

ИЗВЕСТИЯ  
АКАДЕМИИ НАУК  
ТУРКМЕНСКОЙ ССР

СЕРИЯ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ  
ХИМИЧЕСКИХ и ГЕОЛОГИЧЕСКИХ  
НАУК

---

1 • 1 9 7 8

#### **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

Главный редактор — чл.-корр. АН ТССР **О. О. Овезгельдыев**. Заместители главного редактора — ак. АН ТССР **А. А. Бердыев** и чл.-корр. АН ТССР **О. А. Одоков**. Ответственный секретарь — к. ф.-м. н. **А. А. Аширов**. Академики АН ТССР **В. А. Баум**, **А. Н. Ниязов**, **С. Р. Сергиенко**; чл.-корр. АН ТССР **О. Г. Худай-Веренов**; д. ф.-м. н. **Я. А. Агаев**, д. г.-м. н. **Я. А. Ходжакулиев**; к. ф.-м. н. **А. А. Ханбердиев**, **Г. М. Мяликгулиев**; к. т. н. **М. К. Курбанов**.

© Издательство «Ылым». «Известия Академии наук Туркменской ССР, серия физико-технических, химических и геологических наук», 1978.

ТУРКМЕНИСТАН ССР  
ЫЛЫМЛАР АКАДЕМИЯСЫНЫҢ  
Х А Б А Р Л А Р Ы

ФИЗИКА-ТЕХНИКИ, ХИМИКИ ВЕ ГЕОЛОГИК  
ЫЛЫМЛАРЫҢ СЕРИЯСЫ

ИЗВЕСТИЯ  
АКАДЕМИИ НАУК  
ТУРКМЕНСКОЙ ССР

СЕРИЯ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ  
И ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

1

1978

«ЫЛЫМ» НЕШИРЯТЫ · АШГАБАТ  

---

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЫЛЫМ» · АШХАБАД

PROCEEDINGS  
OF THE ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE TURKMEN SSR

SERIES OF PHYSICO-TECHNICAL, CHEMICAL  
AND GEOLOGICAL SCIENCES

1  
1978

«YLYM» PUBLISHING HOUSE  
Ashkhabad

### НЕКОТОРЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ НЕРАВЕНСТВА РОМАНОВА — ЭРДЕША

1. Пусть  $W$  — множество, состоящее из  $P$  упорядоченных пар целых чисел  $(u, v)$ ;  $N$  — количество различных чисел, представленных в виде суммы  $u+v$ ,  $(u, v) \in W$ ;  $N_1$  — количество чисел, представленных в указанном виде единственным образом. Пусть далее

$$R = \sum_{\substack{u-u'=v'-v>0 \\ (u, v), (u', v') \in W}} 1.$$

Известное тождество Н. П. Романова [1], дополненное соображениями П. Эрдеша [2], приводит к неравенству

$$N_1 \geq P - 2R \tag{1}$$

(неравенство Романова — Эрдеша), непосредственным следствием которого являются соотношения:

$$N = P - 2\theta R, \quad N_1 = P - 2\theta_1 R, \quad 0 \leq \theta \leq \theta_1 \leq 1. \tag{2}$$

Рассмотрим две последовательности натуральных чисел  $U$  и  $V$  с подсчитывающими функциями  $N_U(x)$  и  $N_V(x)$ . Обозначим

$$M_U(x) = \max_{1 < a < x} \sum_{\substack{a < u < x \\ u, u-a \in U}} 1.$$

Возьмем в качестве  $W$  множество пар  $(u, v)$ , где  $u \in U, v \in V, u+v \leq x$ . Тогда

$$P = \int_0^x N_U(x-y) dN_V(y); \tag{3}$$

$$R \leq M_U(x) \sum_{\substack{v < v' \leq x \\ v, v' \in V}} 1 \leq \frac{1}{2} M_U(x) N_V^2(x). \tag{4}$$

Через  $N(n \leq x, \dots)$  обозначим количество натуральных чисел, не превосходящих  $x$ , представленных в указанном в скобках виде, а через

$N_1(n \leq x, \dots)$  — количество тех из них, которые представлены в указанном виде единственным образом.

Из (2) — (4) следует

*Теорема 1.* Имеют место соотношения:

$$N(n \leq x, n = u+v) = \int_0^x N_U(x-y) dN_V(y) - \Theta M_U(x) N_V^2(x); \quad (5)$$

$$N_1(n \leq x, n = u+v) = \int_0^x N_V(x-y) dN_V(y) - \Theta_1 M_U(x) N_V^2(x), \quad (6)$$

где  $0 \leq \Theta \leq \Theta_1 \leq 1$ .

Здесь и в дальнейшем  $u \in U, v \in V, n, m, k, l, r, d$  — натуральные числа;  $p$  и  $q$  — простые числа;  $c$  — положительная константа.

2. Большинство последовательностей, обычно рассматриваемых в аддитивной теории чисел, обладают правильно меняющимися (в смысле Карамата) подсчитывающими функциями. Если  $N_U(x)$  и  $N_V(x)$  — правильно меняющиеся функции порядков  $\alpha$  и  $\beta$ , то при  $x \rightarrow \infty$

$$\int_0^x N_U(x-y) dN_V(y) \sim \frac{\Gamma(\alpha+1)\Gamma(\beta+1)}{\Gamma(\alpha+\beta+1)} N_U(x) N_V(x), \quad (7)$$

в силу известных общих свойств правильно меняющихся функций (см. [3]).

Отсюда и из теоремы 1 следует

*Теорема 2.* Пусть  $N_U(x)$  и  $N_V(x)$  — правильно меняющиеся функции порядков соответственно  $\alpha$  и  $\beta$ , причем

$$N_V(x) = o\left(\frac{N_U(x)}{M_U(x)}\right). \quad (8)$$

Тогда при  $x \rightarrow \infty$

$$\left. \begin{aligned} N(n \leq x, n = u+v) \\ N_1(n \leq x, n = u+v) \end{aligned} \right\} \sim \frac{\Gamma(\alpha+1)\Gamma(\beta+1)}{\Gamma(\alpha+\beta+1)} N_U(x) N_V(x). \quad (9)$$

Теорема 2 показывает, что если  $M_U^*(x) = o(N_U(x))$ , а последовательность  $V$  является достаточно редкой, то для  $N$  и  $N$  справедливы асимптотические формулы (9). Следует отметить, что арифметическая природа последовательности  $V$  при этом не играет никакой роли, а редкость этой последовательности только облегчает задачу, в отличие от ситуации, возникающей при исследовании асимптотики числа представлений.

Рассмотрим теперь несколько следствий теоремы 2, конкретизируя последовательность  $U$ , но оставляя  $V$  пока произвольной.

3. Если  $U$  представляет собой произвольное подмножество множества значений фиксированного полинома  $f$  степени  $\geq 2$ , то поскольку из равенства  $f(z+h) - f(z) = a$  для целых  $z, h, a$  вытекает  $h/a$ , имеем:

$$M_U(x) \leq \max_{a < x} (k-1)\tau(a) \ll 2^{(1+\varepsilon)} \frac{\ln x}{\ln \ln x}$$

( $k - \text{const}$ ,  $k$  — степень  $f$ ) для любого фиксированного  $\varepsilon > 0$ . Таким образом, имеет место

*Теорема 3.* Если в условиях теоремы 2  $U = \{f(\omega)\}$ ,  $f$  — полином степени  $\geq 2$ ,  $\omega$  пробегает любую последовательность натуральных чисел, и

$$N_V(x) = O\left(N_U(x) 2^{-(1+\delta)} \frac{\ln x}{\ln \ln x}\right) \quad (11)$$

для некоторого  $\delta > 0$ , то справедливы соотношения (9).

Так, например, если  $k \geq 2$  — фиксированное целое число, то последовательности  $\{m^k\}$  и  $\{p^k\}$  ( $m$  — пробегает натуральные числа,  $p$  — простые числа) имеют своими подсчитывающими функциями правильно меняющиеся функции порядка  $\frac{1}{k}$ .

$$\left(\left[x^{\frac{1}{k}}\right] \asymp x^{\frac{1}{k}}, \pi\left(x^{\frac{1}{k}}\right) \asymp \frac{kx^{\frac{1}{k}}}{\ln x}\right).$$

Поэтому имеет место

*Теорема 4.* Если  $k \geq 2$  — целое,  $N_V(x)$  — правильно меняющаяся функция порядка  $\beta \leq \frac{1}{k}$ , причем

$$N_V(x) \ll x^{\frac{1}{k}} 2^{-(1+\delta)} \frac{\ln x}{\ln \ln x} \quad (12)$$

для некоторого  $\delta > 0$ , то

$$\left. \begin{array}{l} N(n \leq x, n = m^k + v) \\ N_1(n \leq x, n = m^k + v) \end{array} \right\} \asymp \frac{\Gamma\left(\frac{1}{k} + 1\right) \Gamma(\beta + 1)}{\Gamma\left(\frac{1}{k} + \beta + 1\right)} \cdot x^{\frac{1}{k}} N_V(x); \quad (13)$$

$$\left. \begin{array}{l} N(n \leq x, n = p^k + v) \\ N_1(n \leq x, n = p^k + v) \end{array} \right\} \asymp \frac{\Gamma\left(\frac{1}{k}\right) \Gamma(\beta + 1)}{\Gamma\left(\frac{1}{k} + \beta + 1\right)} \cdot \frac{x^{\frac{1}{k}}}{\ln x} N_V(x). \quad (14)$$

4. Другой класс последовательностей, аддитивные свойства которых можно изучать на основе теоремы 1 и 2, образуют различные множества целых чисел с ограничениями на простые делители.

Пусть  $G(t)$  — целозначная функция, определенная при  $t \geq 1$ , такая, что  $G(t_1)/G(t_2)$  для  $t_1 \leq t_2$ .

Если множества  $U$  таковы, что  $(u, G(u)) = 1$  при  $u \in U$ , то с помощью метода решета (см., например, [4]) получаем:

$$M_U(x) \ll x \ln \ln x \exp \left\{ -2 \sum_{p < x} \frac{1}{p} \right\} \cdot p/G\left(\frac{x}{\ln^2 x}\right) \quad (15)$$

Отсюда и из теоремы 2 вытекает

*Теорема 5.* Пусть  $N_U(x)$  и  $N_V(x)$  — правильно меняющиеся функции, причем  $(u, G(u)) = 1$  для всех  $u \in U$ . Тогда, если

$$N_V(x) = O\left(\frac{N_U(x)}{x \ln \ln x} \exp 2 \sum_{p < x} \frac{1}{p}, p/G\left(\frac{x}{\ln^2 x}\right)\right), \quad (16)$$

то

$$\left. \begin{array}{l} N(n \leq x, n=u+v) \\ N_1(n \leq x, n=u+v) \end{array} \right\} \sim N_U(x) \cdot N_V(x). \quad (17)$$

Действительно из (16) и (15) следует (8), а значит и (9). Кроме того, из (16) вытекает, что

$$N_V(x) = O\left(\frac{\ln^2 x}{\ln \ln x}\right),$$

так что в (9)  $\beta=0$ ; поэтому имеет место (17).

Условию теоремы 5 с  $G(t) = \prod_{p < t} p$  удовлетворяет множество простых чисел. Поэтому из нее следует, в частности,

*Теорема 6.* Если  $N_V(x)$  — медленно меняющаяся функция, причем

$$N_V(x) = O\left(\frac{\ln x}{\ln \ln x}\right), \quad (18)$$

то

$$\left. \begin{array}{l} N(n \leq x, n=p+v) \\ N_1(n \leq x, n=p+v) \end{array} \right\} \sim \frac{x}{\ln x} N_V(x). \quad (19)$$

Действительно, из (18) следует (16); принимая во внимание закон простых чисел, из (18) получаем (19).

Условия теоремы 5 удовлетворяет также всякая мультипликативная полугруппа  $S$ , порожденная некоторым множеством простых чисел, если при  $x \rightarrow \infty$

$$\sum_{\substack{p < x \\ p \in S}} \frac{\ln p}{p} \sim \tau \ln x, \quad \tau > 0. \quad (20)$$

В силу теоремы Вирзинга [5]

$$N_S(x) = \sum_{\substack{n < x \\ n \in S}} 1 \sim \frac{x}{\Gamma(\tau)} \cdot \frac{x}{\ln x} \prod_{\substack{p < x \\ p \in S}} \left(1 - \frac{1}{p}\right)^{-1} \quad (21)$$

( $\gamma$  — постоянная Эйлера) так, что  $N_S(x)$  — правильно меняющаяся функция порядка  $\alpha=1$ .

Если

$$G(t) = \prod_{\substack{p < t \\ p \in S}} p,$$

то, очевидно ( $s, G(s) = 1$  при  $s \in S$ ).

Таким образом, справедлива

*Теорема 7.* Пусть  $S$  — мультипликативная полугруппа, порожденная некоторым множеством простых чисел, удовлетворяющая условию (20).

Тогда, если

$$N_V(x) = O\left(\frac{1}{\ln \ln x} \exp \sum_{\substack{p < x \\ p \in S}} \frac{1}{p}\right) \quad (22)$$

и  $N_V(x)$  — медленно меняющаяся функция,  $s \in S$ , то

$$\left. \begin{aligned} N(n \leq x, n=s+v) \\ N_1(n \leq x, n=s+v) \end{aligned} \right\} \sim \frac{l^{-\tau}}{\Gamma(\tau) \ln x} \cdot \frac{x}{\ln x} \cdot N_V(x) \prod_{\substack{p < x \\ p \in S}} \left(1 - \frac{1}{p}\right)^{-1} \quad (23)$$

5. Если асимптотика подсчитывающих функций  $N_U(x)$  и  $N_V(x)$  известна более точно, то соответствующее уточнение получается и в асимптотических формулах для  $N$  и  $N_1$ .

Покажем некоторые результаты такого типа.

Пусть  $d \geq 3$  — фиксированное число,  $r$  — целое,  $1 \leq r < \varphi(d)$ ,  $1 \leq l_1 < l_2 < \dots < l_r < d$ ;  $(l_1, d) = (l_2, d) = \dots = (l_r, d) = 1$ .

Обозначим через  $U_{d,r} = U_{d,r}(l_1, \dots, l_r)$  множество натуральных чисел, все простые делители которых принадлежат объединению прогрессий

$$dn + l_1, \dots, dn + l_r.$$

Как показано в работе [6], функция  $N_{U_{d,r}}$  имеет асимптотическое разложение по степеням  $\ln x$ :

$$N_{U_{d,r}}(x) \sim c_{d,r} \frac{x}{(\ln x)^{1 - \frac{r}{\varphi(d)}}} \left(1 + \frac{b_1}{\ln x} + \frac{b_2}{(\ln x)^2} + \dots\right), \quad (24)$$

где

$c_{d,r} = c_{d,r}(l_1, l_2, \dots, l_r) > 0$ ,  $b_m = b_m(d, l_1, \dots, l_r)$  — постоянные.

Так как, согласно закону простых чисел в прогрессиях (см. [4])

$$\sum_{\substack{p < x \\ p \in U_{d,r}}} \frac{1}{p} = \frac{r}{\varphi(d)} \ln \ln x + O(1),$$

то из (15) следует:

$$M_{U_{d,r}}(x) \ll \frac{x \ln \ln x}{(\ln x)^2 \left(1 - \frac{r}{\varphi(d)}\right)}. \quad (25)$$

Возьмем в качестве  $V$  последовательность чисел  $[l^{am^b}]$ , где  $a > 0$ ,

$$b > \frac{\varphi(d)}{\varphi(d) - r}.$$

Тогда, очевидно,

$$N_V(x) = \left(\frac{\ln x}{a}\right)^{\frac{1}{b}} + O(1). \quad (26)$$

Отсюда и из (24) находим:

$$\begin{aligned} \int_0^x N_{U_{d,r}}(x-y) dN_V(y) &= c_{d,r} a^{-\frac{1}{b}} \frac{x}{(\ln x)^{1 - \frac{r}{\varphi(d)} - \frac{1}{b}}} + \\ &+ O\left(\frac{x}{(\ln x)^{1 - \frac{r}{\varphi(d)}}}\right). \end{aligned} \quad (27)$$

Из (25) — (27) следует по теореме 1

Теорема 8. При  $x \rightarrow \infty$

$$\left. \begin{aligned} N(n \leq x, n = u_{d,r} + [l^{am^b}]) \\ N_1(n \leq x, n = u_{d,r} + [l^{am^b}]) \end{aligned} \right\} = c_{d,r} a^{-\frac{1}{b}} \frac{x}{(\ln x)^{1 - \frac{r}{\varphi(a)} - \frac{1}{\beta}}} +$$

$$+ O\left(\frac{x}{(\ln x)^{1 - \frac{r}{\varphi(a)}}}\right) + O\left(\frac{x \ln \ln x}{(\ln x)^2 \left(1 - \frac{r}{\varphi(a)} - \frac{1}{\beta}\right)}\right), \quad (28)$$

где  $u_{d,r} \in U_{d,r}$ .

В качестве другого примера рассмотрим задачу о сложении простого и факториала простого [7].

Из теоремы 1, пользуясь законом простых чисел и элементарным неравенством  $\left(\frac{n}{3}\right)^n < n! \leq n^n$ , выводим следующий результат (его интересно сравнить с утверждениями работы [7]).

Теорема 9. При  $x \rightarrow \infty$

$$\left. \begin{aligned} N(n \leq x, n = p + q!) \\ N_1(n \leq x, n = p + q!) \end{aligned} \right\} = \frac{x}{(\ln \ln x)^2} + 2 \frac{x \ln \ln \ln x}{(\ln \ln x)^3} +$$

$$+ O\left(\frac{x}{(\ln \ln x)^3}\right). \quad (29)$$

В заключение рассмотрим множество чисел, представленных в виде  $p^k + q^l$ , где  $p$  и  $q$  — простые,  $k \geq 2$  и  $l \geq 2$  — заданные натуральные числа, причем  $k \neq l$ .

Непосредственно из теоремы 4 следует:

$$\left. \begin{aligned} N(n \leq x, n = p^k + q^l) \\ N_1(n \leq x, n = p^k + q^l) \end{aligned} \right\} \sim \frac{\Gamma\left(\frac{1}{k}\right) \Gamma\left(\frac{1}{l}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{k} + \frac{1}{l} + 1\right)} \cdot \frac{x^{\frac{1}{k} + \frac{1}{l}}}{\ln^2 x}. \quad (30)$$

Этот результат можно существенно уточнить, пользуясь теоремой 1 и современной формой закона простых чисел (см. [8]).

Имеет место

Теорема 10. При  $x \rightarrow \infty$

$$\left. \begin{aligned} N(n \leq x, n = p^k + q^l) \\ N_1(n \leq x, n = p^k + q^l) \end{aligned} \right\} + \iint_{\substack{u+v \leq x \\ u, v \geq 2}} u^{\frac{1}{k}-1} v^{\frac{1}{l}-1} \frac{du dv}{\ln u \ln v} +$$

$$+ O\left(x^{\frac{1}{k} + \frac{1}{l}} \exp\left(-c \frac{(\ln x)^{\frac{3}{5}}}{(\ln \ln x)^{\frac{1}{5}}}\right)\right). \quad (31)$$

Двойной интеграл, образующий главный член этой формулы, имеет асимптотическое разложение, сходное с разложением интегрального логарифма;

$$\iint_{\substack{u+v \leq x \\ u, v > 2}} u^{\frac{1}{k}-1} v^{\frac{1}{l}-1} \frac{dudv}{\ln u \ln v} \propto \frac{\Gamma\left(\frac{1}{k}\right) \Gamma\left(\frac{1}{l}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{k} + \frac{1}{l} + 1\right)} \cdot \frac{x^{\frac{1}{k} + \frac{1}{l}}}{\ln^2 x} \left(1 + \frac{d_1}{\ln x} + \frac{d_2}{\ln^2 x} + \dots\right). \quad (32)$$

Туркменский государственный пединститут  
им. В. И. Ленина

Дата поступления  
28 февраля 1977 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Романов Н. Р., Über einige Satze der additiven Lahlentheorie, Math. Ann., 109 (1934), 668—678.
2. Erdős P., On additive properties of squares of primes, I, Amsterdam, 41, 1 (1938), 37—41.
3. Karamata J., Sur un mode de croissance regueiere des fonctions, Bull. sos. math. Franse, 61, (1933), 1—8.
4. Прахар К. Распределение простых чисел. М., «Мир», 1967.
5. Wirsing E., Das asymptotische verhelten von summen über multiplikative Funktionen, II Acta math. Acad. Sei. Hung., 18, 3—4 (1967) 411—467.
6. Левин Б. В., Файнлейб А. С. Применение некоторых интегральных уравнений к вопросам теории чисел. — «Успехи математических наук», 22, 1967, 3.
7. Лаврик А. Ф. Простые и факториал простого. — «ДАН УзССР», 1960, № 1.
8. Walfisz A., Weylsche exponentialsommen in der neuren Lahlentheorie, Berlin, 1963.

М. Оразов

### РОМАНОВО—ЭРДЕШ ДЕНСИЗЛИГИНЕ КЭБИР ГОШМАЧАЛАР

Макалада Романово—Эрдеш денсизлигинин көмеги билен, херси берилен дүрли сан ызыгидерликлеринден болан ики гошулыжының жеми гөрнүшинде шекиллendirилйән натурал санларың мукдары үчин асимптотик формулалар субут эдилйәр.

M. Orazov

### SOME APPLICATIONS OF ROMANOV — ERDESH INEQUALITY

Through use of Romanov—Erdesh inequality the asymptotic formula was proved for a quantity of natural numbers presented as a sum of two items every of which belonging to a given succession deduced from some class of succession.

УДК 521.1

Ю. В. БАРКИН  
Л. В. ЖЕЛДАКОВА

### ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ПОСТУПАТЕЛЬНО- ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА В ПОЛЕ ПРИТЯЖЕНИЯ ШАРА

В современных теориях движения естественных и искусственных небесных тел значительное внимание уделяется исследованию поступательно-вращательного движения двух твердых тел. В настоящей работе рассматривается поступательно-вращательное движение двух твердых тел  $M_0$  и  $M_1$ , из которых  $M_0$  является шаром с радиальным распределением плотностей, а другое — твердым телом с плоскостью динамической симметрии, совпадающей с неизменяемой плоскостью орбиты.

Уравнения поступательно-вращательного движения описываются в канонических элементах Делоне—Андуайе. При помощи интегралов площадей понижается порядок системы уравнений, дается приближенное значение силовой функции.

1. Рассмотрим поступательно-вращательное движение двух твердых тел: с радиальным распределением плотностей шара  $M_0$  и осесимметричного тела  $M_1$ . Обозначим через  $m_0$ ,  $m_1$  соответствующие массы тел, а через  $A=B \neq C$  — главные центральные моменты инерции тела  $M_1$ .

Для описания движения тел введем в рассмотрение следующие системы координат:  $OXYZ$  — относительная система координат с началом в центре масс тела  $M_0$  и с осями, сохраняющими постоянную ориентацию в пространстве;  $O_1X_1Y_1Z_1$  — система декартовых координат с началом в центре масс  $O_1$  тела  $M_1$ , оси которой параллельны соответствующим осям системы  $OXYZ$ ,  $O_1xyz$  — система координат, оси которой направлены по главным центральным осям инерции тела  $M_1$ .

Вращательное движение тела  $M_1$  относительно его центра масс опишем каноническими оскулирующими элементами Андуайе  $L_1$ ,  $G_1$ ,  $H_1$ ,  $l_1$ ,  $g_1$ ,  $h_1$ , для чего введем промежуточную плоскость  $P$ , проходящую

через центр  $O_1$ , нормальную к вектору  $\vec{G}_1$  кинетического момента вращательного движения тела  $M_1$ . Углами  $\rho$  и  $h_1$  зададим ориентацию промежуточной плоскости в осях  $O_1XYZ$ ;  $\rho$  — угол, измеряемый между

осью  $O_1Z$  и вектором  $\vec{G}_1$  (наклонность промежуточной плоскости;  $h_1$  — угол, между осью  $O_1X$  и линией пересечения плоскостей  $P$  и  $O_1XY$

(долгота восходящего узла промежуточной плоскости). Углами  $\theta$ ,  $g_1$ ,  $l_1$  определим положение осей тела  $M_1 O_{1xy}$  относительно вектора  $\vec{G}_1$  и промежуточной плоскости:  $\theta$  — угол между осью  $O_1 z$  и вектором  $\vec{G}_1$  (наклонность экватора спутника к промежуточной плоскости);  $g_1$  — угол измеряемый от линии пересечения плоскостей  $O_1 X Y$  и  $P$  до линии пересечения плоскостей  $O_{1xy}$  и  $P$  (долгота восходящего узла экватора на промежуточной плоскости, отсчитываемая от восходящего узла промежуточной плоскости);  $l_1$  — угол, измеряемый от линии пересечения плоскостей  $P$  и  $O_{1xy}$  до оси  $O_{1x}$  (угол собственного вращения тела  $M_1$ ). Переменные  $L_1$ ,  $H_1$  введем соотношениями

$$L_1 = G_1 \cos \theta, \quad H_1 = G_1 \cos \rho.$$

Таким образом,  $L_1$  — величина проекции вектора  $\vec{G}_1$  на ось динамической симметрии тела  $M_1$ , а  $H_1$  — величина проекции вектора  $\vec{G}_1$  на неподвижную ось  $O_1 Z$ . Относительное поступательное движение тел  $M_0$ ,  $M_1$  опишем каноническими элементами Делоне:

$$L = m \sqrt{\mu a}, \quad l — \text{средняя аномалия}; \quad (1)$$

$$G = m \sqrt{\mu a (1 - e^2)}, \quad g — \text{угловое расстояние до перицентра};$$

$$H = G \cos i, \quad h — \text{долгота восходящего узла},$$

где  $a$  — большая полуось;  $e$  — эксцентриситет орбиты,  $i$  — ее наклонность к основной плоскости  $OXY$ ,

$$m = \frac{m_0 m_1}{(m_0 + m_1)}, \quad \mu = f(m_0 + m_1), \quad f — \text{гравитационная постоянная}.$$

Принимая за невозмущенное движение тел  $M_0$ ,  $M_1$  их кеплеровское поступательное движение и эйлерово вращение тела  $M_1$  относительно собственного центра масс, опишем их поступательно-вращательное движение уравнениями возмущенного движения в канонических элементах Делоне—Андуайе [2]. Будем иметь:

$$\frac{d(L, G, H, L_1, G_1, H_1)}{dt} = \frac{\partial F}{\partial(l, g, h, l_1, g_1, h_1)};$$

$$\frac{d(l, g, h, l_1, g_1, h_1)}{dt} = - \frac{\partial F}{\partial(L, G, H, L_1, G_1, H_1)} \quad (2)$$

Характеристическая функция задачи связана с возмущающей функцией  $R$  равенством

$$F = \frac{\mu^2 m^3}{2L} - \frac{G_1^2}{2A} - \frac{1}{2} \left( \frac{1}{C} - \frac{1}{A} \right) L_1^2 + R, \quad (3)$$

где первые три члена соответствуют невозмущенному движению.

Возмущающая функция в (3) представляется разложением по присоединенным полиномам Лежандра:

$$R(r, \delta) = f \sum_{n=2}^{\infty} \frac{A_n P_n(\cos \delta)}{r^{n+1}}, \quad (4)$$

где  $r$  — расстояние между центрами инерции тел  $OO_1$ ;  $\delta$  — угол между радиус-вектором центра масс тела  $M_1$  и его осью симметрии  $O_1 z$ ;  $A_n$  — численные коэффициенты, характеризующие динамическое строение те-

ла  $M_1$ .  $R$  представляется функцией переменных Делоне—Андуайе с помощью формул невозмущенного движения:

$$r = \frac{G^2}{m^2 \mu (1 + e \cos v)} ;$$

$$\cos \delta = \gamma_1 \cos (v + g) + \gamma_2 \sin (v + g) ;$$

$$e = \frac{\sqrt{G^2 - L^2}}{L} ,$$
(5)

где  $v$  — истинная аномалия кеплеровского движения, определяемая уравнением

$$l = \frac{G^3}{L^3} \int_0^v \frac{dv}{(1 + e \cos v)^2} ,$$

а величины  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  представляются следующими формулами:

$$\gamma_1 = \frac{\sqrt{G_1^2 - L_1^2}}{C_1^2} [H_1 \sin (h_1 - h) \cos g_1 + G_1 \cos (h_1 - h) \sin g_1 +$$

$$+ \frac{\sqrt{G_1^2 - H_1^2}}{G_1^2} L_1 \sin (h_1 - h)] ;$$
(6)

$$\gamma_2 = \frac{H}{G} \cdot \frac{\sqrt{G_1^2 - L_1^2}}{G_1^2} [-H_1 \cos (h_1 - h) \cos g_1 + G_1 \sin (h_1 - h) \sin g_1 -$$

$$- \frac{L_1}{G_1} \cos (h_1 - h) - \frac{H}{G} \frac{\sqrt{G_1^2 - H_1^2}}{G_1} +$$

$$+ \frac{\sqrt{G^2 - H^2}}{G G_1^2} [-\sqrt{G_1^2 - H_1^2} \sqrt{G_1^2 - L_1^2} \cos g_1 + H_1 L_1] .$$

Из формул (5), (6) следует, что возмущающая функция (4) зависит от элементов  $h$  и  $h_1$  лишь посредством их разности, а от элемента  $g$  — посредством суммы  $v + g$  и вовсе не зависит от элемента  $l_1$ . Известны пять первых интегралов задачи: интеграл энергии, три интеграла площадей и первый интеграл, характеризующий постоянство проекции угловой скорости вращения тела на его ось динамической симметрии. В переменных Делоне—Андуайе эти интегралы запишутся следующим образом:

$$\frac{\mu^2 m^3}{2L^2} - \frac{G_1^2}{2A} - \frac{1}{2} \left( \frac{1}{C} - \frac{1}{A} \right) L_1^2 + R = c_1 ;$$
(7)

$$\sqrt{G^2 - H^2} \cos h + \sqrt{G_1^2 - H_1^2} \cos h_1 = c_2 ;$$
(8)

$$\sqrt{G^2 - H^2} \sin h + \sqrt{G_1^2 - H_1^2} \sin h_1 = c_3 ;$$
(9)

$$H + H_1 = c_4 ;$$
(10)

$$L_1 = c_5 ,$$
(11)

где  $c_i$  — произвольные постоянные.

С помощью интеграла (11) исключим из дальнейшего рассмотрения переменную  $l_1$ , характеризующую вращение тела  $M_1$  относительно оси симметрии, которая определяется по известным элементам  $L, G, H, G_1, H_1, l, g, h, g_1, h_1$  следующей квадратурой:

$$l - l_1^{(0)} = - \int_{t_0}^t \frac{\partial F}{\partial L_1} dt, \quad l_1^{(0)} = l_1(t_0).$$

Тогда движение тел опишется системой уравнений 10-го порядка:

$$\begin{aligned} \frac{d(L, G, H, G_1, H_1)}{dt} &= \frac{\partial F}{\partial (l, g, h, g_1, h_1)}; \\ \frac{d(l, g, h, g_1, h_1)}{dt} &= - \frac{\partial F}{\partial (L, G, H, G_1, H_1)}; \\ F &= \frac{\mu^2 m^3}{2L^2} - \frac{G_1^2}{2A} + R. \end{aligned} \quad (12)$$

Уравнения (12) допускают интеграл энергии и три интеграла площадей.

Предположим, что эллипсоид инерции тела  $M_1$  близок к шару, а размеры тела  $M_1$  малы по сравнению с расстоянием между телами  $M_0, M_1$ . Тогда характеристическая функция задачи может быть представлена в виде, необходимом для применения схемы усреднения Моисеева. В качестве малого параметра  $\nu$  можно выбрать динамическое сжатие тела  $M_1$ , то есть

$$\nu = \frac{C - A}{A}.$$

Ограничиваясь приближенным значением возмущающей функции задачи, имеем:

$$\begin{aligned} F &= F_0 + \nu F_1; \\ F_0 &= \frac{\mu^2 m^3}{2L^2} - \frac{G_1^2}{2A}. \end{aligned} \quad (13)$$

Здесь  $F_0$  — невозмущенная часть функции  $F$ , а часть гамильтониана  $\nu F_1$  представляет собой основной член разложения возмущающей функции  $R$ :

$$\nu F_1 = \nu f m_0 A \frac{(1 - 3\cos^2\delta)}{2r^3}. \quad (14)$$

Понизим порядок системы (12), используя интегралы площадей. До сих пор основная плоскость  $OXY$  выбиралась произвольно. Выберем теперь ее таким образом, чтобы она совпадала с плоскостью Лапласа, для которой  $c_2 = c_3 = 0, c_4 = c$ . Тогда равенства (8) — (10) преобразуются к виду:

$$h_1 - h = \pi; \quad (15)$$

$$\sqrt{G^2 - H^2} = \sqrt{G_1^2 - H_1^2}; \quad (16)$$

$$H + H_1 = c. \quad (17)$$

Если в качестве основной плоскости выбрана неизменяемая плоскость Лапласа, то в гамильтониане  $F$  не будут содержаться переменные  $h$  и  $h_1$ . Из функции  $F$  исключим переменные  $H$  и  $H_1$  с помощью формул:

$$H = \frac{c}{2} + \frac{1}{2c} (G^2 - G_1^2), \quad H_1 = \frac{c}{2} - \frac{1}{2c} (G^2 - G_1^2), \quad (18)$$

которые непосредственно вытекают из равенств (16), (17). Для переменных  $G, G_1$ , содержащихся в  $F$ , введем новые обозначения  $G = \Gamma, G_1 = \Gamma_1$ . Тогда уравнения движения запишутся в виде:

$$\begin{aligned} \frac{dL}{dt} &= \frac{\partial F}{\partial l}, \quad \frac{dl}{dt} = -\frac{\partial F}{\partial L}, \\ \frac{d\Gamma}{dt} &= \frac{\partial F}{\partial g}, \quad \frac{dg}{dt} = -\frac{\partial F}{\partial \Gamma}, \\ \frac{d\Gamma_1}{dt} &= \frac{\partial F}{\partial g_1}, \quad \frac{dg_1}{dt} = -\frac{\partial F}{\partial \Gamma_1}, \end{aligned} \quad (19)$$

$$F = \frac{\mu^2 m^3}{2L^2} - \frac{\Gamma_1^2}{2A} + \nu F_1(L, \Gamma, \Gamma_1, l, g, g_1) + o(\nu).$$

Уравнения (19) допускают лишь один первый интеграл

$$F = c_1.$$

Для полного решения уравнений (19) можно применять асимптотические методы.

Выражаем благодарность докт. физ.-мат. наук В. Г. Демину за внимание к работе.

Туркменский политехнический  
институт

Дата поступления  
9 марта 1977 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дубошин Г. Н. Небесная механика, основные задачи и методы. М., 1975.
2. Баркин Ю. В. О периодических движениях осесимметричного твердого тела в поле притяжения шара. — «Астрономический журнал», 1977, № 54.
3. Баркин Ю. В. Промежуточное плоское движение твердого тела в поле притяжения шара. — «Астрономический журнал», 1975, № 52.

Л. В. Желдакова, Ю. В. Баркин

#### ШАРЫҢ ЧЕКИШ ГҮЙЖҮНИҢ МЕЙДАНЫНДАКЫ ОСЕСИММЕТРИК ГАТЫ ЖИСИМИҢ ӨҢЕ ГИДИШ — АЙЛАНЫШ ХЕРЕКЕТИНИҢ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ДЕҢЛЕМЕСИ

Дыкызлыгы концентрик ерлешен шардан ве орбитал хем-де айланма херекетлериниң дөвүрлериниң өлчөгөдешлик шертлерини ерине етирийэн динамики симметриялы текизлиги болан гаты жисимден ибарат ики саны системаның өңе гидиш — айланыш херекетине середилйәр. Деңлемелер Делоне—Андуайе каноник элементлерде беян эдилйәр. Өңе гидиш ве айланма херекетлери бири—бирлери билен арабагланышыклы хасапланылар.

Yu. V. Barkin, L. V. Zheldakova

#### DIFFERENTIAL EQUATION ON TRANSLATIONAL-ROTARY MOVEMENT OF AN XIS-SYMMETRICAL SOLID BODY IN THE SPHERE'S FIELD OF ATTRACTION

Paper presents an analysis of translational-rotary movement of a double system that consists of a sphere with concentric distribution of densities and a solid body with a plante of dynamical symmetry for which the condition of commensurability between orbital and rotary movement is performed. The translational and rotary movements are considered to be interrelated.

ности. Распределение температуры газа при его прохождении через слой не меняется.

Значения  $\alpha'_{ст}$  и  $\alpha''_{ст}$  отличаются друг от друга не только численно, но и характером зависимости их от критерия  $Re$ . В формулах  $\alpha'_{ст}$  показатель степени  $Re$ , как правило, меньше единицы, а в формулах для  $\alpha''_{ст}$  он равен единице. Равен он единице и в формулах для коэффициента теплоотдачи на стенке трубы, полученных аналитическими методами [6, 7]. Приведенные ниже формулы для расчета коэффициента теплоотдачи являются наиболее типичными для определений (1) и (2).

Формула Колбурна [1]

$$Nu' = 0,011 f(x) Re^{0,8} Pr$$

$$0,04 \leq x \leq 0,32, 18 \leq f(x) \leq 32. \quad (3)$$

Формула Леви [2, 3, 4]

при нагревании газа

$$Nu' = 0,813 x \varphi e^{-6x} Re^{0,9} \quad (4)$$

$$0,08 \leq x \leq 0,3, 120 \leq Re \leq 4700;$$

при охлаждении газа [4]

$$Nu' = 3,5 x e^{-4,5 x} Re^{0,7}. \quad (5)$$

Формула Ченнакесавана [5]

$$Nu' = (0,4 - 0,5x) x^{0,2} Re^{0,8} Pr^{0,33} \left( \frac{\nu_{cp}}{\nu_{ст}} \right)^{0,14} \quad (6)$$

$$20 \leq Re \leq 1200, 0,069 \leq x \leq 0,3.$$

Формула Яги и Кунии [6] (слой материала в кольцевом межтрубном зазоре)

$$Nu'' = Nu''_0 + 0,041 Re Pr \quad (7)$$

$$3,2 \leq Nu''_0 \leq 25, 0,0196 \leq x \leq 0,256.$$

Яги и Кунии, обработав данные измерений многочисленных экспериментаторов [7, 8], представили следующую формулу для теплообмена на стенке цилиндрической трубы со слоем кускового материала:

$$Nu'' = Nu''_0 + 0,054 Pr Re \quad (8)$$

$$1,2 \leq Nu''_0 \leq 8, 0,021 \leq x \leq 0,167.$$

Формула, полученная Зингером и Вильгельмом [9] математическими методами при  $t_{ст} = \text{const}$  с использованием определения (2):

$$Nu' = Re Pr \left[ 5,79x \left( \frac{\lambda_r}{Re C_p \nu} + \frac{f}{Re Pr} + \frac{1}{Pe_\Sigma} \right) + 0,0912 \frac{d}{L} \right]. \quad (9)$$

В. А. Баум и О. Бекмуратов [10] для стабилизированного теплообмена получили следующие выражения: для

$$Nu'' = 5,78 Re Pr \frac{x}{Pe_\Sigma} \text{ при } t_{ст} = \text{const}; \quad (10)$$

$$Nu'' = 8Re Pr \frac{\kappa}{Pe_\Sigma} \text{ при } q_{ст} = \text{const.} \quad (11)$$

В формулах (3—11) критерии Нуссельта и Рейнольдса определены по диаметру частиц слоя кускового материала  $\delta$ ;  $f(\kappa)$  в формуле

(3) — поправочный множитель, учитывающий влияние числа  $\kappa = \frac{\delta}{d}$

( $0 \leq \kappa \leq 1$ ,  $\kappa = 1$  — пустая труба,  $\kappa = 0$  — слой неограниченного поперечного размера). График  $f(\kappa)$  приводится в работе Колбуна [1].  $Nu''_0$  — значение критерия  $Nu''$ , когда газ неподвижен;  $\varphi$  (см. формулу (4)) — поправочный множитель, учитывающий собственную теплопроводность твердых частиц ( $\alpha'_{ст}$  увеличивается на 50% при увеличении коэффициента теплопроводности твердых частиц в тысячу раз);  $\lambda_t, \lambda$  — теплопроводность твердых частиц и жидкости (газа);  $Pe$  — турбулентное число Пекле, определяемое по турбулентной температуропроводности и диаметру частиц;  $L$  — высота слоя кускового материала.

### Зависимость $Nu$ от числа $\kappa$

Возникает вопрос, какая связь существует между значениями  $\alpha'_{ст}$  полученными по определению (1) и (2). Один из возможных путей пересчета  $\alpha'_{ст}$  в  $\alpha''_{ст}$  указан в [11]. Однако из-за сложности этих расчетов и их низкой точности сглаживается зависимость  $\alpha'_{ст}$  от числа  $\kappa$ . Характер зависимости  $\alpha'_{ст}$  от  $\kappa$  не передается в  $\alpha''_{ст}$ . Методы пересчета  $\alpha''_{ст}$  в  $\alpha'_{ст}$  не существуют.

Критериальные уравнения (3—6) содержат поправочный множитель, учитывающий влияние числа  $\kappa$  на критерий Нуссельта. Анализ этих формул показывает, что при  $Re = \text{const}$  существует такое значение  $\kappa = \kappa_m$ , при котором  $Nu'$  имеет максимальное значение. У Колбуна [1] максимум  $Nu'$  имеет место при  $\kappa = 0,15$ , у Лева [2] — 0,167 при нагревании потока газа и 0,22 — при его охлаждении, у Ченнакесавана [5] он равен 0,133. Колбуна проводил опыты по нагреванию потока газа, Ченнакесаван же нагревал поток жидкости. У всех трех авторов при нагревании потока максимум  $Nu'$  получается примерно при одних и тех же значениях  $\kappa$ .

Следует отметить, что у самого Ченнакесавана критерии Нуссельта и Рейнольдса определены по диаметру трубы, поэтому непосредственно из его расчетной формулы не получается максимального значения функции  $Nu'(\kappa)$ . Отсутствие максимума он объясняет тем, что опыты проводил с потоками жидкостей (вода, глицерин, толуол, нитробензол), а не потоком воздуха и делает вывод о различном характере влияния насадки на  $\alpha'_{ст}$  для жидкости и газа.

В критериальных уравнениях, полученных с применением определения (2), максимум на графиках  $Nu''(\kappa)$  не обнаруживается. Не обнаруживается он и в уравнениях, полученных теоретическими расчетами (9—11). Причина этого, вероятно, в том, что (9—11) получены без учета особенностей того или иного слоя, некоторым формализмом в выбранной математической модели. Отсутствие максимума на экспериментальных кривых  $Nu''(\kappa)$  (формулы (7, 8)) трудно объяснить.

Происхождение максимума на кривых  $Nu'(\kappa)$ , по-видимому, связано с особенностями поперечного перемешивания потока жидкости или газа при их движении через слой кускового материала и его можно объяснить, используя теорию пути смешения Прандтля [15]. В самом

деле, длина пути смещения турбулентной частицы, то есть расстояния, которое проходит жидкая частица прежде, чем потеряет свою индивидуальность, будет порядка размера твердых частиц, составляющих данный слой. При этом следует ожидать, что размеры отдельных вихрей приблизительно равны объему отдельных пор между контактирующими твердыми частицами.

Допустим, что для исследуемого слоя кускового материала  $\kappa$  велико. В этом случае размеры жидких вихрей и длина их свободного пути будут относительно велики. Число жидких вихрей в единице объема слоя будет малым. Большая длина свободного пути требует больший промежуток времени на прохождение этого пути, прежде чем данный вихрь передаст излишек своего тепла другим, более холодным вихрям, расположенным вдали от стенки трубы. Количество тепла, уносимое от стенки трубы за единицу времени крупными вихрями, невелико ввиду их малой скорости. Предельным значением  $Nu'$  при  $\kappa \rightarrow 1$  является критериальная формула для пустой трубы. В случаях же, когда числа  $\kappa$  малы, длина свободного пути жидких вихрей и их размеры малы, хотя и число таких вихрей в единице объема слоя велико. Вследствие небольшой длины свободного пути вихри, возникшие у стен трубы и отличающиеся от других теплосодержанием, отдают свой излишек тепла вихрям, расположенным на небольших расстояниях от стенки.

Таким образом, в обоих случаях ( $\kappa$  велико и мало) процесс переноса тепла в поперечном направлении затруднен. Это вызывает относительно небольшие значения коэффициента теплоотдачи  $\alpha'_{ст}$ . Очевидно, что существует такое значение  $\kappa$ , при котором имеются наиболее благоприятные условия для уноса тепла с поверхности стенки трубы и, следовательно, имеет место максимальное значение функции  $Nu'(\kappa)$ .

Точно такие же рассуждения применимы для объяснения максимума функции  $Nu'(\kappa)$  в случае охлаждения потока газа или жидкости. Однако из-за существенного различия поведения потока около стенки, когда он охлаждается или нагревается, следует ожидать, что значения  $\kappa_m$  для этих двух случаев будут не одинаковыми. Это подтверждается формулами (3) и (4).

Подчеркнем здесь факт независимости значения  $\kappa_m$  от критерия Рейнольдса.

### Зависимость $Pe_z$ от $Re$ и $\kappa$

Сравнение теоретических и эмпирических критериальных уравнений (3—6) и (9) показывает, что эффективное значение  $Pe_z$  должно быть пропорциональным  $Re$  в степени  $0,1 \div 0,2$ . Однако, судя по весьма слабой зависимости  $Pe_z$  от критерия  $Re$  [12—14], можно предположить, что показатель степени  $Re$  должен быть равным 0,1 или может быть еще меньше. С этой точки зрения формулы Колбурна и Ченнаке-савана являются более грубым приближением к истине, чем формула Лева. Если принять, что формулы Колбурна и Ченнаке-савана правильно описывают теплообмен между потоком и стенкой трубы, можно прийти к выводу об относительно сильной зависимости  $Pe_z$  от  $Re$ , что не наблюдается на опытах. Кроме того, из сопоставления теоретических и экспериментальных формул вытекает весьма сильная зависимость  $Pe_z$  от числа  $\kappa$ . Причем эта зависимость очень сильна при больших  $\kappa$  и несколько ослабляется на малых  $\kappa$ . При  $\kappa \rightarrow 0$  критерий  $Pe_z$  стремится к некоторому числу, определяемому только  $Re$ .

Приведенные рассуждения дают возможность сделать вывод о

том, что для получения расчетной формулы для  $Pe_{\Sigma}$  путем сравнения теоретических и экспериментальных формул для  $Nu'$  нужно выбрать формулу Лева, так как только она может обеспечить зависимость  $Pe_{\Sigma}$  от  $Re$  в степени 0,1.

Сравнение формул (4) и (10) дает

$$Pe_{\Sigma} = 7,15 Pr Re^{0,1} \cdot e^{\alpha x} \quad (12)$$

Отсюда следует, что при изменении критерия  $Re$  от 20 до 10 000, то есть в 500 раз, эффективное значение критерия  $Pe_{\Sigma}$  изменяется менее чем в два раза. Такую слабую зависимость  $Pe_{\Sigma}$  от  $Re$  и в самом деле очень трудно зафиксировать. Вероятно, этот факт и привел некоторых авторов к выводу о независимости  $Pe_{\Sigma}$  от  $Re$ .

В предельных случаях:

$$Pe_{\Sigma} = 7,15 Pr Re^{0,1} \text{ при } \alpha \rightarrow 0; \quad (12a)$$

$$Pe_{\Sigma} = 2880 Pr Re^{0,1} \text{ при } \alpha \rightarrow 1. \quad (12b)$$

Здесь возникает вопрос о степени применимости формулы (12) для практических расчетов. Ответом на поставленный вопрос в какой-то степени может быть табл. 1, в которой приведены числа  $Pe_{\Sigma}$ , полученные по формуле (12) и экспериментально [12].

Таблица 1

Экспериментальные [12] и расчетные значения  $Pe_{\Sigma}$  при  $Pr=0,7$

$\alpha$	0,039	0,052	0,075	0,09	0,12	0,145	0,18
$Pe_{\Sigma}$ эксперим.	7,8	8,13	8,55	9	9,5	12,7	12,1
$Pe_{\Sigma}$ расчет	10,1	10,9	13,4	13,6	17,4	21,8	25,5

Как видно из таблицы, между расчетными и экспериментальными значениями  $Pe_{\Sigma}$  имеется существенное различие. Это расхождение в основном объясняется тем, что экспериментальные значения  $Pe_{\Sigma}$  получены путем осреднения его локальных значений по всему сечению трубы, а формула (12) дает значение  $Pe_{\Sigma}$  вблизи стенки трубы.

Туркменский государственный университет  
им. А. М. Горького

Дата поступления  
11 октября 1977 г.

### ЛИТЕРАТУРА

- Colburn A. P., Ind. Eng. Chem., 23 910 (1931).
- Leva M., M. Grummer, Ind. Eng. Chem., 40, 415 (1948).
- Leva M., Ind. Eng. Chem., 39, 857 (1947).
- Leva M., M. Weintraub, M. Grummer, E. L. Clark, Ind. Eng. Chem., 40, 747 (1948).
- Chennakesavan B., AIChE Journ., 6, 246 (1960).
- Yagi S., D. Kunii, AIChE Journ., 6, 97 (1960).
- Plautz D. A., H. F. Johnstone, AIChE Journ., 1, 133 (1955).
- Yagi S., N. Wakao, AIChE Journ., 5, 79 (1959).
- Singer E., R. H. Wilhelm, Chem. Eng. Prog., 46, 343 (1950).
- Баум В. А., Бекмуратов О. Расчет температуры и теплообмена в каналах с кусковым материалом. — «Известия АН ТССР, сер. физ.-техн., хим. и геол. наук», 1976, № 3.

11. Caldwell A. D., Chem. Eng. Sci., 23, 393 (1968).
12. Fahien R. W., J. M. Smith, AIChE Journ., 1, 28 (1955).
13. Dorweiler V. P., R. W. Fahien, AIChE Journ., 5, 139 (1959).
14. Bernard R. A., R. H. Wilhelm, Chem. Eng. Prog., 46, 233 (1950).
15. Хинце И. О. Турбулентность. М., Физматгиз, 1963.

О. Бекмырадов

### ТОКГАЛАЙЫН МАТЕРИАЛ ГАТЛАКЛЫ ТУРБАЛАРДАКЫ ЙЫЛЫЛЫК ЧАЛЫШМАНЫҢ КЭБИР АЙРАТЫНЛЫҚЛАРЫ ХАҚДА

Газ ақымының я-да сувуклығың хем-де токгалайын материал билен долдурылан турбаларың диварларының арасындакы йылылык чалышмасы үчин дүрли эмпирик формулалар деңешдирилгенде ( $\kappa$ ) турбаның диаметрине токгалайын материалың бөлекликлериниң эквивалент диаметриниң гатнашыгының бардыгы, шейле боланда  $\alpha_{ст}$  йылылык гатнашыгының коэффициенти өзүниң максимал әхмиеatine эе боландыгы йүзе чыкарылды. Бу әхмиеатлилик Райнольдсың санына, сувуклығың я-да газың гөрнүшине баглы болмаяр. Пеклен турбалента критерисиниң ве  $\kappa$ ,  $Re$  санларының арасында багланышык тапылды.

O. Bekmuradov

### ON SOME PECULARITIES OF HEAT EXCHANGE IN TUBES WITH WALLS OF PIECE MATERIAL

Comparisons of diverse empirical formula describing the heat exchange between gas stream and pipes walls of a piece material revealed such ratio between the equivalent diameters of a piece material and pipe's diameter ( $\kappa$ ) under which the heat emission coefficient  $\alpha_{ст}$  reaches its maximum value. This value  $\kappa$  is not dependent upon Reynolds number and kind of fluid or gas. The relation between the Pecley turbulent criteria and  $\kappa$ ,  $Re$  was revealed.

УДК 532.546

Р. А. АЛЛАХВЕРДИЕВ  
 Г. Ф. АГАЕВ

### К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ФОНТАННОГО ПОТОКА

Определение величины потери давления на трение при движении газожидкостной смеси имеет практическое значение при рассмотрении ряда задач эксплуатации скважин и пластов. Известно много работ, посвященных изучению коэффициента гидравлического трения однофазного потока. Ввиду трудности определения параметров газожидкостной смеси до настоящего времени недостаточно изучено значение коэффициента гидравлического трения  $\lambda$  для многофазного потока.

С целью определения  $\lambda$  используем формулу Дарси—Вейсбаха:

$$P_{\text{тр}} = \lambda \cdot \gamma_c \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot d} \cdot L, \quad (1)$$

где  $P_{\text{тр}}$  — потери давления на трение;  $\gamma_c$  — удельный вес смеси;  $v$  — скорость газожидкостной смеси;  $d$  — диаметр подъемных труб.

Для квазигомогенной смеси  $\gamma_c$  и  $v$  определяем по следующим формулам:

$$\gamma_c = \frac{\gamma_1 + \gamma_2 \cdot \Gamma + \frac{Q_v}{Q_n} \cdot \gamma_3}{r + (\Gamma - z) \cdot \frac{P_0}{P + P_0} \cdot \frac{T}{T_0} \cdot z + \frac{Q_v}{Q_n}}; \quad (2)$$

$$v = \frac{4 \cdot Q_n}{\pi \cdot d^2} \cdot \left[ r + (\Gamma - z) \cdot \frac{P_0}{P + P_0} \cdot \frac{T}{T_0} \cdot z + \frac{Q_v}{Q_n} \right], \quad (3)$$

где  $\gamma_1$ ,  $\gamma_3$  — соответственно удельный вес дегазированной нефти и воды;  $\gamma_2$  — удельный вес газа в нормальных условиях;  $\Gamma$  — газовый фактор в нормальных условиях;  $r$  — коэффициент объемного увеличения нефти;  $z$  — количество растворенного газа;  $z$  — коэффициент сжимаемости газа;  $P$ ,  $P_0$  — соответственно текущее и атмосферное давление;  $T$ ,  $T_0$  — соответственно текущая и устьевая температура, °К;  $Q_n$ ,  $Q_v$  — соответственно дебит нефти и воды.

Для приближенного расчета принимаем  $\frac{T}{T_0} \cdot z = 1$  (см., например, [1]).

Значения величин  $z$  и  $r$  определяем по следующим выражениям [2, 3]:

$$z = z_0 + z_1 \cdot \frac{P}{P_0}; \quad (4)$$

$$r = r_0 + r_1 \cdot \frac{P}{P_0}. \quad (5)$$

Определим средние значения величин  $\gamma_{\text{ср}}$  и  $v_{\text{ср}}$ .

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{1}{P_2 - P_1} \cdot \int_{P_1}^{P_2} \frac{\gamma_1 + \gamma_2 \cdot \Gamma + \frac{Q_B}{Q_H} \cdot \gamma_3}{r + (\Gamma - z) \cdot \frac{P_0}{P + P_0} + \frac{Q_B}{Q_H}} \cdot dP; \quad (6)$$

$$v_{\text{ср}} = \frac{1}{P_2 - P_1} \cdot \int_{P_1}^{P_2} \frac{4 \cdot Q_H}{\pi \cdot d^2} \cdot \left[ r + (\Gamma - z) \cdot \frac{P_0}{P + P_0} + \frac{Q_B}{Q_H} \right] \cdot dP. \quad (7)$$

Проинтегрировав (6) и (7) с учетом (4) и (5), получим:

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{ср}} = & \frac{a}{P_2 - P_1} \left[ \frac{P_0}{2 \cdot r_1} \cdot \ln \frac{\frac{r_1}{P_0} \cdot P_2^2 + b \cdot P_2 + c}{\frac{r_1}{P_0} \cdot P_1^2 + b \cdot P_1 + c} - P_0 \left( \frac{b}{2 \cdot r_1} - 1 \right) \right] \times \\ & \times \frac{1}{e} \cdot \ln \frac{\left( \frac{2 \cdot r_1}{P_0} \cdot P_2 + b - e \right) \left( \frac{2 \cdot r_1}{P_0} \cdot P_1 + b + e \right)}{\left( \frac{2 \cdot r_1}{P_0} \cdot P_2 + b + e \right) \left( \frac{2 \cdot r_1}{P_0} \cdot P_1 + b - e \right)}; \quad (8) \end{aligned}$$

$$a = \gamma_1 + \gamma_2 \cdot \Gamma + \frac{Q_B}{Q_H} \cdot \gamma_3;$$

$$b = \left( r_0 + r_1 - z_1 + \frac{Q_B}{Q_H} \right);$$

$$c = \left[ (\Gamma - z_0) + r_0 + \frac{Q_B}{Q_H} \right] \cdot P_0;$$

$$e = \sqrt{b^2 - 4 \cdot \frac{r_1}{P_0} \cdot c};$$

$$\begin{aligned} v_{\text{ср}} = & \frac{4 \cdot Q_H}{\pi \cdot d^2} \cdot \left\{ \left( r_0 + \frac{Q_B}{Q_H} \right) + \frac{r_1}{2 \cdot P_0} \cdot (P_2 + P_1) - 1 + \frac{P_0 \cdot [(\Gamma - z_0) + 1]}{P_2 - P_1} \right. \\ & \left. \times \ln \frac{P_2 + P_0}{P_1 + P_0} \right\}. \quad (9) \end{aligned}$$

Определим величину давления  $P_2$  (рис. 1):

$$P_2 = P_1 + \gamma_{\text{ср}} \cdot L + P_{\text{тр}}. \quad (10)$$

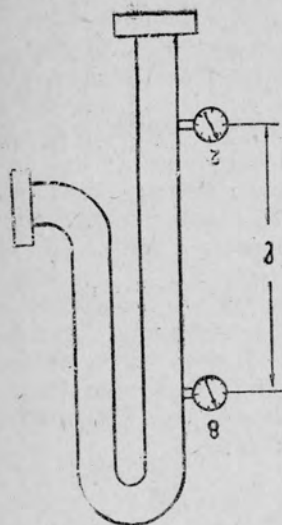


Рис. 1. Схема дополнительной обвязки устья скважины для определения потери давления.

Подставив формулу (1) в (10), с учетом выражений (8) и (9) получим:

$$\lambda = \frac{\pi^2 \cdot g \cdot d^5}{8 \cdot Q_H} \cdot \frac{1}{\left\{ \left( r_0 + \frac{Q_B}{Q_H} - 1 \right) + \frac{r_1}{2 \cdot P_0} \cdot (P_2 + P_1) + \right.}$$

$$\left. + \frac{1}{\frac{P_0 [(\Gamma - z_0) + 1]}{P_2 - P_1} \cdot \ln \frac{P_2 + P_0}{P_1 + P_0}} \right\}} \times$$

$$\times \left\{ \frac{(P_2 - P_1)^2}{L \cdot a \cdot \left[ \frac{P_0}{2 \cdot r_1} \cdot \ln \frac{\frac{r_1}{P_0} \cdot P_2^2 + b \cdot P_2 + c}{\frac{r_1}{P_0} \cdot P_1^2 + b \cdot P_1 + c} - P_0 \cdot \left( \frac{b}{2r_1} - 1 \right) \right]} \right\} \times$$

$$\times \frac{1}{e} \cdot \ln \left[ \frac{\left( 2 \cdot \frac{r_1}{P_0} \cdot P_2 + b - e \right) \cdot \left( 2 \cdot \frac{r_1}{P_0} \cdot P_1 + b + e \right)}{\left( 2 \cdot \frac{r_1}{P_0} \cdot P_2 + b + e \right) \cdot \left( 2 \cdot \frac{r_1}{P_0} \cdot P_1 + b - e \right)} \right]^{-1} \quad (11)$$

В случае, когда  $4ac - b^2 > 0$ ,  $\lambda$  определим следующей формулой:

$$\lambda = \frac{\pi^2 \cdot g \cdot d^5}{8 \cdot Q_H} \cdot \frac{1}{\left\{ r_0 + \frac{Q_B}{Q_H} - 1 + \frac{r_1}{2 \cdot P_0} \cdot (P_2 + P_1) - 1 + \frac{P_0 [(\Gamma - z_0) + 1]}{P_2 - P_1} \cdot \ln \frac{P_2 - P_0}{P_1 + P_0} \right\}} \times$$

$$\times \left\{ \frac{(P_2 - P_1)^2}{L \cdot a \cdot \left[ \frac{P_0}{2 \cdot r_1} \cdot \ln \frac{\frac{r_1}{P_0} \cdot P_2^2 + b \cdot P_2 + c}{\frac{r_1}{P_0} \cdot P_1^2 + b \cdot P_1 + c} + \left( P_0 - \frac{b \cdot P_0}{2 \cdot r_1} \right) \right]} \right\} \times$$

$$\frac{2}{\sqrt{4ac-b^2}} \cdot \left( \arctg \frac{2 \cdot \frac{r_1}{P_0} \cdot P_2 + b}{\sqrt{4ac-b^2}} - \arctg \frac{2 \cdot \frac{r_1}{P_0} \cdot P_1 + b}{\sqrt{4ac-b^2}} \right)^{-1} \quad (12)$$

Исследования показывают, что с увеличением глубины скважины погрешность глубинных манометров увеличивается. Поэтому целесообразно измерить величину  $P_2$  на устье скважины. В связи с этим обвязка устья фонтанной скважины несколько изменится (рис. 2).

Исследования проводились на скв. 162, 229 и 69 месторождения Котурдепе Туркменской ССР. На фланце буферной задвижки устанавливался патрубок с манометрами. Газожидкостная смесь через патрубок проходила в струнную линию, далее — в выкидную линию. Через каждые 0,5—1,0 м на патрубке манометрами измерялось давление. Значения последнего для скв. 162 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры	Значения давления для скв. 162										
	Номер замерных точек										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Давление в точке замера, кг/см <sup>2</sup>	20,65	20,25	20,17	20,10	19,90	19,70	19,50	19,40	19,31	19,12	18,8
Расстояние между точками замера, см	200	50	50	100	100	100	50	50	100	2000	

Оценим величину для скв. 162.

Исходные данные:

$$Q_n = 374,4 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$\Gamma = 120 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$d_n = 0,048 \text{ м}$$

$$L = 4,5 \text{ м}$$

$$\gamma_1 = 0,8546 \text{ т/м}^3$$

$$d = 0,040 \text{ м}$$

$$\gamma_2 = 0,6655 \text{ т/м}^3$$

$$Q_B = 0$$

$$r_1 = 0,001$$

$$r_0 = 1,05$$

$$z_1 = 0,436$$

$$z_0 = 9,2$$

Значения величин  $\gamma$  и  $z$  определяются из рис. 2, 3.

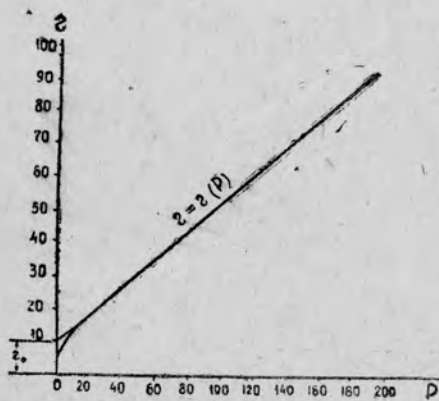


Рис. 2. Изменение количества растворенного газа от давления.

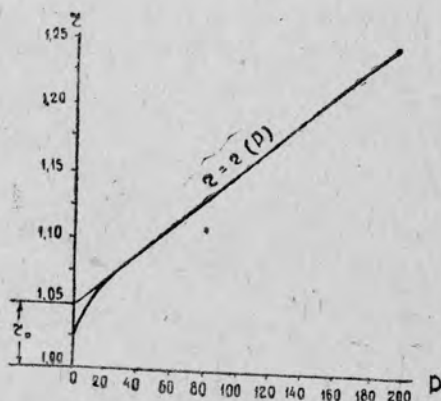


Рис. 3. Изменение коэффициента объемного увеличения нефти от давления.

Определим значение  $\lambda$  по формуле (12). Во избежание влияния местных сопротивлений рассмотрим участок между точками 2—8. При расчете берется среднее значение  $P_1$  и  $P_2$  (табл. 1).

Расчеты показывают, что режим течения соответствует автомодельной области ( $Re > 10^5$ ), и среднее значение коэффициента гидравлического сопротивления  $\lambda = 0,023$ .

Идентичные расчеты проведены по данным исследований скв. 69 и 229. Среднее значение коэффициента гидравлического сопротивления во всех трех скважинах изменяется в пределах 0,022—0,024.

Нефтегазодобывающее управление  
«Лениннефть»

Дата поступления  
17 ноября 1976 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мовсум-Заде С. А., Виноградов К. В., Дадашзаде А. М., Агаев Ф. Т. Об определении забойного давления в фонтанных нефтяных скважинах. — АНХ, 1959, № 10.
2. Агаев Г. Ф., Аллахвердиев Р. А. Экспериментальное исследование сегрегации газа в нефтяных фонтанных скважинах. — «Известия высших учебных заведений. «Нефть и газ», 1970, № 10.
3. Касимов А. Ф., Рамазанова Р. А., Агаев Г. Ф. Номограммы определения забойного давления фонтанных нефтяных и газоконденсатных скважин. АзНТО НГП, 1965.

Р. Аллахвердиев, Г. Ф. Агаев

#### ФОНТАН АКЫМЫНЫҢ ГИДРАВЛИКИ ГАРШЫЛЫК КОЭФФИЦИЕНТИНИҢ КЕСГИТЛЕНИШИ ДОГРУСЫНДА

Макалада көп фазалы акымың гидравлики гаршылык коэффициентиниң кесгитлениш методикасы гетирилйәр. Мунуң үчин фонтан скважинасының гуйян еринде басыш йитгилерини визуал кесгитлемек үчин йөрите эсбап гуруляр хем-де эргин газың мукдар үйтгемелери ве басышдан небитиң объемаының артыш коэффициентиниң өзгермеси ялы лаборатория дерневлериниң маглуматлары пейдаланыляр. Хасапламаларың нетижесинде газ сувуклык акымының акыш режиминиң ( $Re > 10^5$ ) автомател об-ластына лайык гелияңдиги хем-де ( $\lambda$ ) гидравлики гаршылык коэффициентиниң ортача ахмиединиң 0,023-е деңлиги аныкланылды.

Allakhverdiyev R. A. and Agayev G. F.

#### ON DETERMINATION OF HYDRAULIC RESISTANCE COEFFICIENT FOR GUSHED FLOW

The paper presents the methods on determination of hydraulic resistance of multiple-phase flow stream.

УДК 621 315 592

В. И. АЛЮШИНА  
С. П. СТАРОСЕЛЬЦЕВА  
Г. Г. КОВАЛЕВСКАЯ  
Я. АГАЕВ

### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $n$ -InP, КОМПЕНСИРОВАННОГО ХРОМОМ

Совместное исследование электрических и фотоэлектрических свойств полупроводника является хорошим способом изучения энергетического спектра его примесей, так как оба метода взаимно контролируют и дополняют друг друга. Это особенно важно для устранения ошибок, могущих возникнуть, если неизвестна степень компенсации примесного уровня, энергия активации которого определяется из измерений коэффициента Холла. Из-за неточной оценки степени компенсации уровня можно получить целый набор значений энергии активации. В этом случае исследование спектральной зависимости фотопроводимости позволяет в большей степени конкретизировать истинное значение энергетического уровня. С другой стороны, при фотоэлектрических измерениях правильный выбор положения энергетического уровня в запрещенной зоне определяется положением уровня Ферми, вычисляемого из электрических измерений.

Энергетический спектр примесей InP исследован недостаточно. Некоторые данные по примесным состояниям содержатся в работах [1—6]. Компенсированные образцы дают хорошую возможность изучения глубоких примесных центров.

Для измерения спектральной зависимости фотопроводимости нами использован зеркальный монохроматор ЗМР-3. Фотопроводимость определялась либо с помощью методики [1], либо с помощью чувствительной мостовой схемы на постоянном токе при температуре 300 и 87°K. Для электрических измерений использована компенсационная схема на постоянном токе.

На серии образцов InP электронного типа проводимости, компенсированных хромом в процессе синтеза материала методом зонной плавки, измерялись температурная зависимость коэффициента Холла, удельная электропроводность и спектральная зависимость фотопроводимости. Избыточная концентрация электронов в образцах составляла  $3 \cdot 10^{12} - 6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  при комнатной температуре.

При  $T < 200^\circ\text{K}$  образцы имели очень высокое сопротивление, что затрудняло их измерения, поэтому для большинства из них температурная зависимость коэффициента Холла исследовалась при  $T > 200^\circ\text{K}$  (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что по мере увеличения концентрации носителей тока зависимость  $R$  от  $T$  ослабевает, а у образца с  $n = 5,7 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$

коэффициент Холла не зависит от температуры в довольно широком интервале (77—500°K). Здесь мелкие доноры полностью ионизированы, и концентрация электронов в зоне проводимости не изменяется.

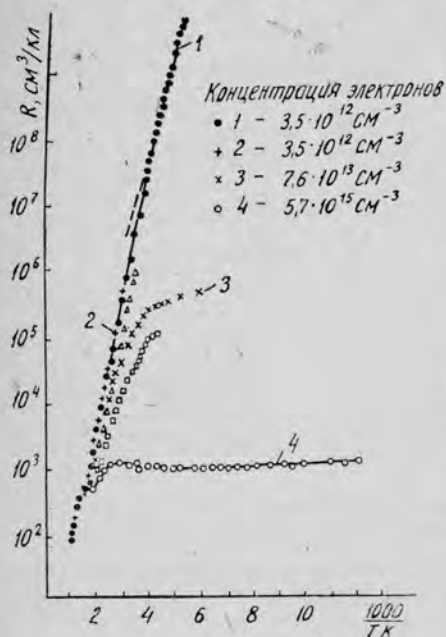


Рис. 1. Температурная зависимость коэффициента Холла в *n*-InP, компенсированном хромом.

в области более низких температур трудно оценить степень компенсации по имеющимся данным, уверенная оценка энергетического положения примесного уровня была сделана при температурах 400—600°K, когда можно предположить его полную заселенность электронами. Энергия активации, вычисленная для этого случая, равна 0,75 эВ.

Ход уровня Ферми для этих образцов представлен кривой 2. Видно, что уровень Ферми медленно опускается с повышением температуры до значения 0,4 эВ от дна зоны проводимости, то есть находится примерно посередине между примесным уровнем и зоной проводимости, как и должно быть для некомпенсированного примесного уровня.

В остальных образцах, с более высокой концентрацией носителей тока вследствие неустановленной компенсации более мелких донорных уровней, вклад указанного глубокого уровня проявляется лишь при очень высоких температурах.

Поведение уровня Ферми в этом случае определяется только температурой: с ростом температуры он должен опускаться до тех пор, пока не наступит собственная проводимость или начнет ионизоваться какой-либо глубокий уровень. На рис. 2 кривая 1 описывает поведение уровня Ферми для образца 4.

В компенсированных образцах с концентрацией электронов приблизительно  $10^{12} \text{ см}^{-3}$  (образцы 1, 2) наблюдается быстрое уменьшение коэффициента Холла с ростом температуры: при нагревании образца от 200 до 600°K коэффициент Холла уменьшается в  $5 \cdot 10^7$  раз. Такое поведение *R* явно свидетельствует об ионизации глубокого примесного уровня (может быть, и не одного), сопровождающейся увеличением концентрации электронов в зоне проводимости. На кривой *R*(*T*) заметны два наклона: первый — в интервале температур 200—400°K, второй — 400—600°K. Учитывая, что

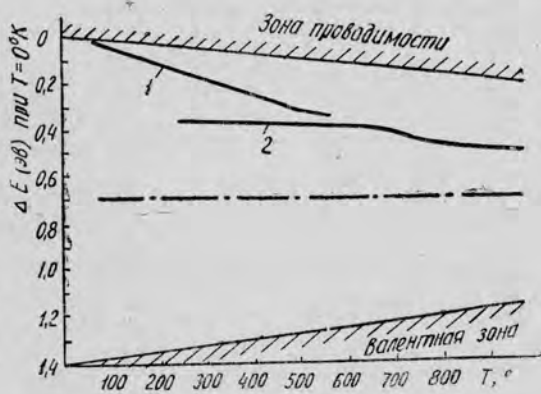


Рис. 2. Температурный ход уровня Ферми.

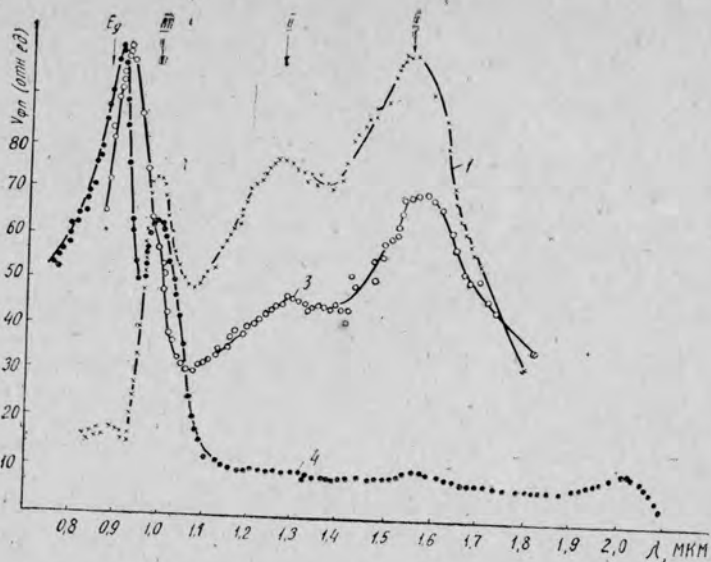


Рис. 3. Спектральная зависимость фотопроводимости.

Для расширения сведений об энергиях ионизации примесных уровней обратимся к результатам исследования фотоэлектрических свойств этих образцов.

При значительной скорости поверхностной рекомбинации примесная проводимость при освещении оказывается выше собственной настолько, что переходы в собственной области либо не видны вовсе, либо проявляются в виде максимума на коротковолновом спаде спектрального распределения фотопроводимости.



Рис. 4. Схема расположения примесных уровней и переходом в InP, компенсированном хромом.

области II соответствует энергии возбуждающего его кванта  $h\nu = 1 \text{ эВ}$ . Этот фотоответ обусловлен донорным уровнем  $E_2 = 0,4 \text{ эВ}$ . В образце 4, где уровень Ферми (рис. 2) поднимается с понижением температуры до  $80^\circ\text{K}$  почти к зоне проводимости, то есть находится гораздо выше примесного уровня  $0,4 \text{ эВ}$ , забросы на него маловероятны, поскольку

На рис. 3 приведены кривые спектрального распределения фотопроводимости. Преобладающим в примесной области является максимум при  $\lambda = 1,55 \text{ мкм}$ . Определенная по критерию Мосса энергия активации соответствующего примесного уровня составляет  $E_1 = 0,75 \text{ эВ}$ . Относительная величина максимума, как видно из графиков, заметно уменьшается с уменьшением степени компенсации. Фотоответ

атомы доноров нейтральны. На кривой спектральной зависимости фотопроводимости, естественно, фотоответ с участием этого уровня не выявляется. В образцах же 3, 2, 1, для которых степень компенсации выше, больший процент атомов примеси, соответствующей уровню  $E_2$ , ионизован. Переходы на этот уровень с последующим возможным тепловым дозобросом (переход  $\Pi_1$ , рис. 4) носителей в зону проводимости становится более вероятным. Это ведет к образованию неравновесных фотоносителей и росту фотоответа при  $\lambda=1,2$  мкм.

Уровень, отвечающий примесному максимуму III с энергией, соответствующей  $E=1,21$  эВ, проявляется в фосфиде индия, компенсированном хромом, только из фотоэлектрических измерений. Исходя из поведения уровня Ферми мы склонны поместить  $E_3=1,21$  эВ на расстоянии приблизительно 0,2 эВ над верхом валентной зоны. Тогда существование фотоответа для энергии 1,21 эВ в материале различной степени компенсации неудивительно.

Уровень с  $\lambda_{\max} \approx 2$  мкм специфичен только для образца 4 и обусловлен переходом IV.

На диаграмме (рис. 4) представлены предполагаемые переходы и ответственные за них примесные уровни в InP, компенсированном хромом.

Таким образом, легирование исходных кристаллов фосфида индия хромом приводит к сильной компенсации неконтролируемых донорных примесей, снижению концентрации равновесных электронов и резкому возрастанию фоточувствительности полученных кристаллов в сравнительно широком интервале длин волн за краем собственного поглощения.

Северо-Кавказский горно-металлургический институт  
Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР

Дата поступления  
30 июня 1977 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Turner W. T., Pettit G. D., Appl. Phys. letter, 1963, 3, 102—105.
2. Ковалевская Г. Г. Фотоэлектрические свойства InP. — Автореф. канд. дис. Л., 1968.
3. Ковалевская Г. Г., Клотыньш Э. Э., Наследов Д. Н., Слободчиков С. В. Некоторые электрические и фотоэлектрические свойства InP, легированного медью. — «Физика твердого тела», 1966, т. 8, вып. 8.
4. Старосельцева С. П. Влияние легирования на электрические и фотоэлектрические свойства InP. — Автореф. канд. дис. Л., 1971.
5. Наследов Д. Н., Попов Ю. Г., Слукаев Н. В., Старосельцева С. П. Электрические свойства  $p$ -InP. — «Физика и техника полупроводников», 1969, т. 3, вып. 3.
6. Ковалевская Г. Г., Попов Ю. Г., Слукаев Н. В. Электрические свойства  $n$ -InP при низких температурах. — «Физика и техника полупроводников», 1967, т. 1, вып. 2.
7. Ковалевская Г. Г., Наследов Д. Н., Слукаев Н. В., Слободчиков С. В. Спектральная фоточувствительность InP  $n$ -типа. — «Физика твердого тела», 1966, т. 8.

В. И. Алюшина, С. П. Старосельцева, Г. Г. Ковалевская, Я. Агаев

#### ХРОМ БИЛЕН КОМПЕНСИРОВАН $n$ -InP-иң ЭЛЕКТРИК ВЕ ФОТОЭЛЕКТРИК ХӘСИЕТЛЕРИ

Фосфид индия гарындыларының электрик спектрини өвренмек максасы билен, Холлын коэффициентинин температура багланшыгының ве  $n$ -InP нусгалардакы хром билен компенсирленен хем-де  $3 \cdot 10^{12}$ — $6 \cdot 10^{15}$  см<sup>-3</sup> электронларың агдык концентрациясы болан фото гечиржилгилгил спектрал багланшыгының дерцевлери гечирилди.

#### V. I. Aluyshina, S. P. Starosel'tseva, G. G. Kovalevskaya, Ya. Agayev ELECTRICAL AND PHOTOELECTRICAL PROPERTIES OF $n$ -InP SAMPLE COMPENED THROUGH CR.

These investigations were carried out on temperature dependence of Hall coefficient and spectral dependence of photoconductivity in  $n$ -InP sample compensated through Cr and containing the extra concentration of electrons being from  $3 \cdot 10^{12}$  to  $6 \cdot 10^{15}$  per cm<sup>3</sup>.

УДК 621.382.2

А. БЕРКЕЛИЕВ  
В. В. ГАЛВАНОВ  
К. ДУРДЫЕВ  
А. МЕРЕДОВ

### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА S-ДИОДОВ НА $p$ -InSb В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Данная работа продолжает наши исследования свойств магнито-чувствительных диодных структур на основе  $p$ -InSb и посвящена изучению вольт-амперных характеристик (ВАХ) и магниточувствительности магнитодиодов в зависимости от их параметров (длины и толщины базы), уровня инжекции и температуры. Материалами служили кристаллы  $p$ -InSb с концентрацией дырок  $p_0 = 2,3 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$  при  $78^\circ\text{К}$ . Технология получения магнитодиодов и методы исследования их свойств описаны в работе [1].

#### Вольт-амперная характеристика и магниточувствительность диодов

На рис. 1 приведены прямые ветви ВАХ трех типичных магнитодиодов с различной длиной базы в магнитном поле при  $86^\circ\text{К}$ . Во всех исследованных диодах в отсутствие магнитного поля при токах 500—600  $\mu\text{А}$  (рис. 1) обнаруживается участок отрицательного сопротивления  $S$ -типа, который объясняется увеличением диффузионной длины неосновных инжектированных носителей за счет возрастания их времени жизни при высоких уровнях инжекции ( $\tau$ -механизм) [2].

Магнитное поле начинает влиять на ВАХ магнито-чувствительных диодов с достижением высокого уровня инжекции, а в диодах с отрицательным сопротивлением на прямой ветви — после срыва. Ток до срыва и напряжение срыва не зависят от напряженности магнитного поля. Напряжение срыва и вольт-амперная магнито-чувствительность диодов зависят от длины их базы ( $d_1$ ) и увеличиваются с ростом последней. Для диода с длиной базы  $d_{1_1} = 2,5 \text{ мм}$   $U_{\text{ср}} = 4\text{В}$ ,  $\gamma_V = 4,5 \cdot 10^4 \text{ В/А} \cdot \text{Т}$  при токе через него  $10 \text{ мА}$  и индукции магнитного поля  $B = 10^{-2} \text{ Т}$ . При тех же условиях для диодов с длинами базы  $d_{1_2} = 3,5 \text{ мм}$  и  $d_{1_3} = 5,25 \text{ мм}$  напряжение срыва и их вольт-амперная магнито-чувствительность соответственно равны  $9,5\text{В}$ ,  $13,4\text{В}$  и  $1,25 \cdot 10^5 \text{ В/А} \cdot \text{Т}$ ,  $3 \cdot 10^5 \text{ В/А} \cdot \text{Т}$ .

На рис. 2 приведена зависимость вольт-амперной магнито-чувствительности магнитодиодов от тока инжекции, длины и толщины базовой области.

Вольт-амперная магнито-чувствительность диодов с малыми базисными расстояниями достигает насыщения при малых уровнях инжекции. С

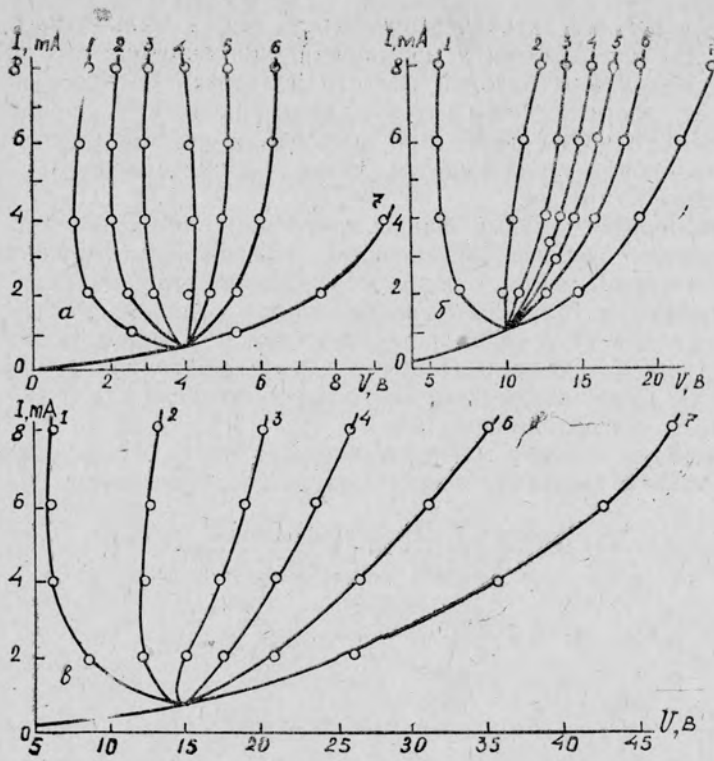


Рис. 1. Прямая ветвь ВАХ магнитодиодов в магнитном поле с различными длинами их базы  $d_1$ , мм (при постоянном  $d_T$ ): а—2,5, б—3,5, в—5,25. Индукция магнитного поля в  $10^{-2} \text{кТ}$ ; 1—0, 2—0,2, 3—0,4, 4—0,6, 5—0,8 6—1,0, 7—2,0.

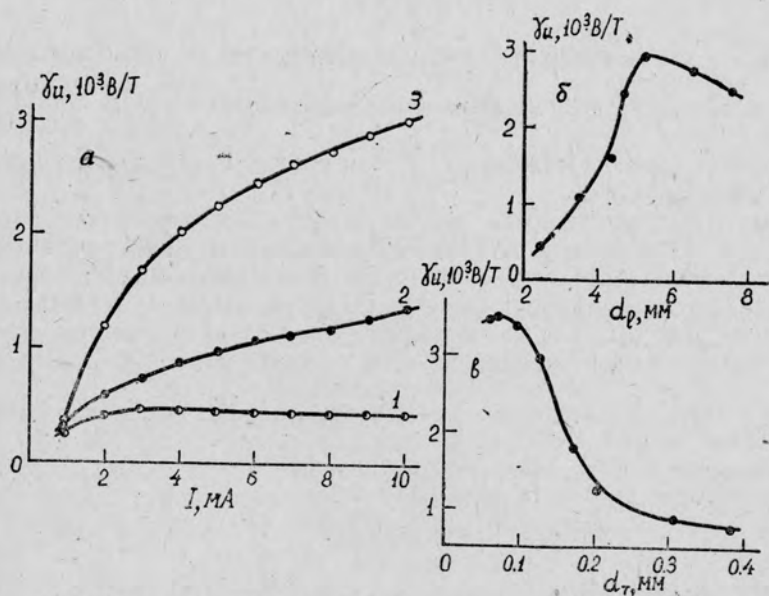


Рис. 2. Вольтовая магниточувствительность магнитодиодов в зависимости: а — от тока инжекции трех диодов с длинами базы —  $d_1$ , мм; 1—2,5, 2—3,5, 3—5,25; б — от длины базы диода при постоянной  $d_T$ , в — от толщины базы диода при постоянной  $d_1$ .

увеличением  $d/L$  магниточувствительность диода сильно растет с током инжекции и стремится к насыщению при больших его значениях. С увеличением длины базовой области вольтовая магниточувствительность растет, достигает максимума и затем начинает уменьшаться. С уменьшением толщины базы (при постоянной ее длине) магниточувствительность диодов увеличивается, начиная с определенного его значения в зависимости от  $\rho_0$ .

Эти экспериментальные факты качественно объясняются теорией магнитодиодного эффекта [3]. Известно, что вид вольт-амперной характеристики магнитодиодов зависит от коэффициента инжекции  $p$ - $n$ -перехода, отношения толщины базовой области к длине диффузионного смещения, уровня инжекции, наличия глубоких уровней в базовой области, ее удельного сопротивления и других факторов. В зависимости от вида ВАХ будут изменяться магниточувствительность и геометрические факторы магнитодиодов.

Вольтовая и токовая магниточувствительности магнитодиодов при высоких уровнях инжекции определяются соотношениями [3]:

$$\gamma_U = \frac{d}{L} \left( y + \frac{L}{d} - 1 \right) \frac{ckT}{e} \frac{\Delta L}{L\Delta B}, \quad (1)$$

$$\gamma_I = I \frac{d}{L} \left( y + \frac{L}{d} - 1 \right) \frac{\Delta L}{L\Delta B}, \quad (2)$$

где  $c = \frac{2(b + ch d/L)}{b + 1}$ , который показывает, какая доля приложенного напряжения падает на  $p$ - $n$ -переход. Величина  $c$  в магнитном поле ( $c_B$ ) может быть определена из данных вольтовой и токовой магниточувствительности:

$$c_B = \frac{\gamma_U}{\gamma_I} \frac{eI_B}{kT} \quad (3)$$

$y = \ln I/I_c$  — характеризует степень неравновесности проводимости диода и называется коэффициентом неравновесности, где  $I_c = \frac{kT}{e} \frac{\exp d/L}{\rho L(b+1)}$

При высоких уровнях инжекции  $y > 1$  и равен  $eU/ckT$ . Остальные обозначения общепринятые.

Магниточувствительность диодов в основном зависит от параметров  $c$ ,  $y$ ,  $d/L$ . При малых длинах базовой области роль сопротивления базы в ток мала, соответственно низка и магниточувствительность. С ростом  $d_1$  последняя увеличивается. Однако существует оптимальное значение  $d_1$  или  $d/L$ , так как с увеличением  $d_1$  затрудняется достижение высокого уровня инжекции по всей толщине базы диода. Оптимальное значение  $\left(\frac{d}{L}\right)_{\text{опт}}$  зависит от величины удельного сопротивления базы и определяется [4]:

$$\left(\frac{d}{L}\right)_{\text{опт}} \approx 0.5 \ln \rho_0. \quad (4)$$

$\left(\frac{d}{L}\right)_{\text{опт}}$  зависит также и от сопротивления нагрузки и рабочей мощности [3]. Кроме того, существует оптимальное значение коэффициента

неравновесности ( $y_{\text{опт}}$ ), которое с ростом удельного сопротивления базы диода увеличивается и также зависит от сопротивления нагрузки ( $R_n$ ). Для создания эффективного магнитодиода на  $p$ -InSb с концентрацией дырок  $p_0 = 2,3 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$  оптимальными значениями являются  $d_l = 5 \text{ мм}$ ,  $R_n = 8 \cdot 10^2 \text{ Ом}$ .

Зависимость вольтовой магниточувствительности диодов от индукции магнитного поля имеет сложный характер. С ростом индукции магнитного поля она растет, достигает максимума (при  $\frac{\mu H}{c} \geq 1$ ), затем уменьшается. В зависимости от состояния поверхности диодов, отношения  $d/L$ , удельного сопротивления базы и других факторов  $\gamma_U$  сильно изменяется. Этот вопрос требует специального исследования, поэтому ограничимся рассмотрением лишь начального участка  $\gamma_U$ .

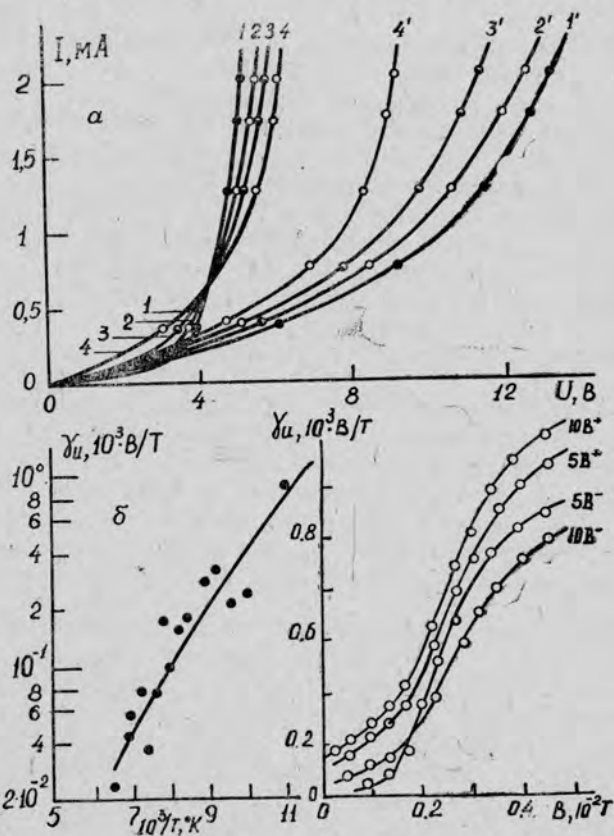


Рис. 3: а—прямая ветвь ВАХ магнитодиода при различных температурах без магнитного поля (1—4) и в магнитном поле (1'—4') при  $B = 2 \cdot 10^{-2} \text{ Т}$ ; б—зависимость вольтовой магниточувствительности от температуры; в—зависимость начального участка вольтовой магниточувствительности при токах 5 ( $5B_+$  и  $5B_-$ ) и 10 мА ( $10B_+$  и  $10B_-$ ) от направления магнитной индукции ( $B_+$  и  $B_-$ ).

Начальный участок вольтовой магниточувствительности в зависимости от индукции магнитного поля в двух ее направлениях одного из диодов при токах через него равных 5 и 10 мА приведен на рис. 3. Как видно из рис. 3, величина  $\gamma_U$  сильно зависит от направления магнитной индукции, что объясняется наличием на одной из поверхности диода высокой скорости поверхностной рекомбинации.

### Температурная зависимость ВАХ и магниточувствительности магнитодиодов

На рис. 3а приведена прямая ветвь ВАХ магнитодиода при различных температурах без магнитного поля и при наличии магнитного

поля. Как видно из рис. 3а, при низких уровнях инжекции ВАХ магнитодиода без магнитного поля имеет сложную зависимость от температуры. Для напряжений  $U \leq 4B$  с ростом температуры ток через диод увеличивается; при  $U \approx 4B$  происходит инверсия знака температурного коэффициента тока  $\left(\frac{dJ}{dT}\right)$ , а при  $U > 4B$  с ростом температуры при низких и высоких уровнях инжекции происходит увеличение тока.

Характер температурной зависимости ВАХ магнитодиодов определяется многими факторами: изменениями равновесной концентрации носителей и их подвижностью, временем жизни неравновесных носителей и описывается выражением [5]:

$$\frac{dJ}{dT} = J \left[ -\frac{1}{p_0} \frac{dp_0}{dT} + \frac{eU}{ckT} \frac{1}{L^2} \cdot \frac{dL}{dT} + \frac{eU}{ckT} \frac{1}{(b+1)} \frac{db}{dT} - \frac{eU}{ckT^2} \right]. \quad (5)$$

При низких уровнях инжекции зависимость ВАХ магнитодиода от температуры определяется первым членом в уравнении (5), так как вклад остальных членов при этих условиях мал. В высокоомных кристаллах  $p$ -InSb в области примесной проводимости с ростом температуры увеличивается концентрация равновесных носителей заряда (дырок) в результате их генерации с глубоких уровней (с  $E_a = 0,12 \text{ эВ}$  и концентрации  $N_a = 10^{20} \text{ м}^{-3}$ ). Это и приводит к увеличению тока через диод с температурой. При высоких уровнях инжекции зависимость ВАХ магнитодиодов от температуры определяется вкладами остальных трех членов в уравнении (5). При этом основной вклад вносит диффузионный член  $\left(\frac{eU}{ckT}\right) \frac{1}{L^2} \left(\frac{dL}{dT}\right)$ , показывающий распределение инжектированных носителей в базе магнитодиода.

В магнитном поле достижение высокого уровня инжекции по всей толщине диода затруднено, поэтому ток определяется сопротивлением базы и растет с увеличением температуры.

На рис. 3б приведена температурная зависимость вольтовой магниточувствительности одного из диодов в постоянном магнитном поле, равном  $10^{-2}T$ . Как видим, с ростом температуры магниточувствительность диода уменьшается по экспоненциальному закону  $\gamma_U \sim \exp \frac{\Delta E}{kT}$ .

Угол наклона, определяемый из зависимости  $\gamma_U = f(10^3/T)$ , дает величину  $\sim 12 \text{ эВ}$ , что соответствует энергии ионизации глубокого уровня в  $p$ -InSb. Это показывает, что ход температурной зависимости магниточувствительности магнитодиодов  $p$ -InSb определяется температурной зависимостью удельного сопротивления базы. Таким образом, на основе  $p$ -InSb с концентрацией основных носителей (дырок) в базе  $p_0 = 10^{18} - 10^{19} \text{ м}^{-3}$  можно создать магнитодиоды с высокой вольтовой чувствительностью ( $\sim 3,5 \cdot 10^5 \text{ В/А} \cdot T$ ) при азотных температурах, величина которых сильно зависит от геометрических размеров диодов, обработки их поверхности и от температуры.

Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР

Дата поступления  
19 апреля 1977 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Беркелиев А., Мередов А., Дурдыев К. Некоторые свойства диодных структур на высокоомном  $p$ -InSb. — «Известия АН ТССР, сер. физ.-техн., хим. и геол. наук», 1974, № 4.

2. Стафеев В. И. Модуляция длины диффузионного смещения как новый принцип действия полупроводниковых приборов. — «Физика твердого тела», 1959, т. 1, вып. 6.

3. Стафеев В. И., Каракушан Э. И. Магнитодиоды. М., «Наука», 1975.
4. Каракушан Э. И., Стафеев В. И. К теории магнитодиодов. — «Физика и техника полупроводников», 1975, т. 9, вып. 8.
5. Егиазарян Г. А., Мнацаканян Г. А., Муригин В. И., Стафеев В. И. Кремниевые магнитодиоды, чувствительные к направлению магнитного поля. — «Физика и техника полупроводников», 1975, т. 9, вып. 7.

А. Беркелиев, В. В. Галаванов, Д. Дурдыев, А. Мередов

#### МАГНИТ МЕЙДАНЫНДАҚЫ S-ДИОДЛАРЫҢ $p$ -InSb-а ЭДИЭН ЭЛЕКТРИК ХӘСИЕТЛЕРИ

Вольт—ампер хәсиетнамаларының хем-де магнитоидлерин, оларың параметрлерине (базаның, узынлығына ве галыңлығына), инжекцияның ве температураның держесине баглылыкда магнит дуйгурлығының дерчевлерининң нетижелери гетирилйәр.

A. V. Berkeliyev, V. V. Galavanov, K. Durdiyev, A. Meredov

#### ELECTRICAL PROPERTIES OF S-DIODES IN $p$ -InSb IN MAGNETIC FIELD

The paper presents the results of investigation on voltamperic characteristics and magnetic sensitiveness of magnetic diodes dependent upon their parameters (the length and thick of the base), the injection standart and temperature.

УДК 621.382.2

А. Р. АННАЕВА  
А. БЕРКЕЛИЕВ  
Ю. А. ГОЛЬДБЕРГ  
Д. МЕЛЕБАЕВ

### ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВАРИЗОННЫХ $Au-n-Ga_{1-x}Al_xAs-n-GaAs_{1-x}P_x$ СТРУКТУР

Широко известны в настоящее время проводниковые преобразователи световой энергии в электрическую на основе  $p-n$ -структур [1], имеющие широкий спектр фоточувствительности. Однако в медико-биологических и других исследованиях возникла необходимость в создании удобных, надежных, точных и быстродействующих фотоприемников, имеющих узкий спектр фоточувствительности для регистрации лазерных и спонтанных источников света, имеющих достаточно узкую полосу излучения. То есть необходимы селективные фотоприемники, чувствительные лишь в узком спектральном диапазоне и нечувствительные вне его.

Такие фотоприемники на основе варизонной  $Ga_{1-x}Al_xAs$  гетероструктуры [2],  $p-n$ -структурах [3],  $m-s$ -структурах [4, 5] созданы и имеют селективную спектральную чувствительность в диапазоне энергий фотонов  $1,43 \div 2,1$  эВ.

Настоящая работа посвящена фотоэлектрическим свойствам варизонных  $Ga_{1-x}Al_xAs$  поверхностно-барьерных структур и продолжает работы [4, 5].

Исходным материалом для поверхностно-барьерной структуры служили монокристаллические слои  $n-Ga_{1-x}Al_xAs$ , выращенные с использованием «сталкивающей методики» горизонтальной жидкофазной эпитаксии. Подложкой служили монокристаллические слои постоянного состава  $n-GaAs_{0,4}P_{0,6}$ , выращенные методом газофазной эпитаксии на подложках из монокристаллов  $n-GaAs$ , ориентированных по плоскости (111) с концентрацией электронов в слоях порядка  $3 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$  ( $300^\circ\text{K}$ ). Впоследствии подложка  $GaAs$  шлифовывалась. Эпитаксиальное наращивание твердых растворов  $Ga_{1-x}Al_xAs$  производилось в среде очищенного водорода из раствора, содержащего галлий, алюминий, арсенид галлия. Содержание алюминия и арсенида в жидкой фазе рассчитывалось согласно диаграмме состояния тройной системы  $Ga-Al-As$  [6]. Начальная температура эпитаксии была около  $910^\circ\text{C}$ , скорость охлаждения  $1,1$  град/мин. Выращенные твердые растворы  $Ga_{1-x}Al_xAs$  были  $n$ -типа, толщина эпитаксиального слоя составляла  $80 \div 100$  мкм. Содержание  $AlAs(x)$  в твердой фазе и его распределение по толщине эпитаксиального слоя определялись с помощью микрозондового рентгеновского анализатора 1ХА-5А. Величина  $x$  выращенного монокристаллического слоя была наибольшей на границе с подложкой, составляла  $0,3 \div 0,35$  и уменьшалась к поверхности с градиентом от 70 до  $15$  эВ/см.

Поверхность твердого раствора шлифовалась, полировалась и травилась в смеси  $3\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$  при  $50-60^\circ\text{C}$  и промывалась в дистиллированной воде. Затем на поверхности твердого раствора создавались омический и барьерный (Au) контакты по известным методикам [7, 8]. Площадь фоточувствительной поверхности у разных структур составляла  $0,03 \div 0,09 \text{ см}^2$ . Структуры обладали фоточувствительностью как со стороны слоя Au, так и со стороны подложки  $n\text{-GaAs}_{0,4}\text{P}_{0,6}$ .

Зависимость дифференциальной емкости от напряжения при смещениях  $+0,4 \div -2,5 \text{ В}$  для всех исследованных структур имеет вид (рис. 2а), что соответствует теории Шоттки. Из наклона линейной зависимости  $C^{-2}-U$  определялась разность концентраций ионизированных доноров и акцепторов;

$$N_d - N_a = \frac{8\pi}{S^2 q \epsilon} \frac{dU}{d(C^2)},$$

которая оказалась равной  $5 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$  (диэлектрическая проницаемость для твердых растворов в интервале  $0 \leq x \leq 0,4$  бралась соответственно от 13 до 14, поскольку  $\epsilon_{\text{GaAs}} = 12,9$ , а  $\epsilon_{\text{AlAs}} = 15,2$  [9]). Зависимость прямого тока от напряжения в интервале плотностей тока ( $5 \times 10^{-7} \div 10^{-2} \text{ А/см}^2$ ) — экспоненциальная. Из этой зависимости определен безразмерный коэффициент  $\beta$ , равный 1,1.

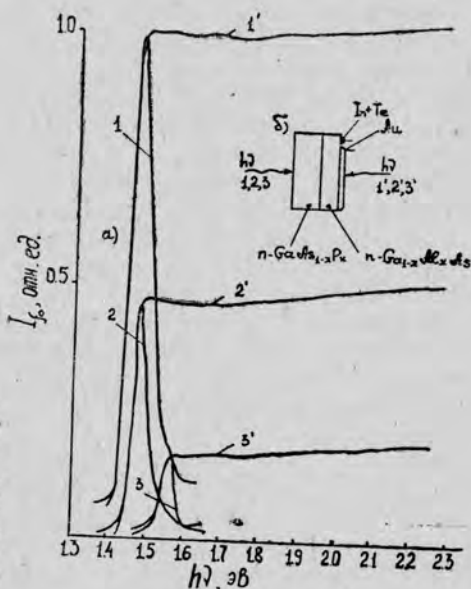


Рис. 1. Зависимость фототока короткого замыкания ( $I_f$ ), отнесенного к равному числу падающих фотонов, от энергии возбуждающих фотонов ( $h\nu$ ) для Au- $n\text{-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ - $n\text{-GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  структур—а) 1,1'—при  $T=373^\circ\text{K}$ , 2,2'— $293^\circ\text{K}$ , 3,3'— $78^\circ\text{K}$ ; б) конструкция фотоприемника; 1, 2, 3—при освещении со стороны подложки, 1', 2', 3'—при освещении со стороны барьерного контакта.

На рис. 1 представлена зависимость фототока короткого замыкания ( $I_f$ ), отнесенная к равному числу падающих фотонов, от энергии возбуждающих фотонов ( $h\nu$ ) для Au- $n\text{-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ - $n\text{-GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  структур при освещении со стороны подложки (1, 2, 3) и со стороны слоя золота (1', 2', 3') для трех температур (78, 273,  $373^\circ\text{K}$ ). Спектр фототока исследуемых структур при освещении их со стороны подложки GaAs $_{1-x}$ P $_x$  состоит из одной полосы (рис. 1а—1, 2, 3). Фототок этих поверхностно-барьерных структур обусловлен возбуждением электронно-дырочных пар в полупроводнике и разделением их полем поверхностного барьера. При этом вклад в фототок дадут только те фотоны, которые поглощаются в фотоактивной области, то есть на расстоянии от барьерного контакта не большем, чем  $W+L_d$ , где  $W$  — ширина слоя

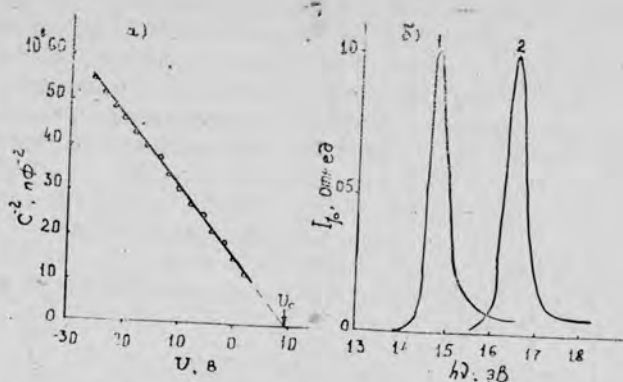


Рис. 2. Зависимость емкости от напряжения для варизонной структуры  $\text{Au-n-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As-n-GaAs}_{0.4}\text{P}_{0.6}$  (а); спектр фототока короткого замыкания для двух поверхностно-барьерных структур  $\text{Au-n-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As-n-GaAs}_{0.4}\text{P}_{0.6}$  с различным содержанием  $x$  (б). Температура комнатная.

объемного заряда;  $L_d$  — диффузионная длина дырок. Такие  $m$ — $s$ -структуры имеют узкий спектр fotocувствительности, ограниченный с длинноволновой стороны значением минимальной ширины запретной зоны полупроводника, а с коротковолновой — значением ширины запретной зоны на расстоянии  $W+L_d$  от барьерного контакта. Экспериментальное значение ширины полосы в исследуемых структурах меняется от 0,04 до 0,062 эВ в зависимости от градиента ширины запретной зоны и температуры. При увеличении температуры полуширина спектра увеличивается (рис. 1) с одновременным увеличением fotocувствительности структуры. Энергия максимума fotocувствительности меняется от 1,43 до 1,85 в зависимости от содержания алюминия на поверхности твердого раствора.

Спектр фототока исследуемых поверхностно-барьерных структур при освещении последних со стороны полупрозрачного слоя металла — широкополосный, как в обычных поверхностно-барьерных фотоприемниках [9]. Таким образом, форму спектральной зависимости фототока рассмотренных структур можно изменить направлением освещения (рис. 1).

### Выводы

Показана возможность изготовления селективных фотоприемников на основе варизонных  $\text{Au-n-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As-n-GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  структур. Энергия максимума fotocувствительности изготовленных фотоприемников составляет 1,43 ÷ 1,85 эВ, а ширина полосы на уровне, соответствующем половине ее интенсивности, — 0,04 ÷ 0,062 эВ; с увеличением температуры полуширина и fotocувствительность увеличиваются.

Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР

Дата поступления  
21 июня 1977 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Амбразяк А. Конструкция и технология полупроводниковых фотоэлектрических приборов. М., 1970.
2. Алферов Ж. И., Андреев В. М., Портной Е. П., Трукан М. К. Координатно-чувствительные фотоэлементы на основе гетеропереходов  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As-n-GaAs}$ . — «Физика и техника полупроводников», 1969, 3, вып. 9.
3. Царенков Б. В., Данилова Т. Н., Именков А. Н., Яковлев Ю. П.

Селективные фотоэлементы на варизонных  $\text{Ca}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$   $p-n$ -структурах. — «Физика и техника полупроводников», 1973, 7, вып. 7.

4. Беркелиев А., Гольдберг Ю. А., Именков А. Н. и др. Варизонные селективные поверхностно-барьерные фотоприемники. — «Физика и техника полупроводников», 1978, т. 12, вып. 1.

5. Беркелиев А., Гольдберг Ю. А., Львова Т. В. и др. Сб.: Практические вопросы фотобиологии. Л., 1977.

6. Alfogov Zh. I., V. M. Andreev, V. I. Kogol'kov, «Preparation and investigation of epitaxial layers of  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  solid solutions and heterojunctions in the  $\text{AlAs-GaAs}$  system», «Kristall und Technik», 4, № 4, 495, 1969.

7. Гольдберг Ю. А., Наследов Д. Н., Царенков Б. В. Методика изготовления поверхностно-барьерных структур химическим осаждением металлов на поверхность полупроводника. — «Приборы и техника эксперимента», 1971, № 3.

8. Гольдберг Ю. А., Наследов Д. Н., Царенков Б. В. Тонкие многослойные контакты арсенид галлия — металл. — «Приборы и техника эксперимента», 1966, № 6.

9. Беркелиев А., Мелебаев Д. Поверхностно-барьерные диоды на варизонных кристаллах  $n\text{-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ . — «Известия АН ТССР, сер. физ.-техн., хим. и геол. наук», 1976, № 5.

А. Р. Аннаева, А. Беркелиев, Ю. А. Гольдберг, Д. Мелебаев

### ВАРИЗОН $\text{Au-n-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As-n-GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ СТРУКТУРАЛАРЫҢ ФОТОЭЛЕКТРИК ХӘСИЕТЛЕРИ

Гаты эргиниң үстүне (Au) металын химик чөкдүрилмеги билен дөредилен варизон  $\text{Au-n-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As-n-GaAs}_{0.4}\text{P}_{0.6}$  структураларын фотоэлектрик хәсиетлери дерделди.

$\text{Au-n-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As-n-GaAs}_{0.4}\text{P}_{0.6}$  структураларың эсасында варизон селектив фотоприемниклери тайярламак мүмкинчиликлери гөркезилйөр. Тайярланылан фото дуйгурлыкларың максимум энергиясы 1,43—1,85 эВ, онуң интенсивлик золагының гиндлиги болса — 0,04—0,06 эВ-дан ыбаратдыр. Температураның галмагы билен ярым гиндишлик ве фото дуйгурлык хем артяр.

А. Р. Annayeva, А. Berkeliyev, Yu. A. Gol'dberg, D. Melebayev

### PHOTOELECTRICAL PROPERTIES OF VARIZON $\text{Au-n-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As-n-GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ STRUCTURES

Photoelectrical properties of varizon  $\text{Au-n-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As-n-GaAsP}_{0.6}$  structures resulted from chemical precipitation of Au on the surface of solid solutions were studied.

It was argued the possibility of a fabrication of varizon selective photoreceivers on the base of the aforementioned structures. The energy of photosensitivity maximum of the fabricated photoreceivers gains 1,43—1,85 e V and the width of its intensity belt reaches 0.04—0.06 e V. With temperature going up the half of the width and photosensitivity rise.

С. СУХАНОВ  
О. АЛЛАБЕРЕНОВ  
Р. АННАБЕРДЫЕВ  
А. Б. МУХАМЕТНИЗОВА  
И. Н. ТУДЖАНОВА

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ТОНКИХ ПЛЕНОК АНТИМОНИДА ИНДИЯ

При производстве многих полупроводниковых приборов требуются небольшие по размеру активные элементы. Обычно они изготавливаются механическим путем, то есть шлифовкой и последующей полировкой массивных кристаллов. Практика показывает, что такой способ очень трудоемкий и неэкономичный, более того маловоспроизводимый. В последние годы разработан ряд прогрессивных методов получения тонких полупроводниковых слоев: жидкостная эпитаксия, термическое испарение в вакууме, катодное и ионоплазменное напыление и т. п.

Наша задача предъявляет конкретные требования к толщине пленок и выбору материалов подложек, поэтому мы выбрали метод получения тонких пленок путем термического испарения в вакууме. Этим методом многие авторы [1—5] получали пленки антимонида индия на диэлектрических подложках при температурах конденсации в пределах

670—720°K и скоростях роста пленки в интервале  $10 \div 60 \text{ \AA} \cdot \text{с}^{-1}$ .

В данной статье описывается методика получения тонких пленок антимонида индия на диэлектрических и ферритовых подложках при температуре подложек меньше, чем в указанных работах, и при боль-

ших скоростях роста пленки, достигающих  $1000 \text{ \AA} \cdot \text{с}^{-1}$ . Приводятся результаты исследования зависимости некоторых параметров от температуры в интервале 77—400°K и от магнитного поля в пределах 0—6500 э.

**Технология.** Пленки антимонида индия *n*-типа получены термическим испарением в вакууме  $\sim 1 \div 3 \cdot 10^{-5}$  торр. Исходным материалом служил кристаллический антимонид индия *n*-типа с концентрацией и подвижностью носителей заряда, соответственно равными  $n = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ,  $\mu = 25000 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ . Поверхность испаряемого вещества тщательно очищалась путем травления непосредственно перед напылением, и вещество помещалось в танталовую лодочку. Температура испаряемого вещества контролировалась визуально при наблюдении за процессом испарения и контролировалась платинородиевой термопарой. В качестве подложек использовались пластинки из различных диэлектриков: керамика, синтталл, стекло, а также ферриты различных марок. Все пластины перед напылением шлифовались и очищались химическими способами и обезгаживались нагреванием в вакууме. Для хорошей адгезии на поверхность ферритовых пластин напылялись тонкие слои монооксида кремния.

Пленки осаждались на подложку через специальный трафарет (маску), изготовленный из тонкого танталового листа. Нужные размеры и формы пленок получались с помощью масок. Температура подложек измерялась термопарами хромель-алюмель. Толщина пленок до 1 мкм определялась с помощью микроскопа МИИ-4, а больше 1 мкм — с помощью МИМ-6.

При напылении пленок подложки имели температуру около 570°К. Это значительно меньше, чем в работах [1—5]. Удовлетворительные параметры пленок были получены в основном за счет увеличения скорости роста пленки. В наших экспериментах она достигала  $1000 \text{ \AA} \cdot \text{с}^{-1}$ . По-видимому, из-за малой скорости роста пленки растет вероятность возникновения факторов, мешающих образованию соединений, близких к стехиометрическому составу. В нашем случае, в результате увеличения скорости напыления, материал соединения напыляется на подложки до начала разложения. Благодаря этому и получается выигрыш по чистоте и гомогенности пленок, что проявляется в их электрических свойствах. Подобный эффект имеет место при оптимальной температуре конденсации и соответствующей ей температуре испарителя. Следовательно, как температура подложки, так и температура испарителя, от которой зависит скорость роста пленки, могут быть использованы для управления процессом конденсации.

Был проведен нейтронографический анализ полученных пленок, который показал идентичность их состава кристаллическому антимониду индия.

*Результаты исследования пленок.* Характерными параметрами полупроводниковых пленок являются их удельная электропроводность  $\sigma$ , подвижность  $\mu$  и концентрация свободных носителей  $n$ .

Эти параметры определялись из холловских измерений. Электроды для изучения гальваномагнитных свойств припаивались индием. Исследования показали, что контакты, полученные таким способом, являются омическими. Измерения проводились обычным компенсационным мето-

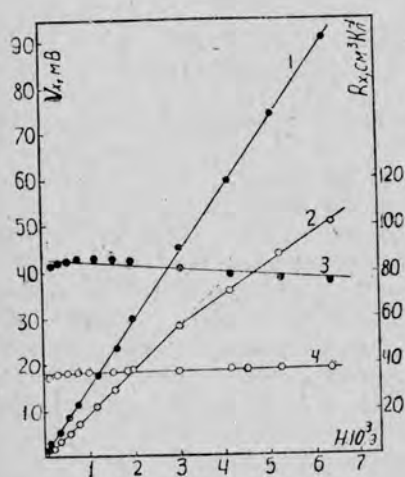


Рис. 1. Зависимость эдс Холла  $V_x$  и коэффициента Холла  $R_{xx}$  от напряженности магнитного поля  $H$ : ● — стеклянная подложка, ○ — ферритовая.

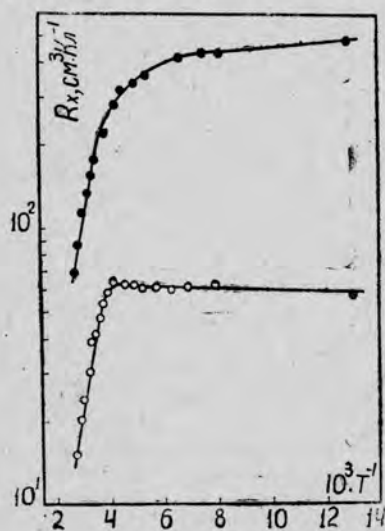


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициента Холла: ● — стеклянная подложка, ○ — ферритовая.

дом на постоянном токе. Величина тока через образец устанавливалась такой, чтобы пленка не нагревалась, обычно не больше 2 мА.

На рис. 1 приведены зависимости эдс Холла  $V_x$  от напряженности магнитного поля  $H$  для пленок, синтезированных на стеклянной подложке (кривая 1) и на ферритовой (кривая 2), а также полевые зависимости коэффициента Холла  $R_x$  для пленок на стеклянной (3) и ферритовой подложках (4). Как и предполагалось, функциональная зависимость  $R_x=f(H)$  для пленок, напыленных на стекло, остается линейной при всех исследованных полях. Однако для пленок, полученных на ферритовых подложках, она с увеличением поля меняет свой наклон. Этот изгиб связан с насыщением самого феррита. Расчет всех параметров пленок, напыленных на феррит, велся с учетом того, что чувствительность пленки возрастает из-за концентрации магнитного поля ферритом. Из графика видно, что в исследованном интервале напряженности магнитного поля коэффициент Холла практически не зависит от поля. Его величина для различных пленок лежит в интервале  $15-85 \text{ см}^3 \cdot \text{Кл}^{-1}$ , что соответствует концентрациям  $n=1,8 \cdot 10^{17} \div 7,4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ . Все исследованные пленки имели электронную проводимость.

Температурная зависимость постоянной Холла для образцов, напыленных как на стеклянные, так и на ферритовые подложки, изучалась в интервале температур  $77 \div 376^\circ \text{К}$ . Результаты измерений представлены на рис. 2. Из зависимости

$$\ln(RT^{3/2}) = f\left(\frac{1}{T}\right)$$

вычислена энергия активации. Она равна  $0,21 \text{ эВ}$ .

На рис. 3а показана температурная зависимость электропроводности  $\sigma$ . Для большинства пленок величина удельной электропроводности при комнатной температуре лежит в интервале  $2 \cdot 10^3 - 1,3 \cdot 10^4 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ . Энергия активации,

вычисленная из зависимости  $\ln \sigma \sim \left(\frac{1}{T}\right)$ , равна  $0,23 \text{ эВ}$ .

Так как в антимониде индия электронная подвижность значительно превышает дырочную, то из температурной зависимости проводимости и постоянной Холла можно установить температурную зависимость холловской подвижности  $\mu$ , так как в этом случае можно считать, что  $\mu=R_x \sigma$ . На рис. 3б представлена температурная зависимость холловской подвижности образцов. Из графика видно, что подвижность с увеличением температуры для всех исследованных образцов растет до температуры  $T=340 \div 370^\circ \text{К}$ , а затем при дальнейшем росте температуры начинает уменьшаться. Температура, соответствующая максимальному значению подвижности, зависит от чисто-



Рис. 3. Температурная зависимость  $a$  — электропроводности,  $b$  — подвижности носителей;  $\square$  — стеклянные подложки,  $\circ$  — ферритовая подложка,  $+$  — температурные данные [2].

разцов растет до температуры  $T=340 \div 370^\circ \text{К}$ , а затем при дальнейшем росте температуры начинает уменьшаться. Температура, соответствующая максимальному значению подвижности, зависит от чисто-

ты образца. Для образцов с меньшей концентрацией электронов она имеет меньшее значение.

В низкотемпературной области  $\mu \sim T^{a_1}$ , где  $a_1$  для различных образцов изменяется в пределах 2,5—3,0. В высокотемпературной области  $\mu \sim T^{-a_2}$ , где  $a_2$  принимает значения от 0,5 до 0,8. Известно, что в кристаллах антимонида индия подвижность электронов в низкотемпературной области изменяется по закону  $\mu \sim T^4$ , а в высокотемпературной  $\mu \sim T^{-1,7}$ . Отличие показателей степени  $T$  в зависимости  $\mu = f(T)$  для пленок и кристаллов можно объяснить рассеянием носителей в пленках на границах зерен. Максимальная подвижность в пленках, полученных таким образом, достигала до  $10\,000 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ . Эта подвижность может быть значительно улучшена путем термической перекристаллизации, то есть естественным затвердеванием из расплава [6], а также перекристаллизацией из расплава при помощи узкой расплавленной зоны, которая создается или нагретой проволокой [7], или электронным лучом [8].

### Выводы

Установлено, что увеличение скорости напыления позволяет получать пленки с хорошими параметрами. Концентрация носителей заряда в полученных пленках достигала до  $7 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , а подвижность — до  $10\,000 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ . На основе этих пленок могут быть изготовлены гальваномангнитные датчики. Повышение чувствительности датчиков достигается уменьшением толщины пленок, что оправдывает выбранный нами метод напыления. Напыление пленок на рабочую поверхность ферритовых концентраторов повышает чувствительность датчиков на  $20 \div 30\%$  и дает возможность более эффективно использовать магнитные системы гальваномангнитных приборов.

Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР

Дата поступления  
20 декабря 1976 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. N. F. Teede. «Single crystal InSb thin Films by Electron Beam Recrystallization», Solid State Electronics, 1967, v. 10, p. 1069—1076.
2. Касьян В. А., Кот М. В. Технология получения и электрические свойства тонких слоев сурьмянистого индия с большой подвижностью электронов. — Труды по физике полупроводников. Кишиневский госуниверситет, 1962, вып. 1.
3. X. M. Burvenich «Influence of Substrate Temperature on the Electrical Properties of thin InSb Films Flash — Evaporated onto Glass». Thin Solid Films, 27, 1975.
4. P. A. Buger, O. A. Kunze «Preparation of Thin InSb Films, Optica Applic., 1973, № 2, 49—50.
5. Папародитис С. Испарение соединений. Полупроводниковые соединения АШВ. — Сб. статей под ред. Виллардсона и Геринга. М., 1967.
6. V. A. Kasynan, Y. A. Nicolsky, F. G. Pasechnick «Proc. of the Inter. Conf. on the Phys. and Chem. of Semicond. Heterojun. and Layer Structures», v. IV, p. 133, Budapest, 1970.
7. W. G. Williamson. «Zone melting of Indium antimonide Films Using a Hot Wire». I. Wac. Sci. Technology, 1969, v. 6, 765.
8. A. B. Billings. «Microzone Recrystallization of Semiconductor Compound Films», I. Wac. Sci. Technology, 1969, v. 6, 765.

С. Суханов, С. Аллаберенов, Р. Аннабердиев, А. Мухамметныязова,  
И. Н. Тужанова

### ИНДИЯ АНТИМОНИДИНИЇ ЮКА ПЛЕНКАЛАРЫНЫҢ АЛНЫШЫ ВЕ ГАЛЬВАНМАГНИТ ХӘСИЕТЛЕРИ

Диэлектрик феррит подложкаларда алынган индий антимонидинин юка пленкаларынын алныш технологиясы хем-де эсасы параметрлеринин өлчениш нетижелери гетирилләр.

### ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ АККУМУЛЯТОРА СОЛНЕЧНОЙ ОТОПИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Одной из важных задач использования солнечной энергии для отопления (охлаждения) помещений является определение температурного режима помещения и аккумулятора в зависимости от различных параметров отопительной системы, уровня солнечной радиации и температуры воздуха. В данной статье предлагается в отличие от работ американских авторов [1] аналитическое решение задачи. Ввиду сложности рассматриваемого процесса приняты некоторые упрощения, существенно облегчающие решение дифференциального уравнения и анализ полученных результатов. В частности, не учтены такие факторы, как теплопотери аккумулятора, инерционность помещения и котла, изменение к. п. д. котла и прямой радиации. В дальнейшем будет рассмотрена более общая задача с учетом этих факторов.

Схема отопительной системы с параболоцилиндрическим отражателем показана на рис. 1. Теплоноситель, нагреваясь в котле, поступает в аккумулятор, затем — в дом, а оттуда — снова в котел (КАПК).

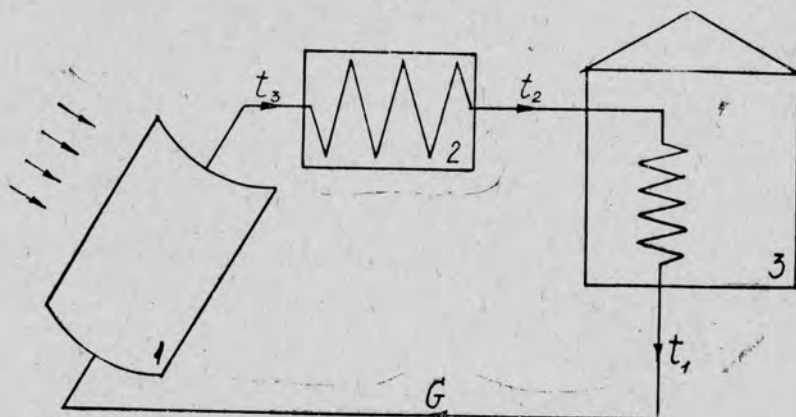


Рис. 1. Схема солнечного отопления: 1 — концентратор; 2 — аккумулятор; 3 — дом.

Опишем этот процесс уравнением

$$Q_k = Q_{\Pi} + Q_a \quad (1)$$

Допустим, что температура  $t_a$  аккумулятора является некоторой функцией  $f$ .

Тогда

$$Q_a = mc_p \frac{dt_a}{d\tau} = mc_p f'. \quad (2)$$

Присоединив следующие два уравнения

$$\begin{aligned} Q_a &= F_a k_a \left( \frac{t_3 + t_2}{2} - t_a \right); \\ Q_a &= Gc (t_3 - t_2), \end{aligned} \quad (3)$$

находим:

$$\begin{aligned} t_2 &= f + \frac{mc_p}{F_a k_a} f' - \frac{mc_p}{2Gc} f'; \\ t_3 &= f + \frac{mc_p}{F_a k_a} f' + \frac{mc_p}{2Gc} f'. \end{aligned} \quad (4)$$

Процесс передачи тепла из батареи в помещение и наружу можно описать следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} Q_n &= Gc (t_2 - t_1); \\ Q_n &= F_n k_n (t_n - t_n); \\ Q_n &= F_6 k_6 \left( \frac{t_2 + t_1}{2} - t_n \right). \end{aligned} \quad (5)$$

Из этой системы найдем:

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{At_2 + \frac{t_n}{Gc}}{B}; \\ t_n &= \frac{t_2 - t_n}{F_n k_n B} + t_n, \end{aligned}$$

где

$$A = \frac{1}{F_n k_n} + \frac{1}{F_6 k_6} - \frac{1}{2Gc}; \quad B = \frac{1}{F_n k_n} + \frac{1}{F_6 k_6} + \frac{1}{2Gc}.$$

Подставляя значения  $t_2$ ,

$$t_1 = \frac{A \left( f + \frac{mc_p}{F_a k_a} f' - \frac{mc_p}{2Gc} f' \right) + \frac{t_n}{Gc}}{B}; \quad (6)$$

$$t_n = \frac{f + \frac{mc_p}{F_a k_a} f' - \frac{mc_p}{2Gc} f' - t_n}{F_n k_n B} + t_n. \quad (7)$$

Тепловой поток, получаемый теплоносителем в солнечной установке, выражается уравнением

$$Q_k = J_0 \eta S. \quad (8)$$

Для наружной температуры примем известное выражение

$$t_n = \alpha + \beta_1 \cos \omega \tau + \beta_2 \sin \omega \tau, \quad (9)$$

где  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\beta_2$  — определяется из метеорологических данных;  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ .

Теперь можно составить уравнение (1) в развернутом виде для следующих случаев.

1. Допустим, что в данное время наружная температура и прямая радиация практически не меняются. Тогда, используя равенства (2), (5) и (8), составим уравнение (1)

$$J_0 \eta S = mc_p f' + F_n k_n (t_b - t_n). \quad (10)$$

Подставляя значение  $t_b$ , получим

$$f' + pf = q, \quad (11)$$

где

$$p = \frac{1}{mc_p \left( \frac{1}{F_n k_n} + \frac{1}{F_6 k_6} + \frac{1}{F_a k_a} \right)},$$

$$q = J_0 \eta S p \left( \frac{1}{F_n k_n} + \frac{1}{F_6 k_6} + \frac{1}{2Gc} + \frac{t_n}{I_0 \eta S} \right).$$

Решаем уравнения (11) при условии

$$t_a = t_0, \text{ если } \tau = 0. \quad (12)$$

Получим

$$t_a = \frac{q}{p} + \left( t_0 - \frac{q}{p} \right) e^{-p\tau}. \quad (13)$$

Подставляя значения  $f$  и  $f'$ , найдем аналитическое выражение для  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_b$ :

$$t_1 = A \frac{\frac{q}{p} + De^{-p\tau} - Ee^{-p\tau} - t_n}{B} + t_n;$$

$$t_2 = \frac{q}{p} + De^{-p\tau} + Ke^{-p\tau};$$

$$t_b = \frac{\frac{q}{p} + De^{-p\tau} - Ee^{-p\tau} - t_n}{F_n k_n B} + t_n,$$

где

$$D = t_0 + \frac{mc_n}{F_a k_a} q - \frac{mc_p}{2Gc} q;$$

$$E = \frac{q}{p} + \frac{mc_p}{F_a k_a} pt_0 - \frac{mc_p}{2Gc} pt_0;$$

$$K = \frac{mc_p}{2Gc} pt_0 - \frac{mc_p}{F_a k_a} pt_0 - \frac{q}{p}.$$

2. При изменении наружной температуры по уравнению (9) допустим, что к. п. д. установки остается постоянным, тогда решение уравнения (11) при условии (12) будет

$$t_a = J_0 \eta SB + \alpha + \frac{p(p\beta_1 - \omega\beta_2)}{\omega^2 + p^2} \cos \omega\tau + \frac{p(p\beta_2 + \omega\beta_1)}{\omega^2 + p^2} \sin \omega\tau + \left( t_0 - \alpha - J_0 SB - \frac{p^2\beta_1 - p\omega\beta_2}{\omega^2 + p^2} \right) e^{-p\tau}. \quad (14)$$

И в этом случае легко найти  $t_1, t_2, t_3, t_n$ , определяемые равенствами (3), (4), (6), (7), если поставим значение  $f$  и  $f'$  из решения (14).

В качестве примера использования полученного решения (13) определим температуру  $t_a$  аккумулятора, полагая, что теплоносителем и аккумулирующим веществом является вода. За основу расчета примем здание  $V = 2,4 \times 75 = 180 \text{ м}^3$ , теплотери которого составляют 102 000 ккал за двадцать четыре часа при температуре наружного воздуха  $t_n = 5$  (светлое время) и  $t_n = -2$  (ночное время). Значения величин, входящих в  $p$  и  $q$ , приняты нами ориентировочно из работы [2]. В дальнейшем они могут быть уточнены экспериментально. Расчет ведется за двое суток, в течение которых солнечная установка работает девять часов. Перечень данных (обозначения и их размерности указаны в конце статьи), входящих в  $p$  и  $q$ :

$$S = 80, \quad m = 3000, \quad \eta = 0,6, \quad J = 400, \quad t_0 = 30 \\ G = 150, \quad \tau = 9, \quad F_n k_n = 200, \quad F_0 k_0 = 60, \quad F_a k_a = 1000.$$

Вычисления показывают, что после девяти часов зарядки (днем)

$$t_a = \frac{q}{p} + \left( t_0 - \frac{q}{p} \right) e^{-p\tau} = 85^\circ\text{C}.$$

После пятнадцати часов разрядки (ночью)

$$t_a = 68^\circ\text{C}.$$

После девяти часовой разрядки (следующий день)

$$t_a = 60^\circ\text{C}.$$

После пятнадцатичасовой разрядки следующий день ночью

$$t_a = 48^\circ\text{C}.$$

### Выводы

На основе предлагаемого расчета можно выбрать оптимальную отражательную поверхность  $S$ , массу аккумулирующего вещества  $m$  при заданном расходе теплоносителя  $G$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Oonk R. L., Beckman W. A., and Duffie I. A. Modeling of the CSU Heating/Cooling System, Solar energy, 1975, № 1.
2. Захаров А. А. Применение тепла в сельском хозяйстве. М., «Колос», 1974.

### ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$Q_k, Q_a, Q_p$  — поток тепла в котле, аккумуляторе и помещении [ккал/час];  $t_a$  — температура аккумулирующего вещества [град];  $\tau$  — продолжительность работы солнечной установки (час);  $k_a, k_p, k_b$  — коэффициенты теплопередачи аккумулятора, помещения, батарей (ккал/м·час·град);  $m$  — масса (кг);  $c$  и  $c_p$  — удельная теплоемкость теплоносителя и аккумулирующего вещества (ккал/кг град);  $t_1, t_2, t_3$  — температуры теплоносителя (град);  $F_a, F_p, F_b$  — площади теплообмена соответственно в аккумуляторе, помещении и батарей (м<sup>2</sup>);  $G$  — расход теплоносителя при естественном и вынужденном движении (кг/час);  $t_v$  — температура внутри помещения (град);  $t_n$  — наружная температура (град);  $t_0$  — начальная температура аккумулятора (град);  $J_0$  — прямая солнечная радиация (ккал/м·час);  $\eta$  — коэффициент полезного действия солнечной установки;  $S$  — площадь концентратора (м<sup>2</sup>);  $T$  — продолжительность полного периода колебания (час).

М. Бэшимов, Ш. А. Назаров

### ГҮН ЙЫЛАДЫЖЫ СИСТЕМАНЫҢ АККУМУЛЯТОРЫНЫҢ ТЕМПЕРАТУРА РЕЖИМИ

Гүн энергиясының көмеги билен жайлары йылатмагын (соватмагын) хасапланыш методлары ара алнып маслахатлашылар.

УДК 621.472

О. КЛЫЩАЕВА  
Б. БЯШИМОВ  
А. КАКАБАЕВ

### О ТЕПЛОМ РЕЖИМЕ НЕОХЛАЖДАЕМЫХ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

В данной работе исследовано суточное изменение температуры внутри индивидуального жилого здания при различных условиях.

В качестве исследуемого объекта принят распространенный в южных районах индивидуальный жилой дом ЖД-3, построенный из жженого кирпича. Поскольку другие конструкции по теплотехническим показателям существенно не отличаются, наши исследования являются характерными и для других конструкций индивидуальных зданий.

Для расчетного исследования составлен тепловой баланс внутреннего воздуха здания:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 = Q_7, \quad (1)$$

где

$$Q_1 = \alpha_v \sum_{i=1}^4 F_{ci} (t_{ci} - t_k); \quad (2)$$

$$Q_2 = \alpha_v F_n (t_n - t_k); \quad (3)$$

$$Q_3 = k F_{ок} (t_n - t_k); \quad (4)$$

$$Q_5 = \tau_v c_v (t_n - t_k). \quad (5)$$

$Q_1 \div Q_7$  — соответственно выражают тепlopоступление в помещение через наружные стены, покрытие, окно за счет теплопроводности, окно за счет радиации, вентиляционный воздух, тепловыделение людей, теплоотвод перегородкой.

Подставляя соответствующие выражения для  $Q_1 \div Q_7$  в уравнение (1), получим уравнение, из которого можно найти формулу для температуры воздуха в помещении. Для этого предварительно находим выражение для неизвестных  $t_{ci}$ ,  $t_n$  и выражение для аккумулированного тепла в перегородке.

Решаем уравнение теплопроводности для стены

$$\frac{\partial t_c}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t_c}{\partial y^2} \quad (6)$$

при граничных условиях:

$$y = 0 \quad \lambda \frac{\partial t_c}{\partial y} = \alpha_b (t_c - t_k); \quad (7)$$

$$y = \delta \quad \lambda \frac{\partial t_c}{\partial y} = \alpha_n (t_{\text{сум}} - t_c). \quad (8)$$

При этом предполагаем, что температура  $t_k$  и  $t_{\text{сум}}$  меняется по гармоническому закону:

$$t_k = t_{\text{ок}} + t_{1k} e^{i(\omega\tau - \varphi_{1k})}; \quad (9)$$

$$t_{\text{сум}} = t_{\text{ос}} + t_{1c} e^{i(\omega\tau - \varphi_{1c})}. \quad (10)$$

Здесь и в дальнейшем отсчет времени ведется от 12 часов дня. Решение уравнения (6) ищем в виде

$$t_c = t_0 + t_1 e^{i\omega\tau}. \quad (11)$$

Подставляя (9), (10) и (11) в (6), (7) и (8), получим тождества. В этих тождествах приравняем члены, не содержащие времени и коэффициенты при  $e^{i\omega\tau}$ . Получим 6 дифференциальных уравнений. Решая систему дифференциальных уравнений, найдем выражение для  $t_c$ . Так как нас интересует температура на внутренней поверхности стены, в найденном выражении для  $t_c$  подставляем значение  $y=0$ . Тогда выражение для  $t_c$  примет вид:

$$t_{ci} = \frac{\alpha_n t_{\text{ос}} \lambda + (\alpha_b \lambda + \alpha_n \delta \alpha_b) t_{\text{ок}}}{(\alpha_b + \alpha_n) \lambda + \alpha_n \delta \alpha_b} + \frac{\alpha_n t_{1c} e^{-i\varphi_{1c}} \lambda k_1 + t_{1k} e^{-i\varphi_{1k}} (\alpha_b \alpha_n \text{sh } k_1 \delta + \alpha_n \lambda k_1 \text{ch } k_1 \delta)}{(\lambda^2 k_1^2 + \alpha_b \alpha_n) \text{sh } k_1 \delta + \lambda k_1 (\alpha_b + \alpha_n) \text{ch } k_1 \delta} e^{i\omega\tau}. \quad (12)$$

Полученную формулу можно использовать для любой стены и покрытия с учетом особенности выражения (10).

Теперь находим выражение для теплоотода перегородкой. Для этого решим уравнение теплопроводности

$$\frac{\partial t_{\text{неп}}}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t_{\text{неп}}}{\partial y^2} \quad (13)$$

при граничных условиях:  
в середине рассматриваемой перегородки

$$y = 0; \quad \frac{\partial t_{\text{неп}}}{\partial y} = 0; \quad (14)$$

на поверхности перегородки

$$y = \frac{\delta}{2}; \quad \lambda \frac{\partial t_{\text{неп}}}{\partial y} = \alpha_n (t_k - t_{\text{неп}}). \quad (15)$$

Подставив уравнения (9) и (11) в (13), (14) и (15), получим тождества. Решая задачу таким же образом, как и при нахождении  $t_c$ , получаем следующее выражение для  $t_{\text{неп}}$ :

$$t_{\text{пер}} = t_{\text{ок}} + \frac{\alpha_B t_{1\kappa} e^{-i\varphi_{1\kappa}} \operatorname{ch} k_1 \frac{\delta}{2}}{\lambda k_1 \operatorname{sh} k_1 \frac{\delta}{2} + \alpha_B \operatorname{ch} k_1 \frac{\delta}{2}} e^{i\omega\tau} \quad (16)$$

Выражение для теплоотода (теплоподвода) перегородкой имеет вид:

$$Q_7 = \alpha_B F_{\text{пер}} (t_{\kappa} - t_{\text{пер}}) = \alpha_B F_{\text{пер}} \frac{t_{1\kappa} e^{-i\varphi_{1\kappa}}}{1 + \frac{\alpha_B}{\lambda k_1} \frac{\operatorname{ch} k_1 \frac{\delta}{2}}{\operatorname{sh} k_1 \frac{\delta}{2}}} e^{i\omega\tau} \quad (17)$$

Подставим в уравнения (2), (3), (4) и (5) значения  $t_{\text{сд}}$ ,  $t_{\text{п}}$ ,  $t_{\kappa}$  из (12) и (9), а также

$$t_{\text{н}} = t_{0\text{н}} + t_{1\text{н}} e^{i(\omega\tau - \varphi_{1\text{н}})} \quad (18)$$

Выведенные выражения подставим в (1). Имеем тождество. Приравняв члены, не содержащие время и коэффициенты при  $e^{i\omega\tau}$ , получим систему из двух уравнений с двумя неизвестными  $t_{0\kappa}$  и  $t_{1\kappa} e^{-i\varphi_{1\kappa}}$ . Решив эту систему, подставляем найденные значения в (9), предварительно преобразовав их с помощью равенств

$$\left. \begin{aligned} \lambda k_1 &= S_1 \sqrt{i} \\ k_1 \delta &= D_1 \sqrt{i} \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Окончательно выражение примет вид:

$$t_{\kappa} = \frac{\alpha_B \alpha_{\text{н}} \lambda \sum_4 F t_{0\kappa} + \alpha_B \alpha_{\text{н}} \lambda F t_{0\kappa}^{\text{гop}}}{A} + \frac{\alpha_B \alpha_{\text{н}} \lambda F t_{0\kappa}^{\text{гop}}}{A} \Big|_{\text{п}} + t_{0\text{н}} (k F_{\text{ок}} + \tau_B C_B) + Q_6 + Q_4 +$$

$$\frac{(k F_{\text{ок}} + \tau_B C_B) + \alpha_B \sum_1^5 F - \frac{\alpha_B^2 (\lambda + \alpha_{\text{н}} \delta) \sum_4 F}{A} - \frac{\alpha_B^2 (\lambda + \alpha_{\text{н}} \delta) F}{A}}{A} \Big|_{\text{п}} \quad (20)$$

$$+ \frac{\alpha_B \alpha_{\text{н}} S_1 \sqrt{i} \sum_4 F t_{1\kappa} e^{-i\varphi_{1\kappa}} + \alpha_B \alpha_{\text{н}} S_1 \sqrt{i} F t_{1\kappa} e^{-i\varphi_{1\kappa}}}{B} + \frac{\alpha_B \alpha_{\text{н}} S_1 \sqrt{i} F t_{1\kappa} e^{-i\varphi_{1\kappa}}}{B} \Big|_{\text{п}} + (k F_{\text{ок}} + \tau_B C_B) t_{1\text{н}} e^{-i\varphi_{1\text{н}}}$$

$$+ \frac{(k F_{\text{ок}} + \tau_B C_B) + \alpha_B \sum_1^5 F - \frac{\alpha_B^2 C \sum_4 F}{B} - \frac{\alpha_B^2 C F}{B}}{B} \Big|_{\text{п}} + \frac{\alpha_B F_{\text{пер}}}{1 + \frac{\alpha_B}{S_1 \sqrt{i}} \frac{\operatorname{ch} \frac{1}{2} D_1 \sqrt{i}}{\operatorname{sh} \frac{1}{2} D_1 \sqrt{i}}}$$

где

$$A = (\alpha_B + \alpha_{\text{н}}) \lambda + \alpha_{\text{н}} \delta \alpha_B;$$

$$B = (\alpha_B \alpha_{\text{н}} + S_1^2 i) \operatorname{sh} D_1 \sqrt{i} + (\alpha_B + \alpha_{\text{н}}) S_1 \sqrt{i} \operatorname{ch} D_1 \sqrt{i};$$

$$C = \alpha_{\text{н}} \operatorname{sh} D_1 \sqrt{i} + S_1 \sqrt{i} \operatorname{ch} D_1 \sqrt{i}.$$

В данной формуле по аналогии можно написать выражение для второй, третьей и т. д. гармоник.

При расчете приняты следующие значения величин:

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{в}} &= 7,5 \text{ ккал/м}^2\text{час} \cdot \text{град}; \alpha_{\text{н}} = 20 \text{ ккал/м}^2\text{час} \cdot \text{град}; \\ k &= 3 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град} \text{ (согласно СНиП II-A 7-71)}; \\ \tau_{\text{в}} &= 210 \text{ кг/час} \text{ (согласно СНиП II-A 1-71)}; \\ \lambda &= 0,7 \text{ ккал/м} \cdot \text{час} \cdot \text{град}; F_{\text{ст}} = 20 \text{ м}^2; \delta = 0,4 \text{ м}; \\ S_1 &= 8,3 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}; D_1 = 4,74; F_{\text{ок}} = 9 \text{ м}^2; \\ F_{\text{пер}} &= 60 \text{ м}^2; C_{\text{в}} = 0,24 \text{ ккал/кг} \cdot \text{град}; Q_6 = 135 \text{ ккал/час}; \\ S_{1\text{п}} &= 5,35 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}; D_{1\text{п}} = 3,96; \delta_{\text{п}} = 0,29 \text{ м}; \\ \lambda_{\text{п}} &= 0,39 \text{ ккал/м} \cdot \text{час} \cdot \text{град}; F_{\text{п}} = 60 \text{ м}^2; t_{\text{н}} = 31 + 6 e^{i(\omega\tau - 45^\circ)}, \end{aligned}$$

суммарные температуры соответственно для перекрытия южной, восточной, западной и северной стен:

$$\begin{aligned} t_{\text{сум}}^{\text{п}} &= 35,33 + 11,58 e^{i(\omega\tau - 22,5^\circ)}, \\ t_{\text{сум}}^{\text{юг}} &= 31,58 + 6,67 e^{i(\omega\tau - 38^\circ)}, \\ t_{\text{сум}}^{\text{вос}} &= 32,73 + 6,03 e^{i(\omega\tau - 16^\circ)}, \quad t_{\text{сум}}^{\text{сев}} = 31,29 + 6,21 e^{i(\omega\tau - 41,2^\circ)}, \\ t_{\text{сум}}^{\text{зап}} &= 32,73 + 9,05 e^{i(\omega\tau - 5^\circ)}. \end{aligned}$$

$Q_4 = 792 \text{ ккал/час}$  (считали, что на каждой стороне дома находится по одному окну);  $A_s = 0,3$ .

Нами рассмотрены следующие случаи:

а) наихудший случай, когда дом находится на открытой местности без зеленых насаждений, окна не защищены от солнечной радиации и не проводится ночное проветривание. Коэффициент поглощения стен и покрытия дома  $A = 0,3$ . Получен следующий суточный ход комнатной температуры:

$$t_{\text{к}} = 36,37 + 0,40 e^{i(\omega\tau - 111^\circ)}; \quad (\text{Ia})$$

б) в тех же условиях, но при большем коэффициенте поглощения.  $A_s = 0,9$

$$t_{\text{к}} = 39,55 + 0,67 e^{i(\omega\tau - 138^\circ)}; \quad (\text{Iб})$$

в) в тех же условиях, но при малом коэффициенте поглощения.  $A_s = 0,1$

$$t_{\text{к}} = 35,31 + 0,34 e^{i(\omega\tau - 97^\circ)}; \quad (\text{Iв})$$

г) когда окна зашторены. Солнечная радиация через окна не поступает.  $A_s = 0,3$

$$t_{\text{к}} = 33,18 + 0,40 e^{i(\omega\tau - 111^\circ)}; \quad (\text{Iг})$$

д) имеются зеленые насаждения, ограждающие прямую радиацию на здание. Окна дома зашторены.  $A_s = 0,3$

$$t_{\text{к}} = 32,62 + 0,33 e^{i(\omega\tau - 88^\circ)}. \quad (\text{Iд})$$

Выведена также формула для расчета температуры внутреннего воздуха при ночном проветривании. Считали, что проветривание осуществляется с 8 часов вечера до 8 часов утра. Следовательно, в течение суток количество вентилируемого воздуха будет меняться. Это

изменение в первом приближении выражаем также по гармоническому закону.

Для данного случая формула (20) принимает вид

$$\begin{aligned}
 t_k = & \frac{\alpha_B \alpha_H \lambda \sum^4 F t_{oc} + \alpha_B \alpha_H \lambda F t_{oc}^{top}}{A} \Big|_{\Pi} + t_{он} \tau_0 C_B + Q_6 + Q_4 \\
 & \tau_0 C_B + \alpha_B \sum_1^5 F - \frac{\alpha_B^2 (\lambda + \alpha_{он} \delta) \sum^4 F}{A} - \frac{\alpha_B^2 (\lambda + \alpha_H \delta) F}{A} \Big|_{\Pi} + \\
 & \frac{\alpha_B \alpha_H S_1 \sqrt{i} \sum^4 F t_{ic} e^{-i\varphi_{ic}} + \alpha_B \alpha_H S_1 \sqrt{i} F t_{ic} e^{-i\varphi_{ic}}}{B} \Big|_{\Pi} + \tau_0 C_B t_{1н} e^{-i\varphi_{1н}} + \tau_1 e^{-i\varphi_{\tau_1}} C_B \\
 & + \frac{\tau_0 C_B + \alpha_B \sum_1^5 F - \frac{\alpha_B^2 C \sum^4 F}{B} - \frac{\alpha_B^2 C F}{B}}{A} \Big|_{\Pi} + \frac{\alpha_B F_{пер}}{\operatorname{ch} \frac{1}{2} D_1 \sqrt{i}} \\
 & 1 + \frac{\alpha_B}{S_1 \sqrt{i}} \frac{\operatorname{sh} \frac{1}{2} D_1 \sqrt{i}}{\operatorname{sh} \frac{1}{2} D_1 \sqrt{i}}.
 \end{aligned} \tag{21}$$

При расчете формулой (21) для рассмотренных вариантов соответственно получены следующие результаты при значении расхода проветриваемого воздуха:

$$\tau = 500 + 300 e^{i(\omega\tau - 210^\circ)} \text{ [кг/час]}$$

$$а) t_k = 35,38 + 0,91 e^{i(\omega\tau - 77^\circ)}; \tag{IIa}$$

$$б) t_k = 37,98 + 1,09 e^{i(\omega\tau - 91^\circ)}; \tag{IIб}$$

$$в) t_k = 34,52 + 0,86 e^{i(\omega\tau - 72^\circ)}; \tag{IIв}$$

$$г) t_k = 32,19 + 0,91 e^{i(\omega\tau - 77^\circ)}; \tag{IIг}$$

$$д) t_k = 32,32 + 0,81 e^{i(\omega\tau - 69^\circ)}. \tag{IIд}$$

Для домов с вентилируемым чердаком согласно указанию [5] тепловой поток через покрытие следует уменьшить на 0,75. Проведенные расчеты дали следующие результаты для рассмотренных вариантов (при ночном выветривании):

$$а) t_k = 35,39 + 0,98 e^{i(\omega\tau - 73^\circ)}; \tag{IIIa}$$

$$б) t_k = 37,64 + 1,12 e^{i(\omega\tau - 81^\circ)}; \tag{IIIб}$$

$$в) t_k = 34,63 + 0,94 e^{i(\omega\tau - 69^\circ)}; \tag{IIIв}$$

$$г) t_k = 32,64 + 0,98 e^{i(\omega\tau - 73^\circ)}; \tag{IIIг}$$

$$д) t_k = 32,32 + 0,89 e^{i(\omega\tau - 67^\circ)}. \tag{IIIд}$$

Для сравнения расчетных данных был проведен эксперимент по определению теплового режима индивидуального жилого дома со сте-

нами из жженного кирпича и имеющего вентилируемый чердак. Вокруг дома имелись зеленые насаждения. Полученные результаты представлены на рис. 1 (пунктиром проведен ход наружной температуры).

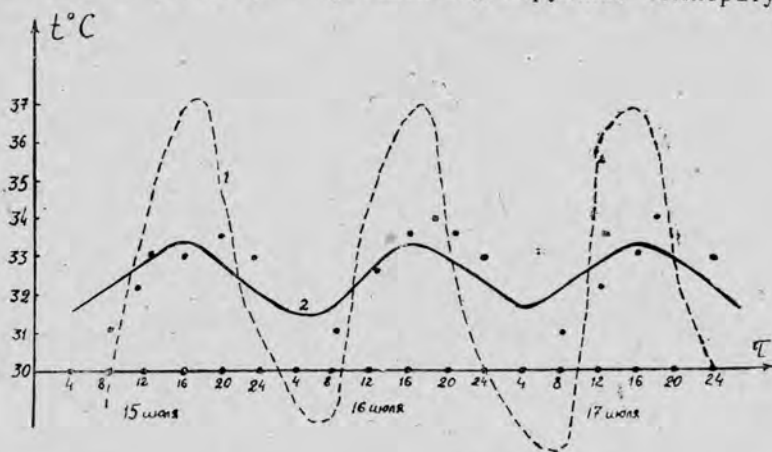


Рис. 1. Изменение с течением времени температуры: 1 — наружной, 2 — температуры внутреннего воздуха здания.

Из сравнения результата (Шд) с графиком хода температуры видно, что теоретические расчеты дают удовлетворительное описание хода температуры в доме, что подтверждает приемлемость принятой выше методики для приближенного расчета суточного хода температуры внутреннего воздуха в индивидуальных домах. Некоторый разброс точек в основном обусловлен тем, что при расчетах мы ограничивались только первыми двумя членами разложения температуры в ряд Фурье.

Во всех случаях нами получены результаты, значительно превышающие значения температур, установленные гигиеническими нормами ( $26^{\circ}\text{C}$ ).

На величину внутренней температуры оказывают влияние коэффициент поглощения наружной поверхности ограждения (сравни варианты б и в, где соответственно  $A_s = 0,9$  и  $0,1$ ), зашторивание окон, экранирование здания от солнечной радиации зелеными насаждениями (см. варианты а и д). Эти простейшие мероприятия способствуют снижению температуры внутреннего воздуха дома на несколько градусов.

Расчеты показали, что ночное проветривание снижает температуру воздуха внутри здания на  $1-2^{\circ}\text{C}$  (сравни уравнения I и II). Существенно, что при проветривании повышается теплоотдача людей, способствуя улучшению их самочувствия.

Следует отметить, что амплитуда суточного колебания температуры внутреннего воздуха в расчетах получилась сравнительно небольшой, что наблюдается также при натуральных наблюдениях (см. рис. 1). Это объясняется тем, что максимумы теплоступления в помещение через ограждение с различной ориентацией не совпадают во времени и поэтому происходит сглаживание суточного хода температуры внутреннего воздуха.

#### Выводы

В результате разработки методики приближенного определения температуры в помещении и расчетного исследования установлено влияние различных мероприятий по борьбе с перегревом на суточный ход температуры в помещении.

## ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.

$t_k$  — температура внутреннего воздуха комнаты;  $t_n$  — температура наружного воздуха;  $t_{\text{сум}}$  — суммарная температура;  $t_{c,i}$  — температура внутренней стороны стенки;  $t_n$  — температура внутренней стороны перекрытия;  $t_{\text{пер}}$  — температура перегородки;  $\alpha_n$  — коэффициент теплоотдачи внутренней стороны стенки;  $\alpha_n$  — коэффициент теплоотдачи наружной стороны стенки;  $F_{c,i}$  — площадь стенки;  $F_{\text{ок}}$  — площадь окон;  $F_n$  — площадь перекрытия;  $F_{\text{пер}}$  — площадь перегородки;  $k$  — коэффициент теплопередачи через окно;  $\tau_v$  — расход вентилируемого воздуха;  $C_v$  — удельная теплоемкость воздуха;  $\tau$  — время;  $a$  — коэффициент температуропроводности;  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности;  $\delta$  — толщина стенки;  $K_1 = \sqrt{\frac{i\omega}{a}}$  — постоянная;  $S_1$  — коэффициент теплоусвоения материала;  $D_1$  — показатель тепловой инерции;  $A_s$  — коэффициент теплопоглощения наружных стен.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Баум В. А., Какабаев А., Клышчаева О. Эффективность применения водонаполненных покрытий в условиях сухого жаркого климата. — «Гелиотехника», 1968, № 4.
2. Баум В. А., Какабаев А., Чонанов Г. К уменьшению перегрева зданий в условиях жаркого климата. — «Гелиотехника», 1969, № 2.
3. Шкловер А. М. Теплоустойчивость зданий. М., Госстройиздат, 1952.
4. Гамбург П. Ю. Расчет солнечной радиации в строительстве. М., Госстройиздат, 1966.
5. Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха. М., Госстройиздат, 1963.

О. Клышчаева, Б. Бәшимов, А. Какабаев

## ХОВАНЫҢ БУГ БИЛЕН СОВАДЫЛЫШЫНДА ЖАЙҢ ИҢЫЛЫК РЕЖИМИ

Бугардыжы кондиционерин гүнортанкы сагатларда өз-өзүндөн ызыгидерли сөнүп дурян халатларында буг билен совадылян жайың ыңылык режимин держелди. Кондиционерин довамлы ишлейши горайжы конструкцияларың ве метеорологик параметрлерин ыңылык техникы характеристикалары билен баглылыкда ички хованың температурасыны хасапламак үчин аналитик багланышык алынды.

«Совуклыгын» аккумуляциясының хасабына кондиционерин довамлы ишлейшине баглылыкда жайың ыңылык режиминин эп-если вагт аралыгында горайжы конструкциялар билен дүзелениләнлиги хасаплайыш дерцевлеринин эсасында аныкларылды.

А. КАКБАЕВ  
О. КЛЫЩАЕВА  
К. АТАЕВ

### ТЕПЛО- И МАССООБМЕН ПРИ ИСПАРЕНИИ ВЛАГИ С ОТКРЫТОЙ ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Открытая поверхность, орошаемая водой и обдуваемая ветром, может служить градирней. Одним из преимуществ такой градирни является почти полное отсутствие уноса воды ветром с поверхности. Эффективность ее применения зависит от интенсивности тепло- и массообмена с поверхности. Такая градирня, в частности, может быть использована в схеме гелиоустановок и абсорбционных солнечных холодильных установок [1] для снижения теплосодержания воздуха. В целях интенсификации тепло- и массообмена, а также для равномерности орошения водой целесообразно верхнюю поверхность градирни изготовить из шероховатого материала или создать шероховатость искусственным путем.

Задачей настоящей работы является исследование тепло- и массообмена при испарении влаги с открытой шероховатой поверхности, орошаемой водой, в зависимости от степени орошения, скорости ветра и степени шероховатости поверхности.

Для этой цели нами собрана экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1. Установка в основном состоит из исследуемой поверхности 1 со спиралью для подогрева 10 и теплоизоляции 9, системы подачи и регулирования воды для орошения поверхности (бак 4 с поплавковым устройством, насос 3, вентиль 6 и ороситель 2), вентилятора 11, терморегулятора 5, системы регулирования нагрева опытной поверхности (трансформатор 8, амперметр и вольтметр 7) и системы для измерения температуры поверхности с помощью термопар (потенциометр 12, гальванометр 13 и термопары 14).

Опытная поверхность представляет собой шероховатый металлический лист, помещенный в деревянную коробку. Для равномерного подогрева опытной поверхности параллельно ей на расстоянии 20 мм установлена теплоизоляционная поверхность.

На последнюю уложен нихромовый провод 10. Воздушный зазор между исследуемой поверхностью и нихромовым проводом обеспечивает равномерный нагрев поверхности. Снизу и по бокам спираль теплоизолирована 10 мм слоем листового асбеста и 150 мм слоем опилок. Шероховатость опытной поверхности создавали наклеиванием (БФ-4) на нее гравия с заданными геометрическими размерами, при этом добивались равномерного склеивания гравия одним слоем. Необходимый геометрический размер гравия получен просеиванием через

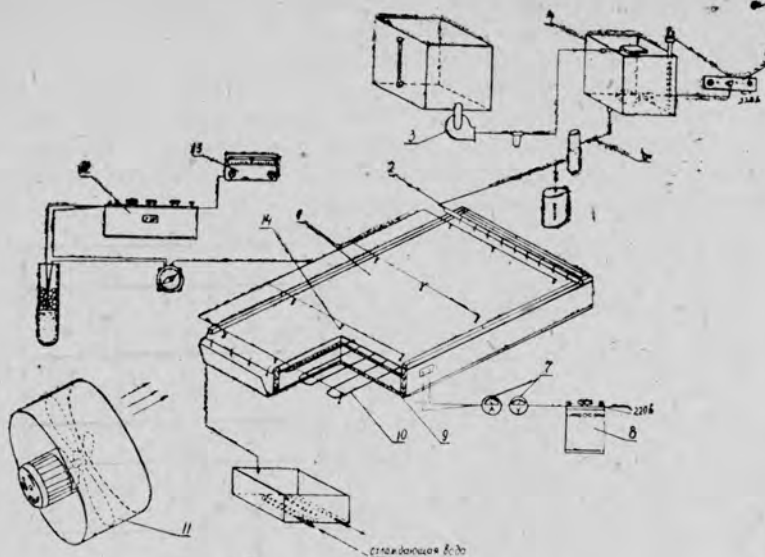


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

сито с определенным диаметром отверстий. Исследовались три поверхности различной шероховатости, на которые был наклеен гравий размерами: от 2 до 3 мм, от 4 до 5 мм, от 6 до 7 мм.

Экспериментальная установка работала следующим образом: с помощью насоса 3 вода подавалась в бак 4 с поплавковым механизмом, который поддерживал постоянный уровень воды в баке, а значит, постоянный заданный расход воды, поступающей в ороситель. Температура воды в баке поддерживалась постоянной с помощью терморегулятора. С помощью трансформатора ЛАТР устанавливалось постоянное тепловыделение со спирали к опытной поверхности. Осевой вентилятор ОВ-1М, расположенный на некотором расстоянии от открытой поверхности, создавал необходимую скорость потока воздуха, который двигался параллельно к опытной поверхности, установленной под углом  $10^\circ$  к горизонту. Скорость ветра измерялась прибором ТА с погрешностью 10%. Испаренное количество влаги определялось как разность расхода воды до и после опытной поверхности. При этом пользовались мерными сосудами с ценой деления 1 мл. Температура опытной поверхности измерялась 12 медь-константановыми термопарами при помощи потенциометра типа Р-330. Параметры окружающего воздуха измерялись аспирационными психрометрами с ценой деления  $0,2^\circ\text{C}$ . Для поддержания постоянства температурного и влажностного режима помещения был установлен вытяжной вентилятор.

Степень орошения опытной поверхности изменялась в пределах  $G=5 \div 20 \text{ кг/м}^2\text{час}$  и скорость ветра  $V=1 \div 4 \text{ м/с}$ . Коэффициенты тепло- и массообмена определялись соответственно по формулам:

$$\alpha = \frac{Q_{\text{наг}} - Q_{\text{исп}} - Q_{\text{пот}} - Q_{\text{в}}}{(t_{\text{ср. в}} - t_{\text{ср. возд}}) F t} \left[ \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{ час град}} \right]; \quad (1)$$

$$\beta = \frac{m}{\Delta p \cdot F \cdot t} \left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{ час мм рт. ст}} \right], \quad (2)$$

где  $Q_{\text{наг}}$  — теплота, выделяемая нагревателем, ккал;  $Q_{\text{исп}}$  — теплота, затрачиваемая на испарение, ккал;  $Q_{\text{пот}}$  — потери тепла через теплоизоляцию;  $Q_{\text{в}}$  — теплота, уносимая водой, ккал;  $t_{\text{ср. в}}$  — средняя температура опытной поверхности, °С;  $t_{\text{сух. возд}}$  — температура окружающего воздуха по сухому термометру, °С;  $m$  — испаренное количество влаги, кг;  $\Delta P$  — разность парциальных давлений на поверхности и окружающей среды, мм рт. ст.;  $F$  — площадь опытной поверхности, м<sup>2</sup>;  $t$  — время, в течение которого проводился опыт, час.

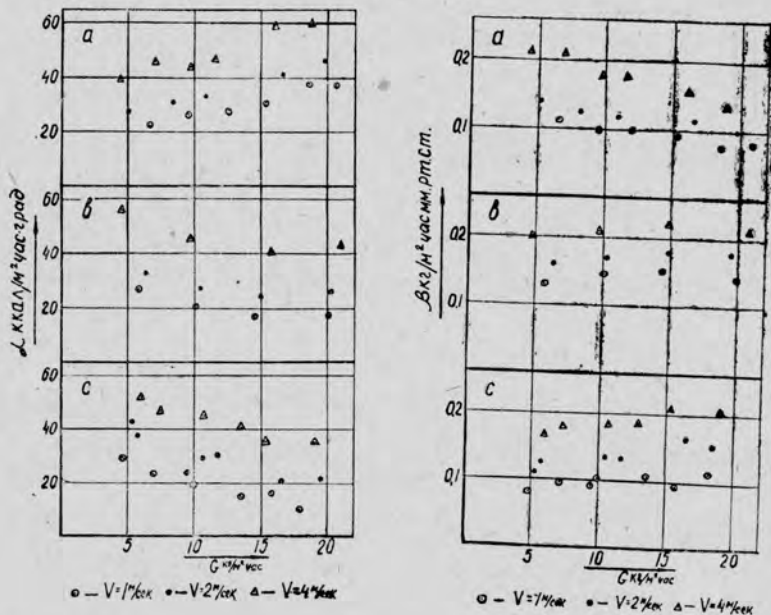


Рис. 2. Опытные данные по тепло- и массообмену при средних размерах гравия: а—2,5; б—4,5; в—6,5 мм.

На рис. 2 соответственно представлены  $\alpha$  и  $\beta$  в зависимости от степени орошения  $G$ . Как видно из опытных точек, коэффициенты тепло- и массоотдачи увеличиваются с ростом скорости ветра. Зависимость этих коэффициентов от степени орошения может быть представлена по линейному закону. При этом значение угловых коэффициентов прямых для теплоотдачи уменьшается с увеличением степени шероховатости от положительных к отрицательным, а в случае массоотдачи — с увеличением степени шероховатости увеличивается от отрицательных к положительным.

Для условий проведенных опытов экспериментальные данные могут быть обобщены в критериях подобия в следующих видах:

$$Nu_{\alpha} = f_1 \left( Re_{\text{ж}}; Re_{\text{в}}; \frac{S_{\text{ш}}}{S_{\text{гл}}} \right);$$

$$Nu_{\beta} = f_2 \left( Re_{\text{ж}}; Re_{\text{в}}; \frac{S_{\text{ш}}}{S_{\text{гл}}} \right).$$

При этом

$$Nu_{\alpha} = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda}; \quad Nu_{\beta} = \frac{\beta \cdot L}{\lambda'}; \quad Re_{\text{в}} = \frac{V \cdot L}{\nu_{\text{в}}};$$

$$Re_{\text{ж}} = \frac{V_{\text{ж}} \cdot \delta}{\nu_{\text{ж}}} = \frac{G}{a \cdot \nu_{\text{ж}}}; \quad \frac{S_{\text{ш}}}{S_{\text{гл}}} \sim \frac{D}{\sqrt{a \cdot b}},$$

где  $\lambda$ ;  $\lambda'$  — коэффициенты теплопроводности и массопроводности,  $\text{ккал/м} \cdot \text{час} \cdot \text{град}$ ;  $\text{кг/м} \cdot \text{час}$  мм рт. ст.;  $L$  — определяющий размер, м;  $\nu_{\text{в}}$ ;  $\nu_{\text{ж}}$  — коэффициенты кинематической вязкости воздуха и жидкости,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $a$ ;  $b$  — длина и ширина оытной поверхности, м;  $S_{\text{ш}}$ ;  $S_{\text{гл}}$  — соответственно площадь шероховатой и гладкой поверхности,  $\text{м}^2$ ;  $D$  — диаметр гравия, м;  $V$ ;  $V_{\text{ж}}$  — скорость движения потока воздуха и жидкости, м/с.

В связи с изложенным характер зависимости  $\alpha$  и  $\beta$  от степени орошения, а следовательно от  $Re_{\text{ж}}$ , не может быть представлен в виде степенной зависимости. Поэтому конкретный вид зависимости (3) и (4) искали в виде линейной функции:

$$Nu_{\alpha} = a_1 + b_1 Re_{\text{ж}}; \quad (5)$$

$$Nu_{\beta} = a_2 + b_2 Re_{\text{ж}}. \quad (6)$$

Для этого, используя опытные точки, строили зависимость  $Nu_{\alpha} = f_1(Re_{\text{ж}})$  и  $Nu_{\beta} = f_2(Re_{\text{ж}})$ . Затем искали зависимость  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  от  $Re_{\text{в}}$  и  $\frac{D}{\sqrt{a \cdot b}}$ . В результате получены конкретные виды функций:

$$Nu_{\alpha} = 200 + 2,96 \cdot 10^5 \frac{D}{\sqrt{a \cdot b}} + 4,65 \cdot 10^{-3} \cdot Re_{\text{в}} + (284 - 7,36 \cdot 10^4 \frac{D}{\sqrt{a \cdot b}}) Re_{\text{ж}}; \quad (7)$$

$$Nu_{\beta} = 53 - 5,77 \cdot 10^3 \frac{D}{\sqrt{a \cdot b}} + 6,1 \cdot 10^3 \cdot Re_{\text{в}} + (-5,7 + 1208 \frac{D}{\sqrt{a \cdot b}}) Re_{\text{ж}}. \quad (8)$$

Согласование опытных точек по тепло- и массообмену с полученными экспериментальными формулами представлено соответственно на рис. 3. Как видно, это согласование можно считать удовлетворительным. Отклонение опытных точек от усредняющей линии не превышает 15%. Это дает основание предложить формулы (7) и (8) для использования в расчетах тепло- и массообмена при испарении влаги с открытой шероховатой поверхности.

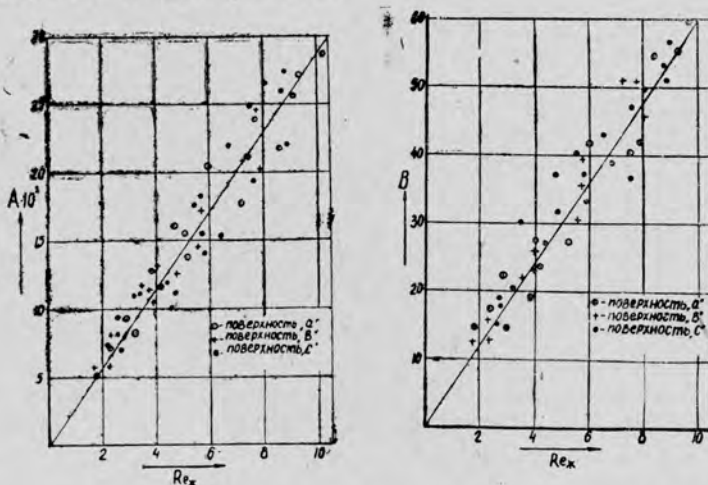


Рис. 3. Согласование опытных данных по тепло- и массообмену.

### Выводы

На основе экспериментальных данных получены эмпирические формулы для расчета коэффициентов тепло- и массообмена при испаре-

нии влаги с открытой поверхности в зависимости от степени шероховатости числа Рейнольдса потока воздуха и числа Рейнольдса потока жидкости по поверхности.

Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР

Дата поступления  
31 марта 1977 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Какабаев А., Хандурдыев А. Абсорбционная гелиохолодильная установка с открытой регенерацией раствора. — «Гелиотехника», 1965, № 5.

А. Какабаев, О. Клышчаева, К. Атаев

#### АЧЫК БУДҮР—СҮДҮР ҮСТДӘКИ ЫЗГАР БУГАРМАСЫНДА ЙЫЛЫЛЫК ВЕ МАССА ЧАЛЫШМАСЫ

Ачык үстдәки ызгар бугармасынын экспериментал дерневлериниң نتیжелери гетирилйәр. Ачык бүдүр — сүдүр үстден йылылык ве масса чалышмасынын коэффициентлериниң хасабы үчин эмпирик формулалар теклип эдилйәр.

A. Kakabayev, O. Klychshayeva, K. Atayev

#### HEAT AND MASS EXCHANGE WHEN MOISTURE EVAPORATES FROM OPEN ROUGH SURFACE

The paper presents the empirical formulae for determination of the coefficient of heat and mass exchange from an open surface.

УДК 543.42

А. Д. РОЖАВСКАЯ  
Л. И. БЕРЕДА

### СПЕКТРАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОСФОРА В ПОРОДАХ

С целью эффективного и надежного определения фосфора в широком интервале концентраций разработана методика количественного спектрального его определения в минеральном сырье.

Литературные данные по спектрографическому определению фосфора в почвах, горных породах и минералах немногочисленны [1—7]. Все авторы предлагают разбавлять пробу буфером в различных соотношениях буфер: проба. В качестве эталонов применяют искусственно приготовленные смеси [2], либо природные образцы [6, 7]. В зависимости от определяемых содержаний фосфора ошибка метода составляет 5—26% отн.

В данной статье приводится разработанный метод определения пентоксида фосфора в интервале 0,1—30% в образцах, различающихся по содержанию основных породообразующих элементов. В результате анализа литературных данных по спектральному анализу [2—7] фосфора за основу взят способ его определения, разработанный в СНИИГГИМСе [6]. В качестве буферной смеси, способствующей быстрому вылету фосфора и нивелирующей валовой состав проб, взята смесь из 40 г угольного порошка и 4 г углекислого стронция.

Введение в буфер углекислого стронция надежно стабилизирует температуру дуги. Сильное (1:10) разбавление образцов буферной смесью исключает влияние состава пробы на результат анализа, а использование тонкостенных электродов снимает фракционное испарение элементов.

Для анализа используются две аналитические линии фосфора  $\text{PI } 255,323 \text{ нм}$  и  $\text{PI } 255,493 \text{ нм}$ . Первая — для содержаний 0,5—15%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , вторая — 3—40%.

В отличие от рекомендованной авторами методики [6] линии сравнения меди  $\text{Cu I } 244,16 \text{ нм}$  исследована возможность применения элемента стронция в качестве внутреннего стандарта. В табл. 1 приведены результаты определения фосфора, полученные по аналитическим парам:

$\text{PI } 255,32 \text{ нм}$	} $\text{Sr II } 242,35 \text{ нм}$	} $\text{PI } 255,32 \text{ нм}$	} $\text{Cu I } 244,16 \text{ нм}$
$\text{PI } 255,49 \text{ нм}$			

Как видно из таблицы, значения концентраций фосфора, определенные при использовании внутреннего стандарта стронция, лучше совпадают с данными химического анализа, чем с внутренним стандартом меди.

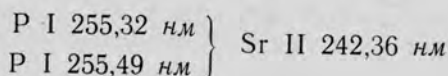
Таблица 1

Результаты определения  $P_2O_5$  с разными внутренними стандартами

Номер пробы	Концентрации $P_2O_5$ , %			$C_x - C_{Sr}$	$C_x - C_{Cu}$
	$C_{хим.}$	$C_{спект.}$			
		$C_{Sr}$	$C_{Cu}$		
1. 11863	0,74	0,73	0,90	+0,01	-0,16
2. 11902	0,56	0,60	0,75	0,04	0,19
3. 11899	0,71	0,73	6,72	0,02	0,01
4. 11859	1,14	1,15	1,3	0,01	0,15
5. 11881	1,0	1,2	1,1	0,2	0,1
6. 11897	1,95	1,87	1,8	0,08	0,15
7. 11840	4,64	4,75	4,25	0,11	0,39
8. 11850	9,86	9,35	8,5	0,51	1,36
9. 11855	3,91	3,9	3,5	0,01	0,41
10. 11888	5,73	5,85	6,0	0,12	0,27
11. 11869	7,39	8,10	7,55	0,71	0,16
12. 11846	14,65	14,0	13,5	0,65	1,15
13. 11849	13,46	12,65	13,0	0,81	0,46
14. 11857	13,65	13,4	12,9	0,25	0,75
15. 11860	15,47	15,1	16,5	0,37	1,03

На основе проведенных экспериментов, позволивших установить оптимальную силу тока, размеры электродов, аналитические линии фосфора и элемента сравнения, предлагается следующий ход анализа.

Навеска пробы или эталона разбавляется 1:10 буферной смесью, растирается в фарфоровой ступке со спиртом 10 минут. Полученной смесью набивают угольные электроды с внутренним диаметром 2 мм, глубиной 4 мм и толщиной стенок 0,8 мм. Анализ проводится на дифракционном спектрографе ДФС-8, ширина входной щели спектрографа 20 мкм. Используется 3-линзовая система освещения щели с промежуточной диафрагмой 3,2 мм. Пробы сжигаются в дуге переменного тока силой 14А. Экспозиция до полного выгорания пробы порядка 1 мин 40 с. Барабан длин волн на делении 267,5 нм. Фотопластинки спектральные, тип П. Проявление при температуре 20°C — 3 мин 30 с. Аналитические линии фосфора и внутреннего стандарта:



На рис. 1 показан ход градуировочного графика в координатах  $\Delta S$ ,  $\lg C$ , где  $C$  — концентрация фосфора в процентах,  $\Delta S$  — разница между почернениями линий внутреннего стандарта и аналитической линии фосфора.

Методика разрабатывалась на контрольных пробах разнообразного состава с известным содержанием фосфора. На основании результатов определения  $P_2O_5$  химическим и спектральным методами анализа сделан расчет статистических параметров, характеризующих точность методики — среднееквадратичное отклонение ( $s$ ), коэффициент вариации ( $V\%$ ), относительная систематическая ошибка ( $\bar{d}_{отн} \%$ ). Расчеты даны для интервалов 2—9,99% и 10—19,99% с внутренним стандартом (табл. 2).

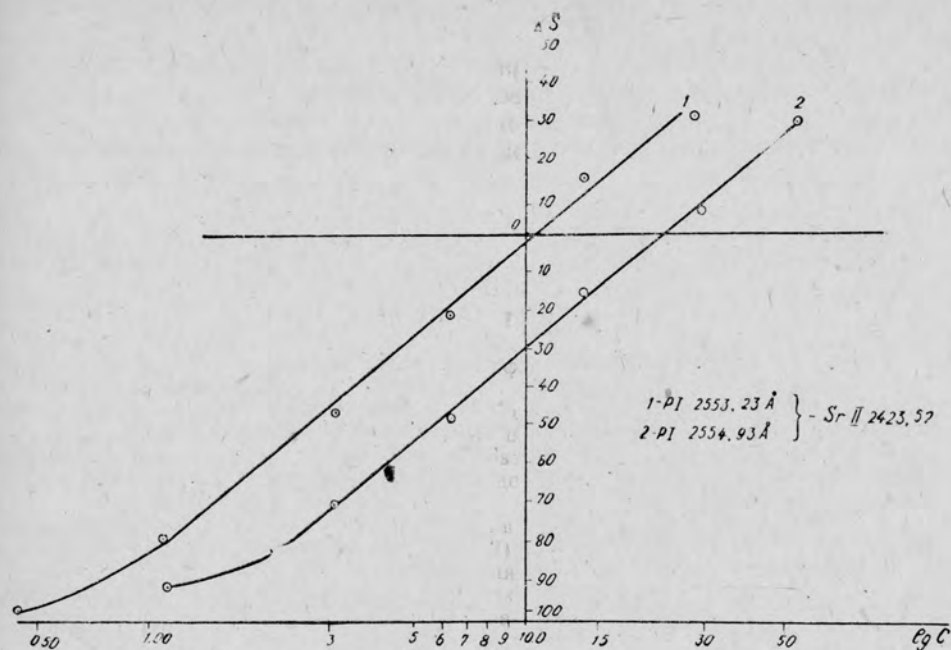


Рис. 1. Градуировочные графики для определения фосфора.

Таблица 2  
Статистические данные, характеризующие точность методики количественного спектрального определения фосфора в породах

Параметры	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %		Примечание
C, %	2—9,99	10—19,9	Концентрация по интервалу
Номер интервала	8,7	6	Номер интервала
n	29	12	Число проанализированных проб
$\Sigma X = C_1/C_2$	29,18	11,83	
$\bar{X} = \Sigma X/n$	1,01	0,99	
$\pm \Sigma (C_1/C_2 - 1)$	$+18,10 \cdot 10^{-2}$	$-17,10 \cdot 10^{-2}$	
$\Sigma (C_1/C_2 - 1)^2$	$1952 \cdot 10^{-4}$	$499 \cdot 10^{-4}$	
$S = \sqrt{\frac{\Sigma (C_1/C_2 - 1)^2}{n-1}}$	$8,37 \cdot 10^{-2}$	6,74	Среднеквадратичное отклонение
$V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\%$	8,4	6,8	Коэффициент вариации
$\bar{d}_{отн} \% = \frac{\Sigma (C_1/C_2 - 1)}{n} \cdot 100\%$	0,62	1,42	Среднее расхождение в отн. %
Допуск	9,0	7,5	
$\bar{d}_{отн} \% \cdot \frac{\sqrt{n}}{D} \ll 0,7$	0,37	0,65	Оценка значимости систематического расхождения

Как видно из таблицы, коэффициенты вариации для интервалов концентрации 2—9,99; 10—19,9% составляют соответственно 8,4; 6,8.

## Выводы

Разработана методика количественного спектрального определения  $P_2O_5$  в породах разного валового состава.

Пределы определяемых концентраций 0,5—40,0%  $P_2O_5$ .

Точность метода, характеризуемая коэффициентом вариации, составляет 6%.

Центральная лаборатория  
УГ СМ Туркменской ССР

Дата поступления  
16 июня 1977 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аналитическая химия фосфора. М., «Наука», 1974.
2. Белова К. В. Прикладная спектроскопия, т. 1. М., «Наука», 1969.
3. Каратеев А. Д., Эпова Т. И. Количественный спектральный анализ фосфоритов. — Труды Тольяттинского политехнического института, 1969, вып. 1.
4. Кузнецов Л. С. Количественное спектральное определение фосфора в апатитосодержащих силикатных породах. Методы анализа минерального сырья. Апатиты, 1971.
5. Портнова В. В., Гершман Д. М., Губанов В. А. Спектрографическое определение фосфора в фосфоритах. (Полевая экспедиция № 1 ВИРГа). Материалы IX совещания работников геологических организаций. М., 1965.
6. Киприкова Е. Л., Малюшко Л. Д., Шевченко А. Е. Определение фосфора в геологических и биологических материалах (СНИИГГИМС). Спектральный анализ в геологии. М., 1971.
7. Иванова М. С., Фридлиндер Н. Г. Количественное спектральное определение фосфора. ЦЛ ПУПГРО, Сыктывкар, 1976.

А. Д. Рожавская, Л. И. Берёда

## ЖЫНСЛАРДАКЫ ФОСФОРЫҢ СПЕКТРАЛ КЕСГИТЛЕМЕСИ

0,1 интервалдакы фосфорың жынслардакы баш окисиниң, онуң составы боюнча тапавутланян эсасы жынс доредижи элементлериниң 30 процент дүзүминиң кесгитлемесиниң спектрал методикасы беян эдилейр.

A. D. Rozhavskaya and L. I. Bereda

## SPECTRAL DETERMINATION OF PH CONTENT IN ROCKS

The paper presents the spectral method of determination of phosphorus penta oxide within the 0,1—30% range in rocks which differ in composition of principal main rock — forming elements.

УДК 681.3.02:523.164

Ю. С. АЛЕКСАНДРИН  
В. Ф. АНИСИМОВ  
И. В. ПТИЦЫН  
А. ХАНБЕРДИЕВ

## О ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РЕГИСТРАЦИИ МЕТЕОРОВ

Существующий метод регистрации телескопических метеоров с помощью высокочувствительной телевизионной системы основан на априорной вероятности их появления в заданной области неба и заключается в том, что с экрана видеоконтрольного устройства (ВКУ) этой системы кинокамерой фотографируется исследуемый участок звездного неба [1].

Указанный процесс производится непрерывно в течение сравнительно длительного промежутка времени с целью регистрации редкого события — появления метеора — с наибольшей вероятностью. Отснятая в течение наблюдательной ночи киноплёнка после ее проявления подвергается дальнейшей обработке.

Надо отметить, что такой метод регистрации метеоров имеет ряд существенных недостатков. Отсутствие точной информации о моменте появления следа метеора в поле зрения астрономической телевизионной системы вынуждает наблюдателей затрачивать много киноплёнки, которую впоследствии приходится кропотливо просматривать для отыскания небольшого количества интересующих кадров.

Для избежания избыточного расхода киноплёнки необходимо устройство, способное на фоне неподвижных звезд автоматически выделять движущийся объект (метеор) и подавать сигналы включения кинокамеры только на определенный интервал времени.

Перспективной для выделения движущихся объектов является дифференцирующая передающая трубка [2], формирующая выходной сигнал только при изменении освещенности на ее фотокатоде. Дифференцирующая передающая трубка отличается от обычного суперортикона свойствами мишени, благодаря которым видеосигнал на ее выходе появляется только при движении изображения, а также в начале световой экспозиции неподвижного изображения, исчезающего в этом случае в течение короткого интервала времени, который определяется параметрами трубки.

Чтобы названная трубка могла служить устройством выделения движущегося объекта, необходима ее высокая чувствительность. Предварительные лабораторные измерения показали, что имеющиеся образцы дифференцирующих трубок, созданные на базе суперортикона ЛИ-17, совместно с усилителем яркости могут быть использованы в

указанных целях (рис. 1). Как видно из рис. 1, чувствительность дифференцирующей трубки зависит от скорости объекта.

С помощью известной методики расчета проникающей способности объективов с астрономической системой [3] можно построить зависимость проникающей способности различных оптических инструментов с дифференцирующей передающей трубкой и усилителем яркости от угловой скорости объекта.

На рис. 2—4 приведены расчетные значения проникающей способности различных объективов при визуальной регистрации изображения движущегося объекта. Даже объективом с диаметром 50 мм можно регистрировать метеоры с блеском слабее  $9^m$ , а использование объектива диаметром 200 мм позволит выделять метеоры с блеском  $12^m$ .

Следует отметить, что дифференцирующая передающая трубка в данном устройстве должна применяться в качестве датчика сигнала от метеора для исполнительного механизма, работающего в автоматическом режиме. В этом случае проникающая способность указанных объективов будет приблизительно на одну звездную величину ниже, чем приведенная на рис. 2—4.

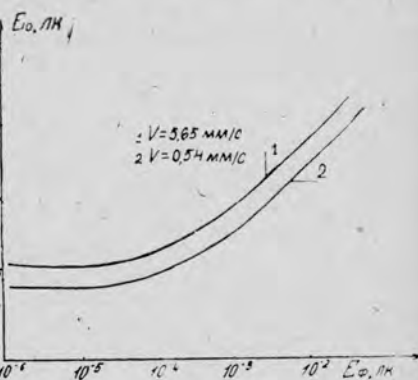


Рис. 1. Чувствительность дифференцирующей трубки при различных скоростях объекта диаметром 0,1 мм.

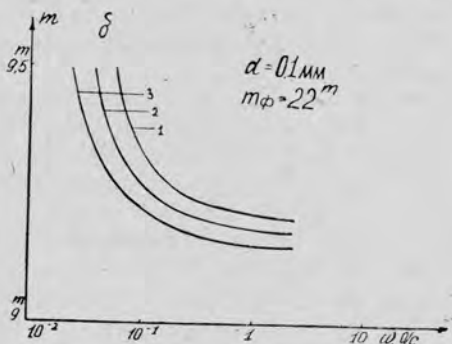
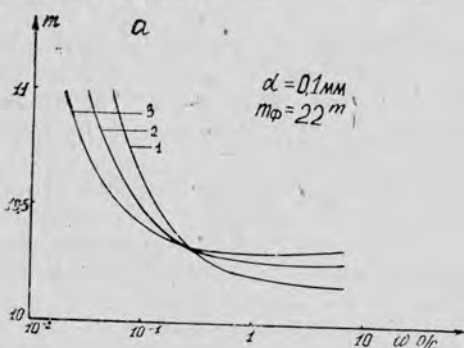


Рис. 2. Проникающая способность объектива диаметром  $D=50$  мм—а,  $D=100$  мм—б с дифференцирующей трубкой при различных фокусных расстояниях (мм): 1—300, 2—400, 3—500.

Можно предложить два варианта реализации метода автоматической регистрации следов метеоров. Один из них (рис. 4) содержит основной оптико-электронный канал, состоящий из объектива 1, телевизионной системы 2, ВКУ 3 для фоторегистрации изображения участка звездного неба с помощью кинокамеры 4, а также дополнительный канал, в состав которого входят объектив 5, телевизионная система с дифференцирующей передающей трубкой и усилителем яркости 6, пороговое устройство 7 и исполнительный механизм 8.

Оба объектива должны быть направлены на один и тот же участок звездного неба.

При появлении метеора в поле зрения возникший на выходе дифференцирующей трубки сигнал после предварительной обработки в пороговом устройстве с помощью исполнительного механизма включает кинокамеру. Кинокамера работает в течение времени существования на выходе дифференцирующей трубки сигнала от движущегося объекта.

Очевиден недостаток такого варианта автоматической регистрации: установка требует дополнительной телевизионной системы с входной оптикой. В связи с этим представляет интерес возможность использования одной астрономической телевизионной системы с дифференцирующей передающей трубкой, которая производит как выделение движущегося объекта, так и последующую регистрацию изображения этого объекта на фоне звезд.

В режиме ожидания, когда в поле зрения оптики 1 системы находятся только звезды, на выходе дифференцирующей трубки, совмещенной с усилителем яркости 2, сигнала нет, и кинокамера 4 не работает. При появлении метеора образуется сигнал от его изображения, и через пороговое устройство 5 включается исполнительный механизм 6, запускающий кинокамеру на заранее установленный промежуток времени. Для того, чтобы на экране ВКУ 3 работающая кинокамера могла зафиксировать не только след метеора, но и звезды, относительно которых можно было бы измерить координаты следа, перед включением кинокамеры исполнительный меха-

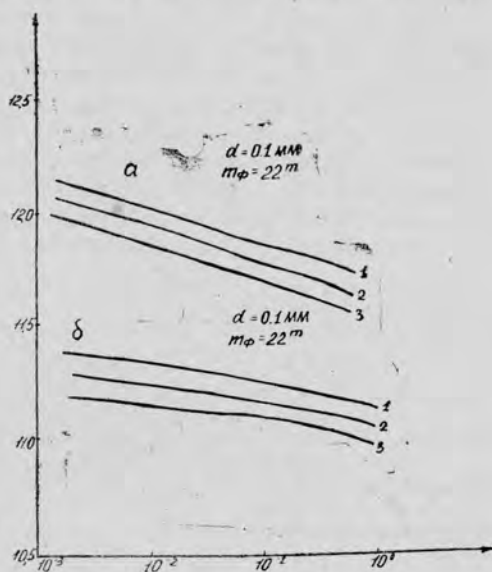


Рис. 3. Проникающая способность объектива диаметром  $D=150$  мм— $\alpha$ ,  $D=200$  мм— $\delta$  с дифференцирующей трубкой при различных фокусных расстояниях (мм); 1—300, 2—400, 3—500.

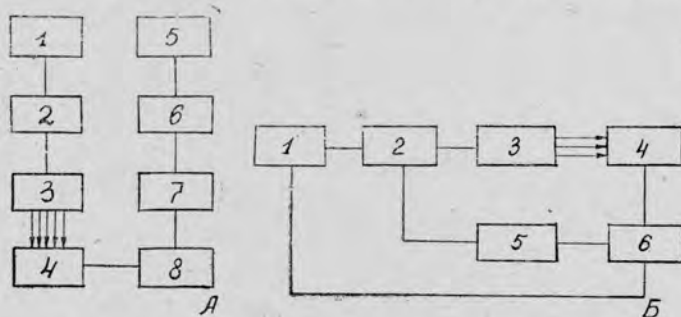


Рис. 4. Структурная схема; А — двухканального устройства автоматической регистрации следов метеоров; Б — одноканального.

низм должен дискретно сместить оптическое изображение на небольшую величину. В этом случае на экране ВКУ, как указывалось, будут наблюдаться и неподвижные изображения звезд, то есть кинокамера

зарегистрирует изображение, подобное изображению на выходе обычной телевизионной системы. Смещение изображения может быть произведено и электронным путем в секции переноса изображения дифференцирующей трубки.

Временной интервал, через который исполнительный механизм включает кинокамеру, выбирается из условия обеспечения регистрации метеоров с минимальными ожидаемыми скоростями.

Таким образом, второй вариант регистрации метеоров существенно проще в своем исполнении, но проникающая способность при этом ограничена сравнительно низкой чувствительностью существующих дифференцирующих трубок. Разработка новых модификаций современных дифференцирующих трубок позволит создать перспективную систему автоматической регистрации метеорных истоков.

Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР

Дата поступления  
19 августа 1977 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бегханов М. Применение телевизионной техники для исследования слабых метеоров.— Автореф. канд. дисс. Ашхабад, 1975.
2. Будников В. А., Смолянский Б. Е., Оксман Я. А. Телевизионная передающая трубка.— Авт. свид. № 135511. Бюллетень изобретений, 1961, № 3.
3. Абраменко А. Н., Агапов Е. С., Анисимов В. Ф. и др. Телевизионная астрономия. М., «Наука», 1974.

Yu. S. Alexandrin, V. F. Anisimov, I. V. Ptitsin, A. Khanberdiyev

#### ON POSSIBILITY OF AUTOMATIZATION OF METEORS REGISTRATION PROCESS

The paper reveals the prospects in a use of differential transmitting tube for discovering of movable objects.

Ю. С. Александрин, В. Ф. Анисимов, И. В. Птицын, А. Ханбердиев

#### МЕТЕОРЛАРЫ ХАСАБА АЛЫШ ПРОЦЕСИНИ АВТОМАТИЗАЦИЯЛАШДЫРМАГЫҢ МҮМҚИНЧИЛИГИ ХАКДА

Макалада дифференцирлейжи гечирижи турбажыгын херекет эдйән объектлерин бөлүнип айрылмасы үчин пейдаланыш перспективасы ачылып гөркезилйәр.

УДК 550.338.2

О. ОВЕЗГЕЛЬДЫЕВ  
 М. БЕРКЕЛИЕВ  
 А. Г. ГРИГОРЬЯН

### ВЫЯВЛЕНИЕ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ ПО ШИРОТНОМУ ИЗМЕНЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ИОНИЗИРОВАННОЙ И НЕЙТРАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТ АТМОСФЕРЫ

На графике зависимости околореданного медианного значения  $f_oF_2$  от магнитного наклонения для декабря 1957 г., марта и июня 1958 г. (рис. 1а) видно, что в зимний сезон между экваторальным ( $I \approx 30-35^\circ$ ) и высокоширотным ( $I \approx 70^\circ$ ) максимумами отмечается заметный минимум с центром  $I \approx 55^\circ$  (совпадающий с широтой «Ашхабада», которая на графике показана вертикальной пунктирной прямой). Этот минимум характерен для дневного времени в годы максимума солнечной активности для обоих полушарий. Летом и в равноденственные месяцы высокоширотный максимум ионизации отсутствует, следовательно, отсутствует и переходной минимум.

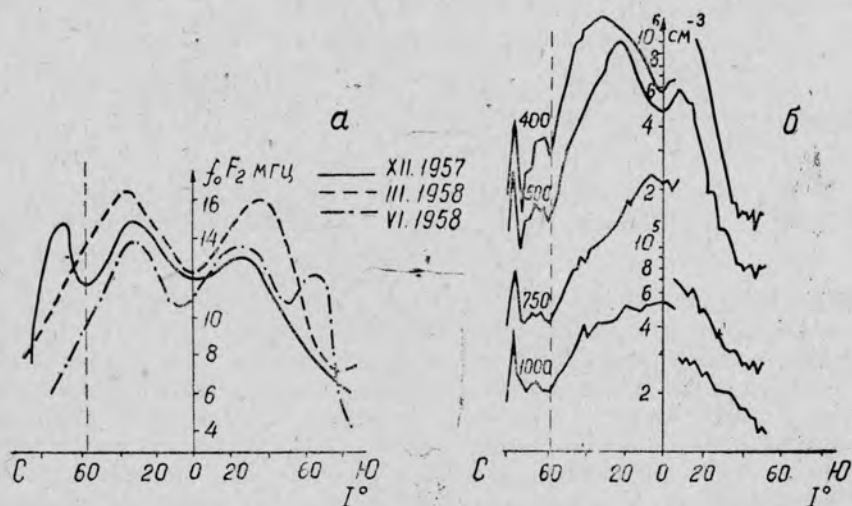


Рис. 1. Широтный ход полуденных значений  $f_oF_2$  для марта, июня 1958 г., декабря 1957 г. (а) и значений электронной концентрации для фиксированных высот выше главного максимума за 14 и 15 сентября 1963 г. (б).

На рис. 1б представлен график широтных изменений значений электронной концентрации для ряда фиксированных высот выше главного

максимума ионосферы, построенный по данным Алуэтт I для 14 (южное полушарие) и 15 сентября (северное) 1963 г. Эти дни были магнитно-возмущенными, сумма  $K_p$  индексов для них составляла 47 и 36 соответственно. В данном случае отмечаемый высокоширотный пик электронной концентрации несколько сдвинут по широте. Однако соответствующий минимум на переходных широтах проявляется и в этом случае. Следует отметить, что в спокойных условиях в годы минимума солнечной активности высокоширотный пик проявляется обычно слабо, тем не менее для возмущенных условий он очерчен достаточно отчетливо.

В связи с отмеченными широтными особенностями ионизации интересно проследить за суточными изменениями электронной концентрации трех географических пунктов, приходящихся к широтам эпплтоновского и высокоширотного максимумов и переходного минимума. При этом желательно использовать  $N(t)$ -данные для зимнего сезона в годы высокой активности Солнца. Очень удобными в этом смысле являются станции «Ахмедабад», «Ашхабад» и «Москва» (для которых имеется достаточное количество  $N(h)$ -данных), находящиеся в центре отмеченных зон: эпплтоновской, переходной и высокоширотной.

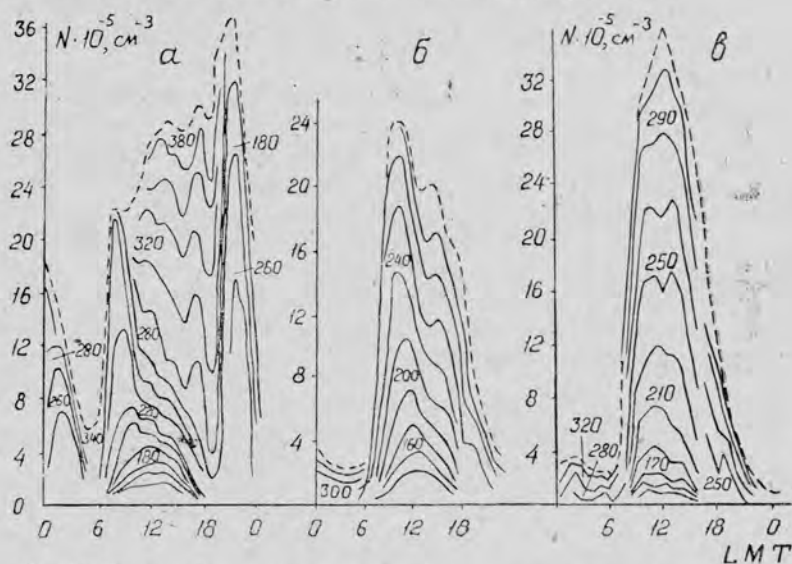


Рис. 2. Суточный ход электронной концентрации для фиксированных высот для зимнего сезона 1958 г.: а — «Ахмедабад», б — «Ашхабад», в — «Москва».

На рис. 2 приведены  $N_h(t)$ -кривые для этих станций. Данные для «Ахмедабада» и «Москвы» взяты из опубликованных таблиц [1, 2]. Из графиков видно, что картина суточных изменений ионизации выше 200 км у станций существенно отличается. Для станции «Ахмедабад» (а) на низких высотах F-области электронная концентрация резко уменьшается после утреннего максимума около 08.00 и образует вечерний максимум около 20.00. С приближением к  $h_m F$  после восхода Солнца концентрация электронов непрерывно увеличивается и образует только один вечерний максимум. Для «Ашхабада» (б) на всем протяжении высот выше 180 км характерен суточный ход ионизации с резким предполуденным максимумом около 10.00. Над «Москвой» (в) отмечаются суточные кривые, симметричные относительно полуденного часа.

Особенности суточного хода ионизации для фиксированных уровней вблизи максимума  $F$ -области в эплтоновской зоне объясняются диффузией вдоль силовых линий и вертикальным дрейфом над экватором. Диффузия играет определенную роль также при формировании высокоширотного пика ионизации [3]. В этой связи состояние ионосферы над «Ашхабадом» становится свободным от влияния причин, формирующих суточные кривые ионизации над «Москвой» и «Ахмедабадом».

Найдем для этих станций высотные изменения отношения зимнего полуденного значения электронной концентрации к летнему ( $N_3/N_1$ ) для 1958 г. Величина отношения для максимальных значений электронной концентрации с широтой увеличивается и показывает на переходных широтах точку излома [4]. Выше точки отношение  $N_3/N_1$  увеличивается значительно быстрее, чем на низких широтах, что подтверждается также положениями кривых вблизи максимума  $F$ -области для всех станций (рис. 3а). При этом для «Ахмедабада» сезонная вариация вообще отсутствует —  $N_3/N_1 \approx 1$ . Для двух других станций сезонная аномалия начинает проявляться выше 200 км, ниже этой высоты отношение  $N_3/N_1$  с увеличением широты, наоборот, уменьшается.

Отметим некоторые особенности изменения переходной зоны по прямым данным о составе и концентрации нейтральных и ионизированных частиц. Получены важные выводы о широтном изменении концентрации нейтральных составляющих атмосферы по измерениям на спутнике ОГО-6, запущенном 5 июня 1969 г. В работе [5] показано, что в спокойных условиях на высоте 500 км на геомагнитной широте  $\pm 30^\circ$  отмечаются минимумы [O] и [N<sub>2</sub>]. При этом как при изменении широты в сторону экватора, так и к высоким широтам значения [O] и [N<sub>2</sub>] увеличиваются: [N<sub>2</sub>] на экваторе — в 2,8 раза, а [O] — в 1,5. С ростом же геомагнитной активности (буря 8 марта 1970 г.) минимум в ходе [N<sub>2</sub>] на  $\pm 30^\circ$  заполняется, и плотность сильно возрастает к полюсу [5]. Атомный кислород [O] качественно следует поведению [N<sub>2</sub>], но не столь интенсивно. Концентрация легких частиц He, наоборот, быстро падает к полюсам. По данным ОГО-6, получено широтное распределение атомного кислорода на высотах 80—120 км [6]. Установлено, что в зимнем полушарии на широтах 40—60°, совпадающих с зоной высокоширотного пика, концентрация атомного кислорода увеличивается в 1,5 раза по сравнению с [O] на средних широтах.

Результаты спутниковых измерений позволяют уточнить также картину широтных изменений состава, концентрации и температуры ионов. Обнаружено, что концентрация молекулярных ионов [O<sub>2</sub><sup>+</sup> + NO<sup>+</sup>] от широты 15°N до 60°N несколько уменьшается на уровнях высот около 200 км [7]. При сравнении графиков этих же авторов в работе [8] видно, что [O<sup>+</sup>] в интервале геомагнитных широт 20—40°N уменьшается, в то время как широтный ход [O<sub>2</sub><sup>+</sup> + NO<sup>+</sup>] в этой зоне показывает максимум. В переходной зоне процесс рекомбинации усиливается, поскольку концентрация молекулярных ионов здесь становится несколько большей. Измерения проводились в магнитно-спокойный период 5—15 ноября 1965 г.

Систематизировав данные по ионному составу, полученные на спутниках ОГО-4 и ОГО-6, выявлено, что концентрация молекулярных ионов с увеличением широты возрастает [9]. Однако в широтной зоне 25—30° наблюдается резкое уменьшение концентрации, сменяющееся на низких широтах максимумом. Анализ в этом случае проведен для периода высокой активности Солнца для солнцестояния 1969 г.

Анализируя результаты измерений на низколетящем спутнике с полярной орбитой, авторы [8] показали, что широтный ход темпера-

туры ионов имеет минимум над экватором с дальнейшим переходом к резким максимумам по обе стороны от экватора. В северном полушарии этот максимум находится в переходной зоне около  $30^\circ$  геомагнитной широты. На широте  $60^\circ$  снова отмечается глубокий минимум, переходящий в большой максимум на авроральных широтах.

Электронная температура увеличивается к высоким широтам. Сравнивая данные ракетных измерений, полученные приблизительно для одинаковых гелиогеофизических условий над пунктами Уоллопс и Черчилл, видно, что увеличение для равноденственного периода 1965 г. составляет  $70\text{--}170^\circ\text{K}$  для дневного времени и  $765\text{--}965^\circ\text{K}$  — для ночного [10].

Рассмотрим особенности суточного изменения зональной восточно-западной составляющей скорости горизонтального дрейфа неоднородностей в  $F$ -области для различных широт (рис. 3б), широтное изменение которой в основном удастся объяснить в рамках «динамомоторной» теории. На низких и высоких широтах суточная составляющая этого дрейфа преобладает над полусуточной, а на переходных широтах обе составляющие примерно одинаковы. На геомагнитных широтах (ниже  $30\text{--}35^\circ$ ) днем скорость направлена на запад, а ночью — на восток. На средних и высоких широтах направление дрейфа меняется на противоположное. Амплитуда суточной вариации увеличивается к экваториальным широтам, особенно в годы минимума солнечной активности, когда величина скорости в утренние часы (09.00) достигает  $160\text{--}200$  м/с, что соответствует теоретическим значениям скорости. На экваторе перемена направления с востока на запад происходит в 06.00—08.00, а на обратное — 19.00—20.00. Суточные кривые восточно-западной

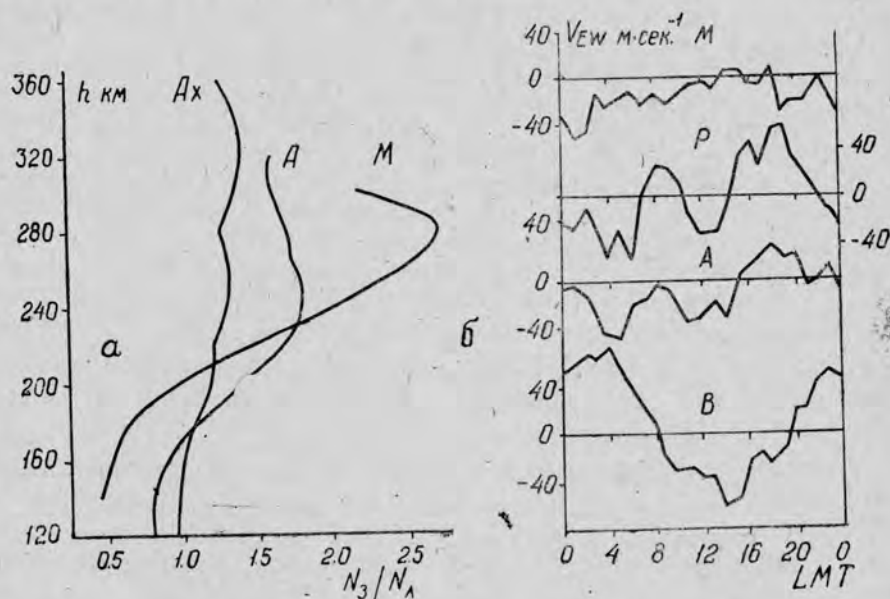


Рис. 3. Высотное изменение отношения  $N_3/N_1$  для 12.00 1958 г. Ах—«Ахмед-бад», А—«Ашхабад», М—«Москва» (а). Суточный ход восточно-западной составляющей скорости горизонтального дрейфа неоднородностей для станций «Вальтаир», «Ашхабад», «Ростов» и «Москва» (б).

составляющей скорости дрейфа для четырех станций северного полушария в годы высокой активности Солнца (рис. 3б) отчетливо показывают характерные особенности ее изменения на переходных широтах.

В области  $F$  существует регулярный зональный дрейф, который направлен на восток для геомагнитных широт, меньших  $35^\circ$ , и на запад — на высоких широтах ( $40-60^\circ$ ). Величина скорости регулярного дрейфа на высоких широтах находится в интервале  $5-40$  м/с [11], а на экваториальных —  $5-25$  м/с [12]. На переходных широтах, где происходит перемена направления скорости, она имеет наименьшую величину. Отметим также, что наиболее вероятные значения скорости мелкомасштабных неоднородностей составляют на экваториальных и высоких широтах  $80-100$  м/с, а на переходных —  $60-80$  м/с [13].

Из анализа видно, что переходную зону можно выделить не только по географическим особенностям данных электронной концентрации и различных ионов, но также по широтному изменению структурных параметров нейтральной атмосферы и динамического режима ионизированного и нейтрального газов. Однако примеры проявления переходной зоны в поведении геофизических данных на этом не ограничиваются.

Рассмотрим два случая. Анализируя большое количество магнитных данных по мировой сети обсерваторий, показано, что в широтном распределении удельной мощности ( $P$ ) геомагнитных возмущений на переходных широтах  $20-30^\circ$  наблюдается минимум [14]. Изучая частотную дисперсию (в диапазоне частот  $0,052 \leq \omega \leq 0,316$  цикл/мин) в широтном ходе  $P_T$ , авторы получили, что в области высоких частот наблюдается более резкое ослабление поля (больше чем в 200 раз по мощности и в 14 раз по амплитуде) от  $80$  к  $30^\circ$  широты. При дальнейшем понижении широты вплоть до экватора уровень  $P_T$  для  $D$  составляющей практически не меняется, а для  $H$  — увеличивается почти на порядок.

В работе [15] изучена амплитудная вариация трех компонент поля с периодами вариаций от 5 минут до 6 часов. Амплитуды вариаций для всех периодов максимальны на широтах зон полярных сияний и в полярной шапке, минимальны на средних и низких широтах с небольшим увеличением на экваторе. Исследуя закономерности планетарного распределения индекса  $\bar{r}_n^{\gamma}$ , амплитудной вариации ежечасных значений  $H$  составляющей поля за период с 1 сентября 1957 г. по 31 октября 1958 г. для американской зоны, авторы [16] получили, что для всех сезонов среднесуточная величина  $\bar{r}_n^{\gamma}$  на экваторе имеет максимум. Минимальные значения  $\bar{r}_n^{\gamma}$  наблюдаются на  $I=25-50^\circ$ . К высоким широтам значения  $\bar{r}_n^{\gamma}$  резко возрастают.

Своеобразное проявление переходной зоны отмечается по измерениям ионосферного поглощения на частоте  $2,11$  МГц методом А1 с помощью аппаратуры, установленной на корабле. На основе анализа данных по зимней аномалии за 1968/69 г. и 1970/71 г. найдено, что низкоширотная граница ее проходит на широтах  $37-38^\circ$  N [17].

Резюмируя, отметим, что в широтном поведении многочисленных геофизических данных можно наблюдать проявление переходной зоны. Особенности поведения ионизации ниже главного максимума ионосферы регулируются влияниями сложного комплекса физико-химических процессов. При этом наиболее важная роль принадлежит процессам ионообразования и разогрева, обусловленным как действием ультрафиолетового излучения Солнца — основного источника энергии, ответственного за существование ионосферы вообще, так и вторжением корпускул. Если интенсивность первого растет к экваториальным широтам, то влияние второго усиливается по мере продвижения к полярным широтам. Подобная географическая локализация поглощения энергии этих источников в основном ответственна за существование широтных вариаций различных особенностей ионизированной и нейтральной компонент атмосферы.

Создание значительных градиентов плотности в подсолнечной точке в зоне экваториальных широт и в пунктах интенсивного вторжения корпускул на высоких широтах может служить одним из проявлений такой вариации. Градиенты могут создать ветры нейтрального газа. При этом меридиональные компоненты, образуемые последними, имеют противоположные направления. Так, в спокойных геомагнитных условиях дневные ветры дуют от экватора к полюсу, а в возмущенных — наоборот. Естественно, что такие ветры не только могут оказывать некоторое влияние на состояние нейтрального газа, но и значительно перераспределяют ионизированную компоненту атмосферы, поскольку вдоль силовых линий ионизированный газ может увлекаться ветрами.

Определенный вклад в картину широтных вариаций параметров ионосферы может вносить динамо-ток. Отметим, что из динамо-области в  $F$ -область ионосферы вдоль силовых линий передаются электростатические поля. Эти поля служат причиной возникновения дрейфов электронно-ионного газа. Параметры дрейфа, как отмечалось, претерпевают широтные вариации, поскольку направление динамо-тока изменяется на противоположное в зависимости от того, находится ли данный пункт севернее или южнее фокуса тока. В связи с этим по-разному будет протекать и влияние дрейфа на состояние ионизации на различных широтах. Динамо-ток, усиливаемый влиянием потока заряженных частиц на высоких геомагнитных широтах, может служить источником разогрева самой  $E$  области из-за выделяемого джоулевого тепла.

В зоне экваториальных широт в зависимости от геометрии силовых линий и особенностей высотных распределений холловской и педерсоновской проводимостей происходит резкое возрастание тока, называемого экваториальной электроструей. Кроме того, под действием «фонтанного эффекта» осуществляется значительное перераспределение ионизации в интервале  $\pm 15^\circ$  геомагнитной широты.

Некоторые широтные особенности ионизации могут быть обусловлены соответствующими изменениями потока амбиполярной диффузии в зависимости от геометрии силовых линий. Естественно, что такой поток будет более значительным только на высоких геомагнитных широтах, так как магнитное наклонение там больше.

В широтных вариациях ионосферных параметров и явлений наибольшая роль принадлежит особенностям развития ионосферы в небольших интервалах широт около экватора и приполярной зоне. Ионосфера переходных между двумя этими зонами широт как бы свободна от причин, формирующих эти две зоны, и регулируется внутренними аэрономическими и диффузионно-динамическими процессами, и лишь частично взаимодействует с приходящей, главным образом, из высоких широт энергией в виде волновых, динамических и других процессов.

## Выводы

Выделена переходная зона в интервале геомагнитных широт  $20-40^\circ$  по широтному изменению большинства параметров ионизированной и нейтральной компонент верхней атмосферы и другим геофизическим данным.

Особенности географической локализации поглощения основных источников энергии — ультрафиолетового и корпускулярного излучения Солнца — вызывают появление переходной зоны.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Потапова Н. И., Шапиро Б. С. Таблицы  $N(h)$ -профилей над Москвой в период МГГ. ИЗМИРАН СССР, 1965.
2. True Height profiles. New Delhi, India, 1964.
3. Беркелиев М. Акыев Я., Григорьян А. Г., Дубровская Е. К. Долготное изменение ионизации  $F$  области в периоды низкой и умеренной активности Солнца.— «Известия АН ТССР, сер. физ.-техн., хим. и геол. наук», 1975, № 5.
4. Беркелиев М., Дубровская Е. К. Зимнее долготное изменение суточного хода ионизации  $F$  области.— «Известия АН ТССР, сер. физ.-техн., хим. и геол. наук», 1973, № 6.
5. Reber C. A., A. E. Hedin, S. Chandra. I. Atmos. and Terr. Phys., v. 35, № 6, 1223, 1973.
6. Donahue T. M., B. Guenter, R. I. Thomas. I. Geoph. Res., 78, 6662, 1973.
7. Knudsen W. C., G. W. Sharp. I. Geoph. Res., 72, 1941, 1967.
8. Haggis K. K., G. W. Sharp, W. C. Knudsen. I. Geoph. Res., 72, 5939, 1967.
9. Taylor H. A. I. Geoph. Res., 78, 315, 1973.
10. Brace L. H., H. G. Mayr, G. R. Carignan. I. Geoph. Res., 74, 257, 1969.
11. Казмировский Э. С., Кюн Г. И. О вариациях параметров общей циркуляции ионосферы. — В сб.: Исследования по геомагнетизму и аэрономии. М., «Наука», 1966, 28.
12. Rao A. S., B. R. Rao. I. Atmos. and Terr. Phys., 25, 249, 1963.
13. Rao G. L. N., B. R. Rao. I. Atmos. and Terr. Phys., 26, 213, 1964.
14. Бест А., Ваньян Л. Л. и др. К вопросу о широтном распределении энергии геомагнитных возмущений.— «Геомагнетизм и аэрономия», 1972, т. 12, № 3.
15. Campbell W. H. Radio Sci., 8, 929, 1973.
16. Фельдштейн Я. И., Павлович Л. К., Пуолокайнен. Магнитная активность в средних и низких широтах в период МГГ.— «Геомагнетизм и аэрономия», 1967, т. 7, № 2.
17. Schaning B. I. Atmos. and Terr. Phys., 35, 1003, 1973.

O. Ovezgel'diyev, M. Berkeliyev, A. G. Grigor'yan

### REVEALING OF TRANSITIONAL ZONE THROUGH CONSIDERATION OF PARAMETERS OF ATMOSPHERIC IONIZE AND NEUTRAL COMPONENTS THAT CHANGE WITH LATITUDE

The transitional zone within the geomagnetic latitude range from 20 to 40° being characterized by a decrease of winter day values of ionization of the region as well as concentration of molecular ions and neutral atmospheric compounds, by presence of a minimum in a latitude distribution of a geomagnetic disturbances. The pressure of this transitional zone is caused by geographical localization in uptaking up of the main energy sources — ultra violet and corpuscular radiation.

O. Өвезгелдиев, М. Беркелиев, А. Г. Григорьян

### ПАРАМЕТРЛЕРИҢ ГИҢЛИГИНИҢ ҮЙТГЕМЕСИ БОЮНЧА АТМОСФЕРАНЫҢ ИОНЛЫ ВЕ НЕЙТРАЛ КОМПОНЕНТИНИҢ ГЕЧИШ ЗОНАСЫНЫҢ ЙҮЗЕ ЧЫКАРЫЛЫШЫ

Бирнәче параметрлериң ве ионосфера хадьсаларының гиңлик өзгермелери: электрон концентрациялары, мөвсүмлейин аномалилер, 140—400 км. белентликлерде ионосфераның газ ве динамики режимини дүзйән кәбир ионларың хем-де нейтралларын концентрациялары ве температурасы, шейле-де, Ерин магнит мейданының вариациялары анализленилйәр. Нетижеде, 20—40° геомагнит гиңишлигиниң я-да 45—65° магнит эгилмелериниң интервалындакы гечиш зонасының чәклерни йүзе чыкарылды, агзалия параметрлериң херсиниң ве бу зонадакы хадьсаларың хәсиетлериниң такык айратынлыклары суратландыгрылар. Шу зонаның пейда болмагына Гүнүн ультрабенеуше ве корпускуляр мөхлелери ялы эсасы энергия чешилерини өзүне соруужы географык локализация айратынлыкларының жөгапкәрледиклери гөркезилйәр.

### ОБ ОБРАЗОВАНИИ ОБМЕННЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА СРЕД С РАЗЛИЧНЫМИ ФИЗИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Физические и математические модели материальных сред могут рассматриваться как далеко идущие обобщения классических теорий упругости, пластичности, идеальной и вязкой жидкостей. Появление таких моделей обусловлено широким внедрением новых конструктивных материалов и использованием их в экстремальных условиях, интенсификацией технологических процессов и т. п. С этим тесно связаны возрастающая тенденция к сближению механики сплошных сред с физикой и внутренняя логика развития механики сплошных сред как науки.

Глобальные методы построения моделей механики сплошных сред, основанные на обобщенном вариационном принципе, развиты в известных работах Л. И. Седова и его школы [1]. Теория упругих сред с микроструктурой и теория дефектов в таких средах с исследованием эффектов нелокальности и внутренних степеней свободы, которые не описываются классической теорией упругости, излагаются в работах И. А. Кунина [2 и др.].

В данной статье не ставится задача глубокого анализа теорий обменных волн, изложенных в работах различных авторов [3, 4, 5 и др.], а в рамках теории классической механики и теории упругости рассматривается проблемный вопрос о механизме образования обменных поперечных волн, являющийся важным в решении прикладных задач геофизики.

Изменение плотности вещества связано с изменением его объема, которое на основании закона теории упругости при малых смещениях в изотермических процессах пропорционально продольной деформации и напряжению [6].

Плотность каждого элементарного объема среды определяется:

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV}.$$

Следовательно, при распространении продольной волны плотность в различных точках среды различна в разные моменты времени, то есть  $\rho = \rho(x, y, z, t)$ . Она отвечает некоторому распределению массы вдоль направления ( $\xi$ ) распространения продольной волны, то есть каждому

интервалу  $a \leq \xi \leq b$  по этому направлению в любой момент времени  $t$  отвечает масса [7]:

$$m_{a,b} = \int_a^b \rho(\xi, t) d\xi$$

(здесь для простоты изложения используется понятие линейной плотности среды).

Если в среде мысленно выделить небольшой объем, то при прохождении через этот объем продольной волны можно говорить о потоке массы через этот объем аналогично понятию о потоке энергии, предложенному Н. А. Умовым [8]. Масса этого потока вдоль направления ( $\xi$ ) распространения продольной волны будет определяться разностью  $m = m_{\xi_1, \xi_2} - m_{\xi_1, \xi_2}^0$ , где  $m_{\xi_1, \xi_2}^0$  — масса интервала вещества до прохождения продольной волны;  $m_{\xi_1, \xi_2}$  — в момент прохождения продольной волны;  $\xi_1, \xi_2$  — границы интервала.

Рассмотрим с позиции такого потока массы механизм образования обменных поперечных волн и зависимость полярности этих волн от характера скачка скоростей продольных волн на границе раздела сред.

Продольная волна, проходя границу раздела сред с различными физическими параметрами, преломляется согласно закону Снеллиуса [9]. Поэтому часть «массы», проникая из среды 1 в среду 2 (рис. 1), движется по пути АВ, в случае  $V_1^p > V_2^p$ , или по пути АС, в случае  $V_1^p < V_2^p$ , где  $V_1^p$  и  $V_2^p$  — скорости продольной волны соответственно в 1 и 2 средах.

Таким образом, в области точки А поток массы меняет свое направление движения. Согласно закону Ньютона, сила, изменяющая скорость и направление движения, равна

$$\vec{F} = m\vec{a}. \quad (1)$$

Преобразуя в этом равенстве величину  $\vec{a}$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{d(v\vec{\tau})}{dt} = \frac{dV}{dt}\vec{\tau} + V\frac{d\vec{\tau}}{dt}$$

получим [10]:

$$\vec{a} = \frac{dV}{dt}\vec{\tau} + \frac{V^2}{R}\vec{n}, \quad (2)$$

где  $\vec{\tau}$  — единичный вектор касательной к траектории сейсмического луча;  $V$  — проекция вектора скорости на эту касательную;

$\vec{n}$  — единичный вектор нормали;  $R$  — радиус кривизны траектории.

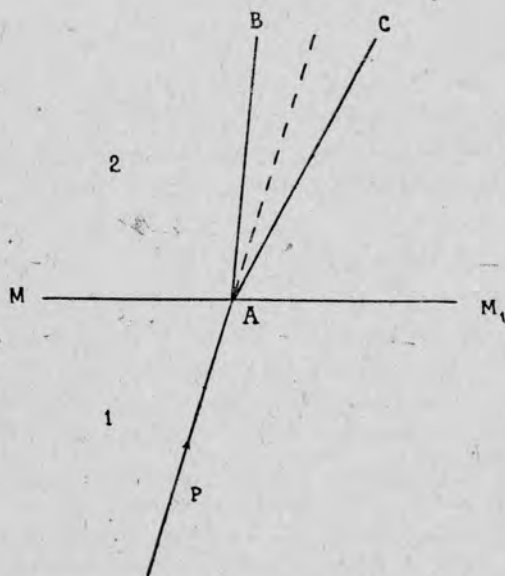


Рис. 1. Преломление продольной волны  $P$  на границе  $MM_1$  раздела сред 1 и 2 с различными физическими параметрами.

Выражение (2) представляет собой разложение ускорения, входящего в уравнение (1), по осям естественной системы координат.

Составляющими этого вектора ускорения являются:

а) касательное (тангенциальное) ускорение

$$\vec{a}_\tau = \frac{dV}{dt} \vec{\tau}; \quad (3)$$

б) нормальное ускорение

$$\vec{a}_n = \frac{V^2}{R} \vec{n}. \quad (4)$$

Определяя положительное направление траектории сейсмического луча направлением распространения продольной волны, получим, что направление  $\vec{\tau}$  совпадает с направлением потока массы. Так как величина  $|\vec{a}_n| = \frac{V^2}{R}$  всегда положительна, то нормальное ускорение, определяемое равенством (4), совпадает с направлением единичного вектора нормали  $\vec{n}$  и направлено к центру кривизны кривой, то есть в сторону вогнутости.

Учитывая (2), выражение (1) примет вид

$$\vec{F} = m\vec{a}_\tau + m\vec{a}_n = m \frac{dV}{dt} \vec{\tau} + m \frac{V^2}{R} \vec{n}. \quad (5)$$

Таким образом, на поток массы в области точки А будут действовать две силы:

$$1) \vec{F}_\tau = m\vec{a}_\tau = m \frac{dV}{dt} \vec{\tau},$$

замедляющая или увеличивающая скорость проходящего потока массы в зависимости от соотношения скоростей  $V_1^p$  и  $V_2^p$  и одновременно являющаяся (на основании первого закона Ньютона) движущей силой для отраженного потока массы, то есть отраженной продольной волны.

$$2) \vec{F}_n = m\vec{a}_n = m \frac{V^2}{R} \vec{n},$$

отклоняющая вправо или влево направление потока массы, в зависимости от характера скачка скоростей  $V_1^p$  и  $V_2^p$  на границе раздела сред 1 и 2. На основании первого закона Ньютона эта сила является причиной возникновения сдвиговых деформаций в области точки А, то есть причиной рождения обменной поперечной волны. Так как направление силы  $\vec{F}_n$  зависит от характера скачка скоростей продольной волны в средах 1 и 2, то и полярность обменной волны будет зависеть от характера этого скачка скоростей. Рассмотрим некоторые частные случаи.

1. Пусть продольная волна подходит под прямым углом к границе раздела сред. Тогда на основании закона Снеллиуса на границе не произойдет изменения направления потока массы, то есть радиус кривизны траектории сейсмического луча в точке А будет равен  $R = \infty$ . Отсюда

$$|\vec{F}_n| = |m\vec{a}_n| = \left| m \frac{V^2}{R} \right| = \left| \frac{mV^2}{\infty} \right| = 0,$$

то есть сила, вызывающая сдвиговые деформации, будет отсутствовать, и обменная поперечная волна на границе не возникнет.

2. Пусть среда 2 — не сжимаема (например, несжимаемая жидкость). В этом случае в среде 2 (рис. 1) будет отсутствовать поток массы. Тогда

$$|\vec{F}_n| = m\vec{a}_n = |0 \cdot \vec{a}_n| = 0,$$

то есть сила, вызывающая сдвиговые деформации, будет отсутствовать, и обменная поперечная волна на границе раздела сред не возникнет.

3. Пусть радиус кривизны траектории луча продольной волны в точке А (рис. 1) будет  $R = \alpha$ , где  $\alpha$  — бесконечно малая величина большего порядка относительно величины  $m$ , то есть в точке А произойдет резкое преломление потока массы на границе раздела сред. В этом случае

$$|\vec{F}_n| = \left| m \frac{V^2}{R} \right| = \left| \frac{m \cdot V^2}{\alpha} \right| = \beta,$$

то есть сила, вызывающая сдвиговые деформации, будет стремиться к бесконечно большой величине и поэтому обменная поперечная волна будет значительной амплитуды.

Таким образом, на основании чисто качественных рассуждений мы установили важный с точки зрения геофизических исследований факт, что обменная поперечная волна несет в себе информацию не только о существовании границы раздела сред с различными упругими свойствами, но и сведения о характере перепада значений скоростей распространения продольных волн в этих средах, то есть полярность обменной волны говорит о том, является ли среда 2 более высокоскоростной толщей по отношению к среде 1 или наоборот. Чтобы в результате сейсмологических исследований установить характер скачка скоростей продольных волн на границе раздела среды, необходимо проанализировать взаимную полярность продольных и обменных поперечных волн на сейсмограммах с учетом направлений распространения регистрируемых волн.

В практике сейсмологических исследований в Туркмении 1969—1977 гг. в районах с различными сейсмогеологическими условиями получен обширный материал, подтверждающий возможность методом обменных волн получать сведения о границах раздела сред в земной коре и о характере скачка скоростей продольных волн на этих границах [11, 12].

Центральная геофизическая экспедиция  
УГ СМ Туркменской ССР

Дата поступления  
29 июля 1977 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Седов Л. И. Механика сплошной среды, т. 1—2. М., «Наука», 1970.
2. Куниин И. А. Теория упругих сред с микроструктурой. М., «Наука», 1975.
3. Алексеев А. С., Гельчинский Б. Я. Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн. Л., Изд-во ЛГУ, 1959, сб. 3.
4. Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн. Сб. статей под ред. М. К. Полшкова и Г. И. Петрашени, т. 1—2. Л., Гостоптехиздат и изд-во ЛГУ, 1957—1959.
5. Жигальцев А. Л. Динамические характеристики обменных волн. — Тр. ИФЗ АН СССР, 1962, № 25.
6. Лейбензон Л. С. Курс теории упругости. М., Гостехизд., 1947.
7. Зельдович Я. Б., Мышкис А. Д. Элементы математической физики. М., «Наука», 1973.
8. Умов Н. А. Избранные сочинения. М.—Л., Госиздат, 1950.

9. Гурвич И. И. Сейсмическая разведка. М., Гостоптехиздат, 1960.
10. Шимкович А. А. Механика. Минск, «Высшая школа», 1969.
11. Безгодков В. А., Орлов В. С. О наличии слоев с пониженной скоростью в земной коре Туркмении по данным обменных волн типа  $PS$  землетрясений.— «Известия АН ТССР, сер. физ.-техн., хим. и геол. наук», 1976, № 5.
12. Орлов В. С. Отождествление волн  $P$  и  $PS$  при работах методом обменных волн землетрясений со станциями «Земля».— «Известия АН ТССР, сер. физ.-техн., хим. и геол. наук», 1971, № 6.

V. S. Orlov

#### ON FORMATION OF EXCHANGEABLE TRANSVERSAL WAVES ALONG DIVISION LINE BETWEEN MEDIA OF VARIOUS PHYSICAL PARAMETERS

The problem of formation of exchangeable transversal waves along the division line between media of different physical parameters is discussed as well as the dependence between the polarity of exchangeable waves and the kind of a shift in strata velocities along this line.

В. С. Орлов

#### ДҮРЛИ ФИЗИКИ ПАРАМЕТРЛЕРИ БОЛАН СРЕДАЛАРЫҢ БӨЛҮНИШ СЕРХЕДИНДЕ ЧАЛЫШЯН КЕСЕ ТОЛКУНЛАРЫҢ ДӨРЕЙШИ ХАҚДА

Дик толкунларың яйрайшында средадакы масса акымының позициясындан дүрли физики параметрлери болан средаларың бөлүниш серхединде чалышян кесе толкунларың дөрейши хакдакы проблемалы меселе гөзден гечирилийәр, чалышян толкунларың шу серхетдәки гатлак тизликлериниң үйтгейиш хәсиетине баглыдыгы аныкланылар хем-де чалышян кесе толкунларың дөрәп биләйжек шертлерине сердилиәр.

УДК 665.61:547.912

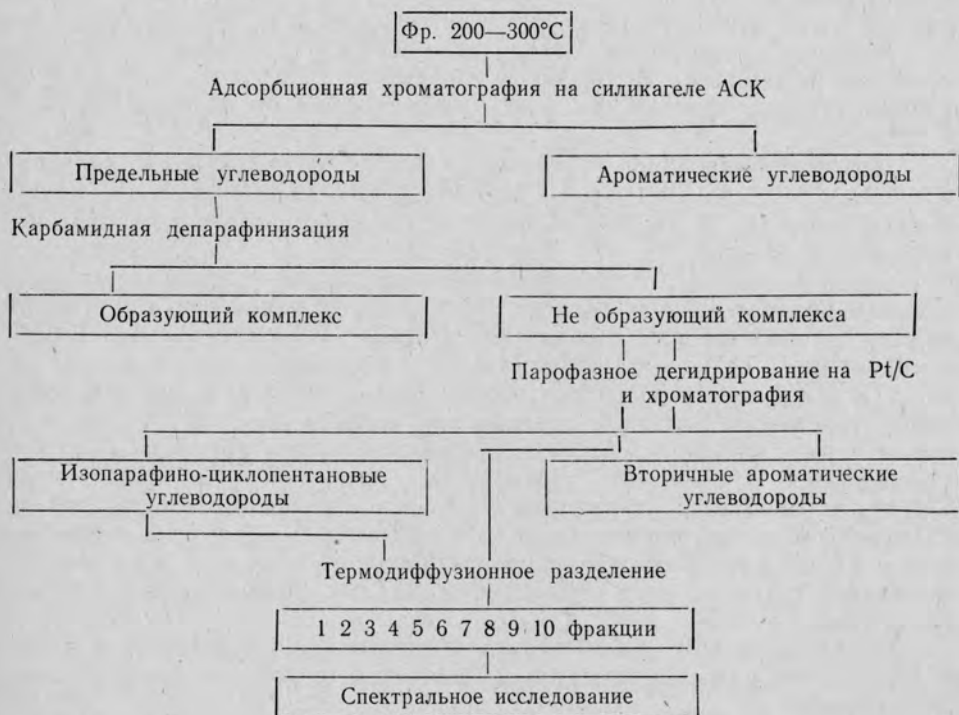
Я. КАРАЕВ  
 Х. Н. ЭРНЕПЕСОВ  
 А. Я. КУКЛИНСКИЙ  
 Р. А. ПУШКИНА  
 Д. Х. ЭРНЕПЕСОВ

## ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО СОСТАВА МАРТЫШИНСКОЙ НЕФТИ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Повышение информативности спектрального анализа позволяет более глубоко оценить потенциальные возможности нефти как сырья для получения нефтепродуктов заданных свойств.

В настоящей работе исследованы ИК-спектры смеси изопарафиновых и гибридных парафино-циклопарафиновых углеводородов, выделенных из фракции (200—300°C) нефти месторождения Мартыши по схеме 1.

Схема исследования



Выходы и состав этих углеводородов суммированы в табл. 1. Спектры были сняты на спектрофотометре UR-10, с призмой из хлористого натрия, фтористого лития и неразъемными кюветами с окошками из NaCl.

Таблица 1

Выходы и групповой состав фракции 200—300°C нефти месторождения Мартыши

Группы углеводородов	Выходы, % вес. на				
	нефть	фракцию	ПЦП	не обр. комплекса с карбамидом	дегидро-генизат
Исходная фракция 200—300°C	18,00	100	—	—	—
Парафино-циклопарафиновые (ПЦП)	15,66	87,0	100	—	—
Ароматические в том числе:	2,34	13,0	—	—	—
МЦА	1,53	8,5	—	—	—
БЦА	0,81	4,5	—	—	—
Образующий комплекс с карбамидом	0,38	2,4	2,8	—	—
Не образующий комплекса с карбамидом	15,28	84,56	97,2	100	—
Дегидрогенизат	12,95	82,70	95,06	97,80	100
а) изопарафины+циклопентаны	10,04	64,10	73,67	75,80	77,50
б) вторичная ароматика в том числе:	2,91	18,61	21,39	22,00	22,50
МЦА	1,10	7,03	8,08	8,31	8,50
БЦА	1,81	11,58	13,31	13,69	14,00

В ИК-спектре поглощения исследуемой фракции наиболее интенсивными являются полосы в области спектра 720—780, 1375—1460 и 2900—3000  $см^{-1}$ , относящиеся к колебаниям  $CH_2$ - и  $CH_3$ -групп.

Алифатические метиленовые группы расположены главным образом в длинной парафиновой цепи  $[CH_2]_{n>4}$ , о чем свидетельствует интенсивная полоса 721  $см^{-1}$ . На полосе 721  $см^{-1}$  наблюдается плечо 728  $см^{-1}$ , указывающее на присутствие цепей из трех метиленных групп.

Имеются и одиночные  $CH_2$ -группы (771  $см^{-1}$ ). Наряду с изолированными метильными группами (1380, 1155 и 1066  $см^{-1}$ ) присутствуют изопропильные разветвления, о чем можно судить по полосам 918, 1170 и 1370  $см^{-1}$ .

Для количественного определения метиленовых групп в структурах  $R-(CH_2)_{n>6}$ ;  $R-(CH_2)_{4-5}-CH_3$ ;  $R(CH_2)_3-CH_3$ ;  $R-(CH_2)_3-R'$ ;  $R-(CH_2)_2-CH_3$ ;  $R-(CH_2)-CH_3$  были выбраны соответствующие аналитические полосы: 721, 724, 728, 735, 739 и 771  $см^{-1}$  [1]. Содержание  $CH_2$ -групп в шести- и пятичленных кольцах рассчитывали по соответствующим полосам 2926 и 2957  $см^{-1}$  [2]. А содержание  $CH_3$ -групп определяли по полосам поглощения ( $см^{-1}$ ): 1378 — изолированные, 1368 — геминальные, 1171 — в изопропильных радикалах, 1156 — внутри цепей [3]. Изучение ИК-спектров поглощения изопарафино-циклопарафиновых углеводородов после термодиффузионного разделения показало, что от первой фракции к десятой содержание алифатических  $CH_2$ -групп уменьшается, причем это уменьшение происходит за счет числа  $CH_2$ -групп, входящих в длинные парафиновые цепи. Общее число  $CH_2$ -групп в первой фракции равно 5, в десятой — 2, то есть уменьшается в 2,5 раза по сравнению с первой фракцией (табл. 2). Содержание метильных групп во всех термодиффузионных фракциях меняется незначительно.

Наряду с резким уменьшением содержания алифатической части молекул в последних фракциях наблюдается соответствующий рост ее разветвленности.

Таблица 2

Структурно-групповой состав термодиффузионных фракций изопарафино-циклопарафиновых углеводородов нефти месторождения Мартыши (200—300°C)

Структура	Исходная	Термодиффузионные фракции									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Алифатическая часть	56,0	70,1	66,5	62,2	58,4	57,4	54,0	50,3	47,5	46,0	41,5
СН <sub>2</sub> -группы:	24,2	39,0	33,1	29,3	26,1	25,7	21,2	18,4	16,2	15,6	12,6
R—(СН <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> —СН <sub>3</sub>	18,5	31,6	26,2	22,7	19,2	19,7	16,2	14,0	11,6	11,2	9,1
n=1	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,7	1,8	1,8	1,7
n=2	3,8	3,7	4,3	4,0	4,0	4,1	3,7	3,2	3,0	2,8	2,6
n=3	2,8	3,7	3,3	2,9	2,8	2,7	3,0	2,7	1,8	1,6	1,9
n=4 ÷ 5	9,5	13,5	14,2	12,8	10,0	10,6	7,1	6,5	5,0	5,0	2,9
n > 6	0,6	9,3	2,7	1,9	0,6	0,6	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
R—(СН <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> —R'	5,7	7,4	6,9	6,6	6,9	6,0	5,0	4,4	4,5	4,4	3,5
СН <sub>3</sub> -группы:	26,8	24,9	27,2	27,0	26,8	26,3	27,6	27,1	27,0	26,4	25,7
изолированные:	18,3	18,5	19,3	19,1	18,9	18,8	18,6	18,1	18,0	17,3	17,3
а) на конце цепи	7,2	9,4	9,1	8,7	7,7	7,8	6,8	5,8	5,6	5,3	4,4
б) внутри цепи	4,3	5,4	3,3	5,0	4,9	4,7	4,5	4,1	3,7	3,6	2,8
в) в кольцах	6,7	3,7	4,9	5,4	6,3	6,3	7,3	8,3	8,7	8,4	10,1
геминальные:	8,5	6,4	7,9	7,9	7,9	7,4	9,0	9,0	9,0	9,0	8,3
а) изопропильн.	2,9	3,4	3,5	3,4	3,2	3,2	2,9	2,8	2,5	2,4	1,8
б) гем-диметил.	5,6	3,0	4,4	4,5	4,7	4,2	6,1	6,1	6,4	6,6	6,5
Всего в кольцах	12,3	6,7	9,4	9,9	11,0	10,5	13,4	14,4	15,2	15,1	16,6
Всего в цепях	14,5	18,2	17,9	17,1	15,8	15,7	14,3	12,7	11,8	11,3	9,0
СН-группы	5,0	6,1	6,1	5,8	5,6	5,4	5,2	4,8	4,3	4,0	3,2
Степень разветвления цепей	11,5	10,0	11,1	11,4	11,9	12,1	13,4	14,0	14,2	14,4	14,0
Циклическая часть	44,0	29,9	33,5	37,8	41,6	42,6	46,0	49,7	52,5	54,0	58,5
СН <sub>2</sub> -группы в кольцах	19,8	12,2	17,3	17,1	15,7	18,3	21,5	22,9	26,6	23,2	25,9
а) 5-членных	2,4	4,2	6,0	4,9	3,2	3,5	2,4	1,6	3,5	0,8	1,1
б) 6-членных	17,4	8,0	11,4	12,2	12,5	14,8	19,2	21,3	23,1	22,4	24,8

Для всех исследованных изопарафино-циклопентановых углеводородов фракций термодиффузионного разделения определено процентное содержание метильных и алифатических метиленных групп, содержание СН<sub>2</sub>-групп в длинных парафиновых цепях и в кольцах.

Результаты спектрального количественного анализа сведены в табл. 3. При рассмотрении характера распределения метильных групп по термодиффузионным фракциям от первой к десятой наблюдается следующая закономерность, то есть значительное их возрастание в кольцах сопровождается соответствующим уменьшением в цепях.

Углеводороды со структурой R—(СН<sub>2</sub>)<sub>3</sub>—R', относящиеся к изопреноидным звеньям, максимально (9,3%) сосредоточены в первой термодиффузионной фракции и минимально — в десятой (3,9%). Количественное содержание изопарафиновых углеводородов обычно уменьшается с ростом порядкового номера фракций. Как видно из табл. 2, мерой разветвленности цепей являлось содержание в них СН-групп, так как эти группы — наиболее активные центры.

На основании анализа ИК-спектров фракций термодиффузионного разделения изопарафино-циклопарафиновых углеводородов можно полагать, что цепи этих углеводородов в основном имеют разветвление в виде СН<sub>3</sub>-групп, которые связаны с третичными атомами как внутри цепей, так и в изопропильных окончаниях.

Важная особенность проведенного исследования заключается в дифференциальном определении циклопентановых и циклогексановых колец. Интенсивность полос этих структур в первой термодиффузионной фракции минимальна и постоянно увеличивается от первой фракции к десятой. Наиболее интенсивной становится полоса 970 см<sup>-1</sup>

Структурно-групповой состав термодиффузионных фракций  
 изопарафино-циклопентановых углеводородов нефти месторождения Мартыши  
 (200—300°C)

Структура	Термодиффузионные фракции										
	Исход- ная	1	2	3	4	5	6	7	8'	9	10
Алифатическая часть	61,7	76,5	73,4	68,4	65,3	63,3	57,4	54,1	50,9	48,6	43,3
СН <sub>2</sub> -группы:	28,7	43,8	39,1	35,2	31,4	29,3	23,2	21,3	18,3	15,6	13,1
R-(СН <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> -СН <sub>3</sub>	21,6	34,5	30,4	27,6	24,2	22,3	17,7	16,4	13,7	11,4	9,2
n=1	1,8	2,2	2,2	1,9	1,7	2,0	1,9	2,0	1,8	1,8	1,7
n=2	4,1	4,0	4,3	4,5	4,7	4,3	4,1	3,6	3,0	2,8	2,6
n=3	3,2	4,2	4,7	4,4	4,2	4,1	3,7	3,1	2,7	2,4	2,3
n=4÷5	7,8	12,7	10,0	11,1	10,4	8,7	6,8	6,6	6,2	4,4	2,6
n≥6	4,7	11,4	9,2	5,7	3,2	3,2	1,2	1,1	0,0	0,0	0,0
R-(СН <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> -R'	7,1	9,3	8,7	7,6	7,2	7,0	5,5	4,9	4,6	4,2	3,9
СН <sub>3</sub> -группы:	27,4	26,8	27,1	27,3	27,6	27,5	28,4	28,1	27,9	27,5	26,8
изолированные	19,2	19,4	19,3	19,2	19,2	19,0	18,9	18,7	18,5	18,3	18,7
а) на конце цепи	7,7	10,0	9,8	9,2	8,7	8,4	7,5	6,6	5,8	5,5	4,5
б) внутри цепей	4,6	6,4	6,0	5,8	5,2	5,4	4,9	4,5	4,0	3,4	2,9
в) в кольцах	6,9	3,0	3,5	4,2	5,3	5,2	6,5	7,6	8,7	9,4	10,7
геминальные	8,2	7,4	7,8	8,1	8,4	8,5	9,5	9,4	9,4	9,2	8,7
а) изопропильн.	3,6	4,6	4,6	4,4	4,2	4,1	3,5	3,1	2,8	2,5	2,0
б) гем-диметил.	4,6	2,8	3,2	3,7	4,2	4,4	6,0	6,3	6,6	6,7	6,7
Всего в кольцах	11,5	6,0	6,7	8,7	9,5	9,6	12,5	14,2	15,3	16,1	17,4
Всего в цепях	15,9	20,8	20,4	18,6	18,1	17,9	15,9	13,9	12,6	11,4	9,4
СН-группы	5,6	7,0	7,2	6,6	6,3	6,5	5,8	5,2	4,7	4,2	3,4
Степень разветвления цепей	11,6	10,3	11,2	11,4	11,7	12,5	13,5	13,8	14,0	14,1	14,2
Циклическая часть	38,3	23,5	26,6	31,6	34,7	36,7	42,6	45,9	49,1	51,4	56,7
СН <sub>2</sub> -группы в кольцах	16,6	9,3	9,5	10,6	13,5	12,3	20,0	22,8	25,0	24,5	23,9
а) 5-членных	5,1	6,1	5,7	5,2	4,2	4,1	4,8	5,4	6,0	3,3	1,9
б) 6-членных	11,5	3,2	3,8	5,4	9,4	8,2	15,2	17,4	19,0	21,2	22,0

в десятой фракции, что указывает на преобладание конденсированных полиметиленовых структур.

### Выводы

Исследованы ИК-спектры термодиффузионных метано-нафтенных фракций 200—300°C мартышинской нефти до и после дегидрирования. Определены содержание изопреноидных звеньев и степень разветвленности цепей в смеси изопарафиновых и гибридных парафино-циклопарафиновых углеводородов методом ИК-спектроскопии.

Важная особенность проведенного анализа заключается в дифференциальном определении циклопентановых и циклогексановых колец в смеси.

Институт химии  
АН Туркменской ССР

Дата поступления  
4 февраля 1977 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Куклинский А. Я., Пушкина Р. А. Изопреноидные звенья в цепях насыщенных нефтяных углеводородов.— «Нефтехимия», 1974, № 4, т. 14.
2. Куклинский А. Я., Пушкина Р. А., Зиминая К. И. Определение метиленовых групп в пяти- и шестичленных нафтенных кольцах по ИК-поглощению.— «Химия и технология топлив и масел», 1968, № 3.
3. Куклинский А. Я., Пушкина Р. А., Симеонов А. А., Зиминая К. И. Исследование изопарафиновых и нафтенных углеводородов дистиллята 450—470°C коробковской нефти.— «Химия и технология топлив и масел», 1975, № 6.

УДК 546.14+541.127.1

А. НУРЫЕВ  
А. САПАРОВ  
Р. А. БУРКУТОВА  
Л. Р. АГАДЖАНОВА

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ДЕСОРБЦИИ БРОМА ИЗ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ РАССОЛОВ

Извлечение брома из поверхностных рассолов залива Кара-Богаз-Гол предусматривается методом воздушной десорбции, где стадия десорбции является основным узлом технологического процесса.

Знание коэффициента десорбции (массопередачи) брома позволяет рассчитать параметры десорбционных аппаратов и выбрать наиболее эффективные условия процесса.

Для исследования коэффициента десорбции брома используют различные типы десорбционных аппаратов [1—5]. Настоящая работа посвящена выяснению зависимости скорости процесса десорбции брома от таких факторов, как степень минерализации рассола, температура и скорость потока газовой и жидкой фазы на пленочном элементе насадки.

Опыты проводились на установке, аналогичной описанной в работе [6]. Основные параметры установки: общая поверхность насадки с учетом поверхности проволоки —  $0,0176 \text{ м}^2$ ; параметр орошения, равный удвоенной ширине насадочного элемента, —  $0,04 \text{ м}$ ; внутренний диаметр колонны —  $0,028 \text{ м}$ , высота (расстояние между патрубками ввода и выхода газовой фазы) —  $0,625 \text{ м}$ ; свободный объем колонны —  $90,5\%$ .

Для исследования выбрали три рассола, состав которых приблизительно соответствовал поверхностным рассолам после зарегулирования стока каспийской воды в залив (табл. 1). Солевой состав менялся в основном по хлоридам натрия, калия, магния. Рассол I приготовлен на базе естественных поверхностных рассолов залива Кара-Богаз-Гол (ст. № 5). Рассол подкислялся серной кислотой до  $\text{pH}=1,5\text{—}2,0$ . Нужные концентрации брома получали введением в рассол элементарного брома марки «ч». Концентрация брома в рассоле варьировала в пределах  $0,4; 0,8; 1,2 \text{ кг/м}^3$ ; температура поступающего воздуха и рассола  $15,25$  и  $35^\circ\text{C}$ ; скорость газового потока —  $0,3; 0,5; 1,0 \text{ м/с}$ ; плотность орошения —  $8; 15; 23 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{м} \cdot \text{с}$  или  $30\text{—}110 \text{ кг/м} \cdot \text{ч}$ . Критерием воспроизводимости эксперимента служила сходимость материального баланса процесса. Баланс находили путем определения количества десорбированного брома в газовой фазе, которое соответствовало разности количества брома, содержащегося в пропущенном рассоле за время опыта, и количеством брома в отработанном рассоле.

Таблица 1

## Состав исходных рассолов

Рас-сол	Ионный состав, %					Σ ионов, %	Солевой состав, %				Σ солей, %
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>		NaCl	KCl	MgCl <sub>2</sub>	MgSO <sub>4</sub>	
I	5,19	0,48	2,89	12,42	5,94	26,88	13,20	0,88	5,36	7,44	26,88
II	2,42	0,24	5,33	15,10	5,94	29,04	6,16	0,46	14,98	7,44	29,04
III	0,71	1,74	6,47	18,62	4,06	31,62	1,81	3,32	21,41	5,09	31,62

В жидкой и газовой фазе количество брома определялось йодометрическим методом.

В изученном интервале (0,3—1,0 м/с) скорость газовой фазы не оказала существенного влияния на коэффициент десорбции брома из высокоминерализованных рассолов. Кривая зависимости коэффициента десорбции брома от газового потока имеет незначительный наклон к оси абсцисс.

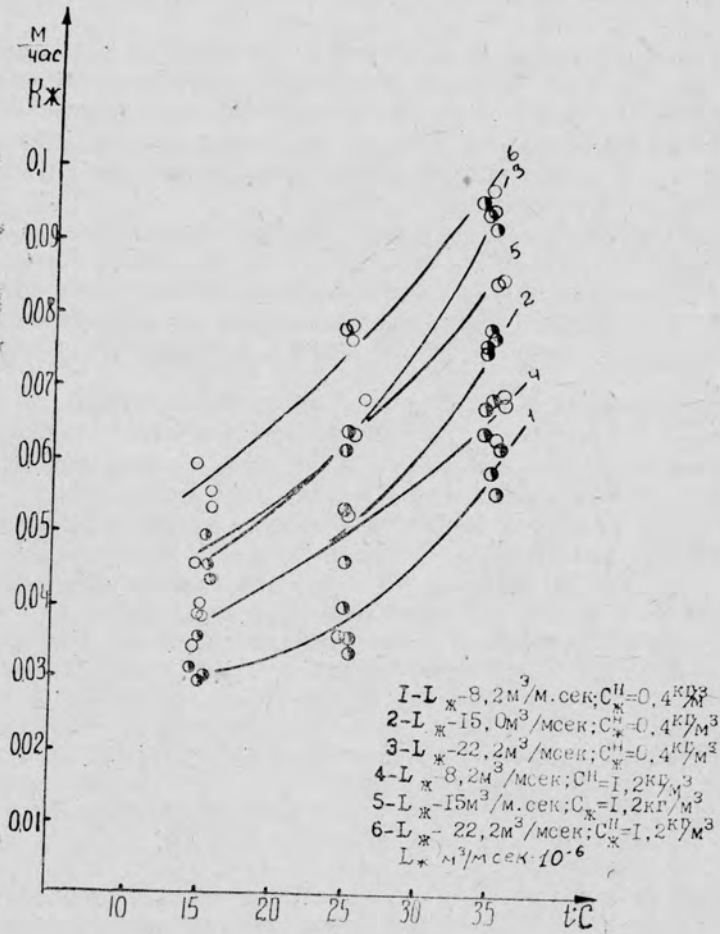


Рис. 1. Зависимость коэффициента десорбции брома по жидкой фазе от температуры при C<sub>ж</sub><sup>II</sup> = 0,4 и 1,2 кг/м³.

Полученные данные подтверждают ранее сделанные нами [4] и рядом других авторов [2, 6, 7] выводы о том, что в изученных интервалах параметров основное сопротивление при десорбции брома приходится на жидкую фазу и процесс можно интенсифицировать увеличением плотности орошения и повышением температуры. Исходя из этого следует вести расчет десорбционных аппаратов по жидкой фазе, что реально описывает происходящие процессы. Скорость десорбции выражается уравнением

$$\frac{G_{\text{ж}}}{F\tau} = K_{\text{ж}} \Delta C_{\text{ж}}$$

где  $G_{\text{ж}}$  — количество десорбированного брома;  $F$  — поверхность насадки;  $\tau$  — время опыта;  $K_{\text{ж}}$  — коэффициент десорбции;  $\Delta C_{\text{ж}}$  — движущая сила процесса.

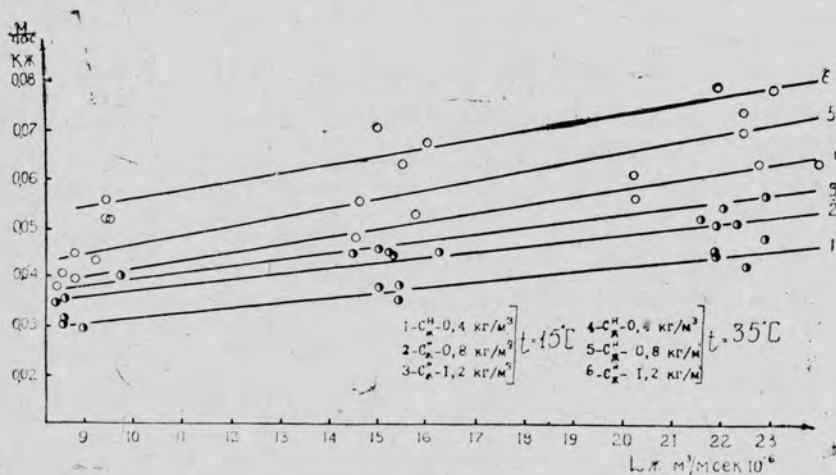


Рис. 2. Зависимость коэффициента десорбции брома по жидкой фазе от плотности орошения при 15 и  $35^\circ\text{C}$ .

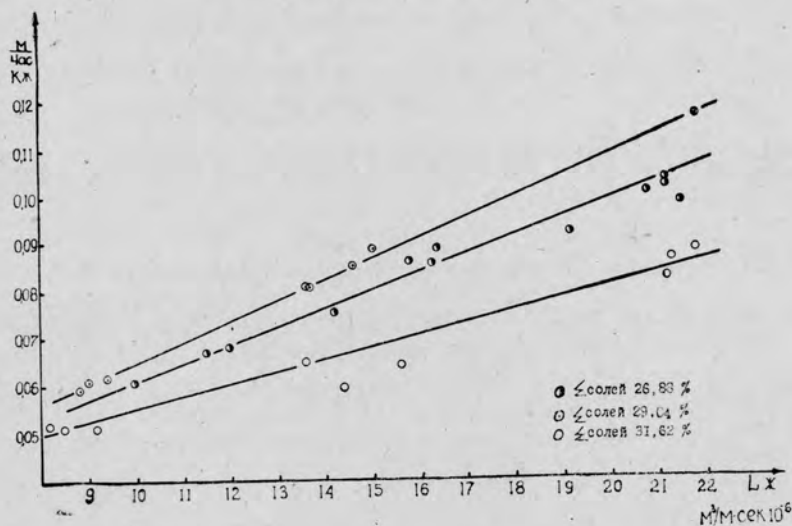


Рис. 3. Зависимость коэффициента десорбции брома по жидкой фазе от плотности орошения при  $35^\circ\text{C}$ ;  $C_{\text{ж}}^{\text{н}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$ .

На рис. 1, 2 представлена зависимость коэффициента и скорости десорбции брома из рассолов от температуры, плотности орошения и концентрации брома. Из рис. 3 видно, что на процесс значительное влияние оказывает степень минерализации рассолов, увеличение которой приводит к уменьшению величины коэффициента десорбции брома.

### Выводы

Основным интенсифицирующим фактором процесса десорбции брома из исследованных высокоминерализованных рассолов является увеличение концентрации брома, температуры и плотности орошения.

С увеличением степени минерализации значение коэффициента десорбции брома снижается.

Институт химии  
АН Туркменской ССР

Дата поступления  
21 декабря 1976 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ксензенко В. И., Стасиневич Д. С. Технология брома и йода. М., Госхимиздат, 1960.
2. Залкинд Г. Р., Соловьева Е. В. и др. Исследование процесса отдувки брома воздухом из водно-солевых систем. Сб.: Йодо-бромная промышленность. Симферополь, 1974.
3. Kolev N., Daraktschiev R. «Nene füllkörperart für stoffaustauschapparate».— Verfahrenstechnik, т. 7, Nr. 7 (1973). 214—218.
4. Ерофеева К. А., Нурыев А., Трапезникова Т. А. Кинетика десорбции брома из рассолов I класса (карабогазских рассолов).— «Известия АН ТССР, сер. физ.-техн., хим. и геол. наук», 1970, № 3.
5. Norman W. S., Sammak F. V. V. Frans. Chem. Eng. (1963). 41. № 3 p. 109—116.
6. Соловьева Е. В., Залкинд Г. Р., Закгейм А. Ю. Сравнительная эффективность плоскопараллельных насадок.— «Йодо-бромная промышленность», 1973, № 18.
7. Абдыев С., Ксензенко В. И., Закгейм А. Ю., Чемлева Т. А. Новые методы исследования кинетики десорбции брома из высокоминерализованных растворов.— «Известия АН ТССР, сер. физ.-техн., хим. и геол. наук», 1974, № 1.

Nuriyev A., A. Saparov, R. A. Burkutova, L. R. Agadzhanova

### RESEARCHES ON KINETICS OF BORON DESORTION FROM HIGH MINERALIZED BRINES

The paper deals with kinetics of boron desorption in application to a multiple use of Kara-Bogas-Gol brines. The main factors provoking boron desorption are discovered to be temperature and irrigation rate.

А. Нурыев, А. Сапаров, Р. А. Буркутова, Л. Р. Агажанова

### ЕКАРЫ ДЕРЕЖЕЛИ МИНЕРАЛЛАШАН ШОР СУВЛАРДАН БОЛАН БРОМУН ДЕСОРБЦИЯ ПРОЦЕСИНИҢ КИНЕТИКАСЫНЫҢ ДЕРҢЕЛИШИ

Макала Гарабогаз шор сувларының комплекслейин пейдаланылышында уланмага дегишли болан бром десорбциясының кинетикасына багышланяр.

Газ акымының тизлигиниң, температураның ве суварыш дыккызлыгының бром десорбциясының тизлигине эдйән тәсире дернеджи.

Бромуң десорбциялашмак процесине эсасы тәсир эдйән факторларың температура хем-де суварыш дыккызлыгыдыгы аныкланылды.

УДК 541.12.015

М. НУРЯГДЫЕВ  
Л. М. ПАСЕВЬЕВА  
О. Д. КАШКАРОВ

### РАСТВОРИМОСТЬ КАНИТА В СИСТЕМЕ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ХЛОРИДОВ И СУЛЬФАТОВ МАГНИЯ, КАЛИЯ И НАТРИЯ В ВОДЕ, В ОБЛАСТИ, НЕ НАСЫЩЕННОЙ ПО ГАЛИТУ, ПРИ 40°С

Исследование растворимости определяли изотермическим методом по ранее описанной методике [1].

Для определения кривизны поверхностей совместной кристаллизации каинита с карналлитом и сульфатом магния была исследована растворимость по восьми сечениям. От моновариантных линий каинит—карналлит и каинит—сульфат магния четырехкомпонентной системы к моновариантным линиям каинит—карналлит—галит и каинит—сульфат магния—галит пятикомпонентной системы.

Перемещение составов вдоль дивариантных линий достигалось внесением в растворы хлорида натрия.

Результаты анализа твердых и жидких фаз представлены в табл. 1, 2. Изменения, происходящие в растворах при добавлении хлористого натрия, показаны на рис. 1. Здесь изображены три проекции: основная (координаты  $Mg^{++}$  и  $2K'$ ), натронная (координаты  $Mg^{++}$  и  $2Na'$ ) и водная (координаты  $Mg^{++}$  и  $H_2O$ ).

Поверхность поля совместной кристаллизации каинит—карналлит исследовали по четырем дивариантным линиям (I—I', II—II', III—III', IV—IV').

При внесении в растворы четверной системы галита на основной проекции заметных изменений границ поля каинита не наблюдается. На натронной проекции поверхность поля каинит—карналлит представлена фигурой I—I'—IV'—IV. Наименьшее количество натрия содержится в инвариантном растворе, насыщенном каинитом, карналлитом и тетрагидратом сульфата магния.

На водной проекции от добавления галита к растворам четверной системы в сечениях I, II, III заметно увеличение концентрации воды, а в сечении IV концентрация воды от добавления галита не изменяется.

Кривизну поверхности полей кристаллизации каинита с тетрагидратом сульфата магния и сакинитом определяли по четырем сечениям. В сечениях V, VI при добавлении галита на основной проекции изменение границы поля каинита не наблюдается, а в сечениях VII и VIII заметно уменьшение поля каинита за счет перемещения границы вверх, то есть — увеличения поля сакинита.

На натронной проекции поверхность поля совместной кристаллизации каинит—сульфат магния изображена фигурой IV—IV'—VIII'—VIII.

Растворимость в системе  $K, Mg^{++}, Na // Cl, SO_4^{--}, H_2O$  при  $40^\circ C$  в поле, не насыщенном относительно галита на линии совместной кристаллизации каннит — карналлит

Номер сечения	Состав жидкой фазы (масс %)						Состав твердой фазы (масс %)						Твердая фаза			
	$MgSO_4$	$MgCl_2$	KCl	NaCl	$H_2O$	Точек	$Mg^{++}$	2K	2Na	$H_2O$	Индексы	$Mg^{++}$		2K	2Na	$H_2O$
I	1	1,86	26,14	4,38	—	67,66	86,68	8,80	—	1123,1	5,26	7,86	73,74	—	139,3	Каи, Кр, КСl
	2	1,56	25,83	4,19	0,47	67,95	87,36	8,63	1,23	1158,6	20,63	8,57	50,11	1,15	141,0	" "
	3	1,69	25,50	4,01	1,47	67,33	87,33	8,33	3,90	1159,0	11,81	4,39	24,05	41,00	256,6	Каи, Кр, КСl, Г
II	1	1,84	26,96	3,64	—	67,55	88,26	7,21	—	1108,5	5,00	13,80	38,05	—	194,5	Каи, Кр
	2	1,67	26,64	3,17	0,44	68,07	89,32	6,47	1,15	1149,0	32,27	10,98	26,81	0,15	198,3	" "
	3	1,44	26,30	2,97	1,16	68,13	90,01	6,23	3,11	1180,0	14,45	14,10	13,13	22,01	423,0	Каи, Кр, Г
III	1	2,17	28,15	2,21	—	67,48	90,53	4,27	—	1081,3	37,16	7,30	25,67	—	191,3	Каи, Кр
	2	2,35	28,55	2,02	0,41	66,67	90,62	3,85	0,99	1050,1	30,68	11,71	24,19	0,30	231,1	" "
	3	2,27	28,45	1,86	1,75	65,67	90,98	3,61	3,31	1043,3	23,03	10,90	17,75	18,08	272,3	Каи, Кр, Г
IV	1	2,77	29,33	1,19	—	66,85	91,44	2,21	—	1024,8	40,46	7,81	24,17	—	170,0	Каи, Тет, Кр
	2	2,78	29,14	1,33	0,37	66,37	91,16	2,47	0,88	1020,0	41,12	5,40	26,50	0,19	162,0	" "
	3	2,88	29,14	1,34	0,40	66,29	91,13	2,49	0,95	1016,6	26,28	16,28	19,13	0,21	288,6	" "
	4	2,76	28,94	1,31	0,54	66,45	91,15	2,45	1,28	1028,6	12,86	6,41	2,86	56,72	391,4	Каи, Тет, Кр, Г

Каи — каннит ( $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$ ), лео — леонит ( $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$ ), сак — сакнит ( $MgSO_4 \cdot 6H_2O$ ), тет — тетрагидрат ( $MgSO_4 \cdot 4H_2O$ ), кр — карналлит ( $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ), г — галит ( $NaCl$ ).

Растворимость в системе K<sub>2</sub>MgNaClSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O при 40°C в поле, не насыщенном относительно галита на линии совместной кристаллизации канинг — карналлит

Сечение	Номер точек	Состав жидких фаз, масс %					Индексы					Состав твердых фаз, масс %					Индексы					Твердая фаза
		MgSO <sub>4</sub>					H <sub>2</sub> O					MgSO <sub>4</sub>					H <sub>2</sub> O					
		MgCl <sub>2</sub>	KCl	NaCl	H <sub>2</sub> O	Mg	2K	2Na	H <sub>2</sub> O	MgSO <sub>4</sub>	MgCl <sub>2</sub>	KCl	NaCl	H <sub>2</sub> O	Mg	2K	2Na	H <sub>2</sub> O				
I	1	13,74	2,54	—	69,50	66,76	4,32	977,6	44,65	16,14	5,26	—	33,95	38,93	12,42	—	197,7	Каи, Лео, Сак				
	2	11,90	2,32	2,09	68,57	69,25	4,18	1022,8	41,94	5,65	11,67	0,11	40,84	41,50	13,00	1,12	270,0	" Сак, " Ас, Г				
	3	10,53	2,14	4,25	67,29	71,32	4,04	1051,9	33,50	2,51	15,59	16,15	32,24	44,31	15,21	20,10	262,0	Каи, Сак, " Ас, Г				
II	1	10,85	1,68	—	68,82	73,85	2,91	976,9	26,06	13,17	8,88	—	52,39	56,54	8,96	—	464,3	Каи, Сак				
	2	9,55	1,86	0,57	68,95	75,28	3,36	1030,1	36,85	8,25	7,65	2,84	44,41	52,36	6,84	3,23	327,0	"				
	3	8,96	2,16	0,85	68,58	75,82	3,94	1035,0	38,89	5,56	11,69	6,38	37,48	48,72	10,01	6,97	265,6	"				
	4	8,71	2,09	1,50	68,40	76,10	3,37	1049,7	29,66	5,63	17,00	16,32	31,39	45,88	17,12	20,97	261,5	Каи, Сак, Г				
III	1	8,29	1,00	—	67,08	80,75	1,71	942,5	38,52	7,53	19,31	—	34,64	46,90	15,22	—	234,0	Каи, Сак, Те				
	2	8,14	0,85	0,75	67,22	80,84	1,49	975,1	36,86	7,59	19,10	1,33	35,18	47,01	15,63	0,52	195,2	"				
	3	8,22	0,81	1,00	66,99	80,77	1,41	969,7	34,55	8,50	18,57	3,66	34,72	47,77	15,80	3,97	243,8	"				
	4	7,34	0,94	1,04	67,65	81,23	1,68	999,6	42,03	3,74	17,00	3,48	33,75	45,61	13,39	3,50	220,0	"				
	5	6,83	1,00	1,42	67,17	82,76	1,82	1043,3	29,40	7,93	18,41	19,17	29,09	47,11	17,76	23,60	200,0	Каи, Сак, " Тет, Г				
IV	1	6,40	0,61	—	66,90	85,08	1,07	967,0	48,84	3,24	19,21	—	34,71	47,08	9,49	—	205,2	Каи, Тет				
	2	5,91	0,38	0,17	66,92	86,40	0,68	977,0	45,56	2,97	19,72	0,21	31,53	44,51	14,37	0,20	190,0	"				
	3	5,96	0,43	0,39	66,85	86,15	0,77	980,9	38,97	9,05	4,76	4,55	42,67	54,07	4,12	5,02	305,8	"				
	4	5,75	0,40	0,54	66,73	86,61	0,72	981,7	38,91	6,99	12,45	5,34	33,30	49,37	10,39	5,69	230,0	"				
	5	5,61	0,55	0,70	66,83	86,52	0,99	994,0	31,50	7,99	8,84	17,06	34,59	51,84	8,90	21,89	288,0	Каи, " Тет, Г				
V	1	2,77	1,19	0,37	66,85	91,44	2,21	1024,8	40,46	7,81	24,17	—	27,36	45,63	17,69	—	170,0	Каи, Тет, Кр				
	2	2,78	1,33	0,37	66,37	91,16	2,47	1020,0	41,12	5,40	26,50	0,19	26,78	43,41	19,37	0,21	162,0	"				
	3	2,78	1,34	0,40	66,29	91,13	2,49	1016,6	26,28	16,28	19,13	0,21	38,27	52,90	17,43	0,23	288,6	"				
	4	2,76	1,31	0,54	66,45	91,15	2,45	1028,6	12,85	6,41	2,86	56,72	21,16	58,01	6,40	161,6	Каи, Тет, Кр, Г					

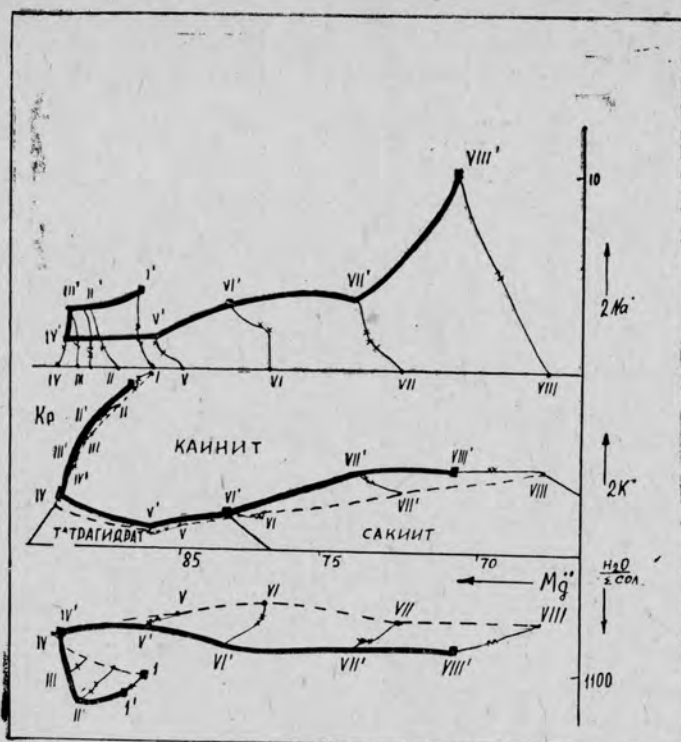


Рис. 1. Поверхности совместной кристаллизации каинита с карналлитом, сакинитом и тетрагидратом сульфата магния.

Индекс натрия уменьшается от инвариантного раствора, насыщенного каинитом, сакинитом, астраханитом и галитом (сечение VIII), к раствору, насыщенному каинитом, карналлитом, тетрагидратом сульфата магния и галитом (сечение IV).

На водной проекции от добавления галита к растворам четверной системы в сечениях V—VIII концентрация воды увеличивается.

### Выводы

Определена кривизна поверхностей поля совместной кристаллизации каинита с карналлитом, сакинитом и тетрагидратом сульфата магния по восьми разрезам. Установлены составы восьми инвариантных, пятнадцати моновариантных и семи дивариантных растворов, а также составы твердых фаз, соответствующих этим растворам. При введении в систему хлорида натрия водность в растворах увеличивается.

При переходе растворов от четверной системы к пятерной граница поля каинит—сульфат магния смещается во внутрь поля каинита за счет увеличения полей кристаллизации сакинита и тетрагидрата сульфата магния.

Институт химии  
АН Туркменской ССР

Дата поступления  
18 апреля 1977 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кашкаров О. Д., Пасевьева Л. М., Нуриягдыев М. Растворы, насыщенные относительно каинита в системе, состоящей из сульфатов и хлоридов магния, калия и натрия в воде, при 55°C. — «Известия АН СССР, сер. физ.-техн., хим. и геол. наук», 1975, № 4.

УДК 556.3+553.98(575.4—14)

А. КУРБАНМУРАДОВ

### ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ И НАПРАВЛЕНИЕ НЕФТЕПОИСКОВЫХ РАБОТ В ЮГО-ЗАПАДНОМ ТУРКМЕНИСТАНЕ

Исследованиями ряда авторов [1, 2, 3] установлено, что образование плиоценовых отложений и формирование складок в Юго-Западном Туркменистане сопровождалось проявлениями разрывных нарушений и грязевого вулканизма. Детальное изучение гидрогеологической и гидрогеохимической обстановки зон разрывных нарушений и грязевого вулканизма, а также исследование закономерностей распределения подземных вод и залежей нефти и газа показало наличие в осадочном комплексе мезокайнозой вертикальных перетоков флюидов с последующим распределением их в отложениях плиоценового возраста [4, 5].

Установлено два типа разгрузки — глубинная (скрытая) и поверхностная (открытая). Первая способствует в основном концентрации флюидов и играет решающую роль в формировании залежей нефти и газа, разгрузка же второго типа часто приводит к разрушению таких. Поэтому наличие очагов скрытой разгрузки подземных вод, связанной с разрывными нарушениями, древними и ныне действующими грязевыми вулканами, — один из важных гидрогеологических критериев нефтегазоносности плиоценовых отложений исследуемого региона.

К числу благоприятных региональных критериев нефтегазоносности, вытекающих из общего гидрогеологического строения региона, относятся: преобладание гидрогеологической закрытости недр, особенно после скрытой разгрузки флюидов и формирования залежей нефти и газа в водоносных горизонтах; присутствие в разрезе плиоценовых отложений водоносных горизонтов и комплексов с хорошими коллекторскими свойствами, залегающими между внутренними водоупорами в зоне скрытой разгрузки.

Наличие древних очагов скрытой разгрузки подземных вод и внутренней межпластовой миграции углеводородов в пределах или вблизи структуры на фоне общей закрытости территории — важный палеогидрогеологический критерий нефтегазоносности.

Обнаружение в той или иной части разреза плиоценовых отложений высоконапорных термальных вод гидрокарбонатнонатриевого типа с повышенным содержанием йода, нафтеновых кислот, органического углерода, фенолов и бензола свидетельствует о процессах скрытой раз-

грузки флюидов на современном этапе геологического развития территории. Поэтому выявление различного рода аномалий (гидродинамических, геотермических, гидрохимических) имеет для Юго-Западного Туркменистана исключительно важное нефтепоисковое значение.

Комплексное изучение гидрогеологических, геотермических, гидрохимических условий, компонентного и газового состава подземных вод позволило для плиоценовых отложений Юго-Западного Туркменистана наметить еще ряд критериев нефтегазоносности.

1. Совместное нахождение в пределах одной складки нескольких типов вод различной минерализации. Для крупных скоплений нефти и газа, помимо других гидрохимических типов, характерно широкое распространение высоконапорных термальных вод гидрокарбонатнонатриевого типа хлориднонатриевого состава.

2. Наличие в изучаемых отложениях отдельных пятен маломинерализованных вод гидрокарбонатнонатриевого типа на общем фоне распространения жестких хлоркальциевых вод и наоборот, приуроченность высокоминерализованных вод хлоркальциевого типа к отдельным небольшим блокам, ограниченным разрывными нарушениями, экранирующими эти воды от интенсивной открытой разгрузки высокотермальных напорных вод гидрокарбонатнонатриевого типа.

3. Повышенное содержание йода (свыше 25 мг-л) и минимальные количества брома и аммония (бром не более 50—100, аммоний — 5—10 мг-л). Почти во всех случаях участки распространения максимальной концентрации йода, небольших содержаний брома и аммония совпадают с участками распространения максимальных нефтегазовых скоплений; зоны хлоркальциевых вод с высокой концентрацией брома и аммония не нефтеносны или характеризуются наличием небольших скоплений углеводородов (Боядаг, Сыртланли).

4. Наличие органического углерода (свыше 10—15 мг-л) и нефтяных кислот (свыше 50—100 мг-л).

5. Присутствие нефтяных углеводородов, нейтральных и кислых смол, фенолов и бензола с заметным увеличением их содержания в водах по мере приближения к очагам разгрузки флюидов и залежам нефти и газа.

6. Высокое содержание радиогенного аргона, концентрация которого увеличивается в водах крупных нефтяных месторождений (Челекен, Котуртеле, Небитдаг), приуроченных к участкам скрытой разгрузки флюидов и уменьшается за контуром нефтегазоносности складок.

7. Закономерное уменьшение удельных весов и увеличение отношения метановых углеводородов к нафтеновым в определенном направлении по площади, свидетельствующее о близости в этом направлении зоны скрытой разгрузки вод гидрокарбонатнонатриевого типа и легкой нефти метанового типа.

Как известно, сероводород также является характерным газом для нефтегазоносных областей. Присутствие его в подземных водах связано, главным образом, с восстановлением сульфатов и относится к благоприятным показателям нефтегазоносности. Однако большие концентрации его наблюдаются также в водах, где нефтяные залежи интенсивно окисляются. Во всех районах исследованной области сероводородный газ был связан с поверхностными естественными выходами нефтей, углеводородных газов и высокоминерализованных, преимущественно хлоркальциевых вод. Наличие этого газа в хлоркальциевых водах Юго-Западного Туркменистана связано, по-видимому, с разрушением нефти в верхних горизонтах и указывает на неблагоприятную обстановку сохранения углеводородных скоплений.

При оценке отдельных критериев надо обязательно учитывать их в комплексе с другими показателями. Все указанные нефтепоисковые по-

казатели взаимосвязаны и взаимообусловлены. Они дополняют друг друга, и поэтому только комплексное использование всех выявленных критериев даст необходимые результаты для поисков и обнаружения нефтяных и газовых месторождений.

Проведенные исследования позволяют предварительно утверждать, что при скрытой разгрузке вод миграция углеводородов происходит совместно с водами гидрокарбонатнонатриевого типа. Нефть и газ как более легкие компоненты единой флюидалной системы выделяются из зоны скрытой разгрузки и скапливаются выше и вокруг этой зоны, образуя самостоятельные залежи.

Глубина поступления флюидов пока недостаточно ясна. Однако по многочисленным данным, разгружающиеся нефть, газ и вода связаны с отложениями древнее красноцветной толщи. Поэтому наличие на изучаемой площади глубоких нарушений, пересекающих неогеновые и нижележащие отложения, является одним из основных условий формирования нефтяных и газовых залежей.

При оценке роли разрывных нарушений не следует также забывать о том, что эти нарушения — не во всех случаях проводники флюидов. Последние в ряде участков закрыты различными кальцитовыми, гипсовыми и другими гидрохимическими отложениями. Установлено, что в восточных периферийных частях исследуемой области (восточнее меридиана Боядага) на современном этапе гидрогеологического развития не происходит глубинной скрытой разгрузки флюидов. Нефть и газ, проникшие ранее в плиоценовые отложения указанных районов, в настоящее время разрушаются за счет выходов (открытой разгрузки) их на поверхность земли и воздействием других внешних факторов в условиях раскрытых складок. Поэтому основные перспективные районы, связанные со скрытой разгрузкой подземных флюидов (поступление нефти, газа и воды) и другими благоприятными гидрогеологическими условиями для концентрации нефтегазовых скоплений в плиоценовых отложениях, располагаются в основном к западу от меридиана Боядага, куда и приурочены ныне известные многопластовые нефтяные и нефтегазовые месторождения (Челекен, Котур-Тепе, Барсагельмес, Небит-Даг, Кумдаг и др.). В последние годы в пределах указанной территории обнаружены новые нефтегазовые месторождения, связанные с очагами сравнительно слабой скрытой разгрузки флюидов (Куйджик, Гограньдаг, Бугдайлы, Чикишляр и др.). Нефтегазовые скопления здесь связаны с отложениями нижнего красноцвета и сконцентрированы в интервалах глубин 2000 (Гограньдаг) — 3600 м (Чикишляр).

Анализ фактических данных по тектоническому строению, нефтегазоносности, гидрогеологии и гидрохимии показал, что на всех перечисленных новых месторождениях и разведочных площадях по нижнему красноцвету отмечается слабое проявление скрытой разгрузки углеводородов и вод гидрокарбонатнонатриевого типа с минерализацией порядка 20—40 г-л. Проявление скрытой разгрузки флюидов в пределах верхнего красноцвета указанных структур не отмечается. По основным гидрогеологическим показателям (минерализация, состав и типы вод, характер проявления скрытой разгрузки, температурные и гидродинамические условия), верхний красноцвет, отложения ачкагыльского и абшеронского ярусов в отношении обнаружения крупных скоплений нефти и газа в этих структурах малоперспективны.

Слабое проявление скрытой разгрузки флюидов на отдельных участках западного и северо-западного крыльев Гограньдаг-Окаремской зоны поднятий и другие гидрогеологические показатели свидетельствуют о возможности скопления углеводородов на небольшом удалении от складок Окарем, Камышлджа и других в погруженной зоне, окаймляющей эти поднятия с севера, северо-запада и запада. Рекомендуются уси-

лечь в пределах рассмотренной зоны поисковые геофизические исследования и проведение буровых работ для выявления ловушек структурного и тектонически экранированного типов с залежами нефти и особенно газа.

Дальнейшей перспективой характеризуется Прибалханская зона поднятий, где достаточно хорошо изучены гидрогеологические условия разгрузки подземных флюидов, их характер и интенсивность проявления в плиоценовых отложениях, с которыми и связаны основные многопластовые месторождения нефти и газа Юго-Западной Туркмении. Не исключена возможность обнаружения здесь новых ловушек с залежами нефти и газа (в основном западнее Монжуклы) промышленного значения.

Благоприятными гидрогеологическими условиями характеризуется прибортовая зона Кизылкумского прогиба, перспективы нефтегазоносности отдельных ее участков отмечены также ранее [5, 6, 7].

Особенно большой интерес для открытия крупных скоплений нефти и газа по данным гидрогеологических исследований представляют участки, пораженные зонами крупных разрывных нарушений и уходящими от региональных нарушений Прибалханской зоны на юг и юго-восток по направлению к Кизылкумскому прогибу и расположенные на юге и юго-востоке от Челекенской, Котуртепинской, Барсагельмесской и Небитдагской складок. Тщательный анализ гидрогеологических и гидрохимических материалов, а также изучение характера проявлений разрывных нарушений и закономерности размещения скоплений углеводородов показали, что помимо субширотной Прибалханской зоны разрывных нарушений в пределах указанных структур имеются другие региональные нарушения субмеридионального (юго-восточного) направления, которые поражают структуры диагонально и уходят в направлении Кизылкумского прогиба. Последние на Челекене проходят через грязевый вулкан Алигул, на Котуртепе прослеживаются между западным и восточным его участками, а на Небитдаге подобные нарушения отделяют центральный участок Небитдага от его западного участка.

Наличие южнее Прибалханских структур зоны погребенных поднятий, параллельной Прибалханской и пораженных указанными субмеридиональными нарушениями в пределах северного склона Кизылкумского прогиба, ожидается по общим геологическим соображениям и закономерностям.

Перспективы нефтегазоносности упомянутых (предполагаемых) поднятий обосновываются по данным комплекса гидрогеологических показателей и закономерностей (геолого-гидрогеологическая закрытость, зональность вод, увеличение количества достоверных критериев в направлении рекомендуемых площадей).

## Выводы

Охарактеризованы основные гидрогеологические критерии нефтегазоносности плиоценовых отложений Юго-Западного Туркменистана.

Дана рекомендация по дальнейшему направлению нефтепоисковых работ Юго-Западного Туркменистана.

Определены наиболее благоприятные в отношении нефтегазовых скоплений территории в пределах северного борта Кизылкумского прогиба.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Годин Ю. Н. Глубинная тектоника Прикаспийской низменности.—В кн.: Геология СССР, т. 22. Туркменская ССР. М., Гостехиздат, 1957.
2. Одеков О. А. Геологическое строение и нефтегазоносность Котур-Тепе. Ашхабад, «Ылым», 1968.
3. Эсенов М. Э., Бекмурадов Н., Одеков О. А., Курбанмурадов А. и др. Закономерности размещения залежей нефти и газа в Юго-Западной Туркмении. М., «Недра», 1970.
4. Курбанмурадов А. Глубокие воды Юго-Западного Туркменистана и перспективы нефтегазоносности. Ашхабад, изд-во АН ТССР, 1963.
5. Курбанмурадов А. Гидрогеологические закономерности и факторы формирования нефтегазовых месторождений Юго-Западной Туркмении.— Автореф. докт. дисс. Баку, 1971.
6. Одеков О. А. Орогенные структуры Каспийско-Копетдагского региона. Ашхабад, «Ылым», 1971.
7. Тегелеков К. Геолого-геохимические особенности плиоценовых отложений Юго-Западного Туркменистана в связи с нефтегазоносностью.— Автореф. докт. дисс., Баку, 1971.

А. Гурбанмурадов

### ГУНОРТА-ГУНБАТАР ТУРКМЕНИСТАНЫҢ ПЛИОЦЕН ЧӨКҮНДИЛЕРИНИҢ НЕБИТ-ГАЗЛЫЛЫГЫНЫ ИҮЗЕ ЧЫКАРМАГЫҢ КРИТЕРИЛЕРИ БАБАТДАКЫ ГИДРОГЕОЛОГИК ДЕРҢЕВЛЕРИҢ НЕТИЖЕЛЕРИ БАРАДА

Комплекслейин гидрогеологик, гидрохимии, палеогидрогеологик ве бейлеки геологик дерневлериң нетижесинде йүзе чыкарылан плиоцен чөкүндилериң небит-газлылыгының эсасы гидрогеологик критерилери хәсиетлендирилди ве бу территорияның небит-газлылык перспективасына умумы баха берилйәр.

## О МЕТОДИКЕ ПОИСКОВ НЕАНТИКЛИНАЛЬНЫХ ЛОВУШЕК НЕФТИ И ГАЗА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ТУРКМЕНИИ

Результаты исследований последних лет убедительно доказывают, что дальнейший заметный прирост запасов нефти и газа в Центральной Туркмении возможен только за счет ловушек неантиклинального типа. Вопросам методики поисков и оценки ловушек этого типа уделяется большое внимание как в нашей стране, так и за рубежом [1, 2].

Неантиклинальные ловушки в Центральной Туркмении стали всесторонне изучаться в последние годы (Ходжакулиев Я. А., Хуснутдинов З. Б., Таимов К.-Д., 1975; Хуснутдинов З. Б. и др., 1976, 1977) и приурочены в основном к образованиям верхней юры и верхнего апта. Среди них преобладают ловушки, обнаруженные в полуоткрытых и полужакрытых природных резервуарах (Хуснутдинов З. Б., Таимов К.-Д., 1973). Размеры ловушек изменяются в довольно значительном интервале: от  $20 \times 2,5$  до  $105 \times 12$  км<sup>2</sup>. Потенциальные запасы углеводородов в них, судя по предварительным подсчетам, могут достигать 10—15 млрд. м<sup>3</sup> и более.

Проведенный тематическими исследованиями анализ палеогеологических обстановок позволяет считать, что ловушки этого типа образовались в результате неоднократной частой смены условий осадконакопления, когда морской режим сменялся мелководно-лагунным и континентальным с последующими перерывами и размывами. Это наиболее характерно для верхнеюрского и нижнемелового времени. Область неустойчивого осадконакопления площадью около  $125 \times 100$  км<sup>2</sup> охватывает восточный, юго-западный и юго-восточный склоны Центрально-Каракумского свода (Хуснутдинов З. Б., 1972).

В настоящее время гидрогеологические и гидрогеохимические условия мезозойских отложений Центральной Туркмении изучены крайне неравномерно. Так, наряду со структурами, где получен достаточно полный материал о водах и газах продуктивной части разреза, имеются многочисленные скважины, опробование которых проведено не на должном уровне. Кроме того, неоднороден круг определяемых показателей, что, естественно, затрудняет обобщение полученных материалов и конкретизацию выводов. В частности, гидродинамические схемы по разным толщам пород нередко несут в себе заметные элементы условности. Поэтому несмотря на бесспорную целесообразность глубокой разноплановой оценки гидрогеологических, гидрогеохимических и гидрогеотермиче-

ских условий в естественных границах неантиклинальных ловушек, в настоящее время можно сделать лишь первый шаг в этом направлении, приближенно оценив только гидрогеохимическую обстановку. Представляется возможным проанализировать величину минерализации подземных вод, концентрацию основных ионов, микроэлементов, содержание водорастворенного органического вещества, а также свободных и водорастворенных газов.

Для Центральной Туркмении установлено, что степень закрытости природного резервуара, отражающая возможности проникновения флюидов в ловушку, заметно влияет на состав водорастворенных газов по проявлениям гомологов метана. В рассмотренных природных резервуарах наблюдается следующая зависимость: чем выше степень закрытости, тем меньше содержание углеводородных компонентов и тем больше азота, аргона и гелия.

Вместе с тем отмечено высокое содержание азота и кислых компонентов в составе газов имеющихся экранированных залежей [7].

Изложенное, очевидно, обуславливается уменьшением гидродинамической активности в естественных границах неантиклинальных ловушек, приводящим к возрастанию степени метаморфизма пластовых вод и связанных с ней изменений химического состава газов. Ослабление гидродинамической активности подземных вод вызвано увеличением степени закрытости природных резервуаров, то есть с другой стороны, — уменьшением возможностей проникновения флюидов в ловушки.

Методику работ поискового этапа неантиклинальных ловушек нефти и газа, как и антиклинальных, представляется возможным с учетом некоторых особенностей так же подразделить на три стадии, постепенно повышая детальность исследований. При этом нет необходимости в специальных геологоразведочных работах, то есть выявление и подготовку площадей под поисковое бурение можно проводить на основе последовательной стадийности исследований общей методики поисков нефти и газа.

Целью стадии региональных геолого-геофизических исследований должна быть разработка методики изучения зон выклинивания и структурно-фациальной зональности с определением геолого-геофизических признаков объектов. В этой связи отрадно отметить, что благодаря разработанной методике сопоставления структурных планов (Хуснутдинов З. Б., 1972) стало возможным выяснение характера изменения мощностей литолого-стратиграфических комплексов в районах, не изученных глубоким бурением, но где проведены значительные геофизические исследования (КМПВ, МОВ, МОГТ). Представляется также, что надежность исследований существенно повысится при дальнейшем совершенствовании методики сейсморазведочных работ, первые результаты которых в этом отношении обнадеживают (материалы Н. И. Львова и др., 1971).

На стадии выявления и подготовки площадей к поисковому бурению, когда выполняются детальные площадные сейсмические работы МОГТ, структурное бурение, скважинные исследования, необходимо изучение доли проницаемых пластов и их количественного распределения в разрезе нефтегазоводоупорных (флюидоупорных) толщ, прослеживание возможно продуктивных пластов и составление карт их распространения, а также построение палеоструктурных и палеогеологических карт. Последние служат целям определения степени вероятности замкнутой ловушки и ее примерных размеров. Эта работа должна быть проделана в комплексе с переинтерпретацией результатов ранее проведенных геофизических работ (КМПВ, МОВ, МОГТ и др.) с дополнительным изучением каменного материала, во вновь пробуренных параметрических скважинах и анализах каротажа.

Непосредственно перед стадией поисков залежей нефти и газа неантиклинального типа следует провести детальное изучение вида природного резервуара и его нефтегазоносности посредством комплексирования результатов бурения, опробования и детальной сейсморазведки. Составленные на этой стадии уточненные карты помогут выделить наиболее перспективные участки или площади, наметить форму ловушки и ее размеры на основании комплексного анализа скважинной геофизики и гидрогеохимического опробования.

Представляется, что методика поисков неантиклинальных ловушек, разработанная для Центральной Туркмении, может быть использована при исследовании и других нефтегазоносных областях Туранской плиты.

ТуркменНИГРИ

Дата поступления  
21 сентября 1977 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Литологические и структурно-литологические ловушки нефти и газа.— Тр. ВНИГНИ, 1975, вып. 173.
2. Габриэлянц Г. А. и др. Анализ классификаций неантиклинальных ловушек нефти и газа. — Обзор «Геология, методы поисков и разведки месторождений нефти и газа». М., 1976.
3. Хуснутдинов З. Б. Вопросы поисков литолого-стратиграфических ловушек газа в Центральной Туркмении. — В кн.: Проблемы геологии полезных ископаемых и формирования комплексных методов исследований. Ашхабад, «Ылым», 1972.
4. Ходжакулиев Я. А., Хуснутдинов З. Б., Таимов К.-Д. Гидрогеохимические показатели нефтегазоносных комплексов Центральной Туркмении.— В сб.: Геология и нефтегазоносность Туркменистана, вып. 2. Ашхабад, 1975.
5. Хуснутдинов З. Б., Таимов К.-Д. и др. Влияние гидрогеологических аномалий на нефтегазоносность Центрального Туркменистана. — «Известия АН ТССР, сер. физ.-техн., хим. и геол. наук», 1976, № 6.
6. Хуснутдинов З. Б., Таимов К.-Д. и др. Исследование геотермических полей Центральной Туркмении в нефтегазопоскоковых целях.— «Известия АН ТССР, сер. физ.-техн., хим. и геол. наук», 1977, № 3.
7. Хуснутдинов З. Б., Таимов К.-Д. О возможности открытия экранированных типов залежей газа в Центральной Туркмении на основе изучения гидрогеохимических показателей.— «Геология и разведка газовых и газоконденсатных месторождений», 1973, № 8.
8. Хуснутдинов З. Б. К методике прогноза зон выклинивания нефтегазоносных комплексов по платформенной части Туркмении. — В кн.: Проблемы геологии полезных ископаемых и формирования комплексных методов исследований. Ашхабад, «Ылым», 1972.

К. Д. Таймов

#### МЕРКЕЗИ ТУРКМЕНИСТАНДАКЫ НЕАНТИКЛИНАЛ НЕБИТ ВЕ ГАЗ ГАРЫМЛАРЫНЫҢ ГӨЗЛЕГ МЕТОДИКАСЫ ХАКЫНДА

Иште экранлашдырылан небит ве газ гарымларының гөзленишиниң методик усулларының ишлениш меселеси гозгалар. Меркези Туркменистаның мысалында геологик гөзлеги-ишлериң гөзлейиш этапы үчин, тизден-тиз өнүмчилиге ве ылыма орнашдырылмагы зерур болан геологик, геофизики ве гидрогеохимики дерневлериң комплекси теклип эдилйэр. Оларың соккусы Туркменистаның бейлеки небитли газлы ерлериңде ишлериң илкинжи нобатдакы объектлериңи сечип алмак, бар болан методик усуллары камиллешдирмек, шейле-де тазелериңи ишлэп тайярламак ялы максатлар үчин зерурдыр.

K. D. Taimov

#### ON METHODS OF EXPLORATION OF NON-ANTICLINAL TRAPS FOR OIL AND GAS IN THE CENTRAL TURKMENISTAN

The paper deals with elaboration of ways for exploration of screened traps for oil and gas. It was proposed for such exploration the variety of geological, geophysical and hydrochemical investigations that needed in rapid putting it into practice.

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.316.925

С. Суханов  
П. А. Назаров  
Д. Ялкапов

### ОБ ИЗМЕРЕНИИ ТОКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ХОЛЛА

Известные устройства с использованием преобразователя Холла для измерения как сильных [1], так и слабых [2] токов основаны на измерении магнитных полей токов и содержат магнитопроводы с парами симметричных воздушных зазоров, между которыми находится ток. При этом преобразователи Холла подпитываются от постоянного источника и позволяют измерять как постоянные токи, так и токи высокой частоты без задержки.

Создание высокочувствительных быстродействующих селективных защит от замыканий фазы на землю в сетях с изолированной нейтралью — одно из важных мероприятий, направленных на обеспечение требований электробезопасности при эксплуатации электрооборудования специфических производств [3]. Вот почему измерение тока нулевой последовательности представляет большой интерес. Для этого используют различные фильтры и трансформаторы тока нулевой последовательности типов ТНП, ТЗЛ, ТЗЛМ. Однако значительная величина тока небаланса и низкая чувствительность этих устройств к токам нулевой последовательности ограничивают возможности повышения чувствительности защиты к токам повреждения менее  $0,5 \div 2,0A$ .

Способ отстройки защит от тока небаланса путем подмагничивания магнитопровода в моменты замыкания фазы на землю [4] повышает инерционность и фазовые искажения фильтров тока нулевой последовательности. Эти недостатки токоизмерительной части защиты отрицательно влияют на характеристики защиты. При измерении тока нулевой последовательности с использованием преобразователя Холла, выполняющего функцию токоизмерительной части защиты, он подпитывается от источника напряжения нулевой последовательности (см. рис. 1а, б). На рис. 1а показано расположение преобразователей Холла в воздушных зазорах магнитопровода ( $M$ ) относительно трехфазного тока, протекающего по трем ( $A, B, C$ ) жилам высоковольтного кабеля. На рис. 1б показан принцип измерения тока нулевой последовательности. Здесь преобразователь Холла ( $ПХ$ ) подключен к трансформатору напряжения нулевой последовательности ( $Тр$ ). При замыкании фазы трехфазной системы ( $S$ ) в какой-либо точке, например в точке ( $K$ ), в присоединениях возникают ток ( $I_0$ ) и напряжение ( $U_0$ ) нулевых последовательностей. Преобразователь Холла подпитывается током ( $i_0$ ) и реагирует на индукцию ( $B_0$ ) магнитного поля, создаваемого током нулевой последовательности ( $I_0$ ). В этом случае преобразователь Холла выполняет еще дополнительную функцию — функцию умножения частоты сигнала повреждения, тем самым повышает качество функционирования защиты. Как известно [5], при умножении частоты воспринимаемого сигнала происходит его обогащение, которое облегчает выделение полезного сигнала от помех. При измерении тока нулевой последовательности с использованием преобразователя Холла по описанной схеме выходной сигнал устройства можно записать так:

$$e_{\text{вых}} = K \cdot i_0 \cdot B_0,$$

(1)

где  $K$  — коэффициент пропорциональности, характеризующий преобразователь Холла;  $i_0$  — ток возбуждения преобразователя Холла, пропорциональный напряжению нулевой последовательности,  $U_0$ ;  $B_0$  — индукция магнитного поля, создаваемого током нулевой последовательности,  $I_0$ .

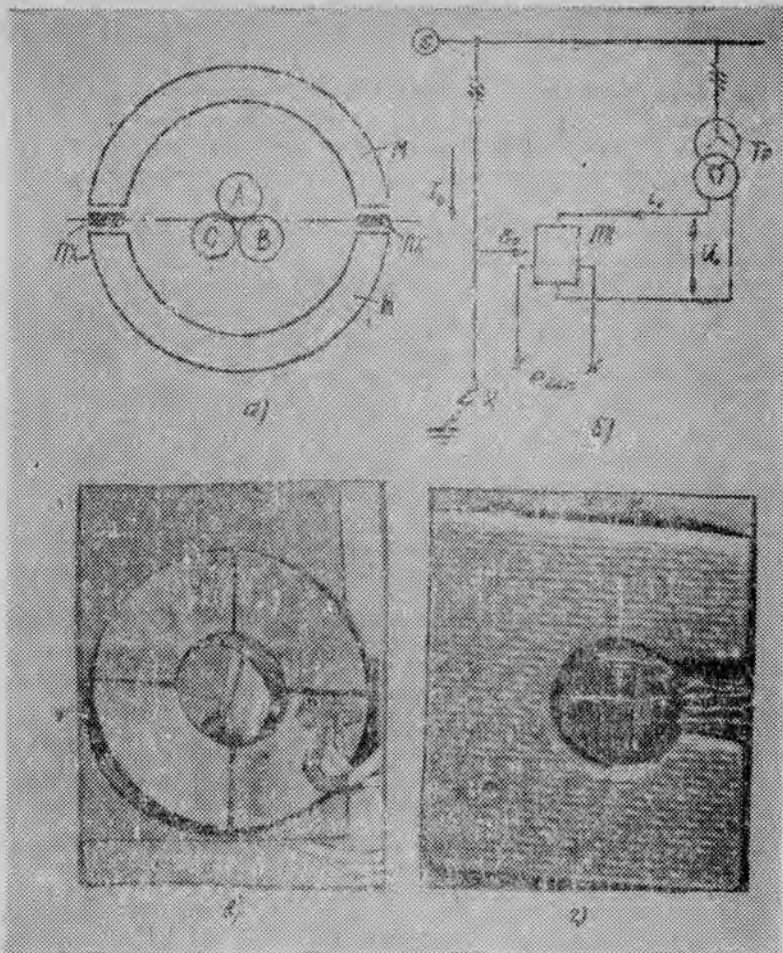


Рис. 1. Элементы устройства для измерения тока нулевой последовательности.

Как следует из выражения (1), сигнал на выходе устройства возникает при наличии тока  $I_0$  и напряжения  $U_0$  нулевых последовательностей только одновременно. Эти параметры характеризуют режим замыкания фазы на землю. При отсутствии такого режима сигнал на выходе устройства отсутствует, тем самым устройство позволяет отстроить защиту от замыкания фазы на землю от тока небаланса и помех. Помехозащищенность такого устройства высока. Если параметры режима замыкания фазы на землю, входящие в выражение (1), представить в виде гармонических функций, то выходной сигнал устройства приобретает форму:

$$\begin{aligned}
 e_{\text{вых}} &= K \cdot i_0 \cdot B_0 = K \cdot i_{m_0} \cdot B_{m_0} \cdot \sin \omega t \cdot B_{m_0} \cdot \sin(\omega t + \varphi) = \\
 &= \frac{1}{2} \cdot K \cdot i_{m_0} \cdot B_{m_0} \cdot \cos \varphi - \frac{1}{2} \cdot i_{m_0} \cdot B_{m_0} \cdot \cos(2\omega t + \varphi),
 \end{aligned} \quad (2)$$

где  $i_{m_0}$ ,  $B_{m_0}$  — амплитудные значения параметров режима замыкания фазы на землю;  $\varphi$  — угол сдвига между током и напряжением нулевых последовательностей. Угол между током и напряжением нулевых последовательностей в режиме замыкания фазы на землю изменяется в широких пределах ( $0 \div 90^\circ$ ) [3]. В этом случае на выходе устройства сигнал содержит постоянную и переменную составляющие. Для целей релейной защиты от замыкания фазы на землю могут быть использованы как

постоянная  $\left( \frac{1}{2} \cdot K \cdot i_{m_0} \cdot B_{m_0} \cdot \cos \varphi \right)$ , так и переменная  $\left( \frac{1}{2} \cdot K \cdot i_{m_0} \cdot B_{m_0} \cdot \cos(2\omega t + \varphi) \right)$  составляющие. Переменная составляющая выходного сигнала имеет уд-

военную частоту по отношению к частоте измеряемого тока нулевой последовательности и легко выделяется с помощью резонансного усилителя. Защита, построенная с использованием описанной токоизмерительной части, имела чувствительность на порядок выше, чем такие же защиты с токоизмерительной частью другого вида исполнения. Лабораторный образец токоизмерительной части защиты на преобразователе Холла показан на рис. 1в, г. На рис. 1г представлена фотография расположения преобразователя Холла (темная прямоугольная пластина в середине) в зазоре магнитопровода. На основании лабораторных испытаний образца можно сказать, что токоизмерительная часть защиты, выполненная на преобразователе Холла, может обеспечить требования, предъявляемые к защитам от замыкания фазы на землю в сетях горных предприятий с напряжением 6—35 кВ.

Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР

Дата поступления  
20 апреля 1977 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Швайбольд Е. Полупроводниковые датчики Холла в измерительной технике. — В сб.: Полупроводниковые приборы в измерительной технике. Пер. с нем. Илюковича А. М., под ред. Земельмана М. М.—Л., «Энергия», 1964.
2. Суханов С., Петин В. П. Измеритель слабых токов с использованием датчиков Холла из InSb. — «Известия АН ТССР, сер. физ.-техн., хим. и геол. наук», 1969, № 4.
3. Гладилин Л. В., Шуцкий В. И., Васильев И. Е. Создание защит от замыканий на землю в карьерных сетях напряжением выше 1 кВ. — «Горный журнал», 1968, № 1.
4. Быков В. А., Зимаков В. А. Электронное устройство автоматики и защиты ВЛСЦБ. — В кн.: Электронная техника в автоматике и телемеханике электротяговых устройств. Труды ЦНИИ МПС, вып. 467. М., «Транспорт», 1972.
5. Атабеков Г. И., Тимофеев А. Б., Хухриков С. С. Теоретические основы электротехники, ч. 2. М., «Энергия», 1970.

С. Суханов, П. А. Назаров, Д. Ялкабов

### ТОКУҢ, ХОЛЛЫ ӨЗГЕРИЖИНИ ПЕЙДАЛАНЫП ӨЛЧЕНИШИ ДОГРУСЫНДА

Ноллык ызыгидерлигиндәки тоқлары өлчемек үчин гурлушың, ве озалкысы билен денешдиренде хас улы дуйгурлыга эе болан реле горагының дерневлериниң негизжелери гетирилйэр.

S. Sukhanov, P. A. Nazarov, D. Yalkapov

### CURRENTS MEASURE WITH A USE OF HALL TRANSDUCER

The paper presents the results of investigation on a device for a measure of residual currents and relaying. This device is characterized by more sensitiveness in contrast to existing ones.

**А. Амандурдыев**

УДК 541.121.24

С. Алексаня  
А. Аширов  
К. Довлетов

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ GaSe—GeSe

Исследование трехкомпонентных сплавов позволяет расширить число перспективных полупроводниковых материалов с заданными свойствами, а с научной точки зрения — решить вопрос о пределах легирования элементами донорного и акцептор-

ного типа. Оба вопроса решаются путем построения диаграмм состояния, которые дают представление о взаимной растворимости веществ [1—3].

В связи с этим рассмотрим химизм взаимодействия и растворимости сплавов системы GaSe—GeSe.

Селениды галлия и германия плавятся конгруэнтно при температурах 960 и 670°C соответственно. Селенид галлия кристаллизуется в двух модификациях: гексагональной и ромбоэдрической [3, 4]. Синтезированное нами соединение GaSe имеет

гексагональную решетку ( $a=3,75$ ,  $c=15,74 \text{ \AA}$ ), селенид германия кристаллизуется в ромбической системе с параметрами решетки  $a=4,389$ ;  $b=3,825$ ;  $c=10,77 \text{ \AA}$ .

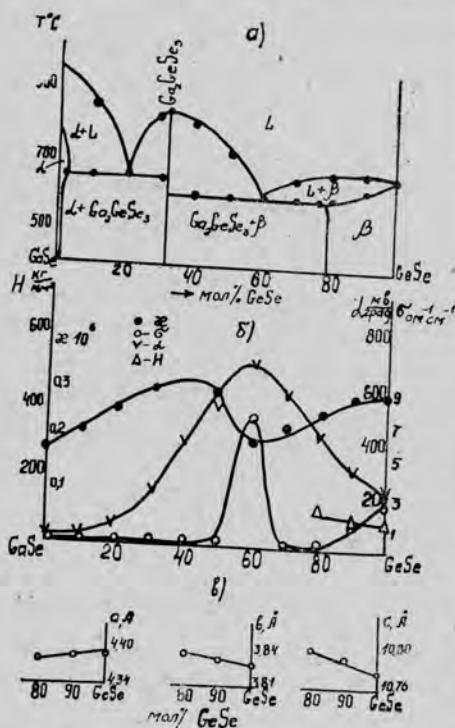


Рис. 1. Диаграмма фазового равновесия а), диаграмма состав—свойство—б), изменение параметра решеток системы GaSe—GeSe—в).

альнотермическим и микроструктурным анализами, и что состав  $\text{Ga}_2\text{GeSe}_3$  кристаллизуется в двух модификациях.

На рис. 2 представлены дебаграммы  $\text{Ga}_2\text{GeSe}_3$  литого и отожженного при температуре 550°C в течение 10 суток. В результате установлено, что в процессе синтеза  $\text{Ga}_2\text{GeSe}_3$  кристаллизуется в одной модификации, при отжиге переходит в другую.

Существование  $\text{Ga}_2\text{GeSe}_3$  подтверждено дифференциально-термическим анализом и установлено, что переход этого соединения из одной модификации в другую происходит в интервале температур 700—750°C.

Параметры решеток твердых растворов на основе GeSe (рис. 1б) изменяются от состава GaSe по закону Вегарда; параметр  $a$  уменьшается, в то время как  $b$  и  $c$  увеличиваются.

Исследованием электрических свойств и магнитной восприимчивости сплавов системы GaSe—GeSe (рис. 1б) установлено, что параметры промежуточных составов увеличиваются в зависимости от роста содержания второго компонента и достигают максимума при эвтектической концентрации и таким образом, подтверждают данные дифференциально-термического, микроструктурного и рентгенофазового анализов.

Для исследования диаграммы состояния рассматриваемой системы приготовлены серии сплавов через 5—10 мол.% по всему разрезу. Синтез исходных соединений и их сплавов из веществ полупроводниковой чистоты проводили в эквакуированных до  $10^{-4}$  мм рт. ст. кварцевых ампулах методом ступенчатого нагрева с выдержкой при 1000°C в течение двух часов, с последующим охлаждением со скоростью 22 град/мин. Режим синтеза подбирался с использованием как литературных, так и наших данных, полученных записью кривых нагревания и охлаждения характерных сплавов на НТР-64 [2, 3].

По результатам дифференциально-термического, микроструктурного и рентгенофазового анализов построена диаграмма состояния системы GaSe—GeSe (рис. 1а).

Как видно из рис. 1а, область твердых растворов на основе GaSe очень мала (1,5%), а со стороны GeSe — значительно шире и простирается до 20 мол.% GaSe. На основе дифференциально-термического, микроструктурного и рентгенофазового анализов установлено, что при соотношении компонентов 2:1 образуется тройное соединение состава  $\text{Ga}_2\text{GeSe}_3$ , которое делит диаграмму состояния GaSe—GeSe на две простейшие диаграммы эвтектического типа. Эвтектическое взаимодействие в частной системе GaSe— $\text{Ga}_2\text{GeSe}_3$  происходит при  $650 \pm 3^\circ\text{C}$ , эвтектический состав близок к 20 мол.% GeSe. Эвтектика в частной системе  $\text{Ga}_2\text{GeSe}_3$ —GeSe имеет состав 40 мол.% GaSe и плавится при  $600 \pm 5^\circ\text{C}$ . Рентгенофазовый анализ сплавов системы GaSe—GeSe показал, что область твердых растворов на этом разрезе существует в пределах, установленных дифференциально-термическим, микроструктурным

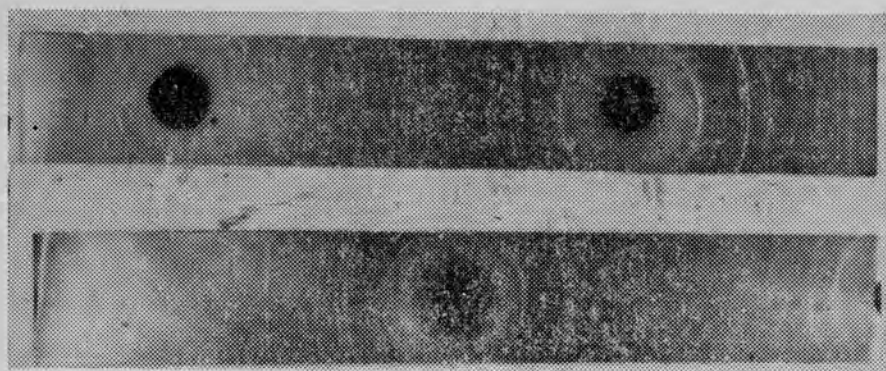


Рис. 2. Дебаграмма *a*—литого образца  $\text{Ga}_2\text{GeSe}_3$ , *б*—отожженного.

### Выводы

Методами физико-химического анализа исследована и построена диаграмма состояния сплавов системы  $\text{GaSe}-\text{GeSe}$ .

Установлено существование тройного соединения состава  $\text{Ga}_2\text{GeSe}_3$ , кристаллизующегося в двух модификациях с температурой плавления  $830 \pm 3^\circ\text{C}$ .

Параметры решетки твердых растворов на основе  $\text{GeSe}$  изменяются по закону Вегарда.

Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР

Дата поступления  
7 октября 1976 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Глазов В. М., Нагиев В. А. Исследование легирования фосфида индия. Легированные полупроводники. М., 1975.
2. Глазов В. М., Довлетов К., Ташлиев К. и др. Исследование диаграммы состояния системы  $\text{Cu}_2(\text{Ag}_2)\text{Te}-\text{Ge}(\text{Sn})\text{Te}$ . Всесоюзная конференция по физико-химическому анализу полупроводниковых материалов, Баку, 1972.
3. Медведева З. С. Халькогениды элементов ШБ подгруппы периодической системы. М., «Наука», 1968.
4. Абрикосов Н. Х., Банкина В. Ф., Порецкая Л. В. и др. Полупроводниковые соединения, их получение и свойства. М., «Наука», 1967.

УДК 539.290:532.217

О. Мосанов  
С. Тилкилиев

### ФОТОПРОВОДИМОСТЬ $n\text{-InSb}$ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Исследованию влияния магнитного поля на фотопроводимость полупроводников посвящены работы [1—3], где рассматривается новое явление — отрицательная фотопроводимость в магнитном поле. В работе [4] обнаружено существенное возрастание сигнала фотопроводимости в магнитном поле в  $p\text{-InSb}$  (в режиме постоянного тока) при смешанной проводимости. Показано, что этот рост обусловлен величиной магнитосопротивления и фотомагнитной эдс в образцах. Изучение фотопроводимости в случаях закорачивания эдс Холла и Дембера в образцах  $\text{InSb}-\text{NiSb}$  действительно показало существенный рост сигнала фотопроводимости в магнитном поле [8].

Высокая подвижность электронов в  $n\text{-InSb}$  позволяет достичь большого эффекта путем внешнего закорачивания эдс Холла и Дембера. Причем в отличие от  $\text{InSb}-\text{NiSb}$ , рекомбинационные характеристики в толще образца не меняются. Поэтому изучение фотопроводимости в  $n\text{-InSb}$  в магнитном поле при закорачивании эдс Холла и Дембера представляет интерес.

Рассмотрим образец из  $n\text{-InSb}$  с током  $I$ , помещенный в поперечное магнитное поле  $H$ . Осветим поверхность образца прерывистым светом, причем направление излучения, поля  $H$  и тока  $I$  взаимно перпендикулярно. Эдс Холла и Дембера, возникающие между освещенной и темновой гранями, закоротим металлическими полосками. Допустим, что наблюдаются режим постоянного тока и условие слабой освещенности.

В этом случае измеряемое на концах образца переменное напряжение складывается из трех составляющих, то есть  $V = V_0 + V_1 + V_2$ :

1) сигнал  $V_0$ , который наблюдается в отсутствие поля и металлических растров;  
 2) сигнал  $V_1$ , возникающий за счет вторичного эффекта Холла ( $V_1 \sim iRH$ ), обусловленный взаимодействием поля  $H$  с переменным током  $i_1$ , вызванным закорачиванием эдс Холла ( $i_1 \sim \frac{R \cdot \Delta i \cdot H}{r_H}$ , где  $R$  — коэффициент Холла,  $r_H$  — сопротивление образца в поле  $H$ );

3) сигнал  $V_2$ , возникающий за счет эффекта Холла ( $V_2 = i_2 RH$ ), обусловленный взаимодействием поля  $H$  с переменным током  $i_2$ , вызванным закорачиванием эдс Дембера ( $i_2 = \frac{V_D}{r_H}$ ).

Можно показать, что относительный рост сигнала с полем выражается формулой

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{V_1 + V_2}{V_0} = \frac{\mu^2 H^2}{c^2} + \frac{\mu H}{c} \cdot \frac{V_D}{V_0},$$

где  $\mu$  — подвижность электронов;  $\frac{\rho_H}{\rho_0}$  — относительное изменение сопротивления образца в поле  $H$  до закорачивания эдс;  $c$  — скорость света.

Таким образом, в случае закорачивания эдс Дембера и Холла в образцах  $n$ -InSb может быть получено существенное возрастание сигнала фотопроводимости в магнитном поле в режиме постоянного тока.

Повышение сигнала за счет закорачивания эдс Дембера ( $V_2 = \frac{\mu H \cdot V_D}{\rho_H / \rho_0}$ ) наблюдалось в образцах InSb—NiSb в ряде работ [5—9].

Проверка возможности повышения сигнала фотопроводимости за счет закорачивания эдс Холла ( $\frac{V_1}{V_0} = \frac{\mu^2 H^2 / c^2}{\rho_H / \rho_0}$ ) составляет содержание настоящего сообщения. Оценка

$\frac{V_1}{V_0}$  для полного закорачивания эдс Холла дает значение 415 при  $B=1T$ ,

$$\mu = 52 \frac{M^2}{B \cdot c} (77^\circ K), \quad \frac{\rho_H}{\rho_0} = 6.$$

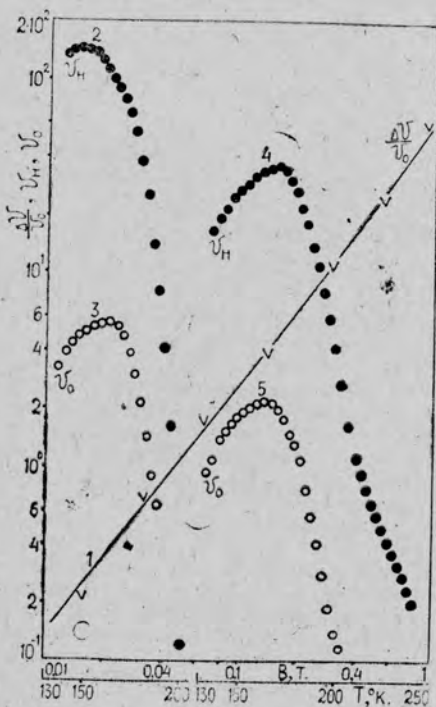


Рис. 1. Зависимость относительного роста сигнала фотопроводимости в  $n$ -InSb  $\frac{\Delta V}{V_0}$  от магнитной индукции  $B$

при  $142^\circ K$  (для обр. 2, кривая 1) и температурная зависимость сигнала фотопроводимости при  $B=0,56T$  —  $V_H$  и без поля —  $V_0$  для обр. 1 (кривые 2—3) и обр. 2 (кривые 4—5). Кривые 1—5 получены при случаях закорачивания эдс Холла.

Концентрация  $n$  и подвижность  $\mu_n$  исследованных образцов (№ 1 и 2) соответственно равны:  $1 \cdot 10^{19}$  и  $8,6 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ ; 39 и  $52 \text{ м}^2/\text{В.с.}$  Образцы имели размеры  $7 \times 4 \times 0,15 \text{ мм}^3$ . Измерение проводилось до и после нанесения на одну плоскую поверхность образцов металлических полосок. Полоски наносились вакуумным распылением олова. Отношение длины полосок к их шагу составляло около 5. Использовался стеклянный азотный криостат с окошком из NaCl. Образцы перед измерением травились в СР-4. Измерения осуществлялись в интервале магнитных полей  $0,01 \div 1 \text{ Т}$  и температур  $130 \div 250^\circ \text{К}$ . Источником излучения служил лазер ЛГ-126 (при  $\lambda = 3,39 \text{ мкм}$ ). Для исключения влияния фотомагнитного эффекта на фотопроводимость лучи для освещения образца были направлены параллельно магнитосиловым линиям. Освещалась поверхность образца, свободная от электродов. Излучение прерывалось частотой  $500 \text{ Гц}$ . Сигнал усиливался резонансным усилителем Ф-510 при несимметричном входе. Измерение производилось при двух противоположных направлениях тока и поперечного магнитного поля через образец.

На рис. 1 представлена магнитополевая зависимость относительного роста сигнала фотопроводимости  $\frac{\Delta V}{V_0}$  при  $142^\circ \text{К}$  для обр. 2 (кривая 1) и температурная зависимость сигнала фотопроводимости (в относительных единицах) в магнитном поле ( $0,56 \text{ Т}$ ) —  $V$  и без поля —  $V_0$  для случаев закорачивания эдс Холла соответственно для обр. 1 (кривые 2, 3) и обр. 2 (кривые 4, 5).

Как видно, наблюдается существенный рост сигнала фотопроводимости в магнитном поле (около 70 раз при  $B=1 \text{ Т}$  для обр. 2). В температурной зависимости также наблюдается повышенное значение сигнала фотопроводимости в магнитном поле —  $V_n$  по сравнению без поля —  $V_0$ .

Таким образом, при оптимальных условиях закорачивания эдс Холла и Дембера можно добиться существенного повышения сигнала фотопроводимости (на два порядка и больше) в  $n\text{-InSb}$  в магнитном поле.

Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР

Дата поступления  
8 февраля 1977 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гринберг А. А., Новиков С. Р., Рывкин С. М. Новый эффект отрицательной фотопроводимости в магнитном поле. — «Доклады Академии наук СССР», 1961, т. 136, № 2.
2. Добровольский В. Н., Фань ван Ань. Отрицательная фотопроводимость InSb в магнитном поле. — «Физика и техника полупроводников», 1969, т. 3, № 5.
3. Завадский Э. А., Коврижных Ю. Т., Факидов И. Г. Отрицательная фотопроводимость германия в магнитном поле. — «Физика твердого тела», 1963, т. 5, № 1.
4. Мосанов О., Тилкилиев С., Ходжабердыева О. Исследование влияния магнитного поля на фотопроводимость в дырочном InSb. — «Известия АН ТССР, сер. физ.-техн., хим. и геол. наук», 1976, № 1.
5. Paul B., Weiss H. «Solid State Electronics», 11, 979, 1968.
6. Pfeleiderer H. «Phys. Stat. Sol.», 29, 597, 1968.
7. Мосанов О., Ходжабердыева О. О зависимости фотомагнитного эффекта (ФМЭ) в InSb—NiSb от поля. — «Известия АН ТССР, сер. физ.-техн., хим. и геол. наук», 1975, № 2.
8. Мосанов О., Тилкилиев С. Исследование фотопроводимости InSb—NiSb в магнитном поле. — «Известия АН ТССР, сер. физ.-техн., хим. и геол. наук», 1976, № 2.
9. Мосанов О., Ходжабердыева О. Исследование температурной зависимости фотомагнитного эффекта в InSb—NiSb. — «Известия АН ТССР, сер. физ.-техн., хим. и геол. наук», 1974, № 1.

О. Mosanov, S. Tilkiyev

#### PHOTOCONDUCTIVITY OF $n\text{-InSb}$ IN THE MAGNETIC FIELD

The marked increase of the photoconductivity signal in the magnetic field was watched for the regime of continuous current on  $n\text{-InSb}$  examples when the Hall, s. e. m. f. was short circuited (70 times under  $B=1 \text{ T}$ ,  $T=142^\circ \text{K}$ ).

УДК 682.165

С. Сейиткурбанов  
М. Ханмамедов

#### КАЧЕСТВО ДИСТИЛЛЯТА ПРИ ОПРЕСНЕНИИ СОЛЕННЫХ ВОД В РЕГЕНЕРАТИВНЫХ СОЛНЕЧНЫХ АДИАБАТНЫХ ИСПАРИТЕЛЯХ

Для разработки солнечной регенеративной опреснительной установки (СРОУ) необходимы данные по допустимой нагрузке зеркала испарения  $W_s$  и высоте парового пространства  $H_n$  для данных значений качества дистиллята  $S_g$ , солёности

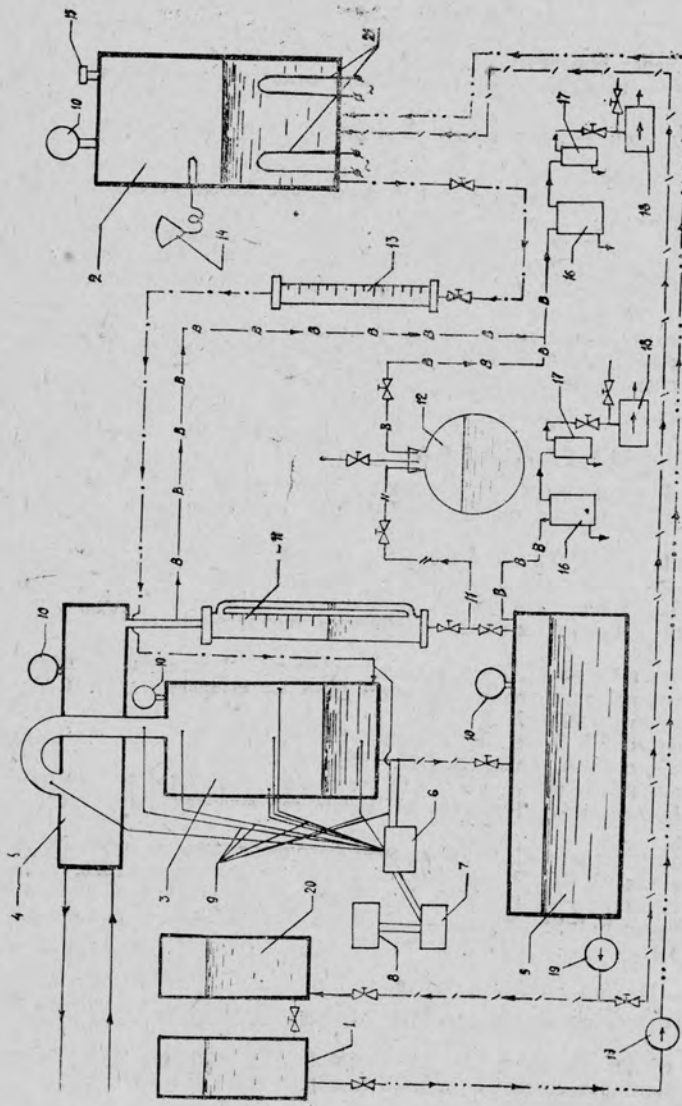


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда: 1 — бак для исходной воды; 2 — котел (головной подогреватель); 3 — испаритель; 4 — конденсатор; 5 — рассольный бак; 6, 7, 8 — компенсационные приборы; 9 — термометры; 10 — образцовые вакуумметры; 11 — мерный сосуд для дистиллята; 12 — сосуд для отбора пробы; 13 — рогаметр РС-7; 14 — терморегулятор типа ТСМ-100; 15 — перепускной клапан; 16 — конденсатор выпара; 17 — влагоотделитель; 18 — вакуумные насосы; 19 — циркуляционные насосы; 20 — бак для приготовления исходной воды; 21 — термоэлектрические нагреватели.

исходной воды  $S_{исх}$ , режима работы адиабатного испарителя и способа подачи перегретой воды в испарительной камере.

Вопросы сепарации пара при  $H_n \geq 400$  мм для различных конструкций испарителей с учетом теплотехнических и гидродинамических факторов исследованы для стационарных режимов работы опреснительных установок [1, 2, 3]. В этих установках для улучшения качества дистиллята и уменьшения парового пространства применяются жалюзийные сепараторы. Расчеты показывают, что гидродинамическая температурная депрессия в зависимости от конструкции сепарационных устройств и температурного режима работы адиабатных испарителей составляет  $0,5-1,5^\circ\text{C}$ , соответственно уменьшает производительность установки.

Из-за специфичности работы СРОУ в условиях пустыни имеющиеся данные по сепарации вторичного пара не могут быть использованы при разработке опреснительных установок. В пустынных условиях продукт в основном предназначен для хозяйственно-питьевых нужд или водопоя овец, где требования к качеству дистиллята сравнительно низкие. Допустимая соленость воды ( $0,5-5$  г/л) позволяет применять испарители без сепарационных устройств, и при  $H_n \leq 400$  мм, что уменьшает дополнительное сопротивление пара и значительно упрощает конструкцию аппарата.

В связи с изложенным нами проводились специальные экспериментальные исследования по определению качества дистиллята при подаче перегретой воды под уровень рассола применительно к разработке СРОУ. Принципиальная схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Опыты проводились при следующих значениях исходных параметров: соленость исходной воды — 20, 40, 60, 80 г/л; высота парового пространства — 0,165—0,8 м; температура насыщения воды —  $58^\circ\text{C}$ ;  $68^\circ\text{C}$ ;  $75^\circ\text{C}$ ; нагрузка зеркала испарения 0,15; 0,20; 0,33; 0,46 кг/см<sup>2</sup>·с; размеры испарителя  $0,14 \times 0,15 \times 1,0$  м.

Во время опытов измерялись производительность испарителя  $G_g$ , кг/час; соленость исходной воды и дистиллята  $S_{исх}$ , г/л; расход питательной воды  $W_p$ , кг/с; температура потоков,  $t_n$   $^\circ\text{C}$ ; разрежение испарителя  $P$ , бар.

Производительность экспериментальной установки измерялась объемным методом, расход питательной воды — ротаметром РС-7, температура потоков — медь-константановыми термопарами, соленость дистиллята и питательной воды поддерживали с помощью солемера типа РЭС-106, отградуированного для двух измеряемых интервалов солености. Нагрузка зеркала испарения определялась по формуле

$$W_s = \frac{G_\sigma}{3600 F} \left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{с}} \right],$$

где  $F$  — площадь поперечного сечения испарителя, м<sup>2</sup>.

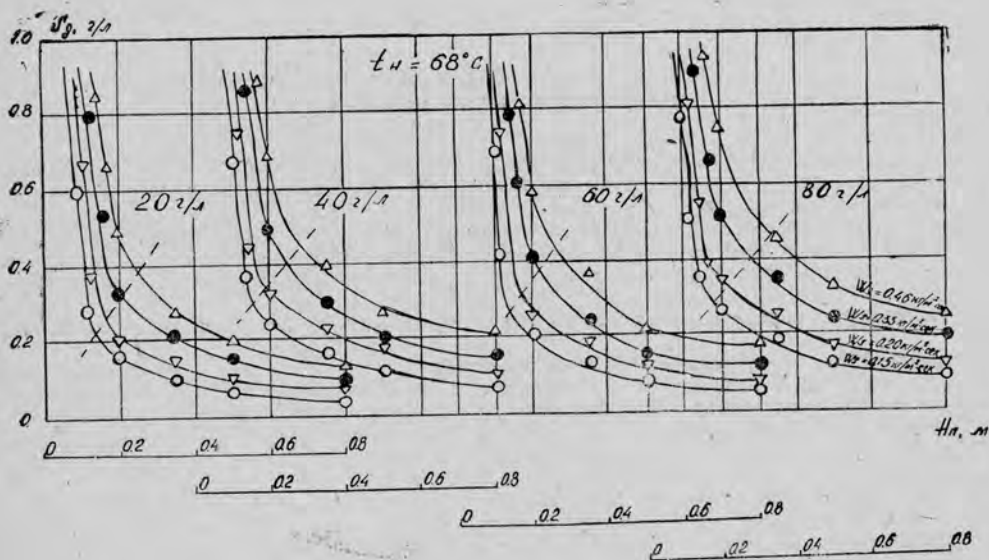


Рис. 2. Зависимость солености дистиллята от высоты парового пространства при разных значениях солености исходной воды и нагрузке на зеркало испарения.

Разрежение в аппаратах (испарителе, конденсаторе, рассольном баке и др.) экспериментальной установки и отвод неконденсирующих газов осуществлялись с помощью вакуумных насосов типа РВН-20 и РМК-2. Величина вакуума измерялась разцовым вакуумметром. Постоянный температурный режим питательной воды поддерживали с помощью регулятора температуры типа ТСМ-100, установленного в головном подогревателе.

На рис. 2 приведены результаты исследования качества дистиллята в зависимости от  $H_n$ ,  $S_{исх}$ ,  $W_s$  при  $t_n = 68^\circ\text{C}$ . Из рисунка следует, что с уменьшением  $H_n$  вначале наблюдается медленное возрастание  $S_g$ , а затем — резкое. Например,  $S_{исх} = 40 \text{ г/л}$  и  $W_s = 0,46 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$  переходной режим наступает при  $H_n = 0,205 \text{ м}$ , значение которого можно назвать критической высотой парового пространства ( $H_{кр}$ ). Причем величина изменяется с изменением режимных параметров установки (пунктирные кривые). Такое резкое возрастание  $S_g$  объясняется попаданием в конденсатор мельчайших частиц воды с пузырьками пара, оторвавшимися от поверхности зеркала испарения. С повышением нагрузки на зеркало испарения  $W_s$  процесс испарения приобретает пульсирующий характер, что приводит к дроблению испаряющихся капель на мелкие частицы. Следовательно, появляются условия для подброса капель в конденсатор, и общая соленость дистиллята увеличивается.

Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР

Дата поступления  
26 мая 1977 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лукин Г. Я., Тихонов В. И. Возможность уменьшения габаритов судового утилизационного опреснителя. — «Судостроение», 1971, № 9.
2. Тихонов В. И., Лукин Г. Я. Вынос капель рассола в паровое пространство судовых вертикально-трубных кипящих опреснителей. — «Известия ВУЗов, сер. «Энергетика», 1975, № 5.
3. Голуб С. И. Исследование уноса и сепарации влаги в выпарных аппаратах-испарителях. — Автореф. канд. дисс., Свердловск, 1969.

УДК 536.212

К. Тойлиев  
А. Галканов

## К МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПАРАБОЛОИДНОГО РЕФЛЕКТОРА

В работе [1] предложены две методики расчета (точная и упрощенная) теплового режима цельнометаллического параболоидного рефлектора, однако не указаны границы их применимости.

В инженерной практике важно определить, когда можно пользоваться точной, а когда — упрощенной методикой. Данное сообщение посвящено решению этой задачи.

Известно, что стационарный процесс установления равновесного распределения температуры определяется критерием  $Bi = \frac{\alpha l}{\lambda}$ , который представляет собой отношение

внешней ( $\alpha$ ) и внутренней ( $\lambda/l$ ) проводимостей.

При  $Bi \approx 1$  величины  $\alpha$  и  $\lambda/l$  сравнимы, и имеют место внешний теплообмен и внутренняя теплопроводность. Поэтому для определения распределения температуры в стенке параболоида необходимо учитывать оба процесса. Стационарное распределение температуры в параболоидном рефлекторе, рассчитанное по точной методике, представлено кривой I, а по упрощенной — кривой II на рис. 1.

Для выяснения границ применимости предложенных методов расчета нами по точной методике проведены расчеты температурных полей, устанавливаемых в стенке параболоидного рефлектора при различных значениях толщины стенки параболоида. Именно с увеличением площади поперечного сечения стенки рефлектора уменьшается его тепловое сопротивление и увеличивается величина теплового потока от вершины к краям установки. При достижении определенного значения толщины стенки величина теплового потока в дальнейшем не меняется. В стенке рефлектора устанавливается тем-

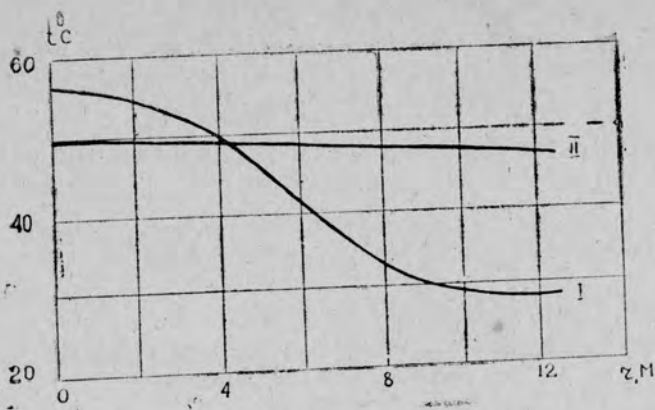


Рис. 1. Стационарное распределение температуры.

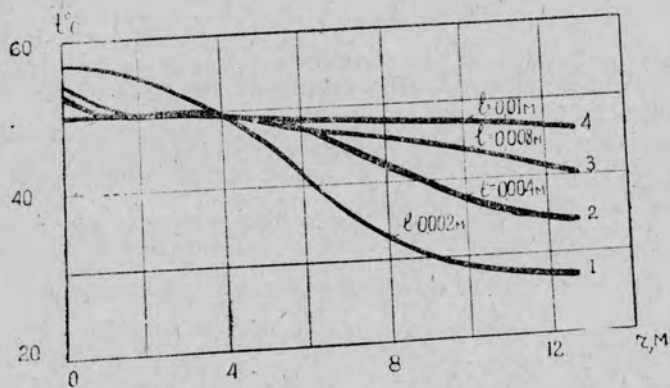


Рис. 2. Результаты расчета по точной методике для различных  $l$ .

пературное поле, обусловленное воздействием солнечных лучей. При этом перепад температуры между вершиной и краями рефлектора сводится к минимуму, определяемому разницей падающего теплового потока из-за различия  $\cos i$ .

Результаты расчетов представлены на рис. 2. Как видно из графика, с увеличением  $l$  температура на вершине уменьшается, на краях — увеличивается и, начиная со значения  $l=0,01$  м, температурное поле, вычисленное по точной методике, совпадает с температурным полем, вычисленным по упрощенной методике. На рис. 2 оба температурные поля совпадают и представлены кривой 4.

#### Выводы

Для расчета температурных полей параболических рефлекторов с толщиной стенки  $i < 0,01$  м следует использовать точную методику, а в случае  $l \geq 0,01$  м оба метода дают одинаковый результат. Поскольку точный метод сравнительно сложен, в этом случае нужно пользоваться упрощенной методикой.

#### ОБОЗНАЧЕНИЯ

$\alpha$  — коэффициент теплоотдачи,  $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град})$ ;  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности,  $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{час} \cdot \text{град})$ ;  $l$  — толщина стенки параболического рефлектора, м.

Туркменский государственный университет  
им. А. М. Горького

Дата поступления  
10 февраля 1977 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Галканов А. Аналитическое исследование и методика расчета тепловых режимов параболических рефлекторов. — Автореф. канд. дисс. Ашхабад, 1975.

К. Toiliyev, A. Galkanov

### TO METHODS OF CALCULATION OF T° FIELD FOR THE PARABOLIC REFLECTOR

The paper presents the comparisons between accurate and simplified methods of the calculation of temperature field on the all-metallic reflector's surface.

Г. Тойлыев, А. Галканов

### ПАРАБОЛОИД РЕФРАКТОРЫҢ ТЕМПЕРАТУРА МЕЙДАНЫҢ ХАСАПЛАНЫШ МЕТОДИКАСЫ ДОГРУСЫНДА

Ишде цельнометал серпигиниң үст йүзүниң температура мейданының хасаплаганының такык хем йөнекейлеширилен методларының деңешдирмесиниң нетижелери беян эдилейэр.

УДК 628.165

С. Сейиткурбанов  
В. В. Савченко

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРООБРАЗОВАНИЯ В ИСПАРИТЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ АДИАБАТНОЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Несмотря на эксплуатацию крупных многоступенчатых адиабатных опреснительных установок (МАОУ), до сих пор отсутствует четкое представление о механизме распределения струй, температуры потока и самоиспарения соленой воды внутри испарительной камеры.

Для исследования поставленной задачи нами монтировалась опытная установка (рис. 1), главным узлом которой являются трехступенчатые камеры мгновенного вскипания. Размеры основной камеры: высота — 2,0 м; длина—3,0 м; ширина—0,1 м. Крайние камеры предназначены для поддержания заданных режимов процесса.

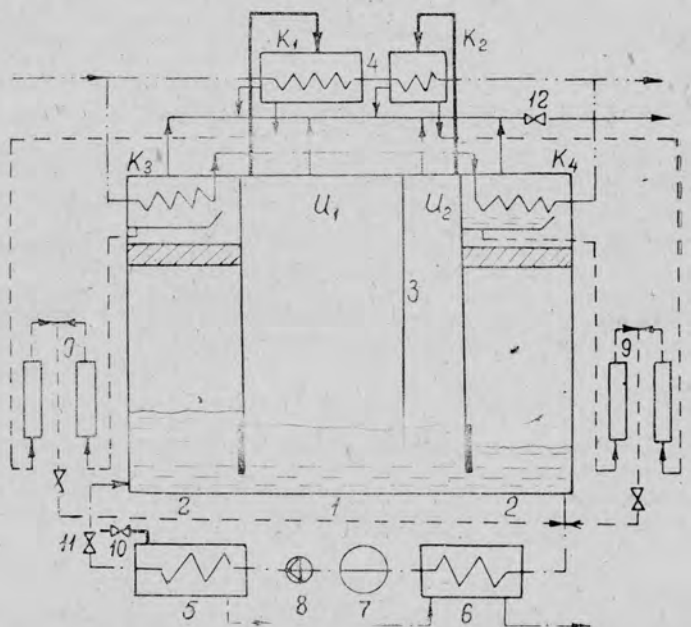


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 — основная камера; 2 — вспомогательная камера; 3 — передвижная перегородка; 4 — конденсаторы; 5 — подогреватель воды; 6 — теплообменник; 7 — циркуляционный насос; 8 — расходомер; 9 — ротаметры; 10, 11 и 12 — регулирующие вентили.

Визуальные наблюдения за процессом парообразования показывают, что раствор, проходя через дроссельное устройство, приобретает струйный характер с частичным обратным движением испаряющейся жидкости (рис. 2).

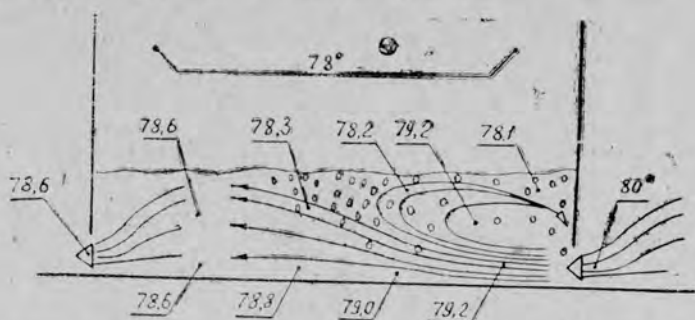


Рис. 2. Распределение струй и температуры жидкости внутри испарительной камеры.

Как следует из рис. 2, обратный поток жидкости поднимает горячие слои раствора с нижней части испарительной камеры к поверхности зеркала испарения. В зоне обратного потока возникает сложное и неравномерное поле температуры, связанное с распределением скоростей струй жидкости.

Наблюдение за процессом парообразования самоиспарением показывает, что для заданной конструкции испарителей структура потока и распределение температурного напора в основном определяются величиной перегрева раствора. Например, при перегреве потока в порядке 6—8°C количество образующихся пузырей в объеме жидкости очень велико, и обратный поток исчезает. Такой режим работы испарителя вызывает набухание раствора, значительно повышается уровень воды в камере испарения.

При малом перегреве жидкости (1,5—2,0°) образование пузырей в объеме жидкости сокращается, и пар в основном образуется с поверхности испарения соленой воды. При этом небольшая часть пузырей, образующихся в толще жидкости, поднимается вертикально непосредственно после дроссельного устройства, часть увлекается в зону обратного потока, а остальная — выносятся основным потоком к свободной поверхности (рис. 2).

Наблюдение за течением потока показывает, что пузыри пара возникают из зародышей, имеющихся в жидкости и порождаемых при прохождении жидкости через острые кромки дроселирующего устройства. При закруглении кромок отверстия для уменьшения местного сопротивления на выходном участке пузыри почти не образовались. Наблюдалось также протекание пузырей от одной ступени к другой.

Опыты проводились при температуре испаряемой воды 80°C, перепаде температур между ступенями 2,0°C, расходе исходной воды на единицу ширины испарительной камеры — 1200 м<sup>3</sup>/ч.м и уровне испаряемой воды — 0,5 м. Принятые параметры соответствуют режиму работы испарителей крупных дистилляционных опреснительных установок. Для изучения характера распределения струй потока в испарительной камере в жидкость вводился краситель.

На рис. 3 показано увеличение диаметра паровых пузырей по времени для различных температур испарения раствора и представлено сравнение результатов опыта с данными других авторов для случаев испарения жидкости при атмосферном давлении, неподвижном объеме [1] и движущемся потоке [2]. Для определения диаметра пузырьков по формуле В. К. Завойского в качестве относительной скорости пузырька в жидкости принималась скорость всплытия одиночного пузырька в большом объеме и определялась по формуле Франк-Камецского [3].

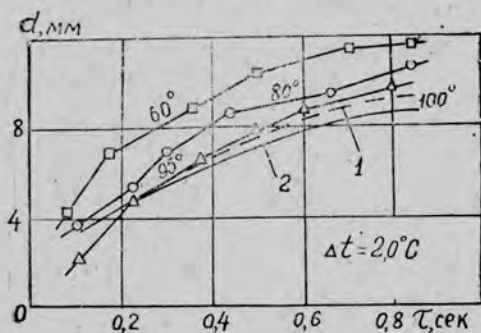


Рис. 3. Рост паровых пузырей по времени для различных температур жидкости: 1 — по формуле

$$d = 2(k\alpha\omega)^{1/3} \left( \frac{c\rho'}{r\rho''} \Delta t\tau \right)^{2/3}; 2 — по$$

$$\text{формуле } d = \frac{4c\rho'\Delta t}{r\rho''} \sqrt{\alpha\tau}.$$

Как следует из сопоставления, полученные результаты для самоиспарения раствора при температуре 95°C хорошо согласуются с данными работы [2]. Совпадение теоретических и экспериментальных значений диаметров пузырьков в начальной стадии весьма хорошее. Некоторые расхождения опытных данных с результатами расчета, определяемыми формулой из работы [1], объясняются тем, что выражение, полученное Д. А. Лабунцовым, описывает рост пузырьков в объемах неподвижной жидкости.

Опыты показывают, что с уменьшением температуры испарения размеры паровых пузырьков увеличиваются. Это объясняется количеством образующихся паровых зародышей. При этом доля тепла, переносимая паровыми пузырями ( $r\rho''$ ), снижается ввиду уменьшения плотности пара, и перенос скрытой теплоты конвекцией становится доминирующим. В принятых нами режимах работы установки диаметр образующихся пузырьков достигает порядка 9—12 мм, а время их роста — 0,8—0,9 с. С увеличением перегрева жидкости изменяется гидродинамика потока и уменьшаются размеры образующихся пузырьков.

#### Выводы

Характер распределения струй жидкости в основном определяется перегревом раствора. Для уменьшения размера и мертвой зоны испарительной камеры целесообразно применение испарителей со специальными перегородками.

Рост паровых пузырей показывает, что время нахождения раствора внутри испарительной камеры должно быть не менее 0,8—0,9 с.

Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР

Дата поступления  
26 мая 1977 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лабунцов Д. А. Механизм роста паровых пузырьков на поверхности нагрева при кипении. — «Инженерно-физический журнал», 1963, т. 6, № 4.
2. Завойский В. К. Рост пузырька пара, движущегося в объемно-нагреваемой жидкости. — «Атомная энергия», 1961, т. 10, вып. 3.
3. Кутателадзе С. С. Теплопередача при конденсации и кипении. М., Машгиз, 1952.

С. Сейитгурбанов, В. В. Савченко

#### АДИАБАТ СУВ СҮЙЖЕДИЖИ УСТАНОВКАНЫҢ БУГАРЫЖЫ КАМЕРАСЫНДАКЫ БУГ ЭМЕЛЕ ГЕЛМЭНИҢ ДЕРҒЕВИ

Эргиниң чүвдүрилишиниң ве температурасының бөлүниши, шейле хем бугарыжы камерадакы буг көпүржиклериниң өсүши гетирилйәр.

S. Seitkurbanov, V. V. Savchenko

#### INVESTIGATION ON VAPOUR FORMATION IN EVAPORATION CAMERA OF ADIABATIC WATER DEMINERALIZATION PLANT

The paper presents the steam and solution temperature distribution that cause the increase of vapour bubbles in evaporative camera.

УДК 662.997

Р. Байрамов  
Ю. И. Мацнев  
А. Назаров  
Б. Р. Корпеев  
О. И. Реджепова

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ОТРАЖАТЕЛЯ

Известно, что нагрев поверхности параболических отражателей вызывает деформацию конструкции, тем самым нарушает ее нормальную работу. Одним из эффективных методов выравнивания температурного поля и снижения перепада температур в конструкции является использование лакокрасочных покрытий, оптические свойства которых оказывают значительное влияние на стабильность заданных функциональных характеристик параболических отражателей. С целью исследования этого влияния на температурный режим параболических отражателей в условиях сухого жаркого климата в течение 1975 г. проводились экспериментальные работы с лакокрасочным покрытием КО-1158.

Исследования проводились на цельнометаллическом рефлекторе диаметром 4,7 м с различным положением фокальной оси относительно направления на Солнце. Выбирались такие режимы, которые с точки зрения перегрева являются неблагоприятными и в полной мере отражают картину распределения температурного поля.

Для измерения температурного поля на различных частях конструкции установ-

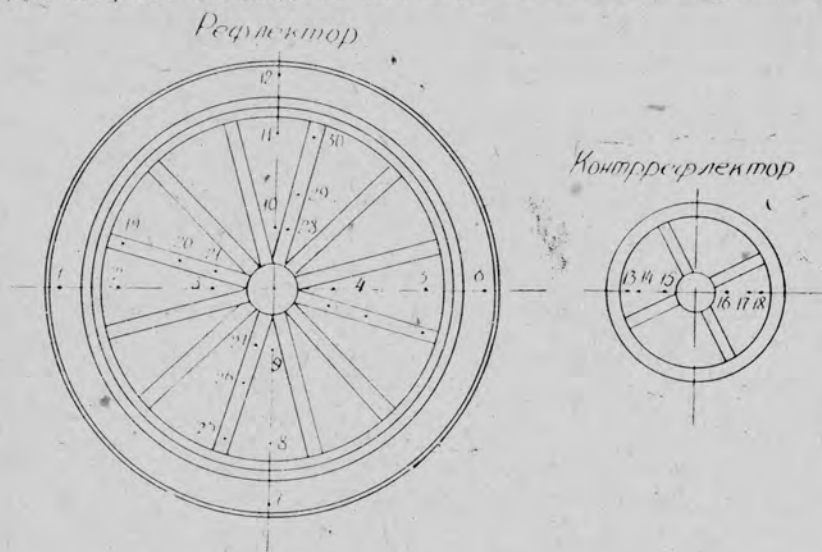


Рис. 1. Схема расстановки термодатчиков на поверхности параболического отражателя: 1—30 — номера термодатчиков.

ливались термодатчики — хромель-копелевые термопары (рис. 1). Показания датчиков регистрировались потенциометрическим методом.

В данной работе приведены результаты эксперимента, полученные при положении фокальной оси параллельно лучам Солнца (положение «Солнце»).

На рис. 2, 3 показаны изменения значений максимальной температуры и ее перепада в течение всего периода измерения, соответственно для рефлектора и контррефлектора. Цифры (11, 12<sup>00</sup> и т. д.) означают, что указанная максимальная температура зафиксирована термодатчиком № 11 в 12.00 часов, а цифры на кривой перепада температур (11—9 и т. д.) показывают максимальный перепад в то же время между термодатчиками № 11 и 9.

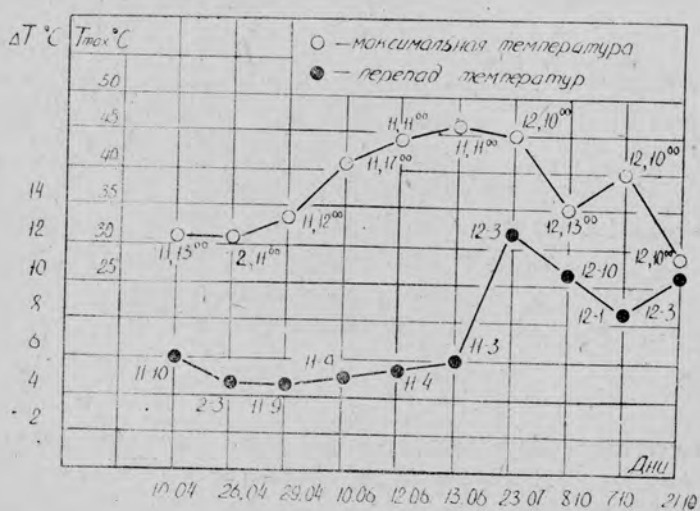


Рис. 2. Изменение температуры и перепада температур на поверхности рефлектора при положении «Солнце».

Экспериментальные данные (рис. 2, 3) показывают, что самый неблагоприятный, с точки зрения перегрева конструкции, летний период. Летом получены самые высокие значения максимальной температуры и перепада температур:  $T_{\max} = 45 \div 47^\circ\text{C}$  при  $\Delta T = 6 \div 13^\circ\text{C}$  на рефлекторе;  $T_{\max} = 50 \div 55^\circ\text{C}$  при  $\Delta T = 2 \div 4^\circ\text{C}$  на контррефлекторе. Область указанных значений находится примерно на расстоянии  $2/3$  радиуса от вершины рефлектора (термодатчики № 2, 5, 8, 11). От этой области уменьшение температуры происходит как к вершине, так и к краям рефлектора.

В весенний и осенний периоды конструкция нагревалась значительно меньше. Как видно из графиков, в эти периоды наблюдались небольшие значения максимальной

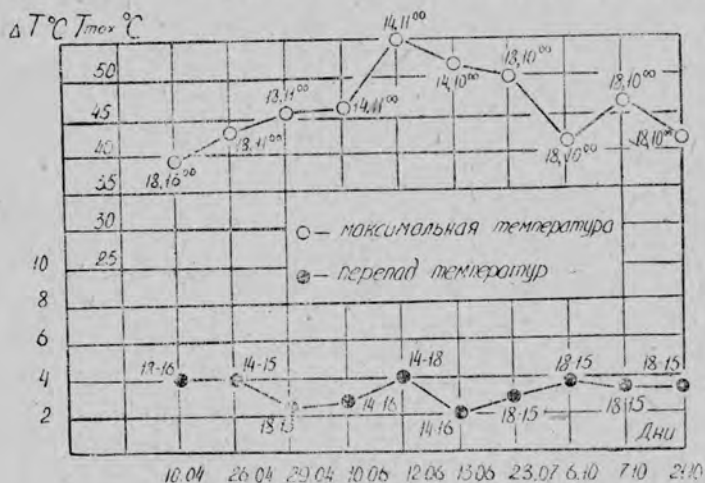


Рис. 3. Изменение температуры и перепада температур на поверхности контррефлектора при положении «Солнце».

температуры: весной  $T_{\max} = 31 \div 33^\circ\text{C}$  на рефлекторе и  $T_{\max} = 40 \div 45^\circ\text{C}$  — на контррефлекторе; осенью  $T_{\max} = 30 \div 40^\circ\text{C}$  на рефлекторе и  $T_{\max} = 42 \div 47^\circ\text{C}$  — на контррефлекторе.

Как и следовало ожидать, поверхность контррефлектора во всех случаях нагревается значительно сильнее. А большие перепады температуры фиксировались на поверхности рефлектора, особенно в осенний период:  $\Delta T = 13^\circ\text{C}$ .

#### Выводы

Лакокрасочные покрытия — эффективное средство защиты поверхности конструкции от перегрева солнечной радиацией и пассивный способ регулирования температурного поля.

Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР

Дата поступления  
27 января 1977 г.

Р. Байрамов, Ю. И. Мачуев, А. Назаров, В. Р. Көрпеев, О. И. Редзхерова

The distribution of  $t^\circ$  on the surface of parabolic reflector covered with varnish KO-1158, for position «Sun», was experimentally obtained.

Р. Байрамов, Ю. И. Мачуев, А. Назаров, В. Р. Көрпеев, О. И. Режебова

#### ПАРАБОЛИК СЕРПИЖИНИЌ ТЕМПЕРАТУРА РЕЖИМИНИЌ ДЕРЏЕЛИШИ

«Гүн» ягдайы үчин КО-1158 лак-рентк өртүкли параболик серпигиниң үстүни боюнча температураның бөлүниши экспериментал тайдан алынды.

УДК 63:658.26

С. Хандовлетов

#### О ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ АВТОНОМНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ОТГОННОГО ОВЦЕВОДСТВА ТУРКМЕНСКОЙ ССР

В статье приведены результаты расчета теплотребности для нужд отгонного овцеводства и рекомендации по выбору источников энергии. Расходы тепла на отопление, приготовление пищи и подогрев воды рассматриваются в отдельности.

**Отопление жилищ.** Часовой расход тепла на отопление можно определить по укрупненным показателям [1]:

$$Q_0 = a q_0 (t_{в} - t_{н. п.}) V_{зд}, \quad \text{ккал/час} \cdot \text{м}^3, \quad (1)$$

где  $q_0$  — удельная тепловая характеристика здания (для одноэтажных жилых домов со строительным объемом  $< 0,1$  тыс.  $\text{м}^3$  в среднем  $q_0 = 0,76 \text{ ккал/ч} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{град}$ ), изменение которой в зависимости от климатических условий учитывает поправочный коэффициент  $a$ .

$$a = 0,54 + \frac{22}{t_{в} - t_{н. п.}},$$

$t_{н} = +18^\circ\text{C}$  — температура внутри помещения;  $t_{н. п.}$  — расчетная температура наружного воздуха, град;  $V_{зд}$  — объем здания по наружному обмеру,  $\text{м}^3$ .

Годовой расход тепла на отопление определялся по формуле

$$Q_{о. г.} = Q_0 \varphi_0 \tau_{от}, \quad \text{ккал/год} \cdot \text{м}^3, \quad (2)$$

где  $\varphi_0 = \frac{t_{н} - t_{н. ср.}}{t_{в} - t_{н. п.}}$  — относительная тепловая нагрузка;  $\tau_{от}$  — длительность отопительного периода, час.

Таблица 1

Расчетные температуры наружного воздуха и длительность отопительного периода (по метеорологическим данным)

Природно-пастбищные районы, Каракумы	Температура, $^\circ\text{C}$		Длительность отопительного периода, $\tau_{от}$ час
	отопительная, $t_{н. п.}$	средняя за отоп. период, $t_{н. ср.}$	
Северо-Западные	-14	1,0	3408
Юго-Западные	-8	4,9	2472
Северные	-19	0,2	3480
Центральные	-15	2,3	2856
Юго-Восточные	-13	3,6	2760
Юго-Восточные (предгорные)	-14	3,1	3312
Южные (горные)	-12	4,7	2856

При расчете часовых и годовых расходов тепла на отопление приняты исходные данные по табл. 1. Результаты расчетов по формулам (1) и (2) для различных природно-пастбищных районов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Часовые и годовые расходы тепла на отопление  $1 \text{ м}^3$  зданий по наружному обмеру и годовые расходы тепла для приготовления пищи, подогрева воды на одного человека

Природно-пастбищные районы, Каракумы	$Q_0, \text{ккал/ч} \cdot \text{м}^3$	$Q_{о. г.}, \text{тыс. ккал/год} \cdot \text{м}^3$	Расход тепла, тыс. ккал/год	
			на приготовление пищи	на подогрев воды
Северо-Западные	13,6	46,4	250,9	150,5
Юго-Западные	11,8	29,2	254,8	176,0
Северные	13,0	45,2	247,5	148,5
Центральные	12,2	34,8	276,8	166,1
Юго-Восточные	11,6	32,0	281,3	168,8
Юго-Восточные (предгорные)	11,8	39,1	257,6	154,6
Южные (горные)	11,0	31,4	276,8	166,1

**Приготовление пищи и подогрев воды.** В условиях отгонного овцеводства при использовании индивидуальных печей процессы приготовления пищи и подогрева воды совмещаются с отоплением. Поэтому возникает необходимость округления количества

дополнительно расходуемого тепла в неотапливаемый сезон исходя из фактических данных. В работе [2] для обеспечения коммунально-бытовых потребностей применительно к условиям пастбищ отгонного овцеводства суточное водопотребление принято равным 30 л на человека, из которых половина предназначена для приготовления пищи, а остальная часть — для удовлетворения санитарно-гигиенических потребностей.

Исходя из этих норм, а также специфической особенности технологии приготовления пищи (разогрев приготовленной пищи, кипячение чая и т. д.) и принимая температуру горячей воды 60°C, определены годовые расходы тепла (табл. 2).

Интересно знать годовой расход топлива для удовлетворения теплотребности для отопления 1 м<sup>3</sup> зданий по наружному обмеру, для приготовления пищи и подогрева воды на одного человека. Поэтому по общепринятой методике [1] выполнен расчет (табл. 3).

При расчете годовых расходов топлива (пастбищных кустарников) приняты исходные данные табл. 2, а также теплотворная способность пастбищных кустарников — 3500 ккал/кг; к. п. д. нетеплоемких печей переносного типа — 0,4.

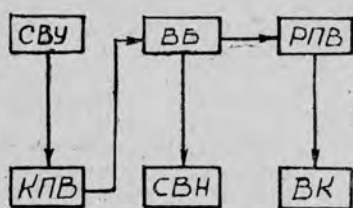
В качестве первичного носителя для теплоснабжения автономных сельскохозяйственных потребителей целесообразно использовать вместо пастбищных кустарников солнечную энергию и природный газ.

Таблица 3

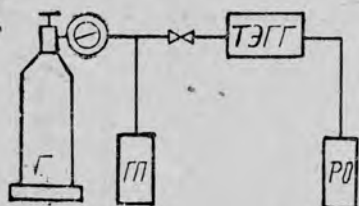
Годовые расходы топлива (пастбищные кустарники) для отопления 1 м<sup>3</sup> зданий по наружному обмеру, для приготовления пищи и подогрева воды на одного человека, кг/год

Природно-пастбищные районы, Каракумы	На отопление	На приготовление пищи	На подогрев воды
Северо-Западные	33,1	179,0	107,5
Юго-Западные	20,8	210,5	126,3
Северные	32,3	176,7	106,0
Центральные	24,8	197,7	118,6
Юго-Восточные	23,0	201,0	120,5
Юго-Восточные (предгорные)	27,9	184,0	110,4
Южные (горные)	22,4	197,7	118,6

Так, например, в отапливаемый период для отопления и приготовления пищи могут быть рекомендованы газовый полупроводниковый термоэлектрический генератор (ТЭГГ) (рис. 1б), работающий на сжиженном газе и вырабатывающий как электрическую, так и тепловую энергию [3]. Заметим, что в неотапливаемый период для при-



а)



б)

Рис. 1. Возможная схема комплексного теплоснабжения автономных потребителей с использованием энергии солнца (а) и природного газа (б). СВУ — солнечная водоподъемная установка; КПВ — колодец пресной воды; ВВ — водонапорная башня; СВН — солнечный водонагреватель; РПВ — резервуар пресной воды; ВК — водопойное корыто; Г — газ (пропан); ГП — газовая плита; ТЭГГ — полупроводниковый термоэлектрический газовый генератор; РО — радиаторы отопления.

готовки пищи используется только газовая плита, входящая в комплект газового термоэлектрогенератора. В этом случае отключается ТЭГГ при помощи вентиля (рис. 1б).

Для подогрева воды можно рекомендовать солнечные водонагреватели (рис. 1а). Считая температуру горячей воды 60°C, расчетным путем определена годовая экономия при использовании солнечного водонагревателя, составляющая 89,1 кг пастбищного кустарника на одного человека. При этом из расчета 0,2 м<sup>2</sup> солнечного водонагревателя на одного человека с 1 м<sup>2</sup> действующего солнечного водонагревателя можно получить экономии пастбищного кустарника, равную 445,5 кг.

Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР

Дата поступления  
22 февраля 1977 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров А. А. Применение тепла в сельском хозяйстве. М., «Колос», 1974.
2. Ибрагимов Д. Ю., Канакин Н. С. Энергетические потребности осваиваемых пустынных земель Туркмении.— «Мех. и электр. соц. с. х-ва», 1975, № 6.
3. Прищеп Л. Г., Антонов Ю. М. Энергообеспечение автономных потребителей.— «Мех. и электр. соц. с. х-ва», 1974, № 9.

S. Khandovletov

### ABOUT HEAT DELIVERY TO AUTONOMOUS AGRICULTURAL OBJECTS OF A SHEEP RAISING ON GRAZING LANDS OF THE TURKMEN SSR

The annual heat expenditures for houses heating, cookings and heating up of water were calculated with special reference to sheep raising on grazing lands of the Turkmen SSR. For houses heating and cookings the special scheme was suggested to the thermoelectrical generator operating on gas fuel, for heating up of water—the solar water heater.

УДК 553.98+551.524.2(575.4—14)

Н. О. Назаров  
Н. Мамиевенов

### О ВОЗМОЖНОСТИ СОПОСТАВЛЕНИЯ ГЕОИЗОТЕРМ С КОНФИГУРАЦИЕЙ СКЛАДОВ

Обработка большого количества фактических данных по температурным замерам в пределах нефтегазовых месторождений Юго-Западного Туркменистана выявила связь геотермических условий с конфигурацией складов.

Аналізу подвергались 14 месторождений нефти и газа. Все рассмотренные месторождения сложены красноцветной толщей, акчагыльскими и апшеронскими ярусами и антропогеном; более древние отложения (понт, палеоген, мел) известны лишь в восточной части Прибалханского района.

На основании фактических замеров температур составлены карты геотерм на глубинах 1000, 2000 м, геолого-геофизические профили (Челекен, Малый Балхан, Келькор—Аджияб) и карта геотерм для отдельных нефтегазовых месторождений.

Рассмотрение геолого-геотермических профилей и карт срезов выявило следующие



Рис. 1. Геотермический режим складки Комсомольская.

шие особенности: все изотермы достаточно четко оконтуривают конфигурацию складки; четко проявляются в верхней части разреза, а с глубиной происходит их разряжение; наблюдается повсеместное относительное увеличение температур (термальной аномалии) в зоне крупных тектонических нарушений (с амплитудой выше 100 м) и грязевулканических проявлений; на одних и тех же глубинах температура в сводовых участках выше, чем на крыльях.

Перечисленные выводы по результатам геотермических исследований позволяют совместно с другими геологическими работами уточнить геологическое строение площади. Сопоставление геозотерм и конфигурации складок, на основании чего могут быть выявлены наиболее перспективные блоки, участки для поисков залежей нефти и газа, можно применить как метод определения детального строения складки.

Это хорошо видно на изучении геотермического режима складок Котур-Тепе и Комсомольская (рис. 1, 2).



Рис. 2. Геотермический режим складки Котур-Тепе.

Геозотермы в целом отображают геоструктурное положение и конфигурацию локальных складок. В то же время на некоторых участках отмечается своеобразное поведение геозотерм. Так, в северо-западной части Восточного Котур-Тепе они открываются в сторону Комсомольской площади. В свою очередь, геозотермы Комсомольской площади открываются в южном и юго-восточном направлении. Аналогичную картину наблюдаем на юго-востоке восточного участка месторождения Котур-Тепе. Указанные особенности, по всей вероятности, еще раз свидетельствуют о том, что площадь Комсомольская представляет собой тектоническое осложнение северного крыла крупной Котур-Тепинской складки. Раскрытость геозотерм на крайнем юго-востоке Восточного Котур-Тепе и юге Комсомольской площади дает право считать наличие здесь нового блока и является основанием проведения в этих направлениях поисково-разведочных работ на нефть и газ.

#### Выводы

Детальные геотермические исследования могут служить дополнительным резервом к ранее существующим геологическим методам для уточнения детального геологического строения, выявления перспективных участков на нефть и газ, а также для установления характера насыщения залежей углеводородов.

ТуркменНИГРИ

УДК 552.5—К+549(575.4)

Дата поступления  
19 июля 1977 г.

Э. Гельдыев  
Н. Хаджинуров  
Б. Одэв  
С. Ф. Павлик  
В. И. Романова

#### ЛИТОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА СТРУКТУРЫ ЧИКИШЛЯР

Чикишлярская структура расположена в южной части Западно-Туркменской впадины и ориентирована почти в меридиональном направлении размерами 3,5×13 км по замкнутой изогипсе 3000 м. Здесь вскрыты отложения красноцветной толщи акчагыла, апшерона и постплиоцена, стратиграфическое расчленение которых произведено на ос-

новании изменения вещественного состава пород по разрезу и сопоставления с данными микропалеонтологических исследований О. Узакова с учетом электрокаротажной характеристики.

Красноцветная толща вскрывается на глубине 1560 м. По изменению содержания корреляционных минералов (роговой обманки, пироксенов, эпидота, цоизита, биотита, пирита и граната) весь вскрытый разрез расчленяется на две части — верхнюю и нижнюю. По данным О. Узакова (1973), в первой выделяется так называемая дагаджикская свита, которая отбивается на глубине 2700 м (скв. 1) со вскрытой мощностью около 300 м. Основную часть разреза дагаджикской свиты составляют глинистые и сильно сцементированные разности алевритовых пород. По результатам исследования гранулометрического состава, алевролиты подразделяются на песчаные и глинистые, где песчаная фракция составляет 31,3—45%, глинистая—15,6—27,8%. Карбонатность алевролитов изменяется в пределах 23,9—51,1%, пористость — 7,5—13,9%. В минералогическом составе установлены следующие минералы (в %): пирит — 11,2; магнетит-ильменит—6,2; гидроокислы железа — 10,2; гранат—1,2, циркон—3,8; кварц—56,4; полевые шпаты — 37,6; рутил, турмалин, сфен, анатаз-брукит, эпидот-цоизит, амфиболы, пироксены и пикотит встречены в единичных зернах.

Вышележащая часть нижнекрасноцветных отложений по преобладанию и повсеместному развитию пирита и граната предварительно названа пирито-гранатовой зоной. Последняя вскрывается на глубине 2285 м (скв. 1) с общей видимой мощностью 415 м. В отличие от дагаджикской свиты, в разрезе этой зоны количество и мощность алевролитовых пород заметно увеличиваются, содержание пирита и граната в целом имеет тенденцию к увеличению, составляя в среднем по 12-ти определениям соответственно 20,1 и 2,5%. Литологически зона представлена частым чередованием алевритовых пород с глинистыми. Изученные разности алевритовых пород оказались малопроницаемыми и сцементированными в основном карбонатным цементом. Пористость редко превышает 10%.

Отложения верхней части красноцветной толщи мощностью 725 м литологически представлены мощными пластами алевритовых и глинистых пород, редко неотсортированными кластолитами. Фракционный состав алевритовых пород представлен частицами размеров более 0,1 мм, 0—11,7%; 0,1—0,01 мм — 46,4—90,5% и менее 0,01 мм—8,7—46%. Пористость изменяется в пределах 2,3—30,6%, карбонатность 6,8—40%, проницаемость от непроницаемых — до 137 миллиардов. Карбонатность глинистых разностей пород изменяется от 1,7 до 37,2%. По изменению содержания корреляционных минералов весь разрез верхней части красноцветной толщи предварительно разбит на две минералогические зоны (снизу вверх): пироксено-роговообманково-цоизито-биотитовую и эпидото-роговообманково-пироксеновую.

Первая, мощностью 248 м, характеризуется несколько сокращением содержания пирита и граната. По сравнению с остальными частями разреза красноцветной толщи здесь биотит, пироксены и цоизит встречаются почти во всех изученных образцах пород. Возрастает также содержание кварца.

Эпидото-роговообманково-пироксеновая зона, мощностью 490 м, характеризуется повышенным содержанием пироксенов (до 2,3%), эпидота (до 5,6%) и роговой обманки.

Содержание пирита несколько сокращается, а граната — остается почти постоянным. Содержание остальных минералов колеблется: магнетит-ильменит до 24,2%, гидроокислы железа до 25,4, нерудные и непрозрачные до 15,8, циркон от единичных зерен до 9,3, сфен до 2, барит до 74,5, кварц до 58,2, полевые шпаты до 46,0. Содержание остальных минералов, за редким исключением, не превышает 1%.

Акчагыльский ярус площади Чикишляр хорошо выделяется в разрезах скважин на электрокаротажных диаграммах. Судя по данным электрокаротажных диаграмм, отложения акчагыльского яруса представлены преимущественно глинистыми образованиями с маломощными прослоями песчано-алевритовых пород. В минералогическом отношении породы акчагыльского яруса характеризуются повышенным содержанием барита и сфена.

Апшеронский ярус в разрезе месторождения устанавливается по электрокаротажным диаграммам и палеонтологическим исследованиям. Отложения здесь представлены чередованием песчано-алевритовых и глинистых пород с прослойками мергелей. Мощность отложений 710 м.

Постплиоценовые отложения представлены чередованием песчано-алевритовых и глинистых образований. Мощность 630 м.

## Выводы

Выявленная закономерность изменения вещественного состава пород по вертикали позволила расчленить красноцветную толщу на две части и выделить в нижней части пирито-гранатовую зону и в верхней — пироксено-роговообманково-цоизито-биотитовую и эпидото-роговообманково-пироксеновую зоны, что подтверждает ранее проведенные исследования других авторов в этих районах.

Установлено большое содержание песчаной фракции в верхнем красноцвете и меньшее — в нижнем. Содержание алевритовой фракции так же имеет тенденцию к уменьшению от верхнего красноцвета к нижнему.

Песчано-алевритовые породы обладают низкими значениями пористости и проницаемости. В отдельных образцах пород верхнего красноцвета отмечено повышенное значение открытой пористости (30,6%), однако в большинстве случаев оно редко превышает 10—12%, что объясняется повышенным содержанием карбонатного цемента и глинистой фракции в породах.

ТуркменНИПИнефть

Дата поступления

12 июля 1976 г.

А. Сапарова

## ИЗ ИСТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ КАРА-БОГАЗ-ГОЛА В ДОСОВЕТСКИЙ ПЕРИОД

История исследования Кара-Богаз-Гола начинается с давних времен. Расположенный на восточном берегу Каспия и соединяющийся с морем узким проливом, залив долгое время считался опасным для мореплавателей и был загадкой для ученых, посещавших эти места.

Первые сведения о Каспийском море и его берегах имеются в трудах древнегреческих, римских и арабских ученых. Каспием интересовались также русские землепроходцы, как Афанасий Никитин, Иван Данилович Хохлов и др. Изучение бассейна Каспийского моря и его прибрежных территорий начинается с XVIII в., тогда же были получены и первые сведения о Кара-Богаз-Голе. До этого времени на известных как западных, так и русских картах Каспийского моря Карабогазгольский залив не обозначался<sup>1</sup>.

В 1715 г. по распоряжению Петра I снаряжается Каспийская экспедиция во главе с Александром Бековичем-Черкасским с заданием: «От Астрахани направляться морем вдоль восточного берега Каспия до границы с Персией... Обследовать этот берег и составить карту всех пройденных берегов...» [2].

Первое географическое описание залива, составленное Александром Бековичем-Черкасским (в дальнейшем А. Черкасский — А. С.), не сохранилось. Долгое время считалась также утерянная составленная А. Черкасским карта. Только в 1952 г. Е. А. Княжецкая обнаружила в архиве карту Каспийского моря, составленную А. Черкасским [4]. Эта карта свидетельствует, что А. Черкасский был первым исследователем, открывшим пролив из Каспийского моря в Кара-Богаз-Гол и вошедшим в него. Это было за 11 лет до посещения залива Ф. И. Соимоновым, фактически первым пролив в залив. А. Черкасский, а не Г. С. Карелин, как отмечается в опубликованной литературе [10, 12].

После А. Черкасского на восточный берег Каспия неоднократно снаряжались экспедиции, которыми составлялись описи восточного берега моря<sup>2</sup>. Но, по разным причинам, ни одной из них не удалось войти в залив вплоть до плавания Г. С. Карелина [2].

Все мореплаватели XVIII и начала XIX вв., посетившие Каспийское море после А. Черкасского, хотя и не были в заливе, но наносили его на свои карты. Очертания Кара-Богаз-Гола на этих картах были далеки от действительности.

Экспедиция, возглавляемая Г. С. Карелиным и И. Бларамбергом, 1836 г., снаряженная для изучения восточных берегов и прибрежной части Каспийского моря, достигла района Кара-Богаз-Гола, вошла в него и проплыла в обе стороны от пролива по 40—50 верст вдоль берега. Участники этой экспедиции впервые попытались объяснить причины стремительного течения вод Каспия через пролив в Кара-Богаз-Гол, отвергнув версию о «пучине», поглощающей воды моря. По их мнению, испарение на обширной поверхности мелководного залива значительно сильнее, чем в более глубоком, открытом море: «...вследствие того, по закону равновесия жидких тел, воды Каспия стремятся сравнять свою относительную поверхность с водоемом Кара-Бугаза, и тем с большей силой, что единственный проток, их соединяющий, необыкновенно узок» [12]. Г. С. Карелин указывал, что это возможно будет установить только путем систематических наблюдений в заливе. Экспедиция не располагала необходимым оборудованием и приборами для изучения гидрохимии залива.

<sup>1</sup> Карты западных картографов: И. Масса (1633 г.), А. Олеария (1647 г.), Н. Витсена (1665 г.), Я. Стрюйса (1668 г.), Г. Делиля (1700 г.). Карты русских картографов: Н. Спафария (1668 г.), С. Ремезова (1697 г.), Е. Мейер-Оттенса (1703—1922 гг.) и др.

<sup>2</sup> Наиболее крупные из этих экспедиций: В. А. Урусова и А. Кожина (1718 г.), В. П. Ван-Вердена и Ф. И. Соимонова (1719—1720 гг.), Ф. И. Соимонова (1726 г.), И. В. Токмачева (1764 г.), Э. Эйхвальда (1825 г.) и др.

Оценивая итоги экспедиции Г. С. Карелина, историк русского флота А. П. Соколов писал, что «посещение его (залива — А. С.) Г. Карелиным... действительно надобно считать подвигом» [4]<sup>1</sup>.

Особое место в истории исследования Кара-Богаз-Гола занимает экспедиция Г. Жеребцова, который вошел в залив на пароходе «Волга» в начале сентября 1847 г. Вот как описывается А. П. Соколовым эта экспедиция: «Обзор, сделанный ныне Г. Жеребцовым, хотя и не разрешает всех вопросов об этом чудном заливе — всего более жаль, что не исследована его середина — но объясняет уже очень многое — пространство залива, свойства его берегов и воды, глубину жерла, отчасти силу и направление течений — потому другие вопросы о нем делаются более определенными» [7].

В донесении Г. Жеребцова Гидрографическому управлению сообщается, что на дне залива осаждается соль, причем соль эта не обычная, поваренная, употребляемая в пищу, а горькая. «Найденную при пробе грунта соль,— сообщает Г. Жеребцов,— мы сложили на палубу, дабы подсушить, а корабельный кок, человек, скудный умом, поселил ею борщ для команды. Через два часа экипаж заболел жесточайшей слабостью желудка. Соль оказалась равной по действию касторовому маслу...» [2].

Г. Жеребцов составил также описание залива, произвел промеры глубин пролива и сделал первые наблюдения над течением воды в заливе [7]. Он первым рекомендовал перегородить пролив дамбой со шлюзом для поддержания постоянного уровня воды в заливе. К этому времени относятся и первые научные данные об анализах солей Кара-Богаз-Гола.

К. М. Бэр использовал материалы Г. С. Карелина и Г. Жеребцова в своих исследованиях в 1855 г. и Г. В. Абих — в 1859 г. для объяснения происхождения водоемов. На опресняющее влияние Кара-Богаз-Гола на воды Каспийского моря указывал также О. А. Grimm в 1874—1876 гг. Он отрицательно относился к планам отделения залива от Каспия и превращения его в огромный бассейн для осаждения соли с целью увеличения ее добычи [10]. О. А. Grimm приводит расчеты, показывающие незначительное изменение концентрации солей в воде Каспийского моря в случае перекрытия Карабугазского пролива [8].

В эти же годы профессор К. Шмидт впервые определил суммарное содержание солей в рассолах залива, равное 28,49%.

В 1894 г. Н. И. Андрусов создал первую гидрометеорологическую станцию на берегу Кара-Богаз-Гола. С ноября 1894 г. по май 1895 г. на этой станции П. Максимович определил удельный вес и температуру, а также скорость течения в проливе, нанес его на карту и провел некоторые метеорологические наблюдения [10].

По мере накопления новых сведений экспедициями, посетившими Кара-Богаз-Гол, и выяснения химического состава солей залива им стали интересоваться не только научные, но и промышленные круги.

В 1897 г. Министерство земледелия и государственных имуществ при содействии Мопского Министерства на пароходе «Красноводск» снаряжает экспедицию И. Б. Шпидлера с целью выяснения роли Кара-Богаз-Гола в жизни Каспийского моря и изучения его соляных богатств. В состав экспедиции входили гидролог И. Б. Шпидлер, геолог Н. И. Андрусов, химик А. А. Лебединцев, зоолог А. Остроумов и др.

Экспедиция, работавшая в течение мая—июня, определила акваторию залива (18344,5 кв. км), констатировала, что осадок на дне залива представляет собою не поваренную, а глауберову соль — мирабилит ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), а также определила, что ориентировочные запасы ее составляют около 600 миллионов тонн [3]. Неоднократно проверялись удельный вес и температура морской воды в проливе и на поверхности залива при температуре 25°C, и распределение удельных весов и температур в вертикальном разрезе, а также горизонтальное распределение этих параметров на глубине (6,4 м) и в придонном слое залива. Были проведены анализы солей глубинных и поверхностных слоев воды пролива и рассолов залива в частности определен состав сухого остатка солей в литре карабугазской воды при 17,5°C—186,3 г в нем:  $\text{NaCl}$ —120,8650;  $\text{MgSO}_4$ —33,5977;  $\text{MgCl}_2$ —25,3274;  $\text{CaSO}_4$ —3,0342;  $\text{KCl}$ —2,8655;  $\text{CaCO}_3$ —9,4163 [11].

Было также определено содержание хлора, свободного кислорода, сероводорода, аммиака и органических веществ.

На основе анализа собранного материала по гидрохимии залива А. А. Лебединцев пришел к следующим выводам: на обмеление Каспийского моря Карабугазский залив не оказывает заметного влияния; Карабугаз не обедняет солями Каспийское море; в случае заграждения пролива потребуется три тысячи лет, чтобы соленость воды Каспия повысилась только на 1%. «...Влияние Карабугаза, в который уносится часть солей Каспийского моря, скорее благотельно, чем вредно». «...стекание Каспийских вод в Карабугаз служит для Каспийского моря спасительным средством в поддержании его постоянной солености и жизненности» [8].

<sup>1</sup> В вышедшем в 1976 г. в издательстве «Туркменистан» романе В. Рыбина «Государь и кочевники» дан сжатый, но яркий и хорошо документированный очерк жизни и научного подвига Г. С. Карелина.

Оценивая соляные богатства залива, А. А. Лебединцев писал: «Преимущество Карабогазского залива как самосадочного единственного в своем роде и в то же время судоходного бассейна с благоприятным для якорных стоянок грунтом, без всяких подводных камней и рифов, с небольшой волной, соединенного к тому же проливом с морем и, стало быть, с такими промышленными центрами, как Баку и волжское побережье, мы думаем, для всякого должно быть ясно при сравнении его с другими существующими местами залежей глауберовой соли, в роде Шемахи, Баталпашинских озер и проч.

Внимание чистой глауберовой соли, залегающей крайне равномерным пластом на дне залива, с помощью черпательных машин или экскаваторов и прямая нагрузка на суда, выходящие в море, все это такие условия, с которыми не может сравниться ни одно из современных садочных озер» [8].

В результате комплексных исследований были опровергнуты противоречивые мнения о природе залива. Участники экспедиции указывали, что до 1897 г. «ученые либо сочиняли ряд фантастических карт и очертаний залива, либо считали его «мертвым морем» (Эйхвальд), либо обильно населяли его различной живностью (Карелин), либо считали фабрикой наших нефтяных богатств (Оксеннус и др.), либо садочным бассейном поваренной соли (Абих, Бэр, Grimm, Рот и др.);...» [8].

Значительные запасы мирабилита, высокое его качество и перспективы использования морского пути для переброски в центр России привлекали внимание промышленников. В то время путем переработки мирабилита из него получали соду, едкий натр, сернистую кислоту. Мирабилит нашел широкое промышленное применение при производстве стекла, обработке кожи, мыловарении и многих других отраслях химических производств.

Комплексной экспедицией за сравнительно короткое время была проделана большая работа по химическим и гидрографическим исследованиям. Было установлено, что Кара-Богаз-Гол — богатейший источник химического сырья, в частности глауберовой соли.

Но для промышленной эксплуатации богатств залива необходимы были систематические наблюдения за метеорологическими условиями района, колебаниями температуры и плотностью рапы, линией залегания и участками наибольших выбросов мирабилита.

В связи с этим по инициативе Н. С. Курнакова летом 1909 г. в Кара-Богаз-Гол направляется новая экспедиция в составе 15 человек, возглавляемая горным инженером Н. И. Подкопаевым.

Основной задачей экспедиции было изучение залива Кара-Богаз-Гол как источника химического сырья с целью промышленного его использования. Экспедиция начала работы в заливе 12 июля 1909 г. Вновь производились замеры глубин, измерялись температура воздуха и рапы. Много времени занимало изучение состава солей, разведка на глауберову соль, а также на такие полезные ископаемые, как каменный уголь, залежи которого находились в 50 км от восточного берега.

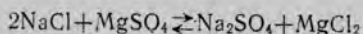
На основании данных, собранных Н. И. Подкопаевым и его помощниками, было подтверждено, что в осенне-зимний период, примерно с сентября до начала марта, в заливе происходит обильная садка мирабилита, который волнами выбрасывается на берег.

С наступлением теплого времени и повышением температуры воды глауберова соль растворяется и к концу июля вся переходит в раствор. Указывая на эти особенности глауберовой соли залива, Н. И. Подкопаев писал: «За все время плавания только два раза удалось достать кристаллы глауберовой соли, что говорит о полном растворении зимней садки соли в течение летнего времени». Он указывал также, что «запасы глауберовой соли в водах Карабогазского залива неисчерпаемы, хотя и периодичны» [6].

Экспедиция Н. И. Подкопаева впервые дала технико-экономическую характеристику залива, собрала обширный материал по его метеорологии, гидрологии, гидрохимии. Были установлены основные условия садки и растворения глауберовой соли, а также окончательно установлен сульфатный тип карабогазской рапы.

Большую роль в изучении соляных богатств Кара-Богаз-Гола сыграла Комиссия по изучению естественных производительных сил России, созданная в 1915 г. Российской Академией наук. Одним из организаторов ее был В. И. Вернадский. Комиссия организовывала систематическое изучение природных ресурсов, объединяла ученых [5]. В 1915—1917 гг. ею были изданы очерки о природных богатствах России, в том числе в 1916 г. — специальный сборник научных отчетов и статей Н. И. Андрусова, Н. С. Курнакова, А. А. Лебединцева и И. Б. Шпиндлера, Н. И. Подкопаева, посвященных Кара-Богаз-Голу.

С целью выяснения механизма садки мирабилита в заливе Н. С. Курнаков совместно с С. Ф. Жемчужным провели цикл систематических исследований равновесий в водной взаимной системе



при 25 и 0°C [3, 9].

Эта работа сыграла важную роль в изучении соляных равновесий и не потеряла своего значения в настоящее время при решении проблемы промышленного освоения Кара-Богаз-Гола.

Одновременно с научными исследованиями залива в конце XIX в. начинается практическое использование его сырьевых ресурсов. 17 июня 1898 г. Министерством земледелия и государственных имуществ России были выработаны правила сдачи в аренду частным лицам для эксплуатации соляных месторождений Закаспийской области<sup>1</sup>. Поступили прошения от частных лиц. Позднее это привело к строительству соляной пристани на заливе, содержанию постоянных надсмотрщиков. Солепромышленники предоставляли свои лодки экспедициям, а Ш. Губаев даже изъявил желание присоединиться к экспедиции Н. И. Подкопаева 1909 г. [10]. В 1910—1916 гг. в заливе было добыто глауберовой соли около 35 000 т [1].

Работы экспедиций по изучению солевых богатств Кара-Богаз-Гола в период с XVIII в. до Великой Октябрьской социалистической революции носили эпизодический, нерегулярный характер. Это были первые разведочные работы русских путешественников и ученых по изучению Каспийского моря и Карабугазского залива. Их результаты были оценены по достоинству лишь при Советской власти. После Великой Октябрьской социалистической революции по инициативе В. И. Ленина советские ученые развернули систематические исследования по изучению и освоению солевых богатств Кара-Богаз-Гола, успешно продолжающиеся и в наши дни.

Институт истории им. Ш. Батырова  
АН Туркменской ССР

Дата поступления  
22 июля 1977 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Блюмберг Я. Б. О добыче мирабилита и его естественном обезвоживании в Кара-Богаз-Голе. — В кн.: Залив Кара-Богаз-Гол. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1940.
2. Дзенс-Литовский А. И. Кара-Богаз-Гол. Л., «Недра», 1967.
3. Карабугаз и его промышленное значение. Петроград, типография Императорской Академии наук, 1916.
4. Княжецкая Е. А. Судьба одной карты. М., «Мысль», 1964.
5. Ленин и Академия наук. М., «Наука», 1969.
6. Подкопаев Н. И. Из отчета по поездке на Карабугаз в 1909 году. — В сб.: Карабугаз и его промышленное значение. Петроград, типография Императорской Академии наук, 1916.
7. Соколов А. П. Обзор Карабугазского залива Каспийского моря. — В кн.: Записки Гидрографического Департамента Морского Министерства, ч. 6, 1848.
8. Труды Карабугазской экспедиции, ч. 2, «Физико-химические исследования». Спб., 1902.
9. Уразов Г. Г. и Лепешков И. Н. Исследование солевых равновесий и соляных богатств СССР. — В кн.: Н. С. Курнаков. Материалы к библиографии ученых СССР. М., Изд-во АН СССР, 1961.
10. Чарьев Б. Ч. Кара-Богаз-Гол. История исследования и промышленного освоения. Ашхабад, Изд-во ТФАН СССР, 1950.
11. Шпиндлер И. Б. и Андрусов Н. И. Физико-географический очерк. В сб.: Карабугаз и его промышленное значение. Петроград, типография Императорской Академии наук, 1916.
12. Штейнберг Е. Л. Первые исследователи Каспия (XVIII—XIX вв.) М., Географгиз, 1949.

<sup>1</sup> ЦГА, ф. И-1, оп. 2, д. 1883, лл. 3—9, 67, д. 2350, лл. 1, 6.

## ПЕРСОНАЛИЯ

### АБДУЛХАЛАТ АБДУЛЛАТЫПОВИЧ БАКИРОВ

(к семидесятилетию со дня рождения  
и пятидесятилетию научно-производственной и общественной деятельности)

Исполнилось 70 лет со дня рождения в 50 лет научной, педагогической и общественной деятельности выдающегося советского геолога, крупного специалиста в области нефтяной геологии, лауреата Ленинской премии, заслуженного нефтяника Узбекской ССР, заслуженного деятеля науки и техники Туркменской ССР и Российской Советской Федеративной Социалистической Республики, профессора Абдулхалата Абдуллатыповича Бакирова.



Свою производственную деятельность А. А. Бакиров начал почти полвека назад, работая до 1939 г. в Главном Геологическом Управлении Наркомтяжпрома под непосредственным руководством академика И. М. Губкина, пройдя путь от гидрогеолога до руководителя производственного отдела Главка.

С 1939 по 1947 гг. А. А. Бакиров работает в системе топливной, а впоследствии — нефтяной промышленности.

С 1947 по 1949 г. он — заместитель директора по научной части Московского филиала ВНИГРИ, в 1949 г. — заместитель начальника Геологического Управления Министерства нефтяной промышленности. В 1953 г. А. А. Бакиров избирается заведующим кафедрой геологии нефтяных и газовых месторождений Академии нефтяной промышленности, а в 1956 г. он — заведующий кафедрой теоретических основ поисков и разведки нефти и газа Московского института им. И. М. Губкина.

А. А. Бакиров широко известен в нашей стране и за рубежом как ведущий ученый в области нефтегазовой геологии. Он внес крупный вклад в разработку важнейших теоретических проблем нефтегазовой геологии, в том числе: по изучению происхождения нефти и газа, закономерностей формирования и размещения их скоплений, по разработке классификаций нефтегазонакоплений. Разработанные им теоретические принципы нефтегеологического районирования широко внедрены в практику работ производственных организаций и положены в основу составления карт перспектив нефтегазоносности территории СССР.

А. А. Бакировым опубликовано свыше 200 научных работ, в том числе 6 учебников и 10 монографий. Многие его статьи и книги, опубликованные на английском, немецком, арабском, польском и других языках, принесли ему мировую известность.

По учебникам, составленным им, ныне обучаются студенты геологи-нефтяники во всех вузах и университетах страны.

Будучи учеником академика И. М. Губкина и творчески развивая его научное

наследие, А. А. Бакиров возглавляет научную школу, воспитанники которой работают во всех нефтяных районах страны, а также за рубежом. За последние 15 лет им подготовлено 12 докторов и 34 кандидата геолого-минералогических наук.

Особенно значительны заслуги А. А. Бакирова в изучении геологического строения и открытия крупных нефтегазоносных районов в Узбекской ССР, Туркменской ССР и Западной Сибири.

Основным направлением его работ по Средней Азии является изучение региональной тектоники, нефтегазоносности, выявление закономерностей формирования и размещения скоплений углеводородов, выделение перспективных зон нефтегазонакопления.

Изучение нефтегазоносных областей Ближнего Востока и сопоставление их с нефтегазоносными областями Средней Азии позволили ему высоко оценить перспективы недр среднеазиатских республик в отношении нефти и газа, наметить главнейшие направления поисково-разведочных работ. Его практические рекомендации подтвердились открытием ряда нефтяных и газовых месторождений. За участие в открытии газового месторождения Газли А. А. Бакиров был удостоен звания лауреата Ленинской премии.

А. А. Бакирова по праву можно назвать первооткрывателем Мургабской нефтегазоносной области. На основе сравнительного анализа с нефтегазоносными областями Ближнего Востока А. А. Бакиров с присущей ему настойчивостью доказывал многочисленным оппонентам о высоких перспективах Мургабской впадины в отношении нефти и газа. Этот смелый прогноз подтвердился открытием многочисленных месторождений газа, среди которых Шатлыкское является гордостью молодой газовой промышленности Туркменской ССР.

А. Бакиров внес большой вклад в дело подготовки высококвалифицированных кадров для нашей республики, для становления и укрепления нефтяного факультета Туркменского политехнического института, где основное ядро преподавательского состава составляют его ученики.

В настоящее время под руководством А. А. Бакирова туркменские ученые совместно с московскими коллегами проводят интересные работы по разделному прогнозированию зон нефтенакпления и газонакопления, имеющие большое народнохозяйственное значение.

Плодотворная производственная, педагогическая, научная и общественная деятельность профессора А. А. Бакирова высоко оценена правительством СССР и союзных республик. Он награжден Орденом Трудового Красного Знамени, тремя орденами «Знак Почета» и медалями, Почетной грамотой ЦК КП Узбекистана, Президиума Верховного Совета и Совета Министров Узбекской ССР, Почетными грамотами Президиумов Верховного Совета ТССР, Таджикской ССР, Узбекской ССР.

А. А. Бакиров заслуженно пользуется большим авторитетом широкой геологической общественности страны и ученых многих зарубежных стран.

Геологическая общественность Туркменистана, ученики и друзья сердечно поздравляют Абдулхалата Абдуллатыповича Бакирова со славным семидесятилетием и желают доброго здоровья, больших творческих успехов на благо нашего народа.

Бабаев А. Г., Суюнов Н. Т., Ходжакулиев Я. А.,  
Хуснутдинов З. Б., Аширмамедов М. А., Мирзаханов М. К.,  
Бутузов П. М., Пайтыков Ч. М., Сахатвалиев Д. Г.,  
Аванесов А. А., Тегелеков К. М., Назаров Н. О., Розьева Т. Р.

## СОДЕРЖАНИЕ

Оразов М. — Некоторые приложения неравенства Романова—Эрдеша	3
Баркин Ю. В., Желдакова Л. В. — Дифференциальные уравнения попутельно-вращательного движения осесимметричного твердого тела в поле притяжения шара	10
Бекмурадов О. — О некоторых особенностях теплообмена в трубах со слоем кускового материала	15
Аллахвердиев Р. А., Агаев Г. Ф. — К определению коэффициента гидравлического сопротивления фонтанного потока	21
Алюшина В. И., Старосельцева С. П., Ковалевская Г. Г., Агаев Я. — Электрические и фотоэлектрические свойства $n$ -InP, компенсированного хромом	26
Беркелиев А., Галаванов В. В., Дурдыев К., Мередов А. — Электрические свойства $S$ -диодов на $p$ -InSb в магнитном поле	30
Аннаева А. Р., Беркелиев А., Гольдберг Ю. А., Мелебаев Д. — Фотоэлектрические свойства варизонных $Au$ - $n$ - $Ga_{1-x}Al_xAs$ - $n$ - $GaAs_{1-x}P_x$ структур	36
Суханов С., Аллаберенов О., Анябердыев Р., Мухаметниязова А. Б., Туджанова И. Н. — Получение и исследование гальваномагнитных свойств тонких пленок антимонида индия	40
Бяшимов М., Назаров Ш. А. — Температурный режим аккумулятора солнечной отопительной системы	44
Клыщаева О., Бяшимов Б., Какабаев А. — О тепловом режиме неохлаждаемых индивидуальных жилых зданий	49
Какабаев А., Клыщаева О., Атаев К. — Тепло- и массообмен при испарении влаги с открытой шероховатой поверхности	56
Рожавская А. Д., Берета Л. И. — Спектральное определение фосфора в породах	61
Александрин Ю. С., Анисимов В. Ф., Птицын И. В., Ханбердиев А. — О возможности автоматизации процесса регистрации метеоров	65
Овезгельдыев О., Беркелиев М., Григорьян А. Г. — Выявление переходной зоны по широтному изменению параметров ионизированной и нейтральной компонент атмосферы	69
Орлов В. С. — Об образовании обменных поперечных волн на границе раздела сред с различными физическими параметрами	76
Караев Я., Эрнепесов Х. Н., Куклинский А. Я., Пушкина Р. А., Эрнепесов Д. Х. — Исследование углеводородного состава марьшинской нефти методом ИК-спектроскопии	81
Нурьев А., Сапаров А., Буркутова Р. А., Агаджанова Л. Р. — Исследование кинетики десорбции брома из высокоминерализованных рассолов	85
Нурягдыев М., Пасеьева Л. М., Кашкаров О. Д. — Растворимость каолинита в системе, состоящей из хлоридов и сульфатов магния, калия и натрия в воде, в области, не насыщенной по галиту, при 40°C	89
Курбанмурадов А. — Гидрогеологические критерии нефтегазоносности и направление нефтепоисковых работ в Юго-Западном Туркменистане	93
Таимов К.-Д. — О методике поисков неантиклинальных ловушек нефти и газа в Центральной Туркмении	98

### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Суханов С., Назаров П. А., Ялкапов Д. — Об измерении токов с использованием преобразователя Холла (101). <u>Амандурдыев А.</u> , Алексанян С., Аширов А., Довлетов К. — Исследование диаграммы состояния системы GaSe—GeSe (103). Мосанов О., Тилкилиев С. — Фотопроводимость $n$ -InSb в магнитном поле (105). Сейиткурбанов С., Ханмамедов М. — Качество дистиллята при опреснении соленых вод в регенеративных солнечных адиабатных испарителях (109). Тойлиев К., Галканов А. — К методике расчета температурного поля параболического рефлектора (110). Сейиткурбанов С., Савченко В. В. — Исследование парообразования в испарительной камере адиабатной опреснительной установки (112). Байрамов Р., Мачуев Ю. И., Назаров А., Корпеев Б. Р., Реджепова О. И. — Исследование температурного режима параболического отражателя (114). Хандовлетов С. — О теплоснабжении автономных сельскохозяйственных объектов отгонного овцеводства Туркменской ССР (116). Назаров Н. О., Мамиэсенов Н. — О возможности сопоставления геоизотерм с конфигурацией складок (119). Гельдыев Э., Хаджинуров Н., Одаев Б., Павлик С. Ф., Романова В. И. — Литолого-минералогическая характеристика и коллекторские свойства структуры Чикишляр (120). Сапарова А. — Из истории исследования Кара-Богаз-Гола в досоветский период (122).
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### ПЕРСОНАЛИЯ

Абдулхалат Абдуллатыпович Бакиров

СТК 12

Отв. секретарь журнала *С. П. Хрипунова*  
Художественный редактор *А. Агаева*  
Технический редактор *Р. Санатулова*  
Корректор *Е. Камнева*

Сдано в набор 25/XI-77 г. Подписано к печати 20/II-78 г. Формат 70×108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Уч.-изд. л. 9,58. Физ. печ. л. 8,0. Привед. печ. л. 11,2. Зак. 5939. Тираж 760.  
Цена 60 коп. И—02416.

Издательство «Ылым». 744000, Ашхабад, ул. Энгельса, 6.  
Типография АН ТССР. 744012, Ашхабад, ул. Ростовская, 92а.

Продолжается подписка  
на журнал  
**„ИЗВЕСТИЯ  
АКАДЕМИИ НАУК  
ТУРКМЕННОЙ ССР“**

на 1978 год

ПО СЕРИЯМ:

физико-технических, химических  
и геологических наук,  
биологических наук,  
общественных наук  
и журнал „Проблемы освоения пустынь“

Периодичность каждой серии

6 номеров в год

Подписная плата

серия физико-технических,  
химических и геологиче-  
ских наук

на год 3 р. 60 к.

на 6 месяцев 1 р. 80 к.

цена отдельного

номера 60 к.

серии биологических,  
общественных наук  
и журнал „Проблемы  
освоения пустынь“

3 р.

1 р. 50 к.

50 к.

*Подписка принимается  
во всех отделениях  
„СОЮЗПЕЧАТИ“*