

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Զ Ե Կ Ո Ւ Ի Յ Ց Ն Ե Ր
Д О К Л А Д Ы

LIII, № 2

1971

Խմբագրական կոլեգիա

Редакционная коллегия

Է. Գ. ԱՅՐԻԿՅԱՆ, կենսաբանական գիտությունների բնական. Ա. Բ. ԲԱՐԱՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս. Ա. Ա. ԽԱՎԱՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ պրակտիկ-անդամ. Վ. Մ. ԽԱՌԱՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ պրակտիկ-անդամ. Վ. Հ. ՀԱՄԲԱՐՑՄՅԱՆ, ակադեմիկոս. Վ. Հ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ պրակտիկ-անդամ (պատ. խմբագրի տեղակալ). Մ. Հ. ՄԻՐՉՈՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ պրակտիկ-անդամ. Ս. Ս. ՄԻՐՉՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս. Ա. Գ. ՆԱԶԱՐՈՎ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս (պատ. խմբագրի). Օ. Մ. ՍԱԳՈՆՋՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ պրակտիկ-անդամ. Մ. Լ. ՏԵՐ-ՄԻԿԱԵԼՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ պրակտիկ-անդամ:

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

Բ Ո Վ Ա Ն Գ Ա Կ Ո Ւ Ք Ց Ո Ւ Ն

Ո Ա Ք Ե Մ Ա Տ Ի Ա Ա

Վ. Ա. Շմառկով — Բանախյան տարածություններում միամասնակ մատակարարման և խեղդողությունների մասին 62

Ա Ռ Ա Ջ Գ Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Ք Ց Ա Ն Տ Ե Ս Ո Ւ Ք Ց Ո Ւ Ն

Վ. Ս. Ստրգոյան, Լ. Հ. Հովսեփյան — Առաջապահ վերազերներով անիզոտայ կիսա-տարթության պարբերական կանաչապային խեղդող 71

Ճ Ի Ջ Ի Ա Ա

Գ. Մ. Ավանյանց, Ա. Ա. Սանփանով, Ռ. Ս. Բարսեղյան, Յու. Ա. Արամյան — Բա- ջառակի գիմարությունը գիզների փոխանցման համակարգում 79

Ա Ս Տ Ի Ռ Ճ Ի Ջ Ի Ա Ա

Ե. Մ. Սիսոյան, Է. Վ. Գուրգոյան, Վ. Վ. Պապոյան — Պատվազ առաջային ժողովների էյուրոպական տնտեսության վերաբերյալ 84

Ո Ւ Կ Ր Ա Ր Ա Ն Ո Ւ Ք Ց Ո Ւ Ն

Հ. Վ. Վարդենյան — Խուցիկի շուրջը Բոխի փոփոխումից առաջացող լարումների դասավորման բնույթի հաստատման հարցի մասին 89

Հ Ա Ն Բ Ա Ր Ա Ն Ո Ւ Ք Ց Ո Ւ Ն

Լ. Ա. Հաբիրյանյան, Է. Ե. Խուրյուզյան — Օննիումի գիտությունների սինթեզը և արտի- տուրային ուսումնասիրությունը 95

Հ. Գ. Միրզոյան — Հյուսիսային Հայաստանի հրային ապարներում մուսսանիտի հայտնաբերման մասին 101

Տ Ե Կ Ց Ո Ն Ի Ա Ա

Պ. Գ. Ալոյան — Կենտրոնական Ջանգեզուրի բարձր սելամիկական ախտի վրայի հեա- րավոր գնահատման պատճառների մասին 105

Գ Ե Ո Ք Ի Մ Ի Ա

Մ. Մ. Կոնստանտինով — Անդրկովկասի սուխու հանրապետությունում սուխու անջառման ժամանակի մասին 109

Ս Ի Կ Ր Ո Ր Ի Ո Ղ Ո Ց Ի Ա

Հ. Կ. Փանոսյան, Լ. Գ. Փուլինյան — Դեղձենու արմատային ոլորտի մի քանի միկրո- օրգանիզմների և Երկրի վիտամինների սինթեզը 115

Ճ. Ռ. Ղազարյան — Ամենֆիկատորների գիրերի ինտենսիվ նյութերի ազդեցությունը միախառնումների անման վրա և հրանց գիրերի ինտենսիվ ախտի վրայի պահանջումը շարունակից հետո 119

Ը Ն Ո Յ Ի Ջ Ի Ա Ա

Վ. Հ. Ազոնց, Յ. Մ. Բիրչանյան, Ա. Մ. Սլյաչեվիչ — Կարև շրթաններում ծալափոր Յ- կառուցվածքի մաթեմատիկական մոդելացումը 122

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА	Стр.
<i>В. А. Шматков</i> — Об одновременной аппроксимации и интерполяции в банаховых пространствах	65
ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ	
<i>В. С. Саркисян, Л. О. Овсепян</i> — Периодическая контактная задача для анизотропной полуплоскости с упругими накладками	71
ФИЗИКА	
<i>Г. М. Анакьянц, А. А. Степанов, Р. С. Барсегян, Ю. А. Абрамян</i> — Переключающие свойства диодов с отрицательным сопротивлением	79
АСТРОФИЗИКА	
<i>Е. М. Схторян, Э. В. Чубарян, В. В. Палоян</i> — О вращении звездных моделей и теории Ньютона	84
ГЕОЛОГИЯ	
<i>Г. В. Вардерсян</i> — К вопросу об установлении характера распределений напряжений вокруг камер в зависимости от изменения их пролета	89
МИНЕРАЛОГИЯ	
<i>Л. А. Арутюкян, Э. Х. Хуришудян</i> — Синтез и структурное исследование дисульфида рения	95
<i>Г. Г. Мирзоян</i> — О находке муассанита в магматических породах Северной Армении	101
ТЕКТОНИКА	
<i>И. Г. Алоян</i> — О возможных геотектонических причинах повышенной сейсмической активности Центрального Закавказья (Армянская ССР)	105
ГЕОХИМИЯ	
<i>М. М. Константинов</i> — О времени выделения золота на золоторудных месторождениях Закавказья	109
МИКРОБИОЛОГИЯ	
<i>А. К. Паносян, Л. П. Пучинян</i> — Синтез витаминов группы «В» некоторыми микроорганизмами ризосферы персика	115
<i>Ф. Р. Казарян</i> — Влияние гиббереллиноподобных веществ аммонификаторов на рост растений табака и сохранение их гиббереллиновой активности после гербаризации	118
БИОФИЗИКА	
<i>В. Г. Адоц, Т. М. Бирштейн, А. М. Ельяшевич</i> — Математическое моделирование складчатой β -структуры в коротких цепях	122

УДК 517.5

МАТЕМАТИКА

В. А. Шматков

Об одновременной аппроксимации и интерполяции
 в банаховых пространствах

(Представлено академиком АН Армянской ССР С. И. Мергеляном 7/VII 1971)

Работа посвящена вопросам, связанным с задачами одновременной аппроксимации и интерполяции в банаховых (в частности — функциональных) пространствах при дополнительных ограничениях на аппроксимирующие элементы. Задачи одновременного приближения и интерполяции без дополнительных условий рассматривались в работах (1), (2), (3), а с дополнительными ограничениями изучались в работах (4), (5). Мы рассматриваем здесь две задачи: 1) одновременная аппроксимация и интерполяция с сохранением нормы; 2) односторонняя аппроксимация с интерполяцией. Изучаются вопросы существования и единственности решений этих задач.

1) Аппроксимация и интерполяция с сохранением нормы.

Пусть M — всюду плотное линейное множество в банаховом пространстве X ; f_1, \dots, f_n — линейно независимые линейные функционалы на X . Следуя (6), назовем систему функционалов $\{f_i\} = \{f_1, \dots, f_n\}$ обладающей свойством SAIN (или SAIN-системой*) относительно $M \subset X$, если выполняется условие:

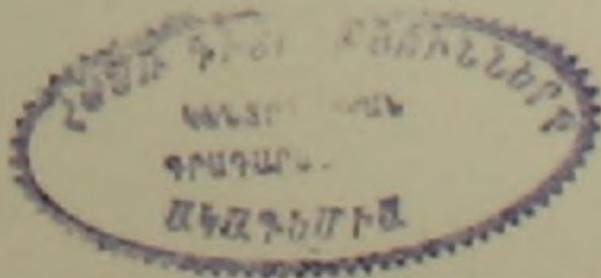
(SAIN): для любого $\bar{x} \in X$ и любого $\varepsilon > 0$ существует $y \in M$, такой, что

1. $\|\bar{x} - y\| < \varepsilon$; 2. $f_i(y) = f_i(\bar{x}), i = 1, \dots, n$; 3. $\|y\| = \|\bar{x}\|$.

Условие 2 является, очевидно, обобщением классической интерполяционной задачи ((6), стр. 68).

В работе (4) Дейч и Моррис исследовали вопросы существования и характеристики SAIN-систем функционалов в некоторых банаховых пространствах, а также в произвольном банаховом пространстве. Им доказано, что для того, чтобы система $\{f_i\}$ являлась SAIN-системой относительно многообразия $M \subset X$, необходимо, чтобы каждый

* Термин составлен из начальных букв английских слов в выражении „Simultaneous Approximation and Interpolation which preserves the Norm“.



функционал f_i либо достигал своей нормы на пересечении единичной сферы S_X и многообразия M , либо вообще не достигал своей нормы на S_X . В случае гильбертова пространства H авторы получили следующий критерий SAIN-системы:

$(D-M)$: Каждый f_i достигает своей нормы на $S_H \cap M$.

Авторы ставят вопрос будет ли это условие также необходимым и достаточным признаком SAIN-системы в произвольном рефлексивном пространстве.

В нашей работе мы устанавливаем критерий SAIN-системы функционалов для произвольных M и X (теорема 1). В случае строго нормированного пространства установленный критерий приобретает простой вид и весьма легко проверяется (теорема 3; следствия 1, 2). Мы даем также отрицательный ответ на вопрос Морриса и Дейча и доказываем, что эквивалентность условий $(D-M)$ и (SAIN) является характеристическим свойством гильбертова пространства в классе всех строго выпуклых, рефлексивных пространств (теорема 4).

Будем называть максимальным элементом функционала $f \in X^*$ элемент x , $\|x\| = 1$, на котором функционал f достигает своей нормы. Следующая теорема содержит критерий SAIN-системы в произвольном банаховом пространстве.

Теорема 1. Система $\{f_i\}$ обладает свойством SAIN относительно многообразия $M \subset X$, тогда и только тогда, когда для любых чисел c_1, \dots, c_n многообразие M плотно на множестве $N = N(f_i, c_i)$ элементов минимальной нормы плоскости

$$N^* = \{x \in X: f_i(x) = c_i, i = 1, \dots, n\}.$$

Приведем простой необходимый признак SAIN-системы, более сильный, чем в (1).

Теорема 2. Если система $\{f_i\}$ обладает свойством SAIN относительно $M \subset X$, то выполняются следующие эквивалентные условия:

1°. M плотно на множестве $A(f)$ -максимальных элементов всякого функционала вида $f = \sum_{i=1}^n a_i f_i$.

2°. M плотно на множестве элементов минимальной нормы всякой гиперплоскости $f(x) = c$, где $f = \sum_{i=1}^n a_i f_i$.

Теорема 3. Пусть X — строго выпуклое пространство. Тогда система $\{f_i\}$ обладает свойством SAIN относительно $M \subset X$ тогда и только тогда, когда всякий функционал $f = \sum_{i=1}^n a_i f_i$ либо достигает своей нормы на $S_X \cap M$, либо вообще не достигает ее на S_X .

Следствие 1. Пусть X — строго выпуклое рефлексивное пространство; тогда система $\{f_i\}$ обладает свойством SAIN относительно $M \subset X$ тогда и только тогда, когда каждая функционал $f = \sum_{i=1}^n \alpha_i f_i$ достигает своей нормы на $S_X \cap M$.

Следствие 2 (см. (4)). Пусть H — гильбертово пространство; тогда система $\{f_i\}$ обладает свойством SAIN относительно $M \subset H$ тогда и только тогда, когда выполняется условие $(D-M)$.

Как показывает следующая теорема, это следствие неверно ни для какого строго выпуклого рефлексивного пространства, кроме гильбертова.

Теорема 4. Пусть X — строго выпуклое рефлексивное пространство. Для того, чтобы для всякой системы $\{f_i\}$ и всякого $M \subset X$ условие $(D-M)$ было эквивалентно свойству (SAIN), необходимо и достаточно, чтобы пространство X было гильбертовым.

Полученная теорема дает, таким образом, характеристику гильбертова пространства в терминах SAIN-систем.

Пользуясь теоремами 1–3, нетрудно построить примеры многообразий M и систем $\{f_i\}$, обладающих свойством SAIN относительно многообразия $M \subset X$.

2) Односторонняя аппроксимация с интерполяцией в пространстве непрерывных функций.

Односторонняя аппроксимация в функциональных пространствах находит применение в ряде вопросов теории приближений (см., например, (1) и цитированную там литературу).

Через $C^r[0, 1]$ будем обозначать пространство функций, r раз непрерывно дифференцируемых на отрезке $[0, 1]$ с нормой $\|x\| = \max_{0 \leq t \leq 1} \max_{i \in \{0, \dots, r\}} |x^{(i)}(t)|$. Пусть $x(t) \in C[0, 1]$, M — линейное многообразие в $C[0, 1]$, t_1, \dots, t_m — точки из $[0, 1]$ и $\varepsilon > 0$. Требуется найти элемент $p(t) \in M$, удовлетворяющий условиям:

$$A) p(t_i) = x(t_i), \quad i = 1, \dots, m; \quad B) p(t) \leq x(t),$$

$$B) p(t) > x(t) - \varepsilon, \quad 0 \leq t \leq 1.$$

Эта задача разрешима не для произвольных x и M , даже если не требовать выполнения третьего условия, а M считать всюду плотным в $C^1[0, 1]$. Приведем полученные результаты.

Систему функций $\{\varphi_1(t), \dots, \varphi_n(t)\}$ из $C^r[0, 1]$ будем называть дважды дифференцируемой системой Чебышева (порядка λ), если для всякого нетривиального полинома по этой системе, удовлетворяющего условиям

$$p(z_i) = 0 \quad (z_i \in [0, 1], \quad i = 1, \dots, l),$$

$$p(u_i) = p'(u_i) = 0 \quad (u_i \in [0, 1], \quad i = 1, \dots, r),$$

$$p(v_i) = p'(v_i) = p''(v_i) = 0 \quad (v_i \in (0, 1), \quad i = 1, \dots, s),$$

выполняется неравенство $l + 2r + 3s \leq n - 1$ (*), ($p'(0)$ или $p'(1)$ означают одностороннюю производную).

Следует отметить, что такая система является Чебышевской системой, так как при выполнении условия (*) выполняется и условие $l + r + s \leq n - 1$. Примером такой системы может служить система функций $\{1, t, \dots, t^{n-1}\}$.

Теорема 5. Пусть среди точек $t_1, \dots, t_m \in [0, 1]$ j точек ($0 \leq j \leq 2$) совпадают с концами отрезка $[0, 1]$ и пусть $M_n^{(2)}$ — подпространство полиномов по дважды дифференцируемой системе Чебышева $\{\varphi_1(t), \dots, \varphi_n(t)\}$ порядка $n \geq 2m + 1 - j$. Для того, чтобы для функции $x(t) \in C[0, 1]$ нашелся полином $p(t) \in M_n^{(2)}$, удовлетворяющий условиям А) и Б), необходимо и достаточно, чтобы для каждой из точек t_i ($i = 1, \dots, m$) существовали числа $a_i, b_i, \delta > 0$, такие, что при $|\Delta t| < \delta$ выполняются неравенства

$$\Delta x(t_i) > a_i \Delta t + b_i \Delta t^2, \text{ если } t_i \in (0, 1),$$

$$\Delta x(t_i) \geq a_i \Delta t, \text{ если } t_i = 0, \text{ или } t_i = 1;$$

$$\text{где } \Delta t = t - t_i, \Delta x(t_i) = x(t) - x(t_i).$$

Замечания. 1. Условия теоремы 5 выполняются, в частности, если $x(t) \in C^2[0, 1]$. Наличие лишь первой непрерывной производной не достаточно. (Пример: $x(t) = -\sqrt[3]{\left(t - \frac{1}{2}\right)^4}$, $t_1 = \frac{1}{2}$, $M_n^{(2)}$ — подпространство алгебраических многочленов степени $n-1$).

2. Условия, накладываемые на систему Чебышева, нельзя ослабить. В частности, существуют однократно дифференцируемые* системы Чебышева из $C^1[0, 1]$, для которых поставленная задача неразрешима. (Пример: $x(t) = -\left(t - \frac{1}{2}\right)^2$, $t_1 = \frac{1}{2}$, $M_3^{(2)} = \left\{1, t, \left(t - \frac{1}{2}\right)^4\right\}$).

3. Порядок n подпространства $M_n^{(2)}$, вообще говоря, нельзя считать меньшим $2m + 1 - j$.

Теорема 6. Существует не более одного полинома $p^*(t) \in M_n^{(2)}$, доставляющего функции $x(t) \in C[0, 1]$ наилучшее равномерное приближение в классе полиномов, удовлетворяющих условиям А) и Б).

Рассмотрим теперь вопрос о возможности как угодно хорошей односторонней аппроксимации с интерполяцией (то есть, когда кроме условий А) и Б) выполняется и условие В)).

* то есть такие системы, что для всякого полинома по такой системе $l + 2r \leq n - 1$, но не обязательно $l + 2r + 3s \leq n - 1$ (см. (*)).

Теорема 7. Если многообразие $M \subset C^2[0, 1]$ всюду плотно в $C^2[0, 1]$, то для любых $x(t) \in C^2[0, 1]$ и $\varepsilon > 0$ найдется функция $p(t) \in M$ такая, что выполняются условия А), Б) и В).

Отметим, что если $M \subset C^2[0, 1]$ плотно лишь в $C^1[0, 1]$, то поставленная задача может оказаться неразрешимой. (Пример: $x(t) = -\left(t - \frac{1}{2}\right)^2$, $t_1 = \frac{1}{2}$, $M = \left\{ p(t) \in C^2[0, 1] : p''\left(\frac{1}{2}\right) = 0 \right\}$). Однако, как показывает следующая теорема, если M — алгебра, то указанное ограничение может быть ослаблено.

Теорема 8. Если алгебра $A \subset C^2[0, 1]$ плотна в пространстве $C^1[0, 1]$, то для любых $x(t) \in C^2[0, 1]$ и $\varepsilon > 0$ найдется функция $p(t) \in A$ такая, что выполняются условия А), Б), В).

Отметим что и в этой теореме условие плотности A в $C^1[0, 1]$ не может быть ослаблено. Действительно, существует алгебра $A \subset C^2[0, 1]$ плотная лишь в $C[0, 1]$, для которой задача может не иметь решения $\left(x(t) = t, t_1 = \frac{1}{2}, A = \left\{ x(t) \in C^2 : x'\left(\frac{1}{2}\right) = 0 \right\}\right)$.

Автор благодарен А. Л. Гаркани за постановку задач и полезные советы.

Московский технологический институт
пищевой промышленности

Վ. Ա. ՇՄԱՏԿՈՎ

Բանախյան տարածություններում միաժամանակ մոտարկման և ինտերպոլացիայի մասին

Աշխատանքում զիտարկվում են մոտարկող էլեմենտների վրա լրացուցիչ պայմանների դեպքում միաժամանակ մոտարկման և ինտերպոլացիայի խնդիրները:

1. Դիցուք M -ը ամենուրեք իրիտ դժային բազմաձևություն է բանախյան X տարածությունում, f_1, \dots, f_n դժորեն անկախ դժային ֆունկցիոնալներ են X -ի վրա: $\{f_i\} = \{f_1, \dots, f_n\}$ ֆունկցիոնալների սխտեմն անվանենք $M \subset X$ -ի նկատմամբ SAIN հատկությունը օժտված (տես ⁽¹⁾), եթե տեղի ունի հետևյալ պայմանը՝

ցանկացած $\bar{x} \in X$ և $\varepsilon > 0$ համար գոյություն ունի $y \in M$ այնպիսինը, որ

$$\|\bar{x} - y\| < \varepsilon, \quad f_i(y) = f_i(\bar{x}), \quad i = 1, \dots, n. \quad \|y\| = \|\bar{x}\|$$

Թեև որևէ 1. $\{f_i\}$ սխտեմն օժտված է SAIN հատկությամբ $M \subset X$ բազմաձևության նկատմամբ այն և միայն այն դեպքում, երբ ցանկացած c_1, \dots, c_n րվերի համար M բազմաձևությունը իրիտ է $H^* = \{x \in X : f_i(x) = c_i, i = 1, \dots, n\}$ հարբության մինիմալ նորմայի $N = N(f_i, c_i)$ էլեմենտների բազմության վրա:

էթի X -ը խիստ ուռուցիկ է, ապա թևորեմում բերված պայմանը համարժեք է նրան, որ ցանկացած $f = \sum_1^n x_i f_i$ ֆունկցիոնալը կամ հասնում է

$S_X \cap M$ -ի վրա իր նորմային, կամ բնդհանրապես չի հասնում նրան S_X -ի վրա, որտեղ $S_X = \{x: |x| \leq 1\}$ (թևորեմ 3), Սրպես (¹) աշխատանքում դրված հարցի պատասխան բերվում է SAİN-սիստեմների տերմիններով հիլբերտյան տարածությունների բնութագրումը:

2. Ինքուր $x(t)$ ֆունկցիան պատկանում է $C^2[0, 1]$ -ին, M -ը պծային բազմաձևություն է $C[0, 1]$ -ում, $t_1, \dots, t_m \in [0, 1]$ -ին, $\varepsilon > 0$: Պահանջվում է գտնել $p \in M$, որը բավարարում է հետևյալ պայմաններին՝

$$A) p(t_i) = x(t_i), i = 1, \dots, m \quad B) p(t) \leq x(t).$$

$$B) p(t) > x(t) - \varepsilon, 0 \leq t \leq 1.$$

Ցույց է տրվում, որ խնդիրը լուծելի է, եթե M -ը խիտ է $C^2[0, 1]$ -ում, կամ հանդիսանում է $C^1[0, 1]$ -ում խիտ հանրահաչիվ: Այն պեպքում, երբ M -ը բազմանդամների վերջավոր չափանի տարածություն է ըստ Չերիշևի երկու անգամ դիֆերենցելի սիստեմի, ստացված են A) և B) պայմաններին բավարարող բազմանդամների դասում $x(t)$ ֆունկցիայի ($x(t)$ -ն պարտադիր չէ լինի $C^2[0, 1]$ -ից) ըստ այդ սիստեմի յավազույն մոտարկում տվող $p(x)$ բազմանդամի գոյություն և միակության թևորեմներ:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ J. Singer, Cea mai bună aproximare în spații vectoriale normate prin elemente din subspații vectoriale, București Acad. R. S. R. (1967). ² S. Paszkowski, On approximation with nodes, Rozprawy Matematyczne XIV, Warszawa (1957). ³ H. Jarnik, On an extension of the Helly's theorem, Osaka Math. J., 2, 15–17 (1950). ⁴ F. Deutsch, P. D. Morris, On Simultaneous Approximation and Interpolation which Preserves the Norm, Journ. Approxim. theory, 2, 355–373 (1969). ⁵ W. Wollbner, Sur un polynome d'interpolation, Colloq. Math., 2, 136–137 (1951). ⁶ В. Л. Гончаров, Теория интерполирования и приближения функции, ГИИИ, М—Л., 1934. ⁷ De Vere R., One sided approximation of functions, Journ. Approxim. theory, 1, № 1, 11–25 (1968).

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

УДК 624.072 233

В. С. Сарисян, Л. О. Овсепян

Периодическая контактная задача для анизотропной полуплоскости
с упругими накладками

(Представлено академиком АН Армянской ССР Н. Х. Арутюняном 22/V 1971)

Периодическая контактная задача для изотропной полуплоскости усиленной упругими накладками конечной длины и постоянной малой толщины, впервые исследовалась в работе (1). В ней контактные напряжения под упругими накладками представлены формулой, содержащей в явном виде те особенности, которые характеризуют напряженное состояние упругих накладок в окрестностях их концов.

Позднее решение указанной задачи методом ортогональных многочленов дано в работе² (*).

В настоящей работе излагается решение периодической контактной задачи для упругой анизотропной полуплоскости с упругими накладками конечной длины и постоянной малой толщины. Оно сводится к решению сингулярного интегро-дифференциального уравнения с ядром Гильберта второго рода, которое позволяет определить контактные напряжения вдоль участков креплений упругих накладок с полуплоскостью. Приводится решение полученного уравнения методом ортогональных многочленов, удобное для конкретных расчетов. Одновременно показано, что учет анизотропии материала полуплоскости существенно меняет закон распределения контактных напряжений под накладками и вид их особенностей на концах накладок.

Предварительно устанавливается одно соотношение для многочленов Якоби.

§ 1. Пусть анизотропная полуплоскость усилена на конечных отрезках $[-a + 2nl, a + 2nl]$ ($l > a$, $n = 0, 1, 2, \dots$) периодически повторяющимися с периодом $2l$ упругими креплениями в виде приваренных (или приклеенных) к ней упругих накладок, имеющих постоянную достаточно малую толщину h . Требуется определить закон

* Периодическую контактную задачу для полуплоскости с упругими накладками при помощи многочленов Чебышева исследованы и Н. Х. Арутюняном и С. М. Мхитаряном, но эти результаты ими не были опубликованы.

распределения контактных напряжений вдоль отрезков креплений упругих накладок с упругой анизотропной, имеющей одну плоскость упругой симметрии, полуплоскостью, когда к одному из концов накладок приложены сосредоточенные силы P , направленные вдоль их осей. Следуя работе (3), предположим, что под накладками действуют только тангенциальные контактные напряжения, т. е. накладки находятся в одноосном напряженном состоянии.

Будем пользоваться следующей системой обозначений: перемещения и деформации в накладках будем отмечать индексом 1, а в полуплоскости—индексом 2. Аналогично будем поступать и для обозначения физических констант материалов накладок и полуплоскости.

Из постановки нашей задачи вытекает, что можно ограничиться рассмотрением одной из накладок, так например, той, для которой $l=0$. Составив уравнения равновесия элемента этой накладки, а затем воспользовавшись законом Гука, можно записать:

$$\varepsilon_x^{(1)} = \frac{du^{(1)}}{dx} = \frac{1}{hE_1} \int_{-a}^x \tau^{(1)}(s) ds, \quad (1.1)$$

Здесь $u^{(1)}(x)$ —горизонтальные перемещения точек соединения накладок с упругой полуплоскостью, т. е. точек отрезка $[-a, a]$, E_1 —модуль упругости материала накладки, $\tau^{(1)}(x)$ —тангенциальное напряжение, действующее на накладку вдоль линии соединения ее с полуплоскостью.

С другой стороны (4,5), горизонтальные перемещения $u^{(2)}(x)$ граничных точек упругой анизотропной полуплоскости, вызванные распределенными по отрезку $[-a, a]$ и периодически повторяющимися с периодом $2l$ тангенциальными напряжениями интенсивностью $\tau^{(2)}(x)$, определяются формулой

$$u^{(2)}(x) = \frac{A^{(2)}}{\pi} \int_{-a}^a \tau^{(2)}(s) \ln \frac{1}{2 |\sin \pi (s-x)/2l|} ds + \\ + B^{(2)} \int_{-a}^x \tau^{(2)}(s) ds + \text{const.}$$

где

$$A^{(2)} = -\frac{\beta_{11}^{(2)}}{2i} [\mu_1^{(2)} + \mu_2^{(2)} - \bar{\mu}_1^{(2)} - \bar{\mu}_2^{(2)}],$$

$$B^{(2)} = \frac{\beta_{11}^{(2)}}{2} [\mu_1^{(2)} + \mu_2^{(2)} + \bar{\mu}_1^{(2)} + \bar{\mu}_2^{(2)}] - \beta_{16}^{(2)}.$$

$u^{(2)}(x)$ —горизонтальные перемещения точек отрезка $[-a, a]$ границы полуплоскости, $\mu_1^{(2)}$, $\mu_2^{(2)}$ и их сопряженные $\bar{\mu}_1^{(2)}$, $\bar{\mu}_2^{(2)}$ являются кор-

ними некоторого характеристического уравнения (4).

Отсюда для деформации граничных точек отрезка $[-a, a]$ упругой полуплоскости будем иметь формулу:

$$\varepsilon_r^{(2)} = \frac{du^{(2)}}{dx} = \frac{A^{(2)}}{2l} \int_{-a}^x \tau^{(2)}(s) \operatorname{ctg} \frac{\pi(s-x)}{2l} ds + B^{(2)} \tau^{(2)}(x). \quad (1.2)$$

Здесь интеграл при $x = s$ понимается в смысле главного значения по Коши.

Принимая во внимание условие $u^{(1)}(x) = u^{(2)}(x)$, или же $\varepsilon_r^{(1)} = \varepsilon_r^{(2)}$, на участке $[-a, a]$ контакта упругой накладки с анизотропной полуплоскостью, при помощи (1.1) и (1.2) получаем следующее интегро-дифференциальное уравнение для определения контактных напряжений под накладками:

$$\mu^* \psi'(x) + \int_{-a}^x \psi'(s) \operatorname{ctg} \frac{\pi(s-x)}{2l} ds = -\lambda \psi(x), \quad (1.3)$$

при граничных условиях

$$\psi(-a) = 0, \quad \psi(a) = P. \quad (1.4)$$

Здесь

$$\tau(x) = \tau^{(1)}(x) = -\tau^{(2)}(x), \quad \psi(x) = \int_{-a}^x \tau(s) ds, \quad \mu^* = 2lB^{(2)}/A^{(2)},$$

$$\lambda = 2l/hE_1 A^{(2)}.$$

Положив

$$\pi x/l = t, \quad \pi s/l = \tau, \quad \pi a/l = \alpha, \quad \psi(t/\pi) = \varphi(t),$$

представим интегро-дифференциальное уравнение (1.3) в виде

$$\mu \varphi'(t) + \int_{-\alpha}^t \operatorname{ctg} \frac{\tau-t}{2} \varphi'(\tau) d\tau = -\lambda \varphi(t), \quad (\mu = \mu^* \pi/l), \quad (1.5)$$

а граничные условия (1.4) — в виде

$$\varphi(-\alpha) = 0, \quad \varphi(\alpha) = P. \quad (1.6)$$

Таким образом решение рассматриваемой задачи сводится к решению сингулярного интегро-дифференциального уравнения (1.5) при граничных условиях (1.6).

Теперь контактное напряжение будет определяться формулой:

$$\tau(x) = l^{-1} \pi \varphi'_t(t) \quad (t = \pi x/l).$$

§ 2. Выясним тип особенностей для рассматриваемой задачи. Для этого заметим, что

$$\operatorname{ctg} 1/2 (\tau - t) = i(e^{t'} + e^{t''})/(e^{t'} - e^{t''}). \quad (2.1)$$

Подставим (2.1) в (1.5) и перейдем от отрезка $[-a, a]$ вещественной оси к дуге $\bar{a}a$ единичной окружности. После некоторых преобразований получим

$$\mu\Phi(z) + 2 \int_{\bar{a}}^a \Phi(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta - \sigma} = \frac{1}{\sigma} [i\Phi(z) - P], \quad (2.2)$$

где

$$e^{t''} = z, \quad e^{t'} = \zeta, \quad e^{t''} = a, \quad \varphi(t) = \varphi(-t \ln z) = \Phi(z), \quad \varphi_1(t) = iz\Phi'(z).$$

Очевидно, что контактное напряжение определяется формулой:

$$\tau(x) = l^{-1} \pi iz\Phi'(z).$$

Как в работах (6, 7) $\Phi'(z)$ представим в виде

$$\Phi'(z) = (\sigma - a)^\beta (z - \bar{a})^\delta X_1(z) \quad (\bar{a} < z < a; -1 < \beta, \delta < 0),$$

где $X_1(z)$ непрерывная функция на дуге единичной окружности, удовлетворяющая условию Гельдера.

Отправляясь от этого представления, на основе результатов (8), которые относятся к поведению интеграла типа Коши вблизи концов линии интегрирования, легко показать, что

$$\beta = \gamma - 1/2, \quad \delta = -\gamma - 1/2, \quad \gamma = \pi^{-1} \arg \operatorname{tg} \frac{\mu}{2\pi},$$

Возвращаясь к переменным (t, τ) получаем

$$\varphi_1(t) = \left(\sin \frac{a-t}{2} \right)^{\gamma-1/2} \left(\sin \frac{a+t}{2} \right)^{-\gamma-1/2} \gamma(t),$$

где $\gamma(t)$ непрерывная функция на отрезке $[-a, a]$ вещественной оси, удовлетворяющая условию Гельдера.

§ 3. В этом параграфе указывается способ вывода необходимого для дальнейшего соотношения

$$2\pi \operatorname{ctg} \pi\beta w(t) P_m^{(\beta, \beta)}(\operatorname{tg} 1/2 t / \operatorname{tg} 1/2 a) + \quad (3.1)$$

$$+ \int_{-a}^a \operatorname{ctg} \frac{t-\tau}{2} w(\tau) P_m^{(\beta, \beta)}(\operatorname{tg} 1/2 \tau / \operatorname{tg} 1/2 a) d\tau =$$

$$= \pi \operatorname{csc} 1/2 a \operatorname{csc} \pi\beta (\sec 1/2 t)^2 P_{m-1}^{(\beta+1/2, \beta+1/2)}(\operatorname{tg} 1/2 t / \operatorname{tg} 1/2 a) \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

где

$$\omega(t) = \sec 1/2 t |\sin 1/2 (\alpha - t)|^\beta \cdot |\sin 1/2 (\alpha + t)|^\delta, \quad |t| < \alpha, \quad \beta + \delta = -1,$$

$$\operatorname{Re}(\beta, \delta) > -1, \quad P_m^{(\beta, \delta)}(\operatorname{tg} 1/2 t / \operatorname{tg} 1/2 \alpha) \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

многочлены Якоби, ортогональные на отрезке $[-\alpha, \alpha]$ с весом

$$\sec 1/2 t |\sin 1/2 (\alpha - t)|^\beta |\sin 1/2 (\alpha + t)|^\delta.$$

Предварительно заметим следующий элементарный факт.

Функция, отображающая единичный круг на верхнюю полуплоскость имеет вид

$$\zeta = i(1 - w)/(1 + w).$$

Подставив $w = e^{it}$, будем иметь $\zeta = \operatorname{tg} 1/2 t$. Отсюда следует, что дуга \bar{aa} единичной окружности при указанном отображении переходит в отрезок $[-\operatorname{tg} 1/2 \alpha, \operatorname{tg} 1/2 \alpha]$ вещественной оси.

С другой стороны, как было показано в предыдущем параграфе, интегро-дифференциальное уравнение (1.5) с ядром Гильберта можно свести к интегро-дифференциальному уравнению (2.2) с ядром Коши на дуге \bar{aa} единичной окружности. Отсюда, принимая во внимание сказанное выше, следует, что заменой переменных $x \rightarrow \operatorname{tg} 1/2 t / \operatorname{tg} 1/2 \alpha$, $s \rightarrow \operatorname{tg} 1/2 \tau / \operatorname{tg} 1/2 \alpha$ от ядра Коши можно перейти к ядру Гильберта.

Это преобразование переменных неоднократно использовалось⁽²⁾ при исследовании спектральных свойств некоторых интегральных операторов, порожденных ядром Гильберта и родственными им ядрами.

Учитывая это обстоятельство, запишем установленное⁽¹⁾ соотношение

$$\pi \operatorname{tg} \pi \gamma \omega(x) P_m^{(\beta, \delta)}(x) + \int_{-1}^1 \frac{\omega(s) P_m^{(\beta, \delta)}(s)}{s - x} ds = \pi (2 \cos \pi \gamma)^{-1} P_{m-1}^{(\beta+1, \delta+1)}(x), \quad (3.2)$$

где

$$\omega(x) = (1 - x)^\beta (1 + x)^\delta.$$

Заменяя в (3.2) $x \rightarrow \operatorname{tg} 1/2 t / \operatorname{tg} 1/2 \alpha$, $s \rightarrow \operatorname{tg} 1/2 \tau / \operatorname{tg} 1/2 \alpha$ после элементарных выкладок получаем (3.1).

§ 4. Обращаясь к решению интегро-дифференциального уравнения (1.5) представим неизвестную функцию $\varphi'(t)$ в виде

$$\varphi'(t) = |\sin 1/2 (\alpha - t)|^\beta |\sin 1/2 (\alpha + t)|^\delta \chi(t),$$

где

$$\chi(t) = \sec 1/2 t \sum_{m=0}^{\infty} X_m P_m^{(\beta, \delta)}(\operatorname{tg} 1/2 t / \operatorname{tg} 1/2 \alpha). \quad (4.1)$$

Тогда контактное напряжение $\tau(x)$ будет даваться формулой:

$$\tau(x) = \frac{\pi}{l} \sec 1/2 t \left[\sin 1/2 (a - t) \right]^2 \left[\sin 1/2 (a + t) \right]^2 \times \\ \times \sum_{m=0}^{\infty} X_m P_m^{(\beta, \delta)}(\operatorname{tg} 1/2 t / \operatorname{tg} 1/2 a).$$

Подставляя (4.1) в интегро-дифференциальное уравнение (1.5) и принимая во внимание (3.1), после несложных выкладок для определения неизвестных коэффициентов X_m ($m = 1, 2, 3, \dots$), имеем следующую бесконечную систему линейных уравнений

$$X_{k+1} = \sum_{m=1}^{\infty} K_{mk} X_m + b_k X_0 \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (4.2)$$

где

$$K_{mk} = \frac{\lambda}{2\pi} (\csc 1/2 a)^2 \sin \pi \beta \frac{[(k+1)!]^2}{\Gamma(k+2+\beta)\Gamma(k+2+\delta)} \times \\ \times \frac{1}{m} \int_{-a}^a \sec^2 \frac{t}{2} \sin \frac{a-t}{2} \sin \frac{a+t}{2} P_k^{(\beta+1, \delta+1)} \times \\ \times \left(\operatorname{tg} \frac{t}{2} / \operatorname{tg} \frac{a}{2} \right) P_{m-1}^{(\beta+1, \delta+1)} \left(\operatorname{tg} \frac{t}{2} / \operatorname{tg} \frac{a}{2} \right) dt, \quad (4.3)$$

$$b_k = -\frac{\lambda}{2\pi} \operatorname{ctg} \frac{a}{2} \sin \pi \beta \frac{[(k+1)!]^2}{\Gamma(k+2+\beta)\Gamma(k+2+\delta)} \times \\ \times \int_{-a}^a \sec \frac{t}{2} \left(\sin \frac{a-t}{2} \right)^{\beta+1} \left(\sin \frac{a+t}{2} \right)^{\delta+1} P_k^{(\beta+1, \delta+1)} \times \\ \times \left(\operatorname{tg} \frac{t}{2} / \operatorname{tg} \frac{a}{2} \right) \left[\int_{-1}^1 w(\tau) d\tau \right] dt.$$

Отметим, что при выводе этих уравнений было использовано известное соотношение ⁽¹⁰⁾

$$\int_{-1}^1 (1-s)^2 (1+s)^2 P_m^{(\alpha, \beta)}(s) ds = -\frac{1}{2m} (1-x)^{2+1} (1+x)^{2+1} P_{m-1}^{(\alpha+1, \beta+1)}(x).$$

Коэффициент X_0 непосредственно определяется при помощи граничных условий и дается формулой:

$$X_0 = \frac{P}{2\pi} \cos 1/2 a \cos \pi \gamma.$$

§ 5. Перейдем к исследованию бесконечных систем линейных уравнений (4.2). Для ее исследования оценим суммы

$$S_k = \sum_{m=1}^{\infty} |K_{mk}| \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

Имеем:

$$S_k = \frac{\lambda \cos \pi \gamma}{2\pi} \left(\csc \frac{\alpha}{2} \right)^2 \frac{|(k+1)!|^2}{\Gamma(k+2+\beta) \Gamma(k+2+\delta)} \times$$

$$\times \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} \left| \int_{-\pi}^{\pi} \sec^2 \frac{t}{2} \sin \frac{\alpha-t}{2} \sin \frac{\alpha+t}{2} P_n^{(\alpha+1, \beta+1)} \times \right.$$

$$\times \left(\operatorname{tg} \frac{t}{2} / \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) P_{n-1}^{(\beta+1, \alpha+1)} \left(\operatorname{tg} \frac{t}{2} / \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) dt \Big|.$$
(5.1)

Для оценки суммы S_k пользуемся известным асимптотическим представлением Дарбу для многочленов Якоби (11):

$$\left. \begin{aligned} P_n^{(\alpha, \beta)}(\cos \theta) &= n^{-1/2} K(\theta) \cos(N\theta + \delta) + O(n^{-3/2}), \\ K(\theta) &= \pi^{-1/2} (\sin 1/2 \theta)^{-\alpha-1/2} (\cos 1/2 \theta)^{-\beta-1/2}, \\ N &= n + 2^{-1}(\alpha + \beta + 1), \quad \delta = -(2\pi)^{-1}(\alpha + 1/2), \quad 0 < \theta < \pi, \quad n \rightarrow \infty. \end{aligned} \right\} (5.2)$$

Отсюда вытекает, что общий член ряда (5.1) при $m \rightarrow \infty$ стремится к нулю как $m^{-5/2}$ и, следовательно, ряд сходится. С другой стороны очевидно, что

$$S_k = O(k^{-3/2}) \text{ при } k \rightarrow \infty. \quad (5.3)$$

Последняя оценка (5.3) позволяет утверждать, что бесконечная система (4.2) при любом λ ($0 \leq \lambda < \infty$) квазивполне регулярна.

Из (4.3), вследствие (5.2) для свободного члена b_k ($k=0, 1, 2, \dots$) будем иметь

$$b_k = O(k^{-3/2}),$$

т. е. свободные члены бесконечной системы (4.2) при $k \rightarrow \infty$ стремятся к нулю.

Таким образом, бесконечная система линейных уравнений (4.2) квазивполне регулярна (12), а ее свободные члены довольно быстро стремятся к нулю. Это обстоятельство дает возможность посредством урезания бесконечной системы для коэффициентов X_m получить численные значения с необходимой точностью.

Неизлишне отметить, что бесконечная система (4.2) на самом деле вполне регулярна при определенных значениях параметра λ , а

при других его значениях квазивполне регулярна. Доказательство этого факта основывается на установление некоторых неравенств для многочленов Якоби и здесь не приводятся. Не приводятся здесь также численные результаты.

Ереванский государственный университет

Վ. ՈՍՏՐԳՍՅԱՆ, Լ. Ն. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ

Առաձգական վերադիրներով անիզոտրոպ կիսահարթության
պարբերական կոնտակտային խնդիրը

Հոդվածում դիտարկված է վերջավոր երկարությամբ և փոքր հաստությամբ առաձգական վերադիրներով անիզոտրոպ կիսահարթության պարբերական կոնտակտային խնդիրը:

Խնդրի լուծումը բերվում է Հիլբերտի կորիզով երկրորդ սեռի սինգուլյար ինտեգրալ-դիֆերենցիալ հավասարման լուծմանը, որը թույլատրում է որոշել կոնտակտային լարումները վերադիրների և կիսահարթության միացման միջակայքերի երկարությամբ: Ստացված հավասարումը լուծված է օրթոգոնալ բազմանդամների եղանակով:

Միաժամանակ ցույց է տրվում, որ կիսահարթության նյութի անիզոտրոպիայի հաշվառումն էապես փոխում է կոնտակտային լարումների բաշխվածությունը առաձգական վերադիրների տակ և նրանց եզակիությունը վերադիրների ծայրակետերում:

Յակորիի բազմանդամների համար նախօրոք ստացված առնչության օգնությամբ սինգուլյար ինտեգրալ-դիֆերենցիալ հավասարումը բերված է գծային հավասարումների անվերջ սիստեմի: Ցույց է տրվում ստացված անվերջ սիստեմի կվադրիտիվին ռեզուլյարությունը:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Н. Х. Арутюнян, С. М. Мхитарян, ПММ, т. 33, вып. 5 (1969). ² Г. А. Морарь, Г. Я. Попов, ПММ, т. 35, вып. 1 (1971). ³ Н. Х. Арутюнян, ПММ, т. 32, вып. 4 (1968). ⁴ Л. А. Галин, Контактные задачи теории упругости, Гостехиздат, 1953. ⁵ И. Я. Штаерман, Контактные задачи теории упругости, М.—Л., 1949. ⁶ Н. Х. Арутюнян, С. М. Мхитарян, Некоторые контактные задачи для полуплоскости с упругими накладками. Последние достижения в области упругости и термоупругости, Варшава, 1971. ⁷ В. С. Саркисян, Л. О. Овсепян, ДАН Арм. ССР, т. LII, № 5 (1971). ⁸ Н. И. Мусхелишвили, Сингулярные интегральные уравнения. Изд. 3. «Наука», М., 1968. ⁹ С. М. Мхитарян, Математ. исследования, т. 4, вып. 1, 1969. ¹⁰ И. С. Градштейн, И. М. Рыжик, Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений, Физматгиз, М., 1962. ¹¹ Г. Сеге, Ортогональные многочлены, Физматгиз, М., 1962. ¹² Л. В. Канторович, В. И. Крылов, Приближенные методы высшего анализа, Изд. 5, Физматгиз, М.—Л., 1962.

УДК 537.311.33

ФИЗИКА

Член корреспондент АН Армянской ССР Г. М. Авакьянц, А. А. Степанов,
 Р. С. Барсегян, Ю. А. Абрамян

Переключающие свойства диодов с отрицательным сопротивлением

(Представлено 26/V 1971)

В работе (1) исследовалось действие излучения He—Ne лазера на свойства диодов с S-образной вольт-амперной характеристикой. При этом была отмечена возможность переключения диодов лазерным излучением из высокоомного состояния в низкоомное.

В настоящей работе изучаются переключающие свойства диодов, которые были изготовлены из кремния n-типа с примесью кадмия ($10^{-2}\%$ Zn). Диоды имели $p^+ - p - n^+$ -структуру, ширина базы была порядка 200—300 мкм, напряжение срыва — в пределах нескольких десятков вольт.

В качестве источника света использовался He—Ne лазер, излучение которого фокусировалось в пятно диаметром ~ 10 мкм.

При исследовании переключающих свойств диодов предварительно изучалось распределение фототока при локальном освещении базы диода. Было замечено, что распределение фототока имеет неоднородный характер, вероятно, это связано с неоднородностью компенсации, при этом на базе диода имелись области, проявляющие максимальную фоточувствительность. Области располагались поперек базы диода от $p - n$ -перехода до тылового контакта, имея в ширину 150—180 мкм. Причем уже в этой области имелись отдельные участки диаметром несколько десятков микрон, обнаруживавшие максимальный фототок, который достигал для отдельных диодов величины 7—8 мка. В то же время следует отметить, что ширина чувствительной области увеличивалась по мере продвижения от $p - n$ -перехода до тылового контакта (рис. 1).

В процессе исследования переключающих свойств диодов именно эти области обнаруживали максимальную чувствительность к свету. При этом эффект переключения выглядел следующим образом.

При включении диода в цепь источника постоянного напряжения и при определенной сопротивлении нагрузки, через диод устанавливался такой ток, который незначительно отличался от тока срыва (рис. 2, точка А). Освещение определенных участков базы приводит к переключе-

нию диода в область отрицательного сопротивления (точка Б) (включенное состояние), где у некоторых диодов наблюдались релаксацион-

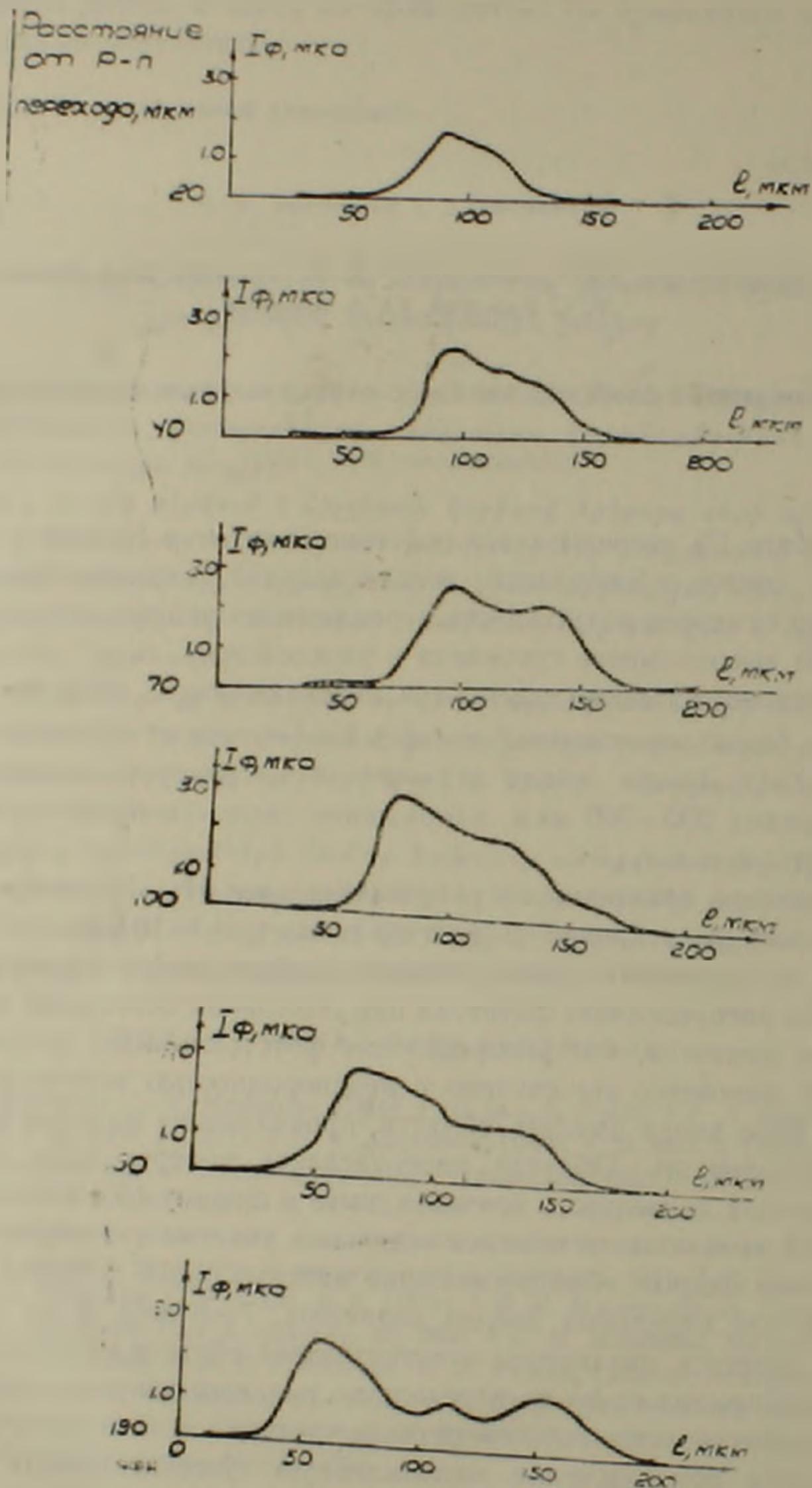


Рис. 1. Распределение фототока по базе диода. Ось X параллельна плоскости p-n-перехода. Ширина базы ~200 мкм

ные колебания. Ток через диод в этом случае стягивается в шнур, который образуется за счет создания дополнительных электронно-дыроч-

ных пар излучением лазера и имеет ширину до 80—100 мкм. Если теперь убрать освещение, то диод будет продолжать оставаться в состоянии, характеризуемом точкой *Б* на вольт-амперной характеристике. При повторном освещении базы диода в районе справа или слева от места расположения шнура тока, диод переключался в состояние, характеризуемое точкой *А* (выключенное состояние). По всей вероятности, при освещении района вблизи прохождения тока образуется «утечка» части тока шнура по новому каналу, что и приводит к разрушению шнура. Диод оставался в таком состоянии и при выключении освещения. Перемещение светового пятна в район образования шнура снова переключает диод в состояние, соответствующее точке *Б*. Следовательно, передвижением светового пятна поперек базы можно было «включать» и «выключать» диод при наличии на нем постоянного смещения.

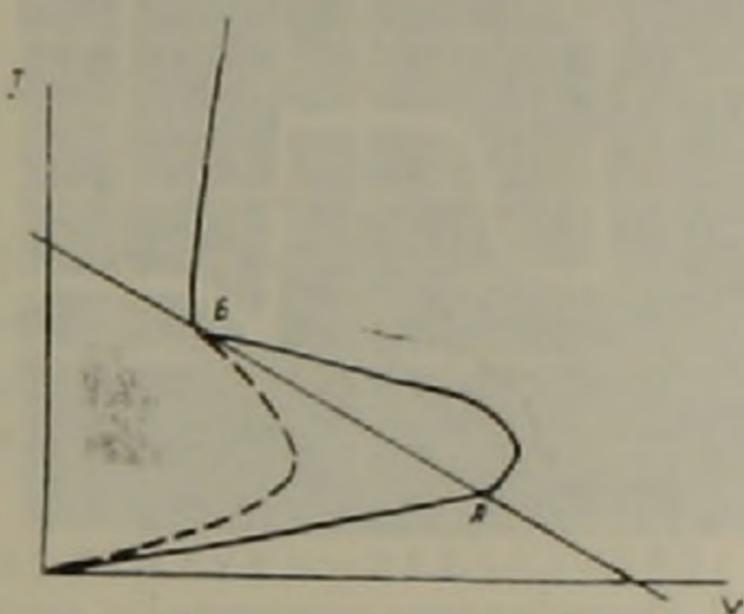
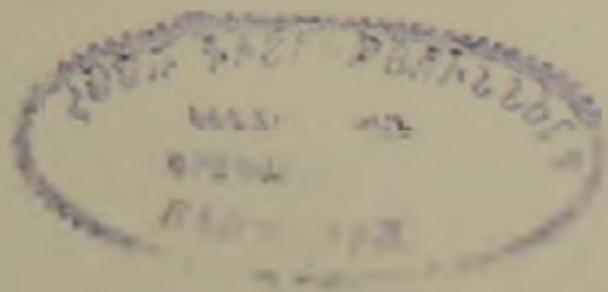


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика диода, изменяющаяся под действием излучения лазера

Такой же эффект переключения можно наблюдать при одновременном действии на диод излучения лазера и поперечного магнитного поля, величиной ~ 500 гс. При этом магнитное поле «выключает» диод, а излучение лазера «включает» его.

Описываемый эффект можно объяснить следующим образом. При определенном режиме работы диода, нагрузочная характеристика может пересекать вольт-амперную характеристику диода в точках *А* и *Б*, в которых диод находится в устойчивом состоянии. При освещении фоточувствительного участка базы диода излучением лазера, вольт-амперная характеристика изменяется (пунктирная линия) и диод переходит в новое устойчивое состояние, характеризуемое точкой *Б*. При этом происходит также образование шнура тока. При уходе светового пятна из района шнура, последний разрушается и диод переходит в устойчивое состояние, соответствующее точке *А* на вольт-амперной характеристике (2).

При исследовании процесса переключения в зависимости от сопротивления нагрузки R_n было установлено, что для каждого диода, в силу отличия у них ширины базы, тока срыва и т. д., существует



свое оптимальное сопротивление нагрузки $R_{н\text{ опт.}}$, при котором происходит стабильное переключение диода. При $R_{н} < R_{н\text{ опт.}}$ диод может переключаться только из точки A в точку B , но не обратно, а при $R_{н} > R_{н\text{ опт.}}$ диод самопроизвольно возвращается из точки B в точку A , если убрать световое пятно из области базы диода. Для исследуемых диодов $R_{н\text{ опт.}}$ лежит в пределах от 500 до 5000 ом.

Эффект переключения диода излучением лазера имеет порог мощности воздействующего лазерного излучения, т. е. стабильное переключение диода наблюдалось при мощности излучения $W' > W'_{\text{ л пор.}}$. Пороговая мощность лазера $W'_{\text{ л пор.}}$ выше которой наблюдается переключение диода, составляла в наших экспериментах величину порядка нескольких милливатт.

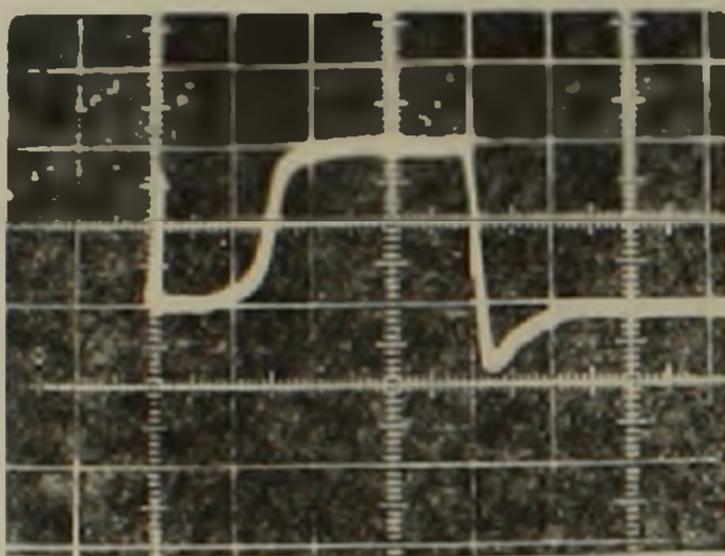


Рис. 3. Оциллограмма переключения диода.
Большое деление шкалы — 2 мксек

Процесс переключения диода из высокоомного состояния в низкоомное с помощью лазера иллюстрируется оциллограммой (рис. 3). Время переключения диода уменьшается при увеличении выходной мощности лазера, и в зависимости от нее и собственных характеристик диода имеет величину порядка 1—4 мксек.

Наблюдаемое явление переключения было исследовано в интервале температур от -30°C до $+60^{\circ}\text{C}$. При комнатной температуре отношения токов в точках A и B $\frac{I_B}{I_A} \sim 10 - 12$. В этом случае минимальный ток переключения (ток в точке A) определяется в основном током срыва диода, а максимальный ток (ток в точке B) — зависит от величины сопротивления нагрузки.

При увеличении окружающей температуры ток срыва у исследуемых диодов растет и величина $\frac{I_B}{I_A}$ при $T \sim 60^{\circ}\text{C}$ уменьшается до значения, равного 2—3. При этом наблюдается некоторое ухудшение стабильности переключения, но все же у большинства диодов наблюдается стабильный процесс переключения, что включает в себя устойчивое состояние диодов в точках A и B .

Понижение температуры диода до $T = -30^\circ \text{C}$ вызывает увеличение отношения токов $\frac{I_B}{I_A}$ до величины 50 — 60, переключение диодов в этом случае стабильно.

Полученные результаты позволяют надеяться, что на основе описанного эффекта переключения возможно создание фотореле и фототриггера на S-диоде.

Институт радиофизики и электроники
Академии наук Армянской ССР

Հայկական ՍՍՀ ԳԱ բարակից-անդամ Գ. Մ. ԱՎԱԿՅԱՆՑ, Ա. Ա. ՍՏԵՓԱՆՈՎ,
Ի. Ս. ԲԱՐՍԵԳՅԱՆ, Յու. Ա. ԱՐՄՈՒՅԱՆ,

Բացասական դիմադրությամբ դիոդների վոլտանջիստման հատկությունները

Ցույց է տրված, որ կադմիումի խառնուրդով դիոդները, որոնք պատրաստված են Si-ից, կարող են միացվել և անջատվել թվանտային գեներատորի ճառագայթների օգնությամբ:

Նկատված երևույթը կարող է օգտագործվել ֆոտոռեկտի և ֆոտոտրիգերի տիպի սարքեր ստեղծելու համար:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- 1 Г. М. Авакьянц, Р. С. Барсегян, А. А. Степанов, ДАН АрмССР, т. 49, № 5 (1969).
- 2 Г. М. Авакьянц, З. Н. Адамян, Р. С. Барсегян, С. А. Тарумян, ДАН АрмССР, т. 49, № 1 (1969).

УДК 523.877

АСТРОФИЗИКА

Е. М. Схторян, Э. В. Чубарян, В. В. Папоян

О вращении звездных моделей в теории Ньютона

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Г. С. Саакяном 3/XII 1970)

Структура и интегральные параметры равновесных псевдосферон-
 дальных звездных моделей, вращающихся с постоянной угловой ско-
 ростью ω , определяются решением системы следующих уравнений:

$$\frac{1}{R^2} \frac{\partial}{\partial R} \left(R^2 \frac{\partial \varphi}{\partial R} \right) + \frac{1}{R^2} \frac{\partial}{\partial \mu} \left[(1 - \mu^2) \frac{\partial \varphi}{\partial \mu} \right] = G, \tag{1}$$

$$F = -\varphi + C. \tag{2}$$

Здесь

$$F = \int \frac{dP}{\rho} - \beta G_c R^2 (1 - \mu^2), \quad \beta = \frac{\omega^2}{2G_c}, \tag{3}$$

$$G = 4\pi k \rho, \quad \mu = \cos \theta,$$

φ — гравитационный потенциал, P — давление, ρ — плотность вещества, C — потенциал в полюсе конфигурации, индексом „с“ обозначены значения величин в центре распределения масс. Будут рассмотрены мо-
 дели, вещество которых полностью вырождено или температура вез-
 де является функцией только плотности, т. е. предполагается, что
 вещество описывается однопараметрическим уравнением состояния
 $P = P(\rho)$.

Решения рассматриваемой системы (1)–(3) содержат два незави-
 симых параметра — ρ_c и ω . Угловая скорость ω изменяется в пределах
 от 0 до некоторого ω_{\max} , которое можно найти из условия отсутствия
 истечения вещества с экватора. Следовательно, при фиксированной
 центральной плотности мы получим последовательность равновесных
 моделей с увеличивающимся моментом импульса.

Точных методов решения этой задачи не существует. Обычно, ре-
 шение системы (1)–(3) ищут в виде рядов по полиномам Лежандра
 (1), или по β (1–5), ограничиваясь первыми несколькими членами.

В настоящей работе в рамках теории тяготения Ньютона разрабо-
 тан метод расчета структуры и интегральных параметров вращающих-

ся конфигураций, который по сути является обобщением методов, изложенных в (2-5), и в котором поправки, связанные с вращением учитываются с любой степенью точности.

Решение системы уравнений (1) — (3) будем искать в виде следующих разложений:

$$F(R, \mu) = f_{00}(R) + \sum_{m=1}^{\infty} \beta^m \left[\sum_{l=0}^{2m} f_{ml}(R) P_l(\mu) + \sum_{l=2}^{\infty} A_{ml} \Phi_{ml}(R) P_l(\mu) \right], \quad (4)$$

$$G(R, \mu) = g_{00}(R) + \sum_{m=1}^{\infty} \beta^m \left[\sum_{l=0}^{2m} g_{ml}(R) P_l(\mu) + \sum_{l=2}^{\infty} B_{lm} \Gamma_{ml}(R) P_l(\mu) \right],$$

$$f_{12} = g_{12} = 0, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

где f_{00} и g_{00} — характеристики соответствующих невращающихся конфигураций, $P_l(\mu)$ — полином Лежандра l -го порядка, A_{ml} , B_{ml} — постоянные. В выражении (4) отсутствуют члены с нечетными l , что обусловлено симметрией распределения масс относительно экваториальной плоскости $\mu = 0$. Радиальные функции, фигурирующие в (4), являются решениями системы обыкновенных дифференциальных уравнений, следующей из (1) с учетом (2). Однако, как легко заметить, получить эту систему можно лишь если найдена связь между постоянными A_{ml} и B_{ml} . С этой целью будем считать G функцией от $\int \frac{dP}{\rho}$ и разложим ее в ряд Тейлора вокруг значения f_{00} . Приравнивая далее члены при одинаковых степенях β и коэффициенты при полиномах Лежандра одинакового порядка получаем:

$$g_{ml}(R) + B_{ml} \Gamma_{ml}(R) = \gamma_1 \left[f_{ml}(R) + A_{ml} \Phi_{ml}(R) + \right. \\ \left. + \frac{2}{3} G_c R^2 \delta_{ml} (\delta_{l0} - \delta_{l2}) \right] + Q_{ml}(R). \quad (5)$$

Значение функции $Q_{ml}(R)$ определяется соотношением

$$\sum_{l=0}^{2m} Q_{ml}(R) P_l(\mu) = \frac{\gamma_2(R)}{2} \sum_{k=1}^{m-1} \left[f_{0k}(R) + \delta_{k1} G_c R^2 (1 - \mu^2) + \right. \\ \left. + \sum_{l=2}^{2k} [f_{kl}(R) + A_{kl} \Phi_{kl}(R)] P_l(\mu) \right] \left[f_{m-k, 0}(R) + \delta_{m-k, 1} G_c R^2 (1 - \mu^2) + \right. \\ \left. + \sum_{l=2}^{2(m-k)} [f_{m-k, l}(R) + A_{m-k, l} \Phi_{m-k, l}(R)] P_l(\mu) \right] +$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\gamma_3(R)}{3!} \sum_{\substack{k=1 \\ p=1}}^{m-2} \left\{ f_{k0}(R) + \delta_{k1} G_c R^2 (1 - \mu^2) + \sum_{l=2}^{2k} [f_{kl}(R) + A_{kl} \Phi_{kl}(R)] P_l(\mu) \right\} \\
& \left\{ f_{p0}(R) + \delta_{p1} G_c R^2 (1 - \mu^2) + \sum_{l=2}^{2p} [f_{pl}(R) + A_{pl} \Phi_{pl}(R)] P_l(\mu) \right\} \\
& \left\{ f_{m-k-p,0}(R) + \delta_{m-k-p,1} G_c R^2 (1 - \mu^2) + \sum_{l=2}^{2(m-k-p)} [f_{m-k-p,l}(R) + \right. \\
& \left. + A_{m-k-p,l} \Phi_{m-k-p,l}(R)] P_l(\mu) + \dots + \frac{\gamma_n(R)}{n!} [G_c R^2 (1 - \mu^2) + \right. \\
& \left. + f_{10}(R) + [f_{12}(R) + A_{12} \Phi_{12}(R)] P_2(\mu)]^n \right\},
\end{aligned}$$

где

$$\gamma_k = \frac{d^k g_{00}}{df_{00}^k}, \quad k = 1, 2, \dots, n.$$

Для определения значений постоянных A_{ml} и C необходимо использовать условие непрерывности потенциала и его первой производной на поверхности звезды. Как известно, вне распределения масс потенциал имеет вид

$$\varphi^{(e)}(R, \mu) = \frac{K_{00}}{R} + \sum_{m=1}^n \beta^m \sum_{l=0}^{\infty} \frac{K_{ml}}{R^{l+1}} P_l(\mu), \quad (6)$$

K_{00} , K_{ml} — постоянные.

Будем считать, что радиус звезды в направлении μ задан соотношением

$$Q_\mu = R_0 + \sum_{m=1}^n \beta^m \sum_{l=0}^{\infty} q_{ml} P_l(\mu), \quad (7)$$

R_0 — радиус соответствующей конфигурации в отсутствии вращения. Если теперь отделить в C вклад членов n -го порядка, т. е. записать

$$C = \sum_{m=0}^n \beta^m C_m,$$

то условия сшивки, следующие из (2), (6) и (7), приводят к простым алгебраическим уравнениям относительно неизвестных постоянных

$$\frac{K_{ml}}{R_0^{l+1}} - C_m \delta_{l0} + f_{ml}(R_0) + A_{ml} \Phi_{ml}(R_0) = \frac{2}{3} G_c R_0^2 (\delta_{l0} - \delta_{l2}) \delta_{m1}, \quad (8)$$

$$\frac{K_{ml}}{R_0^{l+2}} - f'_{ml}(R_0) - A_{ml} \Phi'_{ml}(R_0) = \frac{4}{3} G_c R_0 (\delta_{l2} - \delta_{l0}) \delta_{m1}.$$

Уравнения (8) получены с учетом условия $F + \beta G_c R^2 (1 - \mu^2) = 0$ на поверхности звезды, что обусловлено обращением в нуль давления и

плотности на границе распределения масс. Попутно из этого же условия можно определить q_{ml} , которые позволяют найти форму поверхности рассматриваемой конфигурации. Из (8) видно, что все постоянные, с помощью которых определяется структура и интегральные характеристики вращающихся звезд, можно найти, если известны значения радиальных функций f_{ml} и Φ_{ml} и их производных f'_{ml} и Φ'_{ml} в точке R_0 . Функции $f_{ml}(R)$ и $\Phi_{ml}(R)$ являются решениями системы дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} (\Delta_l + \gamma_l) f_{ml} + \frac{2}{3} \gamma_l G_c R^2 \lambda_{ml} (\epsilon_{l0} - \epsilon_{l2}) + Q_{ml} &= 0, \\ (\Delta_l + \gamma_l) \Phi_{ml} &= 0, \end{aligned} \quad (9)$$

$$\Delta_l = \frac{1}{R^2} \frac{d}{dR} \left(R^2 \frac{d}{dR} \right) - \frac{l(l+1)}{R^2},$$

которую, как было отмечено, легко получить из (1) с учетом (2).

Таким образом, гравитационный потенциал внутри и вне звезды, массу, форму поверхности, мультипольные моменты рассматриваемых конфигураций можно найти из решений системы уравнений (8), (9) с использованием соотношений (2), (4), (6), (7). В частности масса вращающейся звезды есть

$$M = -K_{00} - \sum_{m=1}^n \beta^m K_{m0}. \quad (10)$$

Отметим, что решение задачи в n -ом приближении возможно, лишь если получено решение в приближении $n-1$. Кроме того, подчеркнем, что при решении задачи с точностью до членов пропорциональных β^n , как следствие граничных условий удалось показать, что во всех разложениях отличный от нуля вклад дают лишь полиномы Лежандра вплоть до порядка $2n$.

Авторы благодарны Г. Г. Арутюнян за обсуждения.

Ереванский государственный университет

Խ. Խ. ՍԽՏՈՐՅԱՆ, Է. Վ. ԶՈՒՐԱՐՅԱՆ, Վ. Վ. ԳԱԳՈՅԻՆ

Պատվոգ պատղային մոդելների նյութոսյան տեսության վերաբերյալ

Առաջարկված է հավասարակշիռ պսևդոսֆերոիդալ, հաստատուն անկյունային արադուիթյամբ պատվոգ կոնֆիգուրացիաների ներքին կառուցվածքի և ինտեգրալ պարամետրների հաշվման մեթոդ:

Ննթադրվում է, որ դիտարկվող մոդելների նյութի վիճակը նկարագրվում է միապարամետրիկ հավասարումով: Մշակված մեթոդը թույլ է տալիս պտույտի հետ կապված ուղղումները հաշվի առնել ցանկացած ճշտությամբ:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Գ Ր Ա Չ Ը Ն Ո Ւ Ր Գ Ո Ւ Ն

- ¹ R. A. James, *Ap. J.*, 140, 552 (1964). ² S. Chandrasekhar, *M. N.*, 93, 390 (1933).
³ J. J. Monaghan, J. W. Roxburgh, *M. N.*, 131, 13 (1965). ⁴ В. В. Папоян, Д. М. Седракян, Э. В. Чубарян, *Сообщ. Бюро. Обс.* 39, 101 (1968); 10, 86 (1969). ⁵ В. В. Папоян, Д. М. Седракян, Э. В. Чубарян, *ДАН Арм. ССР*, т. 49, № 5 (1969).

УДК 622.831.3

ГЕОЛОГИЯ

Г. В. Вардерсян

К вопросу об установлении характера распределений напряжений вокруг камер в зависимости от изменения их пролета

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. Г. Назаровым 20/IV 1971)

При эксплуатации месторождений часто создаются камеры различной ширины. Поэтому установление зависимости изменения напряжений вокруг таких камер от пролета имеет важное значение для определения их предельных прочностных параметров. Ранее проведенные исследования показали, что в однородной среде растягивающие напряжения в потолке горизонтальных камер изменяются по зависимости, близкой к параболической, а нормальные и касательные напряжения в стенках изменяются по линейной зависимости (1).

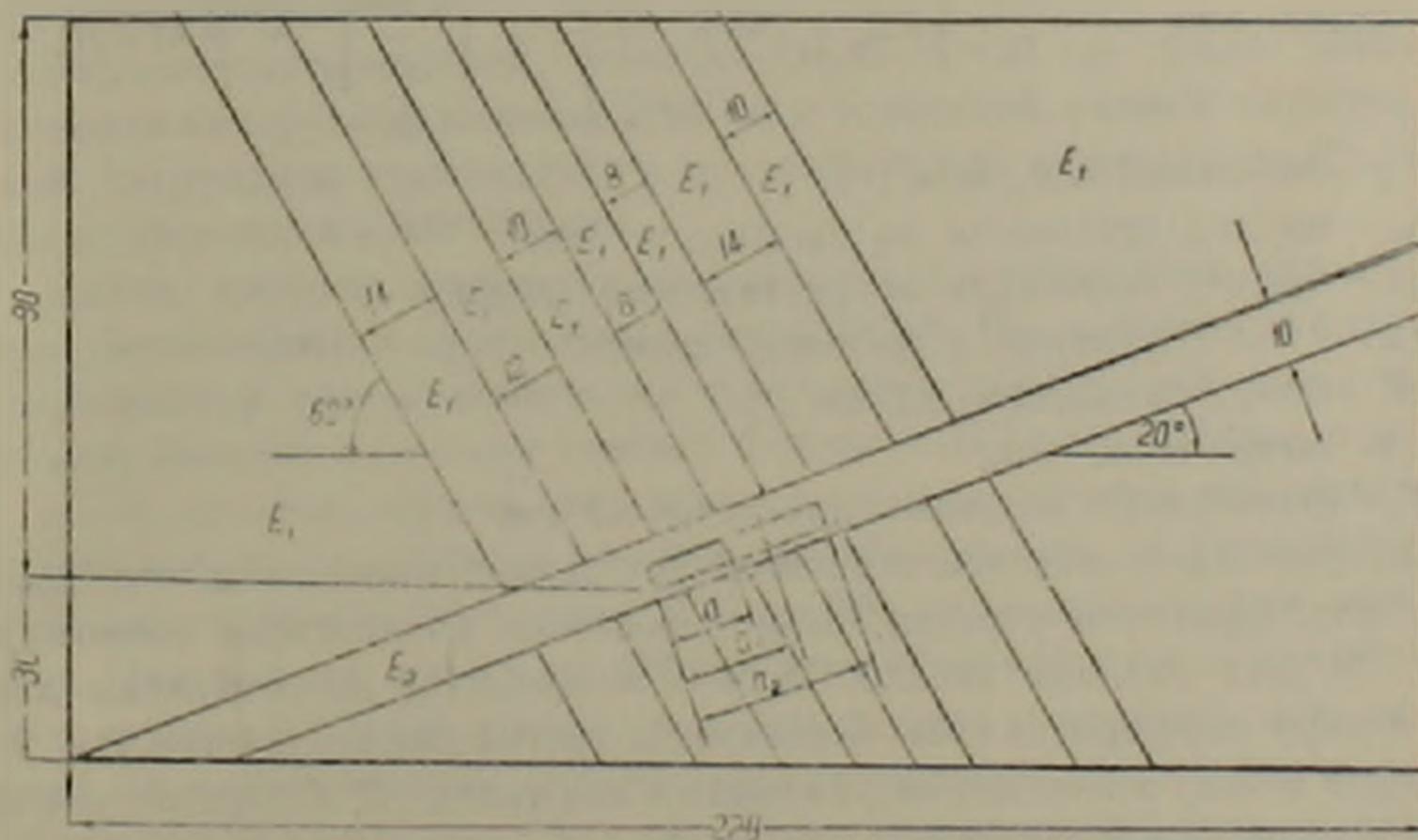


Рис. 1. Общий вид и размеры первой расчетной модели

Однако горный массив сложен из пород различных физико-механических свойств, которые несомненно оказывают влияние не только на ха-

рактически, но и на величину распределения напряжений. Поэтому было бы целесообразно при решении задач для конкретных условий учитывать и геологическое строение месторождения.

В данной работе изложены результаты исследования напряжений вокруг очистных камер в зависимости от их пролета с учетом геологического строения месторождения для одного случая.

В основу расчетных моделей заложены структуры двух разрезов по руднику.

Первый случай моделировался, когда камера находилась в послонной рудной зоне мощностью 5 м с углом наклона 20°. Над камерой (в кровле) и под камерой были оставлены рудные целики мощностью 2 и 1 м соответственно. Высота камер 2 м.

Вмещающие породы, представленные песчаником серого цвета мелкозернистой структуры, пересечены дайками диоритовых порфиритов. Общий вид и размеры модели показаны на рис. 1.

Физико-механические свойства руд и вмещающих пород даны в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики физико-механических свойств руд и пород месторождения

Наименование пород	γ	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{раст}$	φ	C	μ	E_c
Песчаник серого цвета мелкозернистой структуры	2,75	1180	80	47	210	0,227	$6,78 \times 10^5$
Диоритовые порфириты	2,65	1550	190	45	325	0,245	$6,47 \times 10^5$
Рудная зона	2,5	700	18	—	—	—	$4,07 \times 10^5$

где: γ — объемный вес, $т/м^3$;

$\sigma_{сж}$ — предел прочности на сжатие, $кг/см^2$;

$\sigma_{раст}$ — предел прочности на растяжение, $кг/см^2$;

φ — угол внутреннего трения в град.;

C — коэф. сцепления, $кг/см^2$;

μ — коэф. Пуассона;

E_c — статический модуль упругости, $кг/см^2$;

Вторая серия моделей отличалась от первой только тем, что структура моделируемого участка была пересечена различными разломами (рис. 2). Два разлома мощностью в 1 м проходят по контактам даек диоритовых порфиритов с песчаниками, а третий разлом мощностью 2 м проходит между этими двумя разломами под углом 75° к горизонту. Разломы пересекают послонную рудную зону.

Были исследованы по 3 модели с пролетами камер 5, 10 и 15 м. Задача решалась методом фотоупругости.

В моделях рудные зоны и разломы представлены эпоксималом состава ЭД—6—100 вес. частей, метилтетрагидрофталевого ангидрида—

Во всех моделях напряжения σ_x свои максимальные значения получают на некотором расстоянии от стенок камер вглубь массива. Это расстояние равно примерно 0,25 высоты камеры (50 см в натуре). В моделях, не нарушенных разломами, увеличение пролета камеры приводит к возрастанию напряжения σ_x по линейной зависимости (рис. 4, кривая 1). Наличие разломов в структуре нарушает линейную зависимость между

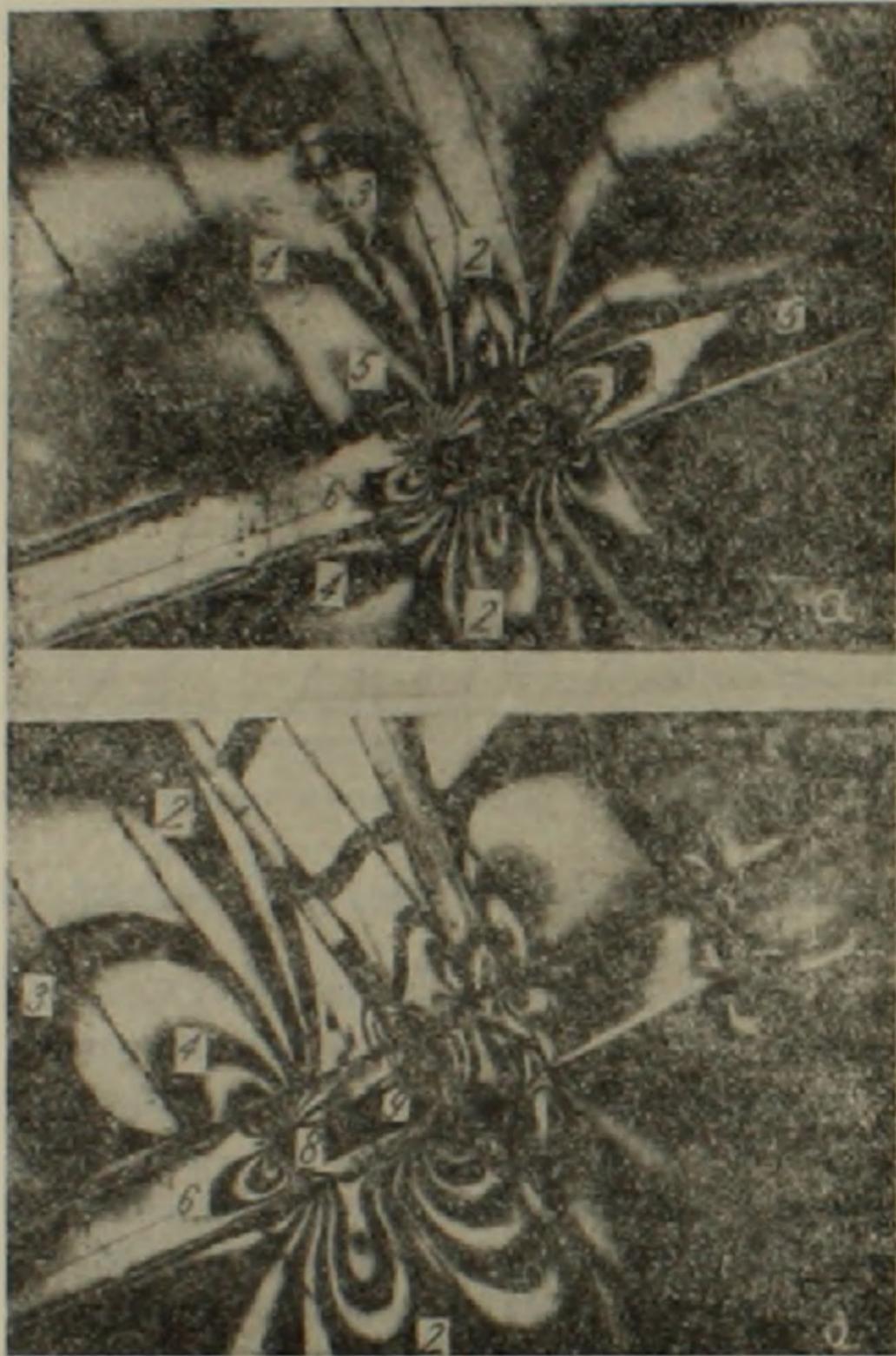


Рис. 3. Изохромы в моделях при пролетах камер 7 м.
 а — модель не пересечена разломами; б — модель пересечена разломами

пролетом камеры и напряжениями (рис. 4, кривая 5). Здесь напряжения σ_x растут гораздо быстрее, чем пролеты камер. Наиболее опасными являются растягивающие напряжения. С увеличением пролета их абсолютная величина возрастает (рис. 4, кривые 2, 3). Из графиков зависимостей изменений растягивающих напряжений σ_y в кровле камеры от их пролета можно заключить следующее:

1. В первых двух вариантах (пролет камеры 7 м), когда разломы не пересекают камеры, напряжение σ_y в центральной части кровли между собой равны.

2. При пролете 10 м, когда камера пересекается одним разломом (второй вариант), напряжение σ_y на 30—35% больше от напряжения σ_y первого варианта, и почти в два раза больше, чем соответствующие напряжения в однородной модели (точка 1) того же пролета.

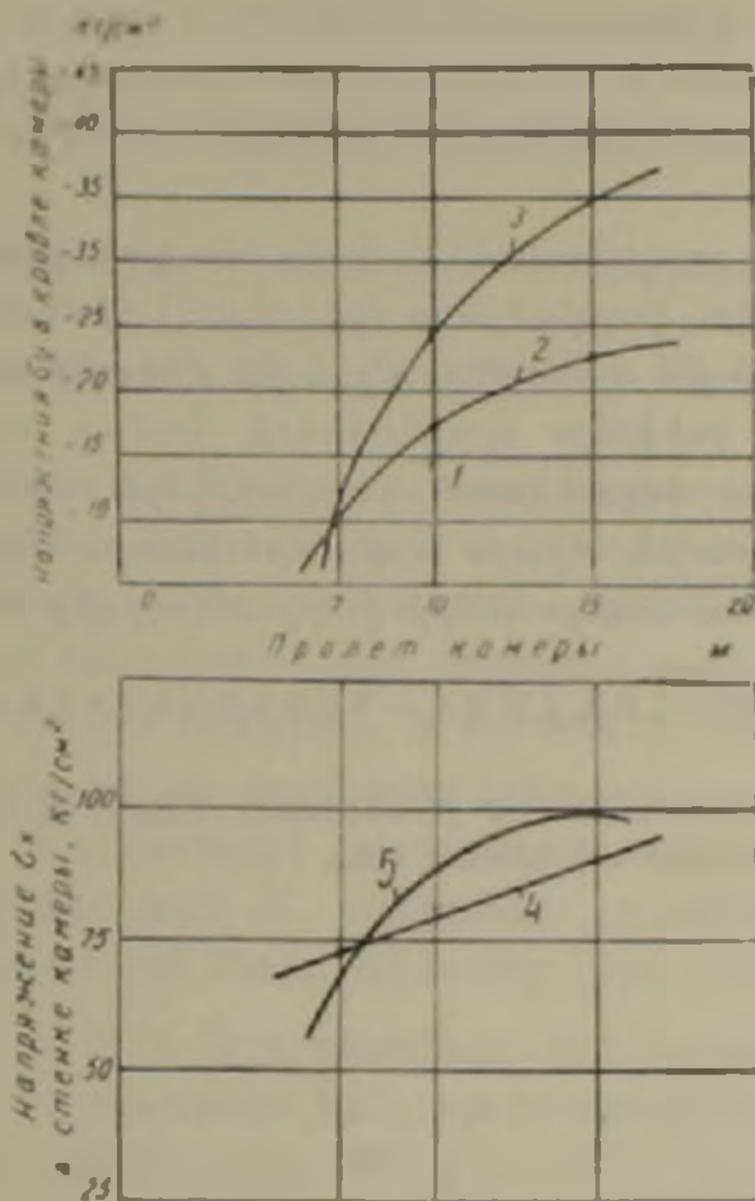


Рис. 4. График зависимостей изменения напряжений σ_x и σ_y в кровле и стенке камеры от величины ее пролета

3. При пролете 15 м, когда камера пересекается двумя разломами, напряжения σ_y в кровле камеры на 50—55% больше, чем напряжения σ_y варианта без разломов. Растягивающие напряжения σ_y при больших пролетах приобретают опасные значения. Если в ненарушенной кровле эти напряжения еще не могут вызвать обрушения, то в зонах пересечения с разломами величина их достаточна, чтобы вызвать обрушение кровли. Ускорению процесса обрушения будет способствовать также состояние приконтактной зоны с разломами.

Таким образом, было установлено, что характер изменения поля напряжений вокруг камер от их пролета существенно зависит от строения массива. При построении расчетных схем конкретных задач следует произвести анализ строения месторождений и принять решение о целесообразности учета структуры в расчетах.

Խուցերի շուրջը թռիչքի փոփոխումից առաջացող լարումների
դասավորման բնույթի հաստատման հարցի մասին

Հողվածում բերված են բարդ երկրաբանական կառուցվածք ունեցող կր-
տրրվածքներում խուցերի շուրջը նրանց թռիչքի փոփոխումից առաջացող լար-
վածային դաշտի ուսումնասիրման արդյունքները:

Խնդիրը լուծված է ֆոտոառածգականության մեթոդով՝ ոչ համասեռ բարդ
մոդելները կենտրոնախույս ուժերի դաշտում բեռնավորելով:

Այսպիսի բարդ կառուցվածքով մոդելների ուսումնասիրումը կատարվում
է առաջին անգամ:

Չույց է տրված, որ դանգվածի երկրաբանական կառուցվածքը, առանձին
խղումները (դայկաներ, կտրվածքներ /разломы) հիմնական կերպով կարող
են փոխել լարումների թև դասավորումը և թե մեծությունը:

Առաջարկվում է կոնկրետ պայմանների համար ամրության խնդիրներ
լուծելիս հաշվարկման մոդելներում կտրվածքների ստրուկտուրաների վեր-
արտադրությունը կատարել միայն այդ ստրուկտուրաների ապարների ֆիզի-
կա-մեխանիկական հատկությունների խորը անալիզից հետո:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ В. М. Тубольцев, Исследование устойчивости камер, Кандидатская диссертация.
Днепропетровск, Горный ин-т им. Артема, 1965

УДК 549.32/33

МИНЕРАЛОГИЯ

Л. А. Арутюнян, Э. Х. Хуршудян

Синтез и структурное исследование дисульфида рения

(Представлено академиком АН Армянской ССР И. Г. Магакьяном 19/III 1971)

Дисульфид рения в природе в качестве самостоятельной фазы пока не установлен*. В то же время данные о структурных особенностях дисульфида рения в связи с условиями его образования представляют большой интерес для геохимиков при изучении вопросов сонахождения рения в сульфидах других металлов, в частности, молибдена.

Первые, основанные на экспериментальном материале сведения о структуре ReS_2 , полученного возгонкой хлоридов рения в токе H_2S при 1400° , принадлежит Ж. Лагреноди, который идентифицируя решетку ReS_2 , с решеткой MoS_2 , приводит для ReS_2 параметры $a = 3,14$ и $c = 12,20 \text{ \AA}$ (5,6). Эти значения полностью совпадают с данными К. Траора, получавшего ReS_2 нагреванием смеси элементарных Re и S при температурах выше 500° (7). Т. А. Сатпаева и др. (8), работавшие тем же методом (температуры $600 - 650^\circ$), установили для ReS_2 гексагональную решетку с параметрами $a = 3,166 \text{ \AA}$ и $c = 12,192 \text{ \AA}$. Е. Я. Роде и Б. А. Лебедев получали ReS_2 разложением в вакууме гептасульфида рения при температурах $200 - 800^\circ$ и нашли, что промежуточных между ними сульфидов рения не образуется (9).

Геохимически весьма важный вопрос влияния рения в молибденитах на структурные особенности последнего рассматривается различными авторами, использовавшими материал из многочисленных месторождений. Было найдено, что рений в природных молибденитах не влияет на тип структуры последнего (10,11). Исследования синтезированных оухим путем при $500 - 1000^\circ$ молибденитов с содержанием Re 0,5—20% привели А. Н. Зеликмана и др. (12) к выводу об увеличении ром-

* Сообщение Шуллера (1) о находке ReS_2 в Мансфельдских рудах при более детальных исследованиях не подтвердилось (2). Однако исследования других авторов не исключает такую возможность (3). Единственным достоверно установленным минералом рения в настоящее время следует считать джезказганит состава $(\text{Rh}_4, \text{Re}_2, \text{Mo}_2)\text{S}_{16}$ (4).

боздрической составляющей молибденитовой решетки при повышении в ней содержания рения.

В свете вышесказанного и особенно учитывая факт, что во всех отмеченных работах синтез осуществлялся «сухим» методом, менее интересным в геохимическом отношении, представлялось актуальным выполнение специального исследования по структурным особенностям ReS_2 , полученного в гидротермальных условиях. С этой целью было проведено около 40 опытов по синтезу ReS_2 из водных растворов тиоренатов при температурах 350—600°, давлениях 200—1000 атм и выдержках от 1 до 400 часов. Дополнительно, для уточнения и сравнения, было выполнено также около 20 «сухих» опытов при температурах 600—800° и выдержках до 8 часов.

Опыты проводились в автоклавах из нержавеющей жаропрочной стали марки Х18Н9Т с самоуплотняющимся затвором, объемом 80—100 мл. Исходные растворы помещались в автоклав во вкладышах—платиновых пробирках объемом 20 мл с крышкой, завариваемой автогеном на золотом или серебряном* припое; часть опытов была проведена во вкладышах из пассивированного титана объемом 10 мл с пробкой на резьбе; коэффициент наполнения обычно составлял 0,2—0,4. Для компенсации давления во вкладыше, свободный объем автоклава заполнялся водой с тем же коэффициентом наполнения («поливающий вкладыш»). Температура в опытах измерялась милливольтметром в комплекте с хромель-алюмелевой термопарой, вставляемой в специальное углубление в теле автоклава, с точностью $\pm 5^\circ\text{C}$, и поддерживалась постоянной с точностью 0,5% от заданной при помощи регулирующих потенциалов типа ПСР-1—01; безопасность в длительных опытах обеспечивалась блокирующей схемой на основе регулирующего милливольтметра типа МР-1—02 м. Давление в опытах создавалось за счет паров раствора и непосредственно не измерялось; интересующее нас давление подбиралось, исходя из таблицы $P-V-T$ для воды (13) и задаваемой температуры, выбором соответствующего коэффициента наполнения**.

Исходными для синтеза ReS_2 служили свежеприготовленные растворы тиорената аммония концентрации 20—25 г/л Re , получавшиеся добавлением гидросульфида натрия к раствору перрената. Полученный сульфид отфильтровывался горячей водой и спиртом и сушился при 110° в течение 2—3 часов.

«Сухой» синтез осуществлялся в кварцевых ампулах, у которых, во избежание разрыва, оставляли микроотверстие***; исходная шихта на ReS_2 состояла из KReO_4 — 36%, Na_2CO_3 — 49% и S — 15%.

* От серебра пришлось впоследствии отказаться, так как в длительных опытах образование Ag_2S в месте припоя приводило к разгерметизации пробирки.

** Ввиду значительной концентрации применявшихся растворов, действительные давления в опытах должны были быть несколько меньше рассчитанных по указанной таблице.

*** Проведение сухих опытов продолжительностью свыше 10 ч оказывалось невозможным, ввиду имевшего место полного окисления получаемых сульфидов.

Конечная масса размельчалась, обрабатывалась горячей водой, отфильтровывалась, повторно промывалась горячей водой и спиртом, затем высушивалась.

Продукты синтеза под бинокуляром представляют собой плотный черный мелкозернистый порошок с блеском, чаще агрегированный в небольшие остроугольные кусочки матово-черного цвета с раковистым изломом, мягкие (раздавливаются иглой, при прочерчивании дают молибденитовую черту). Сульфиды, полученные при сравнительно низкой температуре (ниже 500°), имели вид сажистого порошка.

Рентгеноструктурное исследование полученных дисульфидов, с целью установления степени раскристаллизованности и типа структуры велось методом порошка в камерах РКД. Образцы готовились в виде шариков, с целью получить наибольшее количество рефлексов общего характера. Съемка велась на отфильтрованном медном излучении с режимом на трубке 18 ма и 40 кв. Экспонировались образцы 4 часа.

Диагностика велась визуально по поведению линий (103) и (105) (область углов θ $26-29^{\circ}$ на медном излучении).

Таблица 1

Результаты гидротермального синтеза ReS_2

№ опытов	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Выдержка, ч	Давление, атм	Характер структуры
4а	450—300—200	60	?	Намечается линия пакета ReS_2 (002)
9	460—500	220	600	Линия пакета и несколько размытых линий. Говорить о структурном типе трудно
6а	500	4	1000	.
8а	500	15	300	.
1а	500	35	?	.
12	500	50	600	.
11	500—550	100	600	Двухслойная гексагональная структура, однако сильно несовершенная
5	500—550	120	?	.
6	500	180	?	.
1с	530	23	400	.
19	500	400	?	Двухслойная гексагональная структура с размытыми линиями (101); 1 нечетные, что указывает на увеличение ромбоэдрической фазы.
29	590	160	400	.
3	670	3	?	Линия пакета ReS_2 и несколько размытых и неинтенсивных линий.

* Имело место частичное или полное разуплотнение автоклава, в результате чего нельзя судить о действительном давлении в процессе опыта.

Результаты для наиболее характерных опытов по гидротермальному синтезу приведены в табл. 1, откуда видно, что совершенство структуры растет с увеличением выдержки опытов.

Судя по опыту 19 (500°, 400 ч), где структура дисульфида сравнительно более совершенная, можно предполагать, что более длительная выдержка привела бы к образованию ромбоэдрической модификации, аналогично тому, что происходит при синтезе дисульфида молибдена (14). Сильное расширение линий (10 *l*) с нечетными значениями *l* говорит о том, что дальнейшая кристаллизация должна привести к их расщеплению с образованием дублетов линий ромбоэдрической модификации.

Рентгенограммы продуктов «сухого» синтеза показали в основном несовершенную структуру, что обусловлено, по всей вероятности, короткими выдержками; на рентгенограммах четко намечалась лишь линия пакета, указывающая на начало кристаллизации дисульфида.

Для расчета параметров элементарной ячейки был выбран дисульфид, полученный гидротермальным синтезом при температуре 500° и выдержке 400 часов (оп. 19), как наиболее хорошо раскристаллизованный. Съёмка велась в камере РКУ диаметром 114 мм. Режим на трубке оставался тот же, что при диагностике дисульфидов, а экспозицию увеличили до 8 часов. Образцы готовились в виде цилиндров диаметром 0,5 мм. Поправки (как систематические, так и случайные) вводились с помощью снимка образца с теоретически рассчитанным эталоном, в качестве которого была использована каменная соль (табл. 2).

Таблица 2

Межплоскостные расстояния

<i>l</i>	<i>d</i>	<i>hkl</i>	<i>l</i>	<i>d</i>	<i>hkl</i>
10	6,17	002	4	1,361	201
5	3,419		3	1,295	203
5	2,738	100	4	1,248	204; 115
5	2,652	101	2	1,140	
1	2,297		6	1,098	118
5	2,270	103	5	1,031	10, 11; 210
3	2,046	104, 006	5	1,000	213
4	1,829	105	3	0,9683	1, 1, 10
4	1,706		3	0,9518	215
10	1,577	110	5	0,9116	300, 2, 0, 10
8	1,529	008, 112	4	0,9012	302
2	1,406				

Для расчета параметра были выбраны наиболее интенсивные линии в области больших углов и по возможности с большим значением соответствующего параметру индекса; параметр *a* рассчитан по линиям (300) и (302) и равен 3,160 Å, повторяя параметр *a* молибденита. Параметр *c* рассчитан по линиям (118), (1, 1, 10) и (2, 0, 10) и равен 12,226 Å, т. е. заметно меньше параметра *c* молибденита, равного 12,300 Å (15).

Как отметили выше, Траор (7) и Т. Н. Сатпаева и др. (8) приводят примерно одинаковые значения для параметра *c* (12,20 Å), т. е. даже несколько ниже, чем у нас. Это достаточно веский факт для того,

чтобы взять под сомнение рассчитанное Л. Аренсом ⁽¹⁶⁾ значение ионного радиуса четырехвалентного рения*.

Проведенные исследования позволяют заключить, что для образования дисульфида рения наиболее важным фактором является выдержка опытов—для ReS_2 , в аналогичных условиях, она должна быть значительно больше, чем для MoS_2 ; подтверждается изоструктурность MoS_2 и ReS_2 ; рассчитанный параметр с решетки позволяет предполагать, что ионный радиус четырехвалентного рения должен быть меньше того значения, которое до сих пор известно в литературе.

Институт геологических наук
Академии наук Армянской ССР

Լ. Ա. ՀԱՐՈՒՔՅՈՒՆՅԱՆ, Է. Խ. ԽՈՒՐՇՈՒՄՅԱՆ

Ռենիումի դիսուլֆիդի սինթեզը և ստրուկտուրային ուսումնասիրությունը

Ռենիումի դիսուլֆիդը որպես բնական միացություն (միներալ) առայժմ հայտնաբերված չէ: Միաժամանակ նրա ստրուկտուրային առանձնահատկությունները և առաջացման պայմանների նախնական տվյալները խոսում են այն մասին, որ բացառված չէ նրա բնական միացությունների գոյությունը:

Այս է պատճառը, որը նրա առաջացման պայմանների և կառուցվածքի ուսումնասիրությունն իրենից մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում:

Աշխատանքը նվիրված է ռենիումի դիսուլֆիդի ստացմանը հիդրոթերմալ պայմաններում (քանի որ մինչև այժմ կատարված աշխատանքներն անցկացվել են «չոր» միջավայրում) և նրա ստրուկտուրայի ուսումնասիրությանը:

Փորձերը ցույց տվեցին հետևյալը.

1. Ստրուկտուրայի կատարելությունը (տվյալ չեղմաստիճանում) աճում է բյուրեղացման տևողության ավելացման հետ:

2. Հաստատվեց մոլիբդենի ու ռենիումի դիսուլֆիդների ստրուկտուրաների միատիպությունը:

3. Տարրական բջջի պարամետրերի հաշվարկը ցույց տվեց, որ Re^{4+} -ի մինչև այժմ ընդունված իոնային շառավղի շափը չի համապատասխանում իրականությանը:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ A. Schaller, Abhandl. Dtsch. Akad. Wiss. Kl. Chem. Geol. und Biol. № 6, 1959. ² A. Schaller, Otteman. Neues Jahrb. Mineral. Bd. 100, № 3, 1963. ³ Ի. Գ. Магакьян, Գ. Օ. Пудожян, А. С. Парамязян, ДАН Арм. ССР, т. XXXVII, № 2 (1963). ⁴ Е. А. Косяк, Зап. ВМО, ч. 97, вып. 2, 1968. ⁵ J. Lagrenaudie, J. Phys. et radium., vol. 15, № 4 (1954). ⁶ J. Lagrenaudie, Bull. Soc. franc. miner. Crist., LXXIX, 1956. ⁷ К. Траоре, Bull. Soc. Chim. Franc. t. 5, 1965. ⁸ Т. А. Самарова, Р. А. Неакова, Т. П. Полякова, Тр. ин-та геол. наук АН Каз. ССР, № 7 (1963). ⁹ Е. Կ. Роде, Б. А. Лебедев, Журн. неорг. химии, 6, в. 5 (1961). ¹⁰ В. Ф. Чухров, Б. Б. Звягин, Л. П. Ермилова, С. В. Соболева, В. Г. Хитров, Геол. рудн. м-ний, № 2, 1968. ¹¹ Э. Х. Хуршудян, ДАН СССР, т. 171, № 1 (1966). ¹² А. Н. Зеликман, М. В. Инденбаум.

* По данным прецизионных исследований ренийсодержащих молибденитов ⁽¹⁷⁾, размер параметра с молибденита находится в обратной зависимости от содержания рения. Это также позволило высказать мнение, что радиус иона $\text{Re}^{4+} < \text{Mo}^{4+}$, а не наоборот, как указывает Л. Аренс ⁽¹⁶⁾.

М. В. Теслицкая, В. П. Шалинкова, Кристаллография, № 5, 1969. ¹³ F. T. Holser, C. G. Kennedy, Amer. J. Sci., vol. 257 (1959). ¹⁴ Л. А. Арутюнян, Э. Х. Хуршудян, „Геохимия“, № 6, 1966. ¹⁵ В. И. Михеев, Рентгенометрический определитель минералов, М., 1957. ¹⁶ L. Ahrens, Geochim. et Cosmochim. Acta, vol. 2, 1952. ¹⁷ А. С. Фармазян, Э. Х. Хуршудян, ДАН Арм. ССР, т. XXXVII, № 4 (1963).

УДК 549.214

МИНЕРАЛОГИЯ

Г. Г. Мирзоян

О находке муассанита в магматических породах Северной Армении

(Представлено академиком АН Армянской ССР И. Г. Магакьяном 5/IV 1971)

Муассанит—редко встречающийся в природе минерал, впервые обнаружен Муассаном в железном метеорите из Каньона Диабло в штате Аризона, США, в виде мелких зерен вместе с мельчайшими алмазами; минерал определен по физическим свойствам—твердости, удельному весу, габитусу кристаллов. Находки природного муассанита чрезвычайно ограничены. Тем не менее имеется ряд работ, указывающий на весьма различные условия образования минерала.

Муассанит в ассоциации с другими минералами многими исследователями был обнаружен и описан в кимберлитах, порфировых перидотитах, траппах Восточной Сибири, Эльджуртлинских гранитах, карбонатитах, вулканических брекчиях Чешских Средних гор и в некоторых других изверженных породах (1).

В приводимых в литературе данных подчеркивается важное значение муассанита как спутника алмаза (2). С другой стороны муассанит служит критерием для выяснения некоторых вопросов условий формирования магматических пород (3).

Нами муассанит был обнаружен и установлено его относительно широкое распространение при изучении минерального состава прото-лочных проб коренных пород—кварцевых плагиопорфиров (кварцевых дацитов), «альбитофиров» (альбитизированных липаритов), «скератофиров» (липарито-дацитов), дацитов, андезитов, туфов, где содержание минерала колеблется от единичных зерен до 0,9 г/т. В тяжелой фракции наиболее часто встречаются следующие минералы: магнетит, самородное железо, ноцит, ильменит, лимонит, гематит, галенит, пирит, циркон, апатит, монацит, шунгит, гранат, корунд, анатаз, сфен, элидот, пироксен, флюорит, рутил, турмалин, муассанит и т. д.

Физические, химические и оптические свойства муассанита, обнаруженного нами в магматических породах Северной Армении, полностью соответствуют таковым, приведенным в литературе. Минерал встречается в виде остроугольных обломков неправильной формы с раковистым изломом. Спайность плохо выражена. Крупность выделенных зерен

меньше 0,5 м.м, так как пробы дробились до крупности 0,5 м.м. Минерал имеет различную окраску — серую, желтовато-розовую, бледно-голубую, зеленую, синевато-зеленую, индигово-синюю, черную и т. д. Нередко он бывает бесцветным. Окраска меняется иногда в пределах одного и того же зерна. Блеск минерала сильно алмазный до металлического, иногда жирный. Твердость на разноориентированных разрезах минералов, помещенных на специально приготовленный брикет из пластмассы, по данным микротвердометра ПМТ-3, средняя по восьми определениям при оптимальной нагрузке твердость равна 3780—3858 кг/мм², что примерно на 1193 кг/мм² больше твердости муассанита, описанного С. И. Лебедевой (8). По этим данным твердость муассанита равна 2473—2778 кг/мм², что в переводе на шкалу Хрущева соответствует 9,6.

Для изучения оптических свойств минерал погружался в высокопреломляющую иммерсионную жидкость. Наблюдения показали, что показатель преломления значительно больше 1,780. Анизотропный с высокими интерференционными окрасками. Редко имеет аномальное двупреломление с цветами интерференции от темно-серой до фиолетовой. Значительно реже встречаются зерна с волнистым угасанием. Иногда плеохронный в пределах окраски минерала.

Полуквантитативный спектральный анализ пробы минерала весом 1,9 мг, выполненный в спектральной лаборатории Института геологических наук АН Армянской ССР, показал присутствие Si, Al, Mg, Ca, Ti, Mo, Cu, Na (табл. 1).

Таблица 1

Содержание микроэлементов в муассаните

Минерал	Э л е м е н т ы							
	Si	Al	Mg	Ca	Ti	Mo	Cu	Na
Муассанит	0,3	0,003—0,01	~0,002	<0,03	~0,001	0,0003	~0,0001	~0,03

С целью предварительной идентификации была получена дебаеграмма муассанита (рис. 1). Величины межплоскостных расстояний изучаемого минерала были сопоставлены с данными для искусственного кар-



Рис. 1. Дебаеграмма муассанита (камера РКД, Си—излучение, Ni—фильтр)

бида кремния— α SiC (9) и с муассанитами других районов. Как видно из табл. 2, исследованный нами минерал является природным карбидом кремния — муассанитом.

Межплоскостные расстояния муассанита

№ пробы	Муассанит из магматических пород Северной Армении		Искусственный муассанит α SiC—II (°)		Муассанит из вулканических брекчий Чешских Средних гор (°)		Муассанит из фенитов Восточной Сибири (°)	
	J	$\frac{d\tau}{n}$	J	$\frac{d\tau}{n}$	J	$\frac{d\tau}{n}$	J	$\frac{d\tau}{n}$
1		—		—		—		—
2		—		—	4	4,21	1	(2,90)
3	4	2,637	6	2,61	8	3,34	4	(2,77)
4	10	2,508	7	2,51	5	2,62	5	2,62
5	9	2,364	5	2,36	10	2,50	8	2,51
6	3	2,177	1	2,19	5	2,34	5	2,37
7	3	2,103		—	3	2,17	3	2,18
8	2	1,994	3	2,00	1	1,99		—
9	2	1,821		—	2	1,80	4	1,815
10	1	1,684	3	1,67	2	1,66	3	(1,699)
11	4	1,615		—		—		—
12	10	1,530	8	1,54	10	1,53	9	1,540
13	1	1,453		—		—	3	(1,451)
14	8	1,417	5	1,419	5	1,41	4	1,420
15		—	3	1,329	1	1,37	3	1,373
16		—		—		—	1	1,330
17	9	1,313	8	1,309	10	1,310	8	1,313
18	4	1,291	3	1,285	2	1,286		—
19	3	1,266	3	1,253	2	1,257	3	1,256
20		—	2	1,217		—	1	1,220
21	1	1,131	2	1,131		—		—
22	2	1,110		—		—	1	(1,104)
23	2	1,088	4	1,087	3	1,087	4	1,089
24		—	1	1,061		—	1	(1,076)
25	6	1,046	4	1,042	3	1,041		—
26	1	1,036		—		—		—
27	5	1,003	3	1,002		—	2	1,007
28		—	5	0,997	6	0,999	6	1,000
29	5	0,989	4	0,986	3	0,986	3	(0,980)
30	5	0,975	5	0,972	5	0,971	7	0,974
31	1	0,957	2	0,953	1	0,953		—
32	6	0,942	4	0,940	2	0,939		—
33	3	0,903	3	0,911	2	0,911		—
34	8	0,889	9	0,888	7	0,887		—
35		—	1	0,873		—		—
36	9	0,864	6	0,862	6	0,863		—
37	1	0,841	2	0,841		—		—
38	9	0,837	10	0,837	8	0,837		—
39	6	0,805	3	0,811		—		—
40	4	0,802	5	0,802	2	0,803		—

Присутствие муассанита в породах Алавердского рудного района можно объяснить заражением магмы углеродом за счет метаморфического комплекса фундамента. Муассанит возможно выкристаллизовался на большой глубине, в условиях высокого давления и температуры за счет первичного углерода в процессе поднятия магмы.

Судя по ряду выявленных нами характеристик—физическим, химическим и оптическим свойствам, не исключена возможность, что при более детальном изучении совместно с муассанитом может быть обнаружен и алмаз.

Из вышесказанного видно, что редко встречающийся в природе минерал—муассанит, с одной стороны, наряду с другими признаками может служить поисковым критерием на алмаз и считаться его спутником, а с другой стороны—находка муассанита в разных по составу и типу породах является дополнительным аргументом для выяснения условий образования магматических пород и форм переноса углерода и т. д.

Институт геологических наук
Академии наук Армянской ССР

Ն Պ. ՄԻՐՉՈՅԱՆ

Հյուսիսային Հայաստանի հրային ապարներում մուսսանիտի հայտնաբերման մասին

Հողվածում նշված են Հայկական ՍՍՀ Ալավերդու հանքային շրջանի տարրեր հրային ապարներում մուսսանիտի հայտնաբերման փաստերը։ Ուսումնասիրված են մուսսանիտի հիմնական ֆիզիկա-օպտիկական հատկանիշները և բերված են նրա սպեկտրալ ու ռենտգենաստրուկտուրային հետազոտությունների տվյալները։

Մուսսանիտի գոյացումն ապարներում բացատրվում է հրահալոցքի հարստացմամբ ածխածնով՝ հիմքի մետամորֆային ապարների վերահալման հաշվին։

Մուսսանիտը մի կողմից կարող է որոնողական շափանիչ ծառայել (ալոց հետ միասին) ալմաստի հայտնաբերման համար, իսկ մյուս կողմից նրա առկայությունը տարրեր կազմի հրային ապարներում լրացուցիչ փաստարկ կարող է հանդիսանալ նրանց առաջացման պայմանների յուրահատկությունների բնութագրման, ինչպես նաև ածխածնի տեղաշարժման ձևերի պարզարանման ժամանակ։

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Л. Л. Сухомазова, И. Н. Лисий, А. И. Таскаева, Б. И. Озерникова, Матер. по геол. и полезн. ископ. Вост. Сибири, вып. III, Иркутск, 1958. ² А. П. Бобригвич, В. А. Калужный, Г. И. Смирнов, ДАН СССР, т. 115, № 6 (1957). ³ А. Ф. Китайник, Матер. по геол. и полезн. ископ. Вост. Сибири, вып. III, Иркутск, 1958. ⁴ В. В. Ляхович, А. Д. Червинская, Тр. ИМГРЭ АН СССР, вып. 7, 1961. ⁵ С. Е. Глушкина, Г. В. Ицкеон, Б. И. Лови, Зап. Всесоюзн. Минер. общ., ч. 92, вып. 6, (1963). ⁶ Я. Бауэр, Ю. Фидла, Р. Гржихова, Известия АН СССР*, сер. геол., № 7 (1963). ⁷ И. Г. Минерва и И. Ф. Картенко, Зап. Всесоюзн. Минер. общ., ч. 96, вып. 3 (1967). ⁸ С. И. Лебедева, Определение микротвердости минералов, Изд. АН СССР, 1963. ⁹ N. W. Thibault, Amer. Miner., v. 29, № 9—10 (1944).

УДК 550.34:551.24

ТЕКТОНИКА

П. Г. Алоян

О возможных геотектонических причинах повышенной
сейсмической активности Центрального Загезура
(Армянская ССР)

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР А. А. Габриеляном 3/VII 1971)

В структурном отношении эпицентральный район загезурских землетрясений 1968 года пространственно и генетически приурочен к зоне сочленения Сомхето-Кафанской и Армянской складчатых зон Малого Кавказа^(1,2). Зона сочленения имеет блоковое строение и характеризуется наличием многочисленных сложно построенных зон продольных и поперечных тектонических нарушений, по которым происходили дифференцированные движения отдельных блоков различной интенсивности и контрастности. В пределах одного из этих блоков—Гехинского—расположены эпицентры загезурских землетрясений. Гехинский блок-треугольник образуется на участке пересечения Ахсакальского, Гярдского и Чайкендского тектонических нарушений и является самым сейсмоактивным участком района.

Как показали наши исследования⁽³⁾, в гребневой части сводо-глыбового поднятия эпицентрального района загезурских землетрясений возникают растягивающие усилия, в результате чего происходят движения отрицательных знаков—нисходящие смещения блоков в пределах эпицентрального участка. Следовательно, в момент максимального значения напряжений на глубине (в очаговой зоне) происходит спад напряжений на поверхности (в пределах эпицентрального участка). На это указывают также вариации магнитного поля в процессе землетрясения⁽⁴⁾. За некоторое время до основного толчка наблюдалось уменьшение величины постоянного магнитного поля, значение которого после землетрясения постепенно восстанавливалось. За тот же промежуток времени наблюдалось увеличение величины переменного магнитного поля. Следует добавить, что проведенные магнитометрические исследования⁽⁵⁾ показали, что в процессе землетрясений произошло резкое уменьшение (на один порядок, а в некоторых точках на два-три порядка) величины вертикального составляющего магнитного поля эпицентрального участка.

На всем протяжении зоны сочленения сейсмическая активность проявляется не в равной степени. Повышенная сейсмичность наблюдается в центральной части Зангезура, вдоль полосы, секущей зону сочленения в эпицентральной зоне. Эта полоса имеет свое структурное выражение и фиксируется геофизическими исследованиями.

Установлено (1), что в эпицентральной зоне зангезурских землетрясений субширотные тектонические нарушения, смещающие неоген-четвертичные отложения, и группа интрузивов (Илан-дагский, Казангельский, Гехи-Гярдский, Ахсакальский, Цавский) перекрещиваются с субмеридиональными нарушениями более раннего заложения и полосой интрузивов Мегринского плутона и Баргушатского хребта. Причем интрузивы расположены кулисообразно, а некоторые из них пространственно совпадают с зоной субширотных тектонических нарушений. На северо-западе субширотная полоса неоген-четвертичных тектонических нарушений резко поворачивает на север, образуя коленаобразный выступ на юго-запад.

На основании наших наблюдений и обобщения новых данных по геологии Кафанского рудного поля (5, 6), устанавливается резко асимметричное строение Кафанского антиклинория. Северо-западная часть антиклинория характеризуется развитием волновой складчатости с преобладанием открытых симметричных антиклиналей и синклиналей. Роль нарушений в структуре этой части ничтожна: левое крыло дислоцировано в открытые линейные складки, а восточное—имеет моноклиналиное падение на северо-восток. Юго-восточная часть характеризуется резко выраженным моноклиналильным строением с преимущественным преобладанием роли тектонических нарушений, создающих блоковую структуру. Здесь же обнажаются самые древние отложения района—нижнебайосские. Однако, выход этих отложений приурочен не к своду Кафанского антиклинория, а к его пологому северо-восточному моноклиналильному крылу. Правильно указывает А. А. Габриелян (устное сообщение), что резко асимметричное строение Кафанского антиклинория с преобладанием вулканогенных отложений и линейных складок на крутом западном крыле и моноклиналиного падения осадочных—на пологом восточном, обусловлено соседством с запада длительно живущей зоны Зангезурского глубинного разлома (зоны сочленения). Вдоль рубежа отмеченных структурных частей, в северо-восточном направлении, по северной окраине г. Кафан, А. Т. Аслаян (устное сообщение), на основании новых данных по магнитометрии, проводит крупное тектоническое нарушение. На юго-западном продолжении зоны этого нарушения—на участках Гехи (эпицентральный район) и Джульфа—палеозойский фундамент выходит на поверхность, а в пределах Кафанского антиклинория—залегает неглубоко, что фиксируется относительной аномалией силы тяжести (7). Здесь следует отметить тот факт, что вдоль указанной полосы располагаются локальные сводо-глыбовые и куполовидные горстовые неотектонические структуры, в основном тяготеющие к участкам выходов палеозойского фундамента или же его неглубокого залегания (8).

Вышеотмеченные структурные особенности плейстоценовой области и эпицентрального района нашли свое отражение в результатах сейсмологических исследований. При детальном макросейсмическом обследовании сооружений г. Кафана, осенью 1968 года, нами установлено, что сооружения, пострадавшие от землетрясения, образуют резко вытянутую полосу северо-восточного простирания, вдоль северной окраины г. Кафана. Кроме того, на схеме изосейст зангезурских землетрясений (9) наблюдается резкая вытянутость шести и пятибалльной изосейст в двух направлениях: 1) в северо-восточном, по линии Джульфа—Гехи—северная окраина г. Кафана и 2) в северо-северо-западном направлении, по линии Агарак—Каджаран—Дастакерт—Ангехакот. Отчетливо выражен изгиб шестибалльной изосейсты по направлению простирания неоген-четвертичных структур. Таким образом, пяти и шестибалльные изосейсты отражают в основном структуру плейстоценовой области, а семибалльная—структуру эпицентрального района (Гехинского блока). Следовательно, если структурные особенности и геотектонические процессы очаговой зоны определяют пространственное расположение плейстоценовой области, то структура эпицентрального района и ее изменение в соответствии с тектоническими движениями в очаге, определяют пространственное расположение эпицентров.

Рассматривая структуру Центрального Зангезура в свете новых данных по истории геотектонического развития Зангезура и прилегающих территорий, мы приходим к выводу, что на фоне субмеридиональной геотектонической зональности просвечивает ундулирующая сейсмогенная поперечная зональность северо-восточного простирания вдоль полосы Джульфа—Гехи (эпицентральный район)—северная окраина г. Кафана и далее на северо-восток.

В свете всего вышесказанного можно заключить, что повышенная сейсмическая активность Центрального Зангезура обусловлена активизацией новейших и современных тектонических движений в узле пересечения зоны Зангезурского глубинного разлома с ундулирующей сейсмогенной Гехи-Кафанской субширотной поперечной полосой.

Ордена Трудового Красного Знамени
Институт геофизики и инженерной сейсмологии
Академии наук Армянской ССР

Գ. Գ. ԱՄՅԱՆ

Կենտրոնական Զանգեզուրի բարձր սեյսմիկական ակտիվության
հնարավոր գեոտեկտոնական պատճառների մասին

Երկրաբանական և երկրաֆիզիկական նորագույն տվյալները վկայում են
այն մասին, որ Զանգեզուրի հյուսիս-արևմտյան գեոտեկտոնական գոնալակա-
նությունը հատվում է հյուսիս-արևելյան տարածում ունեցող Զուլֆա-Գեղի-
Ղափան սեյսմոակտիվ գոտով:

Կենտրոնական Ջանգեզուրի բարձր սեյսմիկական ակտիվությունը պայմանավորված է Ջանգեզուրի խորքային իզման և Գեղի-Ղափանյան սեյսմոգեն դոտու հատման շրջանում՝ ժամանակակից և նորագույն տեկտոնական շարժումների ակտիվությամբ:

ЛИТЕРАТУРА — ՓՐԱՎԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1 П. Г. Алоян, ДАН Арм ССР, т. XLIX, № 4 (1969). 2 А. А. Габриелян, Основные вопросы тектоники Армении, Изд АН Арм. ССР, Ереван, 1959. 3 П. Г. Алоян, «Известия АН Арм. ССР», Науки о Земле, т. XXIII, № 6, 1970. 4 Л. А. Ахвердян, ДАН Арм. ССР, т. XLVIII, № 3 (1969). 5 В. Т. Акопян, А. Г. Казарян, Г. Г. Шехян, «Известия АН СССР», № 5 (1969). 6 Э. В. Аняян, «Известия АН Арм. ССР», Науки о Земле, т. XIX, № 3 (1966). 7 А. Т. Асланян, Тектоника Армянской ССР, Геология СССР, т. XLIII, изд. «Недра», М., 1970. 8 А. Г. Назаров, С. А. Пирюзян, Л. В. Шахсуварян, ДАН Арм. ССР, т. XLIX, № 2 (1969). 9 Е. Е. Милановский, Новейшая тектоника Армянской ССР, Геология Армянской ССР, т. I, Изд. АН Арм. ССР, 1962.

УДК 550.4

ГЕОХИМИЯ

М. М. Константинов

О времени выделения золота на золоторудных месторождениях Закавказья

(Представлено академиком АН Армянской ССР И. Г. Магакьяном 30/III 1971)

В настоящее время большинство исследователей, изучающих месторождения золото-сульфидно-кварцевой формации, полагает, что по времени выделения золото подразделяется на две группы: тонкодисперсное, которое является сингенетичным образованию сульфидов, захватываясь в процессе их кристаллизации, и «наложенное», — выделяющееся после сульфидов по трещинкам и зонам дробления. В то же время справедливо высказывалось сомнение (1) в том, что все тонкодисперсное золото непременно является сингенетичным. Применение для решения этого вопроса обычного опробования, также как и анализа мономинеральных фракций, дает неоднозначные результаты, поскольку, наряду с тонкодисперсным золотом, отложившимся одновременно с сульфидами, в них постоянно присутствует более позднее «наложенное» золото. Автором, для решения вопроса о времени выделения золота, имеющим большое значение для разработки рациональной технологии его извлечения, наряду с минераграфическим изучением руд (с использованием данных Ш. О. Амиряна и П. С. Бернштейна), были также использованы: результаты технологического исследования руд ряда месторождений, выполненные в ЦНИГРИ И. Ю. Юдиной, Р. А. Низамутдиновой, С. А. Россовским; результаты нейтронно-активационных определений золота в монокристаллах пирита и их математическая обработка; электронно-микроскопическое изучение золота.

Сопоставление имеющихся данных показывает, что золото, как тонкодисперсное, так и свободное, выделяется в рудах длительно и многократно, начиная с кристаллизации самых ранних сульфидов и завершая отложение «продуктивных» минеральных ассоциаций. По времени выделения, относительно кристаллизации основной массы сульфидных руд, золото можно подразделить на три группы: сингенетичное, избыточное и эпигенетичное.

Соотношение трех временных групп золота отчетливо видно при сравнительном анализе его распределения в монокристаллах пиритов, проанализированных нейтронно-активационным методом. Были проанализированы кристаллы пиритов Гамзачиманского (50 кристаллов) и Зодского (две пробы по 50 кристаллов) месторождений. Кроме того, для сопоставления были привлечены пириты Згидского свинцово-цинкового месторождения на Северном Кавказе, где полностью отсутствует «наложенное» золото. Результаты математической обработки анализов (2) показывают, что распределение содержания золота (при исключении проб с аномально высокими содержаниями) во всех группах проб отвечает логнормальному закону.

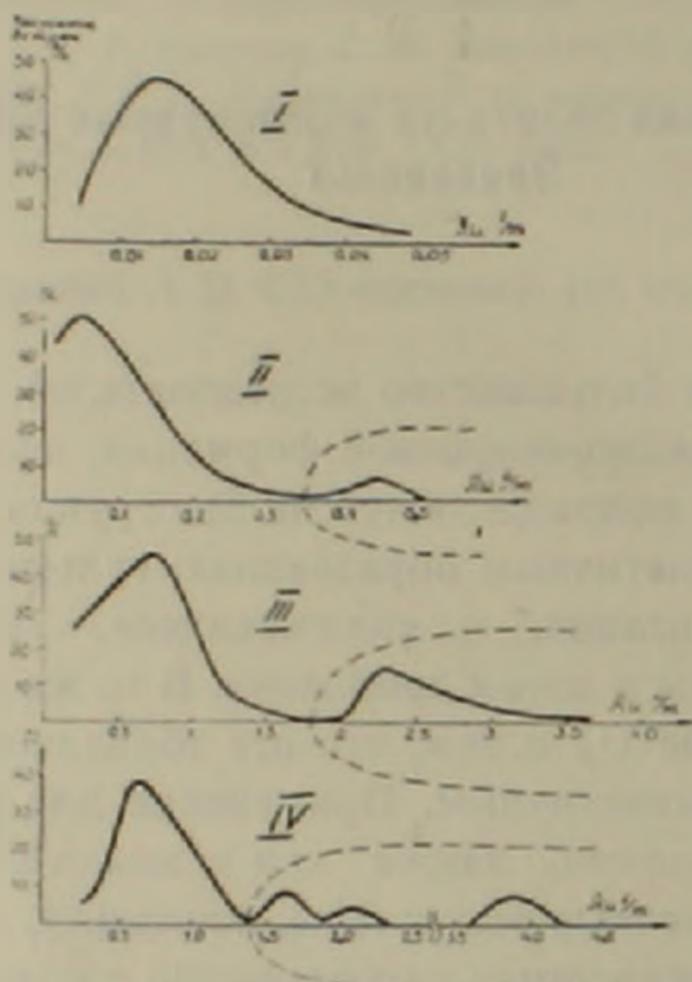


Рис. 1. Кривые распределения содержания золота в мономинеральных пробах кристаллов пирита. I — Гамзачиманское месторождение; II — Зодское месторождение, пирит из дайки кварцевых липаритов; III — Згидское месторождение; IV — Зодское месторождение (пирит из кварц-сульфидной жилы). Пунктиром выделены дополнительные максимумы, обусловленные «избыточным» золотом

Как следует из диаграмм распределения концентраций (рис. 1) по мере увеличения содержания золота в пиритах, меняется характер кривой распределения. При незначительных содержаниях, характеризующих пириты Гамзачиманского месторождения ($\bar{x} = 0,05$ г/т) кривая имеет плавный вид, с закономерным смещением максимума вправо.

При содержаниях 0,1—0,2 г/т Au на кривой, помимо основного максимума, появляется небольшой дополнительный, в интервале содержания 0,4—0,5 г/т (Зодское месторождение, пирит из дайки кварцевых липарит-порфиров). При содержаниях 0,5—1,0 г/т Au (Згидское месторождение), этот дополнительный максимум фиксируется более отчетливо.

располагаясь в интервале содержаний 2—3 г/т Au. Наконец, при средних содержаниях 1—2 г/т (Зодское месторождение, пирит из золото-полиметаллической жилы), наряду с основным максимумом, отмечается несколько побочных, в интервале содержаний 1,5—4 г/т.

Таким образом, по мере увеличения содержаний золота в пирите, все более отчетливо фиксируются две разновидности золота. Характер отбора проб на месторождениях (3), а также полная аналогия распределения золота в кристаллах пирита золоторудных и свинцово-цинкового месторождений исключает присутствие здесь более позднего «наложенного» золота. Можно говорить только о двух генерациях золота, изначально присутствовавших в гидротермальном растворе, из которого высадился золотоносный пирит.

Золото первой разновидности связано, видимо, с массовым высаживанием пирита и разрушением золотосодержащих сернистых соединений. Это золото соответствует основному пику диаграмм и является сингенетическим.

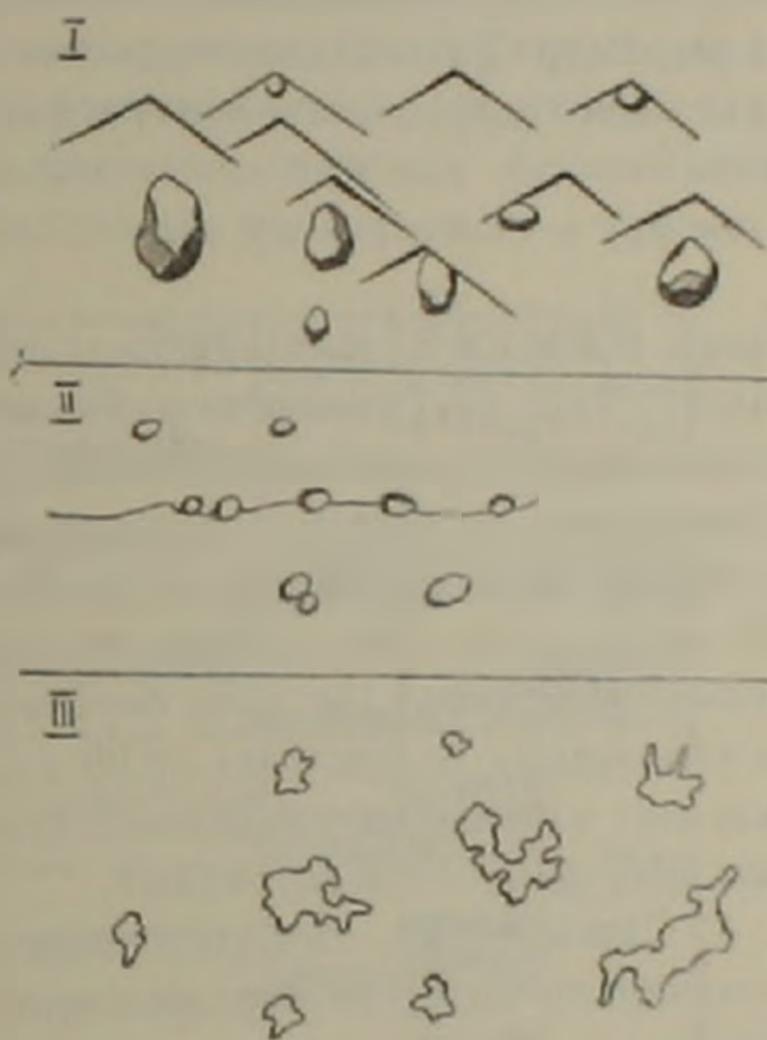


Рис. 2. Три разновидности дисперсного золота в пирите (рисунки с фотографий двухступенчатых целлюлозно-угольных реплик, ув. 14000). I—полуограненное золото в углах блоков пирита; II—каплевидное золото в тонких трещинках; III—«лапчатое» золото, выделяющееся вокруг крупных золотинок

Вторая разновидность золота накапливалась в остаточных растворах и высадилась либо в самые поздние стадии роста кристаллов, либо в результате выпаривания золотоносных растворов, проникая в пириты по тончайшим трещинкам, возникшим при их раскристаллизации. Такое золото, видимо, целесообразно выделить в самостоятельную разновидность и именовать избыточным. Согласно расчетным данным и опреде-

лениям математической статистики (¹), пробы, дающие побочный максимум и соответствующие «избыточному» золоту, не являются аномальными, поскольку они не нарушают основного закона распределения содержаний. Исключение составляют некоторые кристаллы Зодского месторождения, в которых установлены содержания золота в 20—30 г/т. Введение результатов этих единичных анализов в пересчет нарушает закон распределения. Они, скорее всего, соответствуют третьей временной разновидности золота, которое ниже мы будем называть эпигенетичным. Образование этого золота, видимо, связано с привнесом в сферу рудотложения более поздних порций раствора.

Результаты электронно-микроскопического изучения руд, проведенного нами совместно с Э. Н. Алышевой, говорят о наличии трех типов распределения дисперсного золота в пирите (рис. 2): золото в виде полукруглых кристаллов, равномерно распределенное вблизи углов граней микроблоков пирита; золото в каплевидной форме, «нанизанное» на тончайших трещинках; золото в неправильных выделениях, группирующееся вокруг крупных золотинок и аналогичное им по форме и внутреннему строению. Возможно, эти три разновидности соответствуют пикам концентрации золота, полученным при математической обработке результатов нейтронно-активационных анализов монокристаллов пирита. Во всяком случае, они говорят о многократном выделении дисперсного золота.

К сходным выводам мы придем, если проанализируем время выделения свободного золота. Так, на Гамзачиманском месторождении, по данным технологических исследований И. Н. Юдиной, свободное золото находится в тонком срастании с серицитом и гидрослюдами, входящими в состав золотоносных березитов, при содержании Au 20—25 г/т. Ранним выделением основной массы золота обусловлено то обстоятельство, что более поздний по времени выделения (но тоже березитовой стадии) пирит содержит золото в мизерных количествах (0,05 г/т). Вместе с тем, Ш. О. Амирян (²) выделяет на этом месторождении более позднюю разновидность золота, ассоциирующего с теллуридами.

Как отмечает Г. А. Саркисян (³), свободное золото присутствует в тальк-карбонатных прожилках Зодского месторождения, характеризующих процесс окolorудных изменений.

Аналогично дисперсному, свободное золото может быть избыточным и накапливаться к концу определенной стадии минерализации. Характерным признаком такого золота следует считать отсутствие близкоодновременного «своего», четко определенного минерального парагенезиса и выделение золота в срастаниях с наиболее поздними по времени минералами различных минеральных ассоциаций. Например, на Личкназ-Тейском месторождении, по данным Т. Н. Половой, золото выделялось в срастании с поздними генерациями халькопирита, образуя мельчайшие эмульсионные выделения в сфалерите. На Пьязбашинском и Вежналинском месторождениях свободное золото выделяется в стадию образования основных минералов рудных жил: кварца, пирита и халькопирита. Оно об-

разует пластинчатые кристаллы, размещающиеся между кристаллами кварца и пирита и несущие на себе отпечатки граней этих минералов. Здесь также золото не входит в состав какой-то характерной парагенетической ассоциации.

Труднее распознать избыточное свободное золото на тех объектах, где присутствует также более позднее эпигенетическое, однако и в этом случае можно привести некоторые интересные наблюдения.

Так, по данным П. С. Бернштейна, в рудах Меградзорского месторождения золото присутствует в каждом втором полированном шлифе, а теллуриды были обнаружены только в 17 аншлифах из 205 изученных. При этом содержание теллура в рудах, в среднем, в 5—6 раз выше, чем золота. Золото ассоциирует не только с теллуридами, но также с галенитом и теннантитом, образуя мелкие включения в пирите. Возможно, здесь выделяются две временные разновидности золота: избыточное, которое является несколько более мелким и высокопробным (925—950), выделившееся с поздними сульфидами руд, и эпигенетическое, несколько более крупное, с широкими колебаниями пробы (825—925), постоянно ассоциирующее с теллуридами. Причем наиболее крупное, видимое в шлифах золото приурочено обычно к агрегатам теллуридов и составляет 1:10—1:20 часть от их количества.

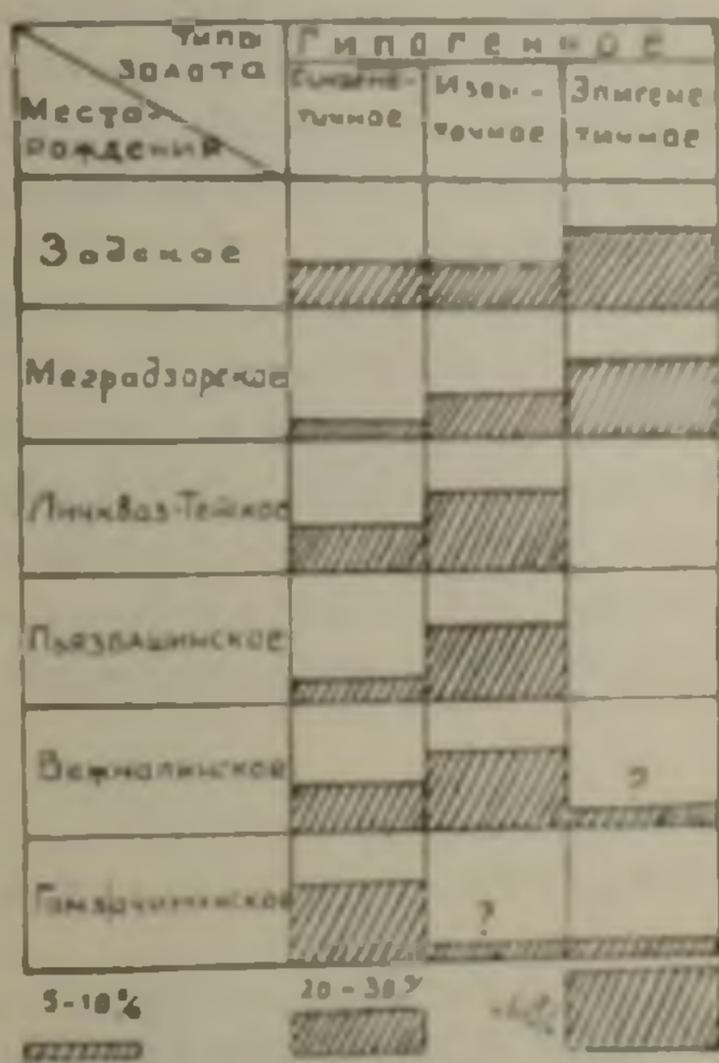


Рис. 3. Приближенные количественные соотношения различных временных типов золота в рудах

Сходно обстоит дело на Зодском месторождении, где, кроме того, золото-сульфидная и золото-теллуридная ассоциации разделены внутри-

рудными движениями, вследствие чего просечки золота и теллуридов местами непосредственно накладываются на ранние кварцевые жилы.

В итоге данных комплексного, в том числе технологического изучения золота составлена примерная сравнительная таблица (рис. 3) распределения различных временных типов золота в рудах.

В целом рассмотренные данные приводят к выводу, что золото, тонкодисперсное и свободное, выделяется в рудах изученных месторождений неоднократно, что связано как с общими закономерностями выпадения золота из растворов, так и с прерывистым развитием процесса рудоотложения.

Развиваемые положения, которые исходят из идеи о длительном и многократном выделении золота, предлагаются в порядке постановки вопроса и требуют дальнейшего изучения.

ՄԱՐԿԵՏ

Մ. Մ. ԿՈՆՍՏԱՆՏԻՆՈՎ

Անդրկովկասի ոսկու հանքավայրերում ոսկու անջատման ժամանակի մասին

Հանքանյութերի կոմպլեքսային ուսումնասիրությունները՝ միներալագրաֆիական, տեխնոլոգիական, էլեկտրոնային մանրադիտակի և նեյտրոննո-ակտիվացիոն անալիզի մեթոդների կիրառումով, հնարավորություն են տալիս եզրակացնելու, որ ոսկին հիդրոթերմալ լուծույթներից անջատվել է երկար ժամանակամիջոցում և բազմիցս անգամ:

Կատարված ուսումնասիրությունների շնորհիվ, սուլֆիդային մասսայի բյուրեղացման համեմատությամբ առաձևացվում է ոսկու ժամանակագրային երևի խումբ՝ միաժամանակյա, ավելցուկային և էպիգենետիկ, որոնց քանակային հարաբերությունը տարրեր է տարրեր հանքավայրերի համար:

Միաժամանակյա ոսկին անջատվում է սուլֆիդների բյուրեղացման հետ միաժամանակ, ավելցուկայինը՝ սուլֆիդների բյուրեղացման վերջին շրջանում կամ նրանցից հետո, իսկ էպիգենետիկ ոսկին անջատվում է լուծույթների ավելի ուշ րաժիններից:

ЛИТЕРАТУРА — ԿՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1 Н. В. Петровская, А. И. Фасталович, Морфологические и структурные особенности самородного золота, Тр. НИГРИЗолото, М., 1952. 2 А. А. Брус и др., Руководство по предварительной математической обработке геохимической информации при поисковых работах, Изд. «Недра», М., 1965. 3 В. Ф. Гуреев, М. М. Константинов, Э. И. Адышева, ДАН СССР, т. 181, № 5 (1968). 4 Ш. О. Амирян, К минералогии и золоторудной минерализации Гамзачиманского месторождения, Зап. Арм. отд. Всес. мин. о-ва, вып. 3, Ереван, 1966. 5 Г. А. Саркисян, Гидротермальные метасоматиты Золского золоторудного месторождения и некоторые вопросы их генезиса, Автореферат канд. дисс. М., 1970.

МИКРОБИОЛОГИЯ

УДК 576.8.631.461

Член-корреспондент АН Армянской ССР А. К. Паюсян, Л. П. Пучинян

Синтез витаминов группы «В» некоторыми микроорганизмами
 ризосферы персика

(Представлено 7/XII 1970)

В числе физиологически активных веществ, выделяемых почвенными микроорганизмами значительное место отводится витаминам (1-4).

Но нужно отметить, что способность синтезировать витамины группы «В» микроорганизмами ризосферы персика не была изучена.

В связи с изучением биологической активности микроорганизмов, населяющих корневую систему персика и их роли в росте и развитии персиковых насаждений, была поставлена цель выявить способность синтезировать некоторые витамины группы «В», у отдельных представителей микробного ценоза ризосферы персика. Была проверена их способность образовывать витамины тиамин, пиридоксин, пантотеновую и никотиновую кислоты, биотин методом блоков, этот метод позволил проверить способность к витаминнообразованию у большого количества штаммов и отобрать наиболее активные культуры для дальнейшего количественного изучения витаминов (5).

Таблица 1

Синтез витаминов группы «В» микрима

Вид культур	№№ штаммов	тиамин	пантотено- вая кислота	никотиновая кислота	биотин
<i>Ps. fluorescens</i>	45	0,118	0,087	0,142	0,089
<i>Ps. fluorescens</i>	47	0,113	0,099	0,141	0,091
<i>Ps. radiobacter</i>	80	0,075	0,009	0,085	0,092
<i>Ps. radiobacter</i>	61	0,024	0,082	0,112	0,008
<i>Ps. liquefaciens</i>	93	0,102	0,009	0,120	0,034
<i>Ps. liquefaciens</i>	28	0,101	0,090	0,117	0,020
<i>Bac. megaterium</i>	20	0,130	0,093	0,082	0,048
<i>Bac. mesentericus</i>	36	0,80	0,009	0,118	0,005
<i>Act. griseus</i>	25	0,116	0,099	0,115	0,006

Пиридоксин, нами выделенные штаммы, не синтезировали поэтому количественно не определяли.

Количественное определение витаминов проводилось по микрометоду Одинцовой Е. Н. (6).

Результаты наших исследований обобщены в таблице 1.

Полученные данные показывают, что разные виды испытуемых микроорганизмов отдельные витамины в разном количестве продуцируют в среду.

Ps. radiobacter штамм 61 синтезирует намного меньше тиамина (0,24 мкг), чем *Ps. liquefaciens* штамм 93 (102 мкг/мл) или *Ps. fluorescens* штамм 47 синтезирует больше пантотеновую кислоту 0,099 мкг/мл, биотина 0,091 мкг/мл, никотиновую кислоту 0,141 мкг/мл, чем *Ps. liquefaciens* штамм 93 эти же витамины (пантотеновую кислоту 0,009 мкг/мл, никотиновую 0,120 мкг/мл, биотина 0,034 мкг/мл).

Как видно из таблицы 1, исследуемые культуры значительно в большем количестве синтезируют тиамин, чем пантотеновую кислоту и биотин. Особенно в больших количествах накапливают тиамин бактерии *Ps. fluorescens* штамм 45 *Bac. megaterium* штамм 20. Еще в больших количествах изучаемые бактерии синтезируют и выделяют в среду никотиновую кислоту. К активным продуцентам этого витамина относятся *Ps. fluorescens* штаммы 45, 47.

Синтезируемые микроорганизмами витамины имеют большое значение, так как выделение витаминов происходит не только в жидкую среду, но и в почву. Выделенные в почву микроорганизмами витамины поступают из нее в корневую систему растений, тем самым усиливают обмен веществ в растительных организмах, а также положительно влияют на ростовые процессы, кроме того известно, что витамины группы В ускоряют некоторые ферментативные процессы, протекающие в живых организмах.

Научно-исследовательский институт
виноградарства, виноделия и плодоводства
МСХ Армянской ССР

Հայկական ՍՍՀ ԴԱ բզրկից-անգամ
Հ. Կ. ՓԱՆՈՍՅԱՆ, Լ. Պ. ՓՈՒԶՆՅԱՆ

Դեղձենու արմատային ոլորտի մի քանի միկրոօրգանիզմների
«B» խմբի վիտամինների սինթեզը

Ուսումնասիրված է ՀՍՍՀ Արարատյան հարթավայրին կից նախալեռնային, բարձրարոտ, կիսանապատային, նոր յուրացված դորշ հողերում մշակվող դեղձենու արմատային ոլորտում դարգացող տարրեր ֆիզիոլոգիական խմբերին պատկանող միկրոօրգանիզմների շատ տեսակների ֆիզիոլոգիական հատկանիշները: Հետազոտությունները ցույց տվեցին, որ այդ միկրոօրգանիզմներն իրենց կենսազործունեության ընթացքում ընդունակ են սինթեզելու թիամին, նիկոտինաթթու, պանտոթենաթթու և բիոտին: Վերջիններս ներծծվելով դեղձենու արմատներից և ակտիվ մասնակցելով նրա նյութափոխանակման պրոցեսներին խթանում են նրա աճն ու զարգացումը:

ЛИТЕРАТУРА — ҒРЦЦЦЦЦЦЦЦЦЦЦЦ

1 М. Н. Мейсель, Успехи биолог. химии, т. 1, вып. 390 (1950) 2 Н. А. Красильников, Успехи совр. биологии, т. 32, вып. 321 (1952) 3 Е. И. Андрияк, С. Б. Коган, Микроб. т. 36, вып. 2 (1967). 4 А. У. Уметов, К. Е. Овчаров, Е. Г. Вухерс, Тр. Кирг. с.-х. ин-та, Сер. агронт., вып. 15, т. 2 (1968) 5 С. М. Чайковская, Е. Н. Дружинина, Микробиология, т. 26, вып. 5 (1957) 6 Е. Н. Одинцова, Микробиологические методы определения витаминов, Изд. АН СССР, М., 1959.

МИКРОБИОЛОГИЯ

УДК 581.14:633.71

Ф. Р. Казарян

Влияние гиббереллиноподобных веществ аммонификаторов на рост растений табака и сохранение их гиббереллиновой активности после гербаризации

(Представлено академиком М. Х. Чайлахяном 31/III 1971)

Физиологически активные вещества представляют большой интерес и привлекают внимание многих исследователей. Они обнаружены у различных растений (1, 2). Количество физиологически активных веществ в растениях незначительно и меняется с их возрастом (3).

Гиббереллины и подобные им вещества (ГПВ) обнаружены у многих видов бактерий (4, 10), актиномицетов (11), грибов (12, 13) и других представителей почвенной микрофлоры.

Нами проведены исследования с целью обнаружения активных штаммов аммонификаторов и влияния их метаболитов на рост и развитие растений табака.

Гиббереллины определялись по росту проростков карликового гороха сорта Пионер (14).

Из выделенных нами штаммов аммонификаторов, в которых содержались ГПВ, наиболее активными оказались культуры *Bac. subtilis* шт. 238, *Bac. megaterium* шт. 197, *Bac. mesentericus* шт. 124, *Ps. fluorescens* шт. 68.

В вегетационных опытах на конусы роста растений табака сорта Самсун 935 с момента появления третьего листа ежедневно наносились 1—2 капли метаболитов указанных штаммов аммонификаторов (15).

Опыты проводились в 3-х кратной повторности с разведением в 1:10, 1:5 и без разведения. Контролем служили растения, обработанные питательной средой (МПБ), 0,005%-ным водным раствором гиббереллина и водой.

В течение всей вегетации велись фенологические наблюдения. Было установлено, что культуральные жидкости в разведении 1:10 положительно влияют на рост и развитие табака. И хотя растения, обработанные метаболитами активных штаммов, уступали по высоте растениям, обрабо-

танным гиббереллином, они отличались от последних большей листовой поверхностью и толщиной стебля (рис. 1).



Рис. 1. Растения табака Самсун 935, обработанные: метаболитами *Vac. subtilis* шт. 232, средой, гиббереллином, водой

По окончании вегетации растения были высушены для определения выхода сухой массы. Наибольший выход сухой массы как и ожидалось, наблюдался у растений, обработанных метаболитами.

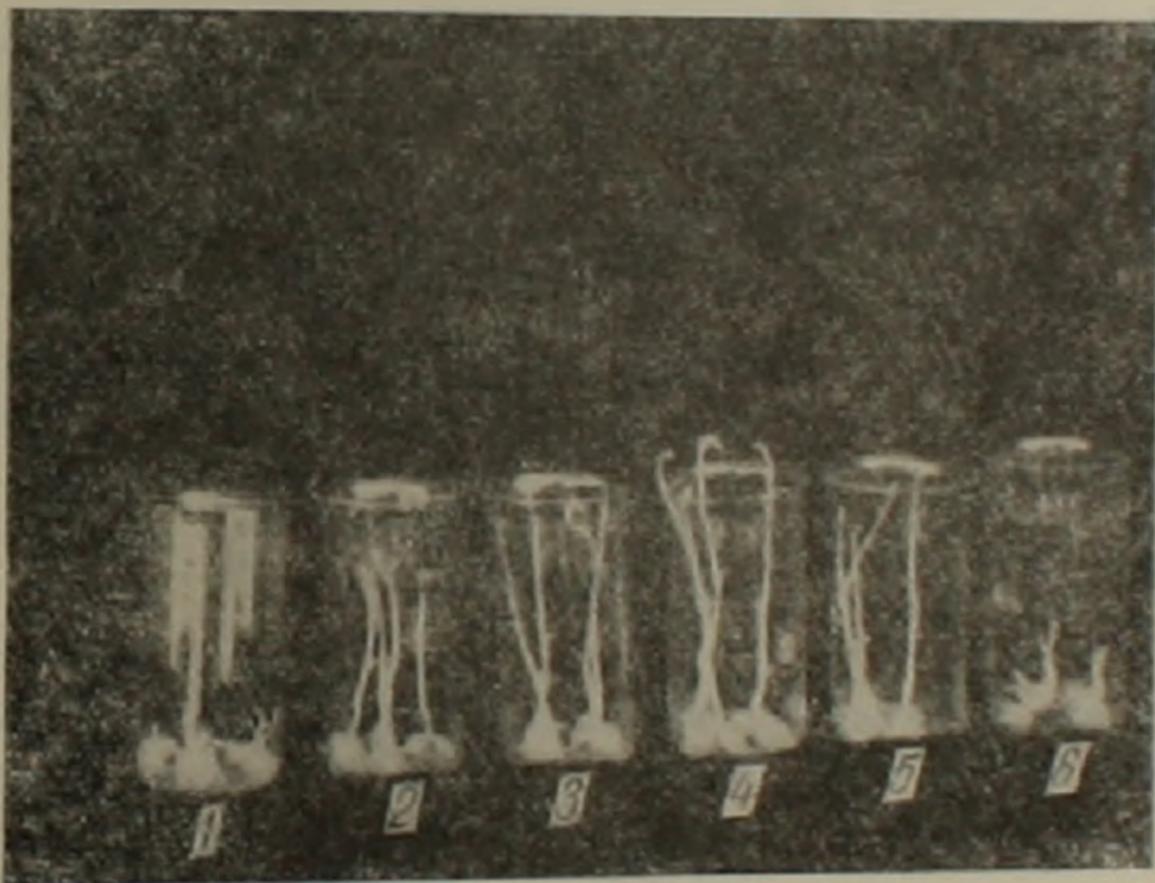


Рис. 2. Рост проростков гороха Скверский 61 24 на элюатах из зон хроматограмм вытяжек растений, обработанных пять лет назад (слева направо): водой (1), метаболитами *Vac. subtilis* и разведении 1:10—вытяжки стебля (2) тем же—вытяжки листа (3) 0,005% гиббереллином (4), а также непосредственно на 0,005% р-ре гиббереллина (5) и вода (6)

Часть растений нами была гербаризирована. Определенный интерес представлял вопрос сохранения гиббереллиновых веществ в высушенных таким образом растениях. Однако разрешение этого вопроса стало возможным после того, как В. Н. Ложниковой, Л. П. Хлопенковой и М. Х. Чайлахяном (16) была предложена методика хроматографического опре-

деления ГВ в растениях. т. е. спустя 5 лет после завершения вышеописанных опытов.

Яркое свечение полос при просмотре хроматограмм вытяжек из сухих навесок в УХ Брумберга свидетельствовало о наличии ГВ в гербаризованных нами растениях табака.

Полосы с R_f 0.61—0.66 элюировались и испытывалось влияние элюатов на рост проростков гороха Сквирский 61/28 и Пионер. Полученные данные показали, что элюаты растений, обработанные метаболитами активных штаммов, оказали такое же воздействие на рост проростков, как и сами метаболиты.

Влияние элюатов из зон хроматограмм с R_f —0.61, полученных из вытяжек растений табака, обработанных пять лет назад культуральной жидкостью *Bac. subtilis* шт. 238, на рост проростков гороха Сквирский 61/28 видно на рис. 2. При этом рост проростков карликового гороха выше на элюатах хроматограмм листовой вытяжки по сравнению с вытяжкой стебля.

Аналогичные результаты получены и на элюатах хроматограмм вытяжек из растений табака Самсун 935, которые пять лет назад обрабатывались метаболитами: *Bac. megaterium* шт. 197, *Bac. mesentericus* шт. 124, *Ps. fluorescens* шт. 68.

На основании проведенных исследований установлено, что гиббереллины или подобные им вещества в сухой навеске растений табака сохраняются длительное время.

Автор выражает глубокую благодарность академику М. Х. Чайлахяну и В. Н. Ложниковой за консультацию и ценные замечания.

Ереванский государственный университет

Յ. Ռ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

Ամոնիֆիկատորների գիրերեյինանման նյութերի ազդեցությունը
ձխախոտի բույսերի անման վրա և նրանց գիրերեյինային
ակտիվության պահպանումը շորացումից հետո

Ձխախոտի Սամսուն - 935 սորտի բույսերը, որոնք մշակվել էին ամոնիֆիկատորների *Bac. subtilis* շտ. 238, *Bac. megaterium* շտ. 197, *Bac. mesentericus* շտ. 124, *Ps. fluorescens* շտ. 68 մետաբոլիտներով, աչքի էին ընկնում իրենց փարթամությամբ, տերեւների լայն մակերեսով, ցողունի հաստությամբ՝ համեմատած գիրերեյինով մշակված բույսերի հետ:

Ամենաբարձր արդյունքը նկատվում էր սյն բույսերի մոտ, որոնք մշակված էին միկրոօրգանիզմների մետաբոլիտների 1:10 նոսրացմամբ: Ձխախոտի շոր քաշը որոշելու նպատակով, վեղետացիայի ավարտումից հետո, բույսերը շորացվել էին և պահպանվել հերթարհումի ձևով:

Երբ Վ. Ն. Լոժնիկովայի, Լ. Պ. Խլոպենկովայի, Մ. Ք. Ջալախյանի կողմից առաջարկվեց բույսերի ԳՆ որոշման մեթոդիկան, մեզ հետաքրքրեց, արդյո՞ք պահպանվում են ԳՆ չոր բույսերի մեջ, որոնք հինգ տարի առաջ մշակվել են վերահիշյալ միկրոօրգանիզմների մետաբոլիտներով:

Փորձերը ցույց տվեցին, որ ծխախոտի չորացված բույսերում ԳՆն պահպանվում են երկար ժամանակ:

ЛИТЕРАТУРА — ԿՐԱՆԻՆՆՈՒԹՅՈՒՆ

- 1 М. Х. Чайлахян, В. Н. Ложникова, ДАН СССР, т. 128, № 6 (1958). 2 А. W. Wheeler, E. C. Humphries, J. Exptl. v. 14, № 40 (1963). 3 В. Н. Ложникова, «Физиология растений», т. 14, в. 2 (1967). 4 А. К. Паносян и др., Тр. ин-та Микробиологии АН СССР, вып. 9, (1961). 5 А. К. Паносян, Р. Ш. Арутюнян, З. В. Мариалини, Вопросы микробиологии, Ереван (1964). 6 А. W. Galston, Nature, v. 183, 4660, p. 545 (1959). 7 M. G. Mas, Nature, v. 184, N. 4704, p. 2035 (1959). 8 В. Т. Смалий, Тр. ин-та Микробиологии АН СССР, вып. XI (1961). 9 М. Х. Чайлахян, В кн. Применение антибиотиков в растениеводстве, Изд. АН Арм. ССР, 1962. 10 Н. А. Красильников, В кн. Гиббереллины и их действие на растения, Изд. АН СССР, 1963. 11 Е. И. Андреев, Е. В. Владимирова, «Микробиология», т. 25, в. 5 (1963). 12 С. А. Авакян, «Известия АН Арм. ССР», серия биол. наук, т. 15, № 4 (1962). 13 М. З. Шкляр, Тр. ин-та микробиологии АН СССР, вып. XII, (1961). 14 А. Н. Бояркин, М. И. Дмитриева, «Физиология растений», 6, вып. 6, 741—747 (1959). 15 М. Х. Чайлахян, Гиббереллины растений Инструкция по испытанию и применению гиббереллина на культурных растениях, Изд. АН СССР, М., 1961. 16 В. Н. Ложникова, Л. П. Хлопенкова, М. Х. Чайлахян, «Агрохимия», № 10, 1967.

УДК 539.22

БИОФИЗИКА

В. Г. Алош, Т. М. Бирштейн, А. М. Ельяшевич

Математическое моделирование складчатой β -структуры в коротких цепях

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микаеляном 15/V 1971)

Хорошо известно, что отдельные участки цепей глобулярных белков и синтетических полипептидов могут образовывать упорядоченные вторичные структуры, стабилизуемые водородными связями между пептидными группами. Существуют два основных типа вторичных структур — α -спираль и плоская складчатая β -структура. Переход α -спираль — клубок в растворах неоднократно изучался в ряде теоретических и экспериментальных работ (см., например (1)).

Эксперименты показали, что существуют полипептиды, образующие внутримолекулярную складчатую β -структуру (2), причем изменение растворителя или других условий может вызвать для таких полипептидов переход внутримолекулярная β -структура — клубок. В настоящее время отсутствует строгая теория описания самой β -структуры и перехода β -структура — клубок в зависимости от внешних условий. Существующие теоретические работы (3-5) рассматривали лишь гипотетические модельные цепи бесконечной длины. Целью настоящей работы является математическое моделирование складчатой β -структуры в конечных цепях. Мы сопоставим полученные результаты с результатами анализа бесконечной модельной цепи и продемонстрируем влияние конечности системы на характер зависимостей параметров структуры от внешних условий.

В работе Цванцига и Лауритценз (3,4) образование складчатой структуры рассматривается с помощью следующей модели: цепочка из N сегментов может складываться в «гармошку» из $(n+1)$ участков с

числом сегментов в каждом $x_i (i = 1, 2, \dots, n+1)$ так, что $\sum_{i=1}^{n+1} x_i =$

$= N$ (рис. 1). Энергия E_n такой складчатой структуры является суммой энергии взаимодействия контактирующих друг с другом сегментов цепи и энергии, теряемой на изломе цепи, т. е.

$$E_n = n \cdot \pi + \varepsilon \sum_{j=1}^n \min(x_j, x_{j+1}) \quad (1)$$

где π — энергия одного излома, а ε — энергия взаимодействия контактирующих сегментов (все энергии берутся в единицах kT). Для такой модели статистическая сумма равна $Q(N, \varepsilon, \pi) = \sum e^{-E_n}$, где суммирование ведется по всевозможным разбиениям на участки с учетом условия $\sum_{i=1}^{n+1} x_i = N$.

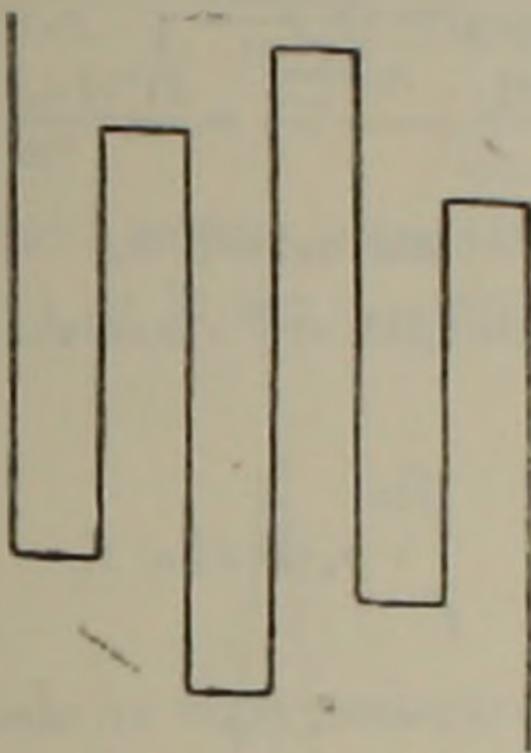


Рис. 1. Схематическое изображение модели складчатой полимерной молекулы

Переходя к модели непрерывной цепи („липкой ленты“), в которой излом может осуществляться в любом месте цепи, а не только в местах стыка сегментов, и участки могут включать любое нецелое число сегментов, авторы (3) заменяют статистическую сумму интегралом

$$Q(N, \varepsilon, q) = \sum_{n=0}^{\infty} q^n \int \dots \int_{\left(\sum_{i=1}^{n+1} x_i = N\right)} e^{-\varepsilon \sum_{j=1}^n \min(x_j, x_{j+1})} dx_1 \dots dx_n \quad (2)$$

где $q = e^\pi$ — вероятность излома на единицу длины (1 сегмент) в отсутствие взаимодействий.

Расчет статистической суммы и характеристик такой модели, проведенный для цепи бесконечной длины, показал, что поведение системы определяется величиной $\frac{\varepsilon}{q}$. При $\frac{\varepsilon}{q} = 4$ система претерпевает фазовый переход 2-го рода из состояния частичной упорядоченности при $\frac{\varepsilon}{q} < 4$ в состояние полной упорядоченности при $\frac{\varepsilon}{q} > 4$. В полностью

упорядоченном состоянии среднее число изломов n на единицу длины равно 0, а доля сегментов, находящихся в контакте θ достигает 1. Мы использовали ту же модель при анализе поведения молекул конечной длины. Поскольку аналитический расчет интеграла (2) при фиксированном N выполнить не удастся, задача решалась нами методом математического моделирования этой системы на ЭВМ (методом Монте-Карло). Для этого статистический интеграл (2) был представлен в виде

$$Q(N, \varepsilon, q) = \sum_{n=0}^{n_{\max}} \frac{(qN)^n}{n!} \int_0^{\theta_{\max}^n} p_n(\theta) e^{-\varepsilon N \theta} d\theta \quad (3)$$

где $\theta_{\max}^n = \frac{n}{n+1}$ — максимальная степень связанности, $p_n(\theta)$ — доля конфигураций цепи, в которых при n изломах в контакте находятся θN сегментов и

$$\int_0^{\theta_{\max}^n} p_n(\theta) d\theta = 1.$$

Поскольку цепочка непрерывна, $p_n(\theta)$ не зависит от N . Множитель $\frac{(qN)^n}{n!}$, стоящий перед интегралом, дает вероятность осуществления n

изломов. Как видно из (3), $Q(N, \varepsilon, q)$ оказывается функцией только двух параметров: qN и εN , имеющих смысл среднего числа изломов во всей цепи без взаимодействия (при $\varepsilon = 0$) и полной энергии „слипания“, когда все сегменты цепи находятся в контакте. Удобно ввести в качестве параметров среднюю энергию, приходящуюся на один жесткий участок $\varepsilon^* = \frac{\varepsilon}{q}$ (размеры участка берутся для цепи без взаимодействия $\varepsilon = 0$) и среднее число изломов в цепи без взаимодействия qN , являющееся мерой конечности цепи. Следует отметить, что хотя в (3) суммирование по n должно производиться от 0 до ∞ , при фиксированном qN члены с $n \gg qN$ при возрастании n вносят все меньший вклад, поэтому при небольших qN суммирование по n в (3) можно ограничить некоторым n_{\max} .

Функцию $p_n(\theta)$ для n от 1 до 30 мы вычисляли методом Монте-Карло с помощью ЭВМ, выбрасывая случайным образом цепочки с n изломами и подсчитывая степень связанности $\theta = \sum_{j=1}^n \min$

(x_j, x_{j+1}) . На рис. 2 изображены нормированные функции распределения $p_n(\theta)$ для $n = 3, 6 \dots 30$. Расчет интеграла в (3) проводился с помощью этой функции при различных εN путем суммирования по 128

равным интервалам θ , т. е. путем подсчета суммы $\sum_{j=1}^{128} p_{n_j}(\theta_j) e^{-\epsilon^* N_j/n}$.

Значения среднего числа изломов в цепи $\bar{n}_{qN}(\epsilon^*)$ и степени связности $\theta_{qN}(\epsilon^*)$ вычислялись по формулам

$$\bar{n}_{qN}(\epsilon^*) = \frac{\partial \ln Q_{qN}(\epsilon^*)}{\partial \ln qN} = \frac{\sum_{n=0}^{30} \frac{(qN)^n}{n!} \left(\sum_{j=1}^{128} n p_{n_j} e^{-\epsilon^* N_j/n} \right)}{Q_{qN}(\epsilon^*)} \quad (4)$$

$$\theta_{qN}(\epsilon^*) = \frac{\partial \ln \theta_{qN}(\epsilon^*)}{\partial \epsilon^*} = \frac{\sum_{n=0}^{30} \frac{(qN)^n}{n!} \left(\sum_{j=1}^{128} \theta_{n_j} p_{n_j} e^{-\epsilon^* N_j/n} \right)}{Q_{qN}(\epsilon^*)} \quad (5)$$

Расчет производился при фиксированных значениях qN от 1 до 20 и варьировании ϵ^* от 1 до 12 для $n_{\max} = 30$.

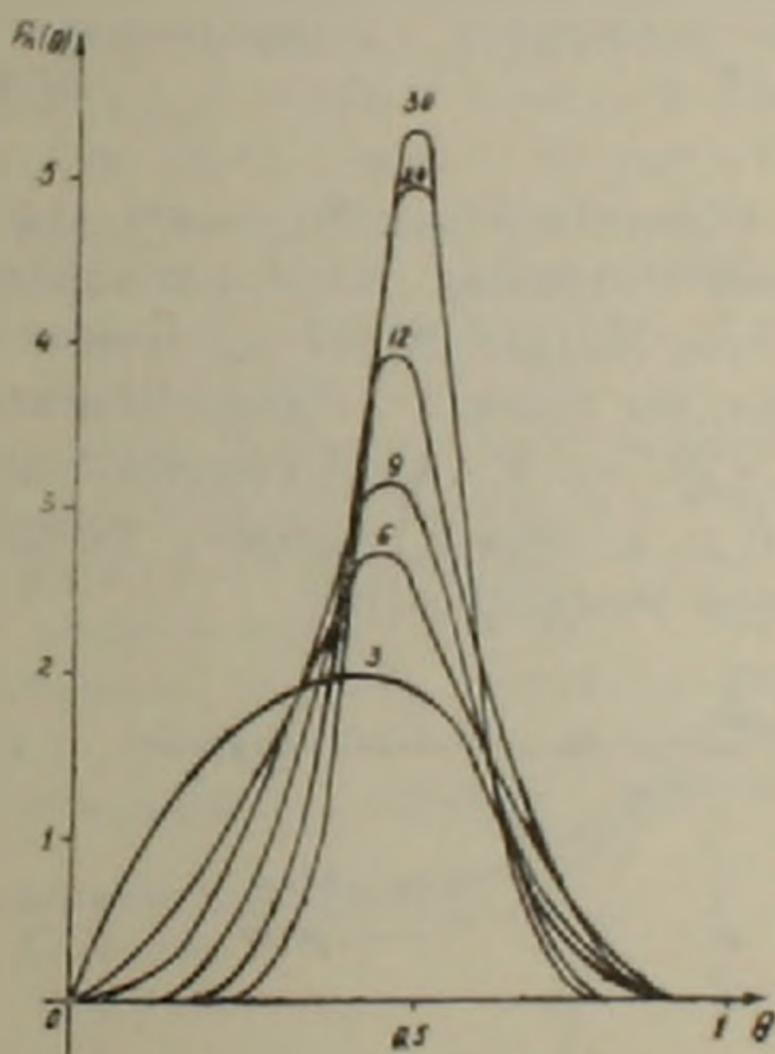


Рис. 2. Функции распределения $p_n(\theta)$ степени связности θ молекулы для разных n (значения n указаны на кривых). Число случайных выбросов для каждого n равнялось ≈ 300.000

Результаты расчетов показаны на рис. 3—5. Проанализируем эти результаты, сопоставляя их с результатами расчета (3), чтобы показать, как влияет конечность системы на характер ее складывания.

Степень связности сегментов $\theta_{qN}(\epsilon^*)$ (рис. 3) с ростом ϵ^* монотонно растет для всех qN , затем выполаживается, однако, даже для цепей, содержащих 20 жестких участков ($qN=20$), при $\epsilon=0$, предель-

ное значение θ отличается от $\theta = 1$ для бесконечной модели в области $\varepsilon^* > 4$, более чем на 10%.

Никаких видимых особенностей в поведении функции в окрестности точки $\varepsilon^* = 4$ не обнаруживается. Для бесконечной же системы, кривая $\theta(\varepsilon^*)$ в точке $\varepsilon^* = 4$ имеет разрыв производной (3).

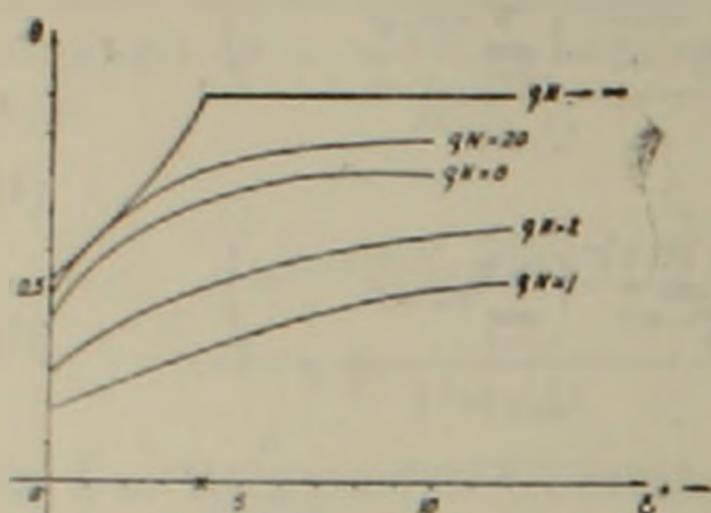


Рис. 3. Зависимости θ — степени связанности сегментов от ε^* для различных qN .

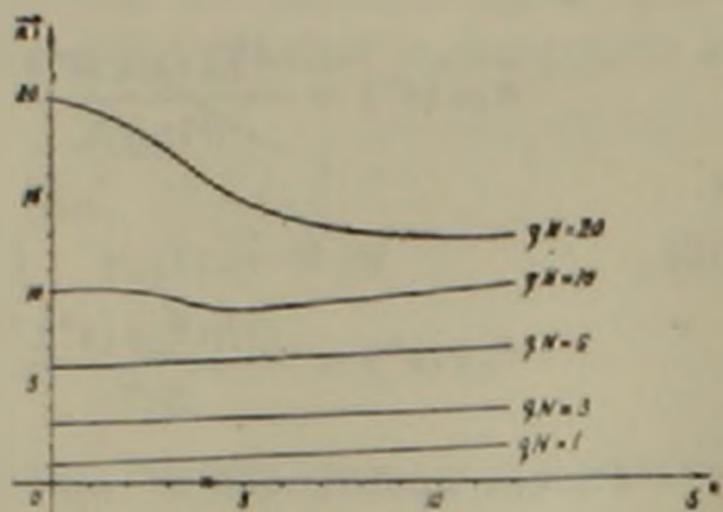


Рис. 4. Зависимости \bar{n} — среднего числа изломов в цепи от ε^* для различных qN .

Среднее число изломов \bar{n} (рис. 4) ведет себя с изменением ε^* различно в зависимости от длины системы, т. е. значений qN . В системах с малым числом складок $qN \leq 7$ с ростом ε^* величина \bar{n} монотонно увеличивается, нет никакого отличия в поведении до $\varepsilon^* = 4$ и после. В системах с $qN = 8, 9, 10$ наблюдается слабый рост \bar{n} при увеличении ε^* от 0 до 1, затем \bar{n} убывает, достигает минимума в районе $\varepsilon^* = 4$ и вновь начинает расти.

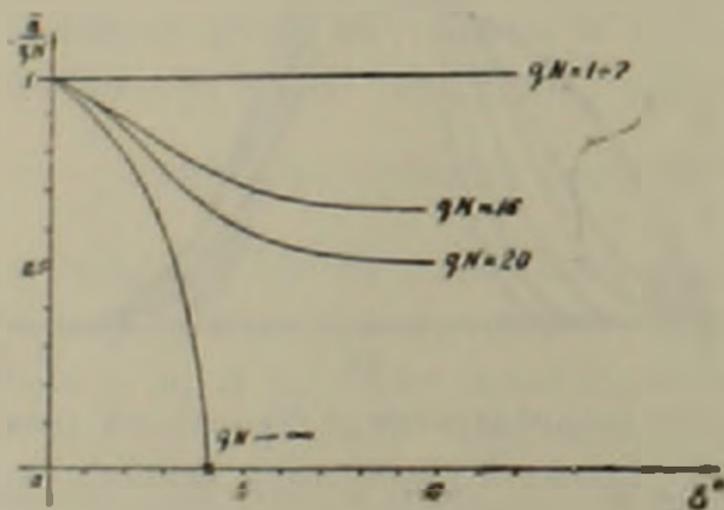


Рис. 5. Зависимости $\frac{\bar{n}}{qN}$ от ε^* для различных qN .

Число изломов для этих систем при $\varepsilon^* = 12$ на 10% больше первоначального при $\varepsilon^* = 0$. При дальнейшем увеличении qN от 10 до 20 поведение \bar{n} начинает все более приближаться к поведению \bar{n} для бесконечной модели. Увеличение ε^* от 0 приводит к убыванию

\bar{n} , после $\epsilon^* = 4$ выходит на плато. Для $qN = 20$ уменьшение \bar{n} с увеличением ϵ^* столь велико, что в области плато число изломов в полтора раза меньше по сравнению со значением $\bar{n} = qN$ при отсутствии взаимодействий.

Такое поведение величины \bar{n} можно объяснить следующим образом: для малых qN выигрыш в энергии существенно увеличивается при увеличении числа изломов, несмотря на потерю энергии на новом изломе; а для больших qN , когда предельная степень связывания в состоянии полной упорядоченности слабо зависит от числа изломов ($\theta_{\max}^{10} = 0,91$; $\theta_{\max}^{20} = 0,95$), цепочка при больших ϵ^* образует меньшее число складок, так как при этом легче дойти до больших, хотя и меньших θ_{\max} значений θ (см. рис. 2).

Отношение $\frac{\bar{n}}{qN}$ (рис. 5), характеризующее собой изменение числа изломов с изменением ϵ^* , отнесенное к числу изломов при $\epsilon^* = 0$, является для бесконечной модели универсальной функцией ϵ^* , не зависящей от энергии излома. Эта функция четко демонстрирует особенности в поведении систем с малым и большим числом изломов, о которых шла речь выше. Кривые с малыми qN накладываются друг на друга, образуя линию, почти параллельную оси абсцисс. С увеличением qN кривые все более приближаются к кривой с $qN \rightarrow \infty$, которая терпит разрыв производной в точке $\epsilon^* = 4$.

При росте энергии связи конечная цепь складывается в более компактную структуру, однако в отличие от бесконечной модели, претерпевающей фазовый переход 2-го рода в точке $\epsilon^* = 4$, переход в конечной цепи происходит сравнительно плавно.

Выявлено отличие между системами с малым числом складок ($qN \leq 7$) и системами с большим числом складок от 7 до 20. Для больших систем в области $\epsilon^* = 4$ в ходе зависимостей, характеризующих систему, появляются тенденции к переходу.

Институт высокомолекулярных соединений
АН СССР

Վ. Զ. ԱՊՈՆՅ, Տ. Մ. ԲԻՐՇՏՆՅՆ, Ա. Մ. ԵՂՅԱՇԵՎԻՉ

Կարճ շղթաներում ծալքավոր β -կառուցվածքի մաքեմատիկական մոդելացումը

Մոնտե-Կարլոյի մեթոդով գիտված է վերջավոր երկայնության ծալքավոր β -կառուցվածքի մոդելը: Ստացված արդյունքները համեմատված են անսահման մոդելի արդյունքների հետ: Յույց է տրված, որ կապի էներգիայի ավելացման հետ վերջավոր շղթան ծալվում է կոմպակտ կառուցվածքի, որտեղ այդ պրոցեսը ֆազային երկրորդ սեռի անցումների բնույթ է կրում, վերջավոր մո-

դիտում անցումը սահուն է: Հայտնաբերված է տարրերություն քիչ $qN \leq 7$ և մեծ 7 -ից 20 քանակով ծալվածք ունեցող համակարգերի մեջ:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Т. М. Бирштейн и О. Б. Птицын, Конформации макромолекул, Изд. „Наука“, М., 1964. ² Е. У. Anufrieva et al., J. Pol. Sci. P. C. 16, 3533, 1968. ³ R. Zwanzig, Lauritzen J. I., J. Chem. Phys. 48, 3351, 1968. ⁴ Т. М. Бирштейн, А. М. Ельнишевич, Скворцов А. М., Молек. биология 5, 1, 1971. ⁵ J. Lauritzen and R. Zwanzig, J. Chem. Phys. 52, 3740, 1970.

