepin.
- 211—198 — Алевролит известковистый, глинистый, голубовато-серый с остатками остракод: *Cytheridea kamillae* Roz., *C. aff. sukatschovae* Roz. и моллюсков: *Cordiopsis* ex gr. *incrassata* Sow., *Panope*? sp. ind., *Corbula*? sp. ind., *Leda*? sp. ind., *Cuspidaria*? sp., *Tellina* sp. ind., *Clavagella*? sp. ind.

Выше следуют серовато-желтые песчаники континентального неогена.

Приведенный разрез литологически и фаунистически подразделяется на две толщи: нижнюю (269—247 м) — сероцветную и верхнюю (247—198 м) — пестроцветно-красноцветную. Нижняя охарактеризована обедненным комплексом солоноватоводных моллюсков и остракод; верхняя — комплексом солонолюбивых моллюсков, фораминифер и остракод, по видовому составу близких остракодам нижней толщи.

Подобный разрез вскрыт в 10 км к западу от колодца Донгузбурун скважиной № 86. Здесь на белоглинском горизонте также залегают сероцветные алевролиты и глины (242,8—218,0 м) с *Lentidium* cf. *mekitopolitanum* Nossov., *Cardium* (*Cerastoderma*) cf. *serogosicum* Nossov. и пестроцветно-красноцветная толща (218—188 м) с остатками разнообразных моллюсков: *Cardium* ex gr. *cingulatum* Goldf., *C. cf. helmerseni* Il., *Leda* sp. ind., *Cordiopsis* cf. *incrassatum* Sow., *Nucula* sp. ind., *Solecurtus* sp. etc.

\* Остракоды определены О. Курбанназаровой, фораминиферы — Л. Е. Невмирич, моллюски — М. М. Судо.

Нижняя толща распространена не повсеместно. В 20 км к юго-востоку от колодца Донгузбурун, в разрезе скважины № 88 на верхнем эоцене залегает верхняя пестроцветно-красноцветная толща.

Литологический состав нижней и верхней толщ по простиранию существенно не меняется. Комплекс моллюсков верхней толщи в ряде скважин дополняется новыми формами. Например, в скважине № 91 (40 км к северо-западу от колодца Донгузбурун) в интервале 276—216 м обнаружены: *Corbula ex gr. gibba* Ol., *Coralliophaga?* sp., *Nemocardium?* sp., *Astarte* sp., *Leda* sp., *Nucula* sp., *Cardium* sp., *Cordiopsis* sp. ind., *Miocordiopsis?* sp. ind., *Panope?* sp. ind., *Ostrea?* sp., *Mytilus* sp. ind., *Fusus?* sp. ind.

Особый интерес представляет присутствие в одном образце (225 м) ядер *Rzehakia* cf. *cimlanica* (Zhizh.) совместно с ядрами мелких *Nucula* sp.

В скважине № 87 (35 км к северу от колодца Донгузбурун) в пестроцветно-красноцветной толще (222—205 м) встречены: *Chlamys* sp. 1 ind., *Chl.* sp. 2 ind., *Chl.* sp. 3 ind., *Cardium helmerseni* Il., *Cordiopsis ex gr. incrassata* Sow., *Nucula* sp. (cf. *compta* Goldf.), *Coralliophaga?* sp., *Leda* sp., *Tellina* sp., *Trochus?* sp. ind.

Описанные отложения хорошо сопоставляются с разрезом олигоцена восточной части Причерноморской впадины. Так, нижняя, сероцветная толща по комплексу моллюсков соответствует «серогозским слоям», содержащим [3] *Cardium serogosicum* Nossov., *Corbula sokolovi* (Karl.), *Lenticulum* (*Janschinella*) *melitopolitanum* Nossov. etc. Верхняя, пестроцветно-красноцветная толща параллелизуется с «асканийскими слоями», также охарактеризованными присутствием разнообразных соленолобивых моллюсков; *Chlamys hauchecornei* Koen., *Chl.*, cf. *hofmanni* Goldf., *Cardium abundans* Liv., *Tellina* cf. *nysti* Desh.

Асканийские слои сопоставлены М. Ф. Носовским [1] с байгубекским горизонтом Приаралья [2].

В Юго-Восточной Туркмении фаунистически более бедно охарактеризованные аналоги пестроцветно-красноцветной толщи впервые были выделены в Мары—Байрам-алийском районе [3, 4] и также параллелизовались с байгубекским горизонтом Приаралья. Возраст их устанавливался как верхнеолигоценовый.

Нижняя, сероцветная толща ранее отдельно не обособлялась и обычно либо относилась к нижнему-среднему олигоцену, либо включалась в состав верхнего олигоцена.

Возрастное положение серогозских и асканийских слоев и их аналогов внутри олигоцена окончательно не определено в связи с отсутствием единой стратиграфической шкалы олигоценовых отложений Юга СССР.

Самая нижняя часть олигоцена, подстилающая в Восточном Причерноморье серогозские слои (аналоги хадумского горизонта Северного Кавказа), в разрезах восточной части Низменных Кара-Кумов не отмечены.

## Выводы

1. Олигоценовые отложения восточной части Низменных Кара-Кумов четко подразделяются на две самостоятельные толщи, которые по фауне моллюсков сопоставляются с серогозскими и асканийскими слоями олигоцена Причерноморья.

2. Отсутствие в разрезе низов олигоцена (аналогов хадумского горизонта), по-видимому, является результатом их размыва во время формирования сероцветной алевроитово-глинистой толщи.

3. Выпадение из разреза скважины № 88 аналогов серогозских слоев свидетельствует о существовании размыва и в асканийское время.

Управление геологии  
СМ Туркменской ССР

Поступило  
9 апреля 1965 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Носовский М. Ф. — Палеонтологический журнал, 3, 1962, стр. 29—39.
2. Мерклин Р. Л. — ДАН СССР, 144, 2, 1962, стр. 420—423.
3. Джабарова В. В., Лапшин О. Н., Мерклин Р. Л., Ткачук М. А. — Сб. Новые данные по геологии Туркменской ССР. Гостоптехиздат, 1963, стр. 213—218.
4. Окушко В. Б., Раевский М. И. — Известия АН ТССР, сер. ФТХИН, № 2, 1963, стр. 121—123.

## О НОВЫХ ВИДАХ ФОРАМИНИФЕР ИЗ ПАЛЕОГЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КОПЕТ-ДАГА

Палеогеновые отложения Центрального и Гяурского Копет-Дага в большинстве сложены глинами, в которых обычно отсутствуют представители руководящих групп макрофауны, а немногочисленные встреченные экземпляры представлены большей частью трудноопределяемыми остатками; поэтому решающую роль при стратиграфическом расчленении палеогена имеют мелкие фораминиферы, встречающиеся часто в изобилии.

До последнего времени фораминиферы Центрального и Гяурского Копет-Дага были изучены довольно слабо и монографически почти не описывались. С 1955 г. автором статьи, а также другими сотрудниками сектора стратиграфии и региональной геологии Института геологии МГ СССР (г. Ашхабад) в палеогене Копет-Дага собран большой палеонтологический материал, нуждающийся в скорейшей монографической обработке.

В настоящей статье дается описание одного нового вида и одного подвида мелких фораминифер, встреченных в большом количестве. Вид *Cibicides (Gemellides) schamliensis* sp. nov. имеет узкое вертикальное распространение и довольно небольшой широтный ареал, встречаясь только в среднеэоценовых отложениях района Гяурс-Дага. Подвид *Uvulmina sculptilis* Cushman subsp. *keljataensis* subsp. nov. характерен для нижнего олигоцена. Площадное распространение его более широкое: помимо района Келяты (Центральный Копет-Даг) он встречен в аналогичных отложениях Западного Копет-Дага, а также в скважинах предгорной равнины (Изгант).

Все эти формы, в особенности последняя, имеют большое стратиграфическое значение при расчленении палеогеновых отложений Копет-Дага.

Семейство Anomalinidae Cushman, 1927

Род *Cibicides* Montfort, 1808

*Cibicides (Gemellides) schamliensis* sp. nov.\*

Табл. I, рис. 1 а, б, в—3 а, б, в

Голотип № 1 в коллекции Института геологии МГ СССР (г. Ашхабад), средний эоцен, зона *Truncorotalia agaronensis*, Гяурский Копет-Даг, обн. Шамли, обр. 632/4-н. Оригиналы № 2—3, оттуда же.

**Диагноз.** Раковина равно двояковыпуклая. Периферический край снабжен фестончатым килем. Устье щелевидное, расположено на периферическом крае, протягивается на спинную сторону под пупочный конец последней камеры. В последнем обороте от 8 до 13 камер.

**Описание.** Раковина округлая или несколько овальная, двояковыпуклая, вздутая, инволютная или полувздутая со спинной стороны и инволютная с брюшной. Периферический край острый, ровный или слабо лопастной, снабжен довольно широким фестончатым килем. Оборотов 2,0—2,5. В последнем обороте от 8 до 13 камер, очень постепенно возрастающих в размерах. Камеры треугольные как на спинной, так и на брюшной стороне, часто со слегка закругленными пупочными концами, изогнутые, плоские или слегка выпуклые. Камеры первого оборота заметны плохо, из-за развитых на них скелетных образований. Пупочная область у более крупных экземпляров закрыта шишкой из непрозрачного раковинного вещества. Септальные швы выпуклые, изогнутые, между последними камерами у молодых экземпляров — вдавленные. Швы к центру спинной стороны расширяются и сливаются в характерный выпуклый валик, окаймляющий начальные обороты раковины. Устьевая поверхность последней камеры треугольная, скошена на брюшную сторону. Устье щелевидное снабжено небольшой губой, расположено на периферическом крае, протягиваясь на спинную сторону под пупочные концы последних камер.

Стенка непрозрачная, довольно грубая, равномерно пористая.

\* По названию селения Шамли.

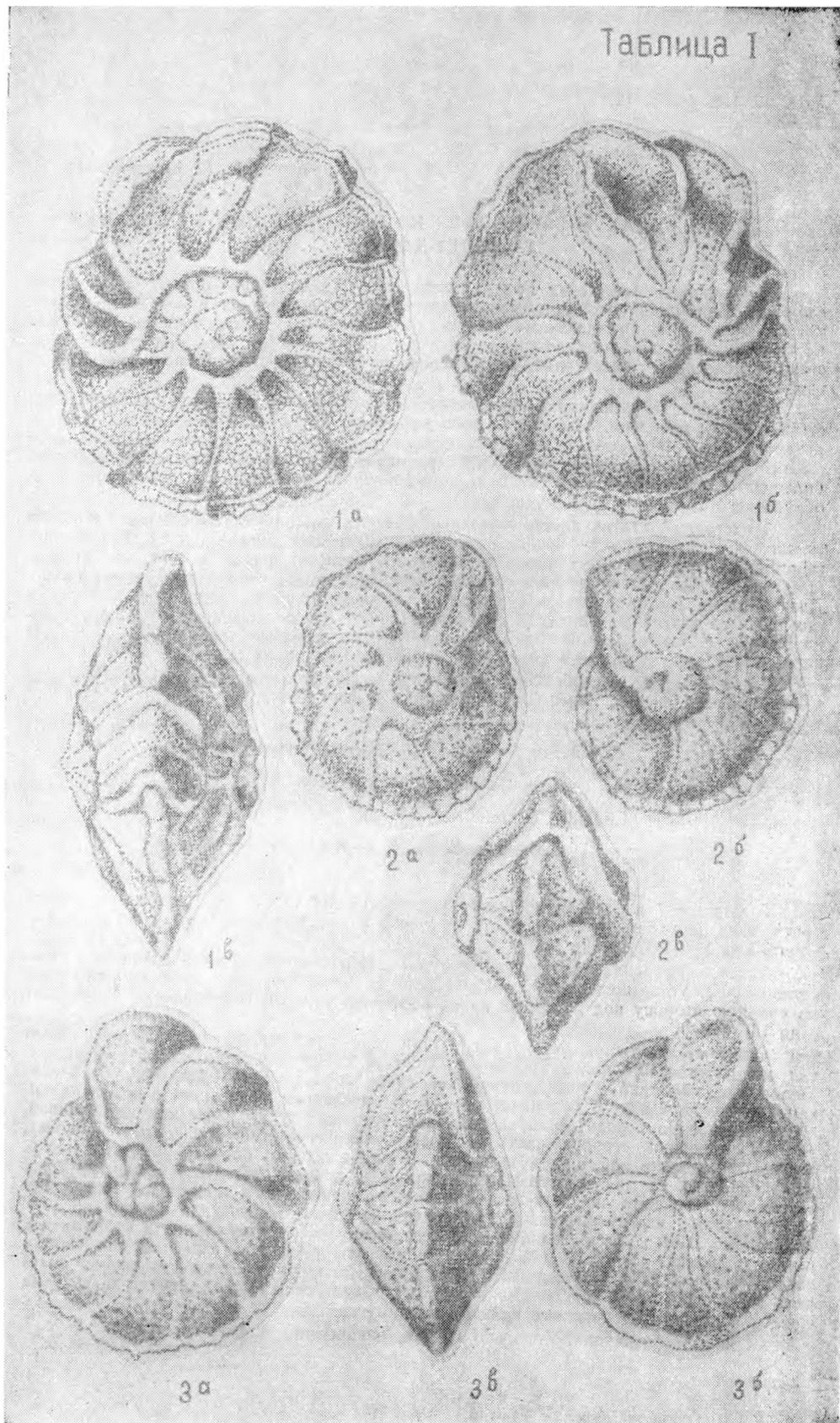


Рис. 1 а, б, в — 3 а, б, в. *Cibicides (Gemellides) schamliensis* sp. nov., Гяурский Конст-Дар, Шамли, средний эоцен. зона *Truncorotalia aragonensis*, обр. 632/4-п; 1 — голотип, № 1, крупный экземпляр; 2 — оригинал, № 2, мелкий экземпляр; 3 — оригинал, № 3, средний экземпляр; а — вид со спинной стороны, б — вид с брюшной стороны, в — вид с периферического края.  $\times 72$ . Рисунки на табл. I и II выполнены А. А. Потатуевой и А. П. Ивановым.

## Размеры:

Измерения в мм	Оригинал (мень- ший) табл. 1, рис. 2	Оригинал (средний) таб. 1, рис. 3.	Голотип табл. 1, рис. 1
Диаметр (большой)	0,50	0,62	0,71
Диаметр (меньший)	0,40	0,52	0,62
Толщина	0,32	0,32	0,37

*Изменчивость.* Несмотря на то, что основные признаки у вида (двояковыпуклая раковина, наличие кия, форма и расположение устья, характер стенки) постоянны, другие его признаки подвержены изменчивости. Изменяются прежде всего размеры раковин: диаметр (большой) — от 0,32 до 0,75; диаметр (меньший) — от 0,23 до 0,63; толщина — от 0,17 до 0,42. Разница в размерах, очевидно, связана с ростом раковин, так как в одном образце найдены и крупные и мелкие формы. Кроме того, варьирует количество камер: у молодых экземпляров их 8—9, у взрослых — 12 — 13. Меняется форма швов: у молодых экземпляров септальные швы ровные или слегка выпуклые, между последними камерами — вдавленные, у крупных особой они выпуклые, расширяющиеся к центру раковины, часто снабжены натеками скелетного вещества. Мелкие экземпляры имеют почти полностью involютные раковины, только на спинной стороне пупочный конец последней камеры отходит от предыдущего оборота, в то время как у крупных, хорошо развитых экземпляров, спинная сторона полуэволютная, сквозь стекловидный натек (особенно при смачивании стенки) заметны начальные обороты раковины, а на брюшной стороне у них выступает хорошо заметная непрозрачная шишка, часто отсутствующая у молодых форм. К изменчивым признакам относится и форма раковин: мелкие экземпляры имеют более овальную форму за счет вытянутой последней камеры, крупные — округлую.

*Сравнения и замечания.* В нашем материале имелось 30 раковин довольно хорошей или удовлетворительной сохранности. У некоторых крупных экземпляров обломаны последние камеры.

В отечественной литературе описания и изображения близкого вида нами не встречено. Некоторое сходство описываемый вид имеет с *Anomalina grandis* Le Roy (non Vassilenko) из эоцена Египта [8]. Это сходство у приведенного вида заключается в двояковыпуклой вздутой форме раковины, в расположении устья (только по Le Roy оно протягивается не на спинную, как считаем мы, а на брюшную сторону), в форме выпуклых швов и наличии выпуклого валика вокруг начальных оборотов, а также в количестве камер; судя по рисунку (описания у нас не имелось), их — 12, то есть как и у наших форм. В отличие от описываемого вида *Anomalina grandis* Le Roy не имеет характерного для нашего вида кия, у нее иной характер спинного завитка, полуэволютная брюшная сторона, закрытая пупочной шишкой, которая у наших форм часто совсем отсутствует. Несколько напоминает описываемый вид и *Cibicides nucleatus* (Seguenza) из лангйского яруса (нижний миоцен) Калабрии. Сходство заключается в выпуклой форме раковины, в количестве камер (13), в наличии выпуклых швов на спинной стороне, в характере спирального завитка. Но, как указывает Сегуэнца [9], у его вида округлый (а не килеватый) периферический край и в центре брюшной стороны имеется прозрачная круглая шишка, которая у наших экземпляров или совершенно отсутствует, или имеет вид грубого натёка.

Отнесение описываемого вида к роду *Cibicides* (подроду *Gemellides*) несколько условно, так как молодые экземпляры бывают почти полностью involютные и только у крупных форм спинная сторона становится заметно полуэволютной. Кроме того, новый вид имеет хорошо заметный, часто фестончатый киль, что не наблюдалось ранее у *цибидидесов*; однако устье, расположенное в виде щели у основания последней камеры на периферическом крае и переходящее на спинную сторону, позволяет отнести описываемый вид к подроду *Gemellides*. По involютной, плотно свернутой, часто двусторонне-симметричной раковине и наличию кия наши молодые экземпляры напоминают кристеларий, но отличаются от последних характером устья.

*Местонахождение.* Все находки описываемого вида приурочены к отложениям нижней части бабадурмазской свиты (средний эоцен) района Гяурсадагской антиклинали, селение Шамли, где они встречаются в темно-серых, известковистых глинах совместно с раковинами *Truncorotalia aragonensis* (Nuttall).

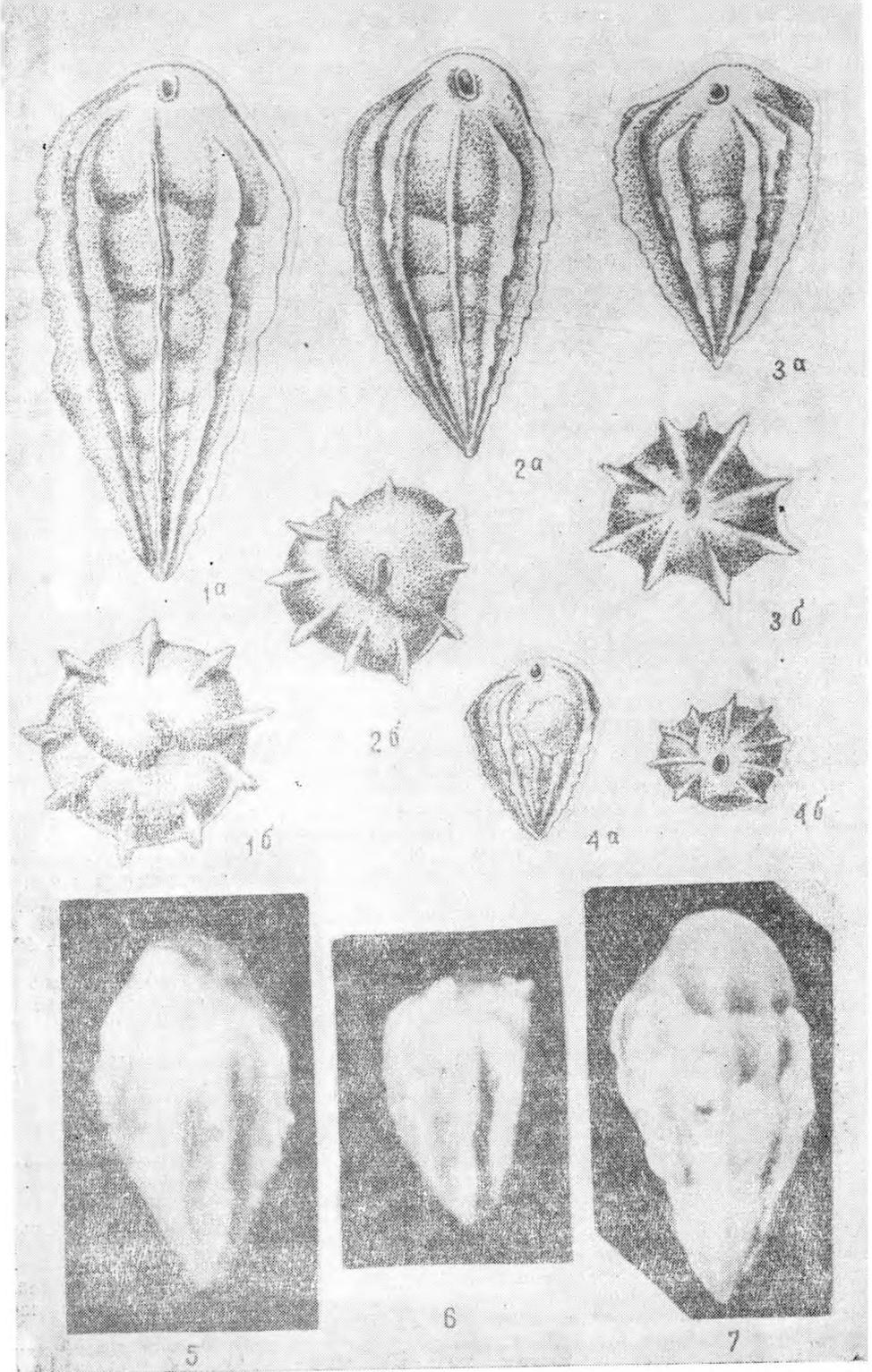


Рис. 1 а, б, — 4 а, б. *Bulimina sculptilis* Cushman subsp. *keljataensis* subsp. nov., Центральный Копет-Дар, Келята, нижний олигоцен, слой с *Saucasina schischkinskajae* (Samoilova), обр. 3/1-а (2); 1 — голотип, № 4, крупный экземпляр; 2 — оригинал, № 5, средний экземпляр; 3 — оригинал, № 6, экземпляр с широкими ребрами; 4 — оригинал, № 7, мелкий экземпляр; а — вид сбоку, б — вид с устьевого конца,  $\times 72$ .  
 Фиг. 5—7. *Bulimina sculptilis* Cushman subsp. *keljataensis* subsp. nov. Оригиналы, оттуда же, вид сбоку.  $\times 60$ .

Голотип № 4 в коллекции Института геологии МГ СССР (г. Ашхабад) из нижнеолигоценых отложений, слой с *Caucasina schischkinskajae* (Samoilova) Центрального Копет-Дага (Келята), обр. 3/1-а [2]. Оригиналы № 5—7, оттуда же.

*Описание.* Раковина конусовидно-удлиненная, спирально-винтовая, с заостренным начальным концом и округлым—устьевым. В продольном сечении конусовидная, в поперечном — округлая. Камеры расположены трехрядно. У взрослых экземпляров они расположены в 7—8 рядов, редко — в 9, у молодых — в 3—4 ряда. Швы слегка углубленные. Поверхность раковины покрыта широкими пластинчатыми, зазубренными ребрами, причем у некоторых экземпляров зазубренность выражена довольно слабо. Ребра начинаются у начального конца и пучком расходятся к устьевому концу, доходя почти до самой верхней части последнего оборота. Количество ребер варьирует от 8 до 11, причем раковины с меньшим их количеством отличаются крупными пластинчатыми, мало зазубренными ребрами (табл. II, рис. 3). У этих экземпляров наблюдаются иногда промежуточные, недоразвитые ребра.

Устье петлевидное или овальное, расположено у места соединения трех последних камер.

Стенка известковистая, тонкая, непрозрачная, тонкопористая.

*Размеры* (измерение на 40 экземплярах):

Измерение в мм	Экземпляры, табл. II			
	мелкий, рис. 4	средние, рис. 3	рис. 2	большой (голотип), рис. 1
Длина	0,37	0,62	0,80	1,00
Наибольшая ширина	0,27	0,39	0,41	0,50

*Изменчивость.* Возрастная изменчивость дана при описании подвида. Основные признаки: форма раковины, расположение и форма ребер—довольно постоянны.

*Сравнение.* Подвид отличается от типичного вида конусовидно-удлиненной формой раковины, широкими пластинчатыми ребрами, доходящими почти до самой верхней части последнего оборота, и иным стратиграфическим распространением. От *Bulimina truncana* Gümbel описываемый подвид отличается конусовидно-удлиненной формой и меньшей толщиной раковины, а также более тонкими и широкими ребрами. Крупные представители *Bulimina sculptilis* Cushman *keljataensis* subsp. nov. по размерам приближаются к *Bulimina truncana* Gümbel. Вполне возможно, что описываемый подвид под названием *Bulimina truncana* Gümbel указывается Е. К. Шуцкой и другими авторами [5] из верхней части верхнего эоцена и олигоцена Туркмении.

*Местонахождение.* Находки *Bulimina sculptilis* Cushman subsp. *keljataensis* subsp. nov., часто в больших скоплениях, приурочены к нижнеолигоценым отложениям Центрального Копет-Дага (Келята). В меньшем числе найден нами в синхроничных отложениях Западного Копет-Дага (по материалам Западно-Копетдагской геологической партии), а также в скважинах Копетдагского предгорного прогиба (Изгант).

Институт геологии  
МГ СССР (г. Ашхабад)

Поступило  
29 июня 1965 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Василенко В. П. — Тр. ВНИГРИ, нов. сер., вып. 80. Гостоптехиздат, 1954.
2. Дмитриев А. В., Кожевникова Г. Е. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 2, 1963.
3. Дмитриев А. В., Кожевникова Г. Е. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 3, 1964.

\* По названию селения Келята в Центральном Копет-Даге.

4. Субботина Н. Н. — Микрофауна СССР, сб. VI; Тр. ВНИГРИ, нов. сер., вып. 69, 1953.
5. Шуцкая Е. К., Бояринова Л. А., Коровина Г. М., Моксякова А. М. — Геология нефти и газа, № 12, 1963.
6. Cushman J. — The Foraminifera of the Vicksburg Group. Prof. Paper 133, 1923.
7. Gümbel C. Beiträge zur Foraminiferenfauna der Nordalpinen. Alteren Eocängebilde oder, der Kpressenberger Nummulitenschichten. Abh. Bayer. Akad. Wiss., Bd. 10, 1868 (1870).
8. Le Roy — Biostratigraphy of the Magi Section. Egypt. Mem. Geol. Soc. Am., № 54, 1953.
9. Seguenza G. — Le formazioni terziarie nella provincia di Reggio (Calabria). Atti Accad. Lincei, ser. 3, vol. 6, 1880.

В. И. Седлецкий

## ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ГАУРДАК-КУГИТАНГСКОЙ ЗОНЫ ПОДНЯТИЯ

Гаурдак-Кугитангская зона поднятий составляет южную часть виргирующей складок системы Юго-Западного Гиссара.

Имеющиеся геологические сведения позволяют с достаточной полнотой проследить сложную историю геологического развития этого района в мезо-кайнозойское, и гораздо менее полно представить его развитие в допалеозойское время и в палеозойскую эру.

Наиболее древние породы, обнажающиеся в районе, относятся к метаморфической толще протерозоя. Процессы метаморфизма не позволяют судить об условиях образования отложений, послуживших исходным материалом для формирования слагающих ее гнейсов и кристаллических сланцев.

О морском режиме накопления какой-то части этих отложений может, по-видимому, свидетельствовать присутствие в разрезе протерозоя мощной толщи мраморизованных известняков.

Принимая возраст верхней части метаморфической толщи за протерозойский, следует считать, что вплоть до нижнекарбоновой эпохи район претерпевал преимущественно геократическое развитие, во время которого преобладали процессы денудации, полностью уничтожившие отложения кембрия, силура, ордовика и девона.

В нижнекарбовую эпоху, в связи с общим опусканием существовавшего материка, на размытой поверхности древних толщ накапливаются базальные конгломераты, являющиеся нижним членом трансгрессивной серии отложений. В конце визейского века территория района полностью покрывается мелководным морским бассейном с нормальной соленостью, в котором накапливаются коралловые известняки. К этому же времени относится интенсивное проявление вулканической деятельности, результатом которой явилось формирование мощной эффузивной толщи.

В конце среднего палеозоя на всей площади юга Средней Азии начались восходящие движения земной коры, связанные, по-видимому, с ранними проявлениями герцинской складчатости. Эти тектонические движения привели к перерыву в осадконакоплении. На рассматриваемой территории отсутствуют отложения намюра и всего верхнего палеозоя. Возможно также, что в это время частичному размыву подвергались визейские отложения.

В послевизейское время (средний карбон?) в районе Гаурдака и Кугитанга и на сопредельных площадях вновь проявились интенсивные тектонические движения, приведшие к сложной дислокации отложений палеозоя. Они сопровождалась мощной интрузивной деятельностью, протекавшей в несколько фаз. Сформировавшийся в это время Кугитангский гранитный массив представляет собой хорошо дифференцированную четырехфазную интрузию. Позднее, в верхнекарбовое время (?) происходили наземные эффузивные излияния [2].

К началу мезозоя на месте существующей зоны поднятий сформировалась горная страна, которая в триасовом периоде нивелировалась денудационными процессами. В это время формирование континентальных отложений триаса происходило только в межгорных впадинах.

Такими специфическими условиями образования объясняется фрагментарное распространение этих отложений под юрскими осадочными толщами на большой площади Восточной Туркмении и Южного Узбекистана. Накопление континентальных осадков триаса происходило в условиях теплого влажного климата, о чем свидетельствует широко развитая в этих районах бокситоносность отложений и образование мощной древней коры выветривания.

Процесс накопления континентальных отложений на границе триасового и юрского периодов был осложнен незначительными складкообразовательными движениями, омолодившими пенепленированные герцинские сооружения.

Континентальная песчано-глинистая толща нижней юры и низов средней юры (тоарский—ааленский век), залегающая с угловым несогласием на отложениях триаса, сформировалась в условиях локальных депрессий, часто занятых пресноводными водоемами. Обмеление и заболачивание этих водоемов в сохранившихся условиях теплого климата приводило к формированию пластов угля лимнического типа.

Граница одной из таких депрессий проходила восточнее Гаурдака, в разрезе которого отсутствуют отложения лейаса. Она охватывала район Кугитангтау и простиралась далеко к северу. Восточная граница депрессии неустановлена. Можно предположить ее вытянутость в субмеридиональном направлении.

В байосский век началась обширная трансгрессия моря из расположенной западнее Копетдагской геосинклинали [5], и к концу байоса море заняло всю территорию района. Смена континентального режима морским нашла свое отражение в формировании прибрежно-приустьевых осадков нижней байоса [4]. В начале батского века море ненадолго отступило и на равнинных пространствах района стали накапливаться толщи угленосных континентальных образований. В середине батского века вновь произошло вторжение моря, устойчиво существовавшего до конца эпохи.

В начале верхней юры произошли дальнейшие равномерные опускания больших участков суши. Море заняло обширные пространства от Кавказа до Таджикской депрессии. Уже в середине келловоя полностью прекратилось поступление терригенного материала и на описываемой площади стала накапливаться однообразная толща известняков. Судя по многочисленным находкам кораллов в оксфордский век, юрское море было теплым, мелководным и имело нормальную соленость.

На рубеже оксфорда и кимериджа, в связи с проявлением повокиммерийской складчатости и общим воздыманием суши, произошла региональная регрессия моря в Северной и Северо-Восточной Туркмении и обмеление сохранившегося морского бассейна в Восточной Туркмении [6].

Мягкий влажный климат сменился значительно более сухим. Под влиянием этих условий морской бассейн существенно осолоняется и становится солеродным [3, 7]. Следует отметить, что этот мелководный бассейн не был полностью отшнурованной лагуной, а являлся эпиконтинентальным, имевшим, по-видимому, связь с Тетисом. Он занимал обширное пространство Юго-Восточной Туркмении, Юго-Восточного Узбекистана и северных районов Афганистана. Его центральная, наиболее мобильная часть располагалась на территории Восточной Туркмении в 200—300 км к западу от Гаурдак-Кугитангского района. В солеродном бассейне, занимавшем территорию района, в кимеридже и титоне происходило накопление мощной толщи химических осадков от карбонатно-сульфатных до калийно-магнезиальных.

Анализ мощностей толщ гидрохимических осадков гаурдакской свиты показывает, что в рельефе дна верхнеюрского солеродного бассейна существовали отдельные морфологические элементы, совпадающие с современным тектоническим обликом района. Характерно резкое сокращение мощности галогенной толщи по направлению к сводовым частям Гаурдакского и Кугитангского поднятий, и увеличение ее мощности, вместе с возрастанием в разрезе роли калийно-магнезиальных отложений, на площади существующего Карлюкского прогиба у юго-западной периклинали Кугитанга. В региональном плане выклинивание галогенной толщи происходило к северной и восточной границам района, по направлению к областям сноса [1]. В титоне намечилось некоторое опреснение бассейна и началось обильное поступление терригенного материала, который отлагался в мелководных и даже континентальных условиях. В начале нижнемеловой эпохи не произошло существенного изменения установившегося к концу верхней юры лагуно-континентального режима осадконакопления, хотя в начале валанжина отмечается небольшой перерыв, отразившийся в образовании пласта внутриформационных конгломератов. Море проникает в этот район лишь на рубеже готервиского и барремского веков, но уже в середине баррема вновь устанавливается континентальный режим. В аптский век началась новая трансгрессия моря, связанная с прогибанием больших участков земной коры и к середине апта море охватило весь район. В конце нижнемеловой эпохи орогенческие движения в районе Южного Гиссара привели к кратковременному поднятию, что нашло свое отражение в размыве кровли аптских отложений и формировании в начале альбского века толщ базальных конгломератов и косослоистых песчаников. Установившийся затем в альбе морской режим в середине и конце века сменялся ненадолго лагунным.

В верхнемеловую эпоху вся площадь района была покрыта морем, причем условия осадконакопления много раз изменялись, от глубоководных до мелководных и даже лагунных, но перерывов и образования конгломератов не происходило. Верхнемеловое море имело сложную конфигурацию берегов и многочисленные острова, что обеспечивало равномерное для всего бассейна поступление терригенного, преимущественно тонкого, глинистого материала. Обилие фауны приводило к спорадическому образованию ракушечных известняков. В конце эпохи, в датском веке происходит обмеление моря, связанное с проявлением древнетарамийской фазы альпийского тек-

тогенеза. В изменившихся условиях становится возможным образование гипсовых осадков. Начало палеогенового периода характеризуется стабильным накоплением специфических гипсо-известняковых отложений мелководного морского бассейна, который временами отшнуровывался и превращался в лагуну. В эоцене усилившееся поступление терригенного материала, связанное с воздыманием дна бассейна, привело к формированию толщи гипсоносных глин. А к началу олигоцена море полностью покидает описываемую территорию и морские отложения палеогена покрываются красноцветными континентальными образованиями. Этап спокойного развития территории района в составе южной окраины эпигерцинской платформы завершился. Начавшиеся в середине палеогенового периода восходящие движения земной коры на рубеже неогена превратились в интенсивный тектогенез, сопровождавшийся складкообразовательными процессами. Наибольшего напряжения эта фаза альпийской складчатости достигла, по-видимому, к концу плиоценового времени. На протяжении всего неогенового периода происходило разрушение растущей складчатости страны и связанное с ним накопление в передовых и межгорных прогибах мощной толщи молассов.

В четвертичный период тектоническая деятельность продолжалась с постепенным затуханием, однако ее активность достаточно высока, и в настоящее время проявляется в частых землетрясениях. Изучение отложений показывает, что в четвертичный период выделяется не менее пяти циклов эрозии. По мнению Н. П. Петрова, первый из этих циклов, связанный с наиболее сильными горообразовательными движениями, относится к границе неогенового и четвертичного периодов.

Орогенические движения, проявившиеся в олигоцен-четвертичное время, создали современный сложный структурный план и ландшафтный облик района. С ними связано, по-видимому, основное проявление рудогенеза, положившего начало формированию в районе полиметаллических, серных и целестин-барит-флюоритовых месторождений.

Кугитангская геолого-разведочная экспедиция  
УГ СМ ТССР

Поступило  
25 января 1965 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дикенштейн Г. Х. и др. — Условия осадконакопления и геохимическая характеристика мезокайнозойских отложений западных районов Средней Азии, М., 1964.
2. Жданов Б. П. — Сб. Новые данные по геологии Туркменской ССР, М., 1964.
3. Иванов А. А., Левицкий Ю. Ф. — Тр. ВСЕГЕИ, нов. сер., т. 35, 1960.
4. Кулиев К. Б. — Литология ниже-среднеюрских отложений хребта Кугитангтау. Диссертация, Ашхабад, 1964.
5. Луинов Н. П. — Геология СССР, т. XXII, Туркменская ССР, М., 1957.
6. Машрыков К. К., Аманниязов К., Худошин И. М., Юферев Р. Ф. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 2, 1964.
7. Пейве А. В. — Сб. Проблемы Туркмении. Изд. АН СССР, М., 1934.

## МЕТЕОРНЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

УДК 523.53.

А. П. Саврухин

### НАБЛЮДЕНИЯ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ ЛЕОНИД В 1964 г. И ЛИРИД В 1965 г.

Метеорный поток Леонид наблюдали Э. С. Юшкевич с 14 по 17 ноября 1961 г. В первую ночь наблюдений часовое число метеоров потока не превышало трех, в следующую ночь наблюдалось увеличение числа метеоров, а в ночь 16/17 ноября поток достиг максимума активности — часовое число превысило 50. Все метеоры потока оставляли следы с продолжительностью свечения в несколько секунд.

С 21 по 23 апреля 1965 г. А. П. Саврухин и Л. И. Насырова наблюдали метеорный поток Лирид. В ночь 21/22 апреля часовое число метеоров потока составило 7 при относительной активности 0,6. В ночь 22/23 апреля часовое число уменьшилось до 4, относительная активность составила 0,4. Средний блеск метеоров потока +2 зв. величины, спорадических метеоров +3 зв. величины. В первую ночь наблюдений зарегистрированы дрейфы трех стойких газовых следов метеоров, которые дали перемещения к северу на среднем уровне высот.

Институт физики Земли и атмосферы  
АН Туркменской ССР

Поступило  
10 сентября 1965 г.

Нарчаев А. — Эмеле гелйән эллиптики деңлемелериң бири барада	3
Чарыев А. — Гильберт гицишлигинде икинжи тертипли дифференциал деңлемелериң чөзүлиш чөклендирмелериниң кәбир критериялары барада	8
Садыков К. Б., Семенович С. А. — э. д. с. методы билен гуршун теллуридинин термодинамики хәсиетлерини дернедек	16
Языев С. — Никель-палладий системасының сплавларында гөни термомагнит эффекти	22
Языев С., Оразсәхсөдов А. — Ферритлериң Кюри нөкадындакы йылылык сыгымының үзүл-кесил артмасы	27
Оразгулыев Б. — Гүйчли импульслы магнит мейданында <i>n</i> -кремнийниң электрик гечирижилигини дернедек	31
Суханов С., Арустамова М. В., Сыркина В. Ф. — InSb-деп әдилен магнит гаршылык датчиклери	35
Өвезгелдиев О. — Ионосфераның <i>E</i> областында өйжүклейин чалышян акымын болуп билжеклиги барада	40
Бердиева Р. С. — Сейсмиви типли тәсирде өчүнден дартылан говшак армирленен демир-бетон элементлериң берклиги	48
Кашкаров О. Д., Сапаров Г. М. — 70°C-де (Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> ), (Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), H <sub>2</sub> O 70°C, (343,2°K) системасында эзотермики бугарма халында метастабиль деңаграмлылыгы дернедек	56
<b>Ханмырадов Б. А., Ашумов Г. Г., Бедов Ю. А., Сучкова А. А., Агаева Р. М.</b> — Готурдепе небитиниң парафин ве ароматик углеводородлары	64
Деңлиев П. К., Мещеряков А. А. — Кагыз хроматографиясының көмеги билен өсүмликлердеки флавои маддаларың жеминиң бөлүниши	69
Амурский Г. И., Морозов Г. И., Рубан В. И., Спикин В. А., Хуснутдинов З. Б. — Меркези Түркменистаның гүнорта районларында небит ве газ гөзлег ишлериниң угры барада	73
Машрыков К., Юферев Р., Аманныязов К. — Түркменистан ССР-ниң территориясындакы ёкары юра чөкүндилериниң палеотектоникасы барада	78
Соколовская Л. А. — Гүндогар ве Демиргазык гүндогар Түркменистаның ёкары мел чөкүндилериниң минералогиви дүзүми ве корреляцион сыпаты	83
Узаков О. — Гүнбатар ве Меркези Көпетдаг этегиниң ёкары миоцениң биостратиграфиви бөлүниши	90
Трубин А. И. — Меркези Көпетдагың палеоген тоюлларының рентген-структура анализи боюнча минералогиви характеристикасы	100
Нурмашев Н. У. — Тувар гырың юра чөкүндилериниң дәнели-тозанжыккы комплекси ве оларың стратиграфиви әхмиети	107
<b>ГЫСГАЧА ХАБАРЛАР</b>	113
Кривошеев В. Т. — Меркези ве Демиргазык Гарагумың баррем ярусы барада тәзе маглуматлар (113). Судо М. М., Тимофеев Ю. В. — Гарагум чөкетлигиниң гүндогар бөлегиниң олигоцен чөкүндилери барада тәзе маглуматлар (115). Қожевникова Г. Е. — Меркези ве Гәверс көпетдагының чөкүндилериндеки фораминиферлериң тәзе гөрнүшлери барада (117). Седлецкий В. И. — Говурдак көйтен структура зоналарының геологиви өсүшиниң тарыхы (122).	
<b>МЕТЕОР БЮЛЛЕТЕНИ</b>	125
Саврухин А. П. — 1964-нжи йылда Леонид ве 1965-нжи йылда Лирид метеор акымларына гөзегчилик (125).	

Ученый секретарь журнала — Т. В. Артыкова  
 Техред. — В. В. Подвезжих

**Продолжается подписка  
на журнал**

**„ИЗВЕСТИЯ  
АКАДЕМИИ НАУК  
ТУРКМЕНСКОЙ ССР“  
на 1966 год**

**ПО СЕРИЯМ:**

**физико-технических, химических  
и геологических наук  
биологических наук  
общественных наук**

**Периодичность каждой серии  
6 номеров в год**

**Подписная плата**

**серия физико-технических,  
химических и геологиче-  
ских наук**

**серии биологических  
и общественных наук**

**на год 3 р. 60 к.**

**3 р.**

**на 6 месяцев 1 р. 80 к.**

**1 р. 50 к.**

**цена отдельного  
номера 60 к.**

**50 к.**

*Подписка принимается  
во всех отделениях  
„СОЮЗПЕЧАТИ“*