

Զ Ե Կ Ո Ւ Ց Ց Ն Ե Ր
Д О К Л А Д Ы

XLI, № 2

1965

Խմբագրական կոլեգիա

Редакционная коллегия

Գ. ԱՅՐԻԿՅԱՆ, կենսաբանական գի-
տությունների բեկնածու, Ա. Խ. ԽԱՐԱՅԱՆ,
ՀՍՍՐ ԳԱ բոլրակից-անդամ, Վ. Մ. ԽԱՌԱ-
ՅԱՆ, ՀՍՍՐ ԳԱ բոլրակից-անդամ, Վ. Հ.
ՀՈՈՒՈՒՐՎՈՒՄՅԱՆ, ակադեմիկոս, Վ. Հ.
ՂԱԶԱՐՅԱՆ, ՀՍՍՐ ԳԱ բոլրակից-անդամ
(պատ. խմբագրի տեղակալ), Կ. Մ. ՂԱԼԻՔ-
ՅԱՆ, ՀՍՍՐ ԳԱ բոլրակից-անդամ, Ս. Հ. ՍԻՐ-
ՉՈՅԱՆ, ՀՍՍՐ ԳԱ բոլրակից-անդամ, Ս. Ս.
ՄԿՐՏՉՅԱՆ, ՀՍՍՐ ԳԱ ակադեմիկոս, Ա. Գ.
ԽԱԶԱՐՈՎ, ՀՍՍՐ ԳԱ ակադեմիկոս, Մ. Մ.
ՋՐՐԱՇՅԱՆ, ՀՍՍՐ ԳԱ ակադեմիկոս (պատ.
խմբագիր), Օ. Մ. ՍԱԳՈՆՋՅԱՆ, ՀՍՍՐ ԳԱ
բոլրակից-անդամ:

В. А. АМБАРУМЯН, академик, Э. І
АФРИКЯН, кандидат биологических
наук, А. Т. БАБАЯН, чл.-корресп. АН
АрмССР, Г. М. ГАРИБЯН, чл.-корресп.
АН АрмССР, М. М. ДЖРБАШЯН, ака-
демик АН АрмССР (отв. редактор), В. О.
КАЗАРЯН, чл.-корресп. АН АрмССР
(зам. отв. редактора), С. А. МИР-
ЗОЯН, чл.-корресп. АН АрмССР, С. С.
МКРТЧЯН, академик АН АрмССР, А. Г.
НАЗАРОВ, академик АН АрмССР, О. М.
САПОНДЖЯН, чл.-корресп. АН АрмССР,
В. М. ТАРАЯН, чл.-корресп. АН АрмССР.

Խ Ո Վ Ս Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Ց Ո Ւ Ն

Ուսման ասիկա

Վ. Ս. Ջաքարյան և Է. Է. Դադարյան — Հարձուձիկ ֆունկցիաների մի դասի շտապագային լրիվ վարիացիայի մասին	65
Ս. Վ. Համբարձումյան — Կոյտերի պոստուլանտ վերադրման ասթիվ	72

Առանձնականության սեսություն

Ս. Ս. Սահակյան — Ուղղանկյուն պրիզմայի առանձնական հաճախակիքներ թյան մեկ խառը խնդրի մասին	81
--	----

Ֆիզիկա

Վ. Ս. Լեյսմով, Է. Տ. Ղանթարյան, Է. Ա. Սպանով և Ս. Ս. Վիրբինյան — Վե- րականման ազդեցությունը բոբային ֆոսֆորների ֆոսֆորեսցենցիայի մարման վրա խալուխային լույսով զրգոելու դեպքում	88
--	----

Բիսիմիա

Դ. Վ. Բարսեղյան — Կենդանական հյուսվածքներում ազատ էթանոյամիտի օքսիդումը պարա-բենզոլիտոնով	93
Է. Է. Բունյաթյան, Հայկական ՍՍՄԻ ԻԱ ազդեցիկության և Ա. Ա. Սիմոնյան — Սթաիզացիան ֆոսֆորիլացումը հալի սառմի ուղեղի միտոքոնդրիաներում նրա զար- գացման ընթացքում	97

Համեմատականություն

Ս. Ա. Զուրարյան — Լեթալայի բազմամեծագույն հանքավայրի բաշխումային հանքայնացման մասին	104
Ս. Ա. Ավագյան և Դ. Մ. Մկրտչյան — Ծամբի կոլչեկանի տարրեր մորֆոլո- գիայի բյուրեղների խառնուրդների պարունակության մասին	112
Դ. Բ. Սեմյուկով — Աղափնաձորի հանքավայրի մագնետիտային հանքանյու- թիքում ապատիտի հայտնաբերման մասին	118

Բույսերի ֆիզիոլոգիա

Վ. Է. Դադարյան — Բարձրակարգ բույսերի ծերացման բնույթի մասին	122
---	-----

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр
Математика	
<i>В. С. Захарян и Э. О. Назарян</i> — О полной радиальной вариации одного класса гармонических функций	65
<i>Р. В. Амбарцумян</i> — О пуассоновских наложениях скоплений	73
Теория упругости	
<i>С. М. Саалкян</i> — Об одной смешанной задаче упругого равновесия прямоугольной призмы	81
Физика	
<i>В. С. Адамов, Л. Т. Кантарджян, Э. А. Оганов и С. С. Чиркинян</i> — Влияние перепоглощения на затухание фосфоресценции борных фосфоров при импульсном световом возбуждении	88
Биохимия	
<i>Г. В. Барсегян</i> — Количественное определение свободного этанолamina в животных тканях пара-бензохиноном	93
<i>Г. Х. Бунятян, академик АН Армянской ССР, и А. А. Симонян</i> — Окислительное фосфорилирование в митохондриях мозга куриного эмбриона в течение его развития	97
Минералогия	
<i>С. А. Зограбян</i> — О баритовой минерализации из Ахтальском полиметаллическом месторождении	104
<i>А. А. Авакян и Г. М. Мкртчян</i> — О содержании примесей в кристаллах пирита различной морфологии	112
<i>Г. Б. Межлумян</i> — О находке апатита в магнетитовых рудах Ахавнадзорского месторождения	118
Физиология растений	
<i>В. О. Казарян</i> — О природе старения высших растений	122

10 коп.

20

МАТЕМАТИКА

В. С. Захарян и Э. О. Назарян

О полной радиальной вариации одного класса
 гармонических функций

(Представлено академиком АН Армянской ССР М. М. Джрбашяном 11/III 1965)

Как известно ⁽¹⁾, измеримое по Борелю множество E имеет положительную α -емкость ($0 < \alpha < 1$), если найдется такая мера μ , сосредоточенная на E , $\mu(E) = 1$, для которой функция

$$U_\alpha(r, \nu) = \int_0^{2\pi} \frac{d\nu(t)}{|e^{it} - re^{i\nu}|^\alpha}$$

остается равномерно ограниченной по ν при $r \rightarrow 1$.

Гармоническая в единичном круге функция $f(r, \nu) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\nu + b_n \sin n\nu) r^n$, говорят, принадлежит классу S_α , если $\sum_{n=1}^{\infty} (a_n^2 + b_n^2) n^\alpha < \infty$.

Интеграл

$$F(r, \nu) = \int_0^1 \left| \frac{\partial f(r, \nu)}{\partial r} \right| dr$$

назовем полной вариацией на сегменте $[0, r]$, а интеграл

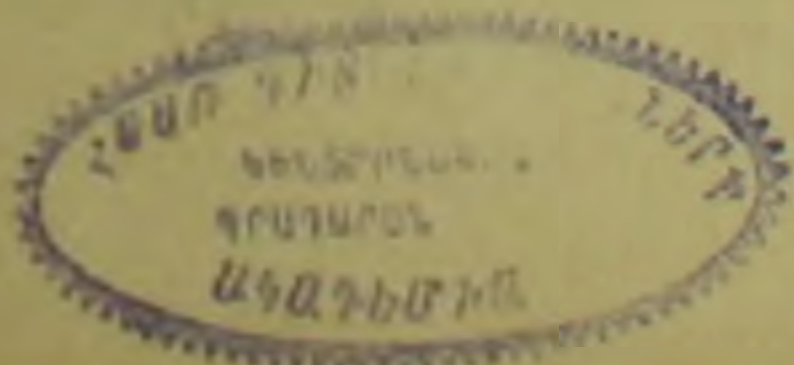
$$F(1, \nu) = F(\nu) = \int_0^1 \left| \frac{\partial f(r, \nu)}{\partial r} \right| dr$$

полной радиальной вариацией функции $f(r, \nu)$.

В 1947 г. А. Броманом ⁽²⁾ доказана следующая теорема.

Теорема. Если гармоническая в единичном круге функция принадлежит классу S_α , то ее полная радиальная вариация ограничена всюду, кроме, быть может, множества E , $(1-\alpha)$ -емкость которого равна нулю.

В настоящей работе этот результат обобщается в терминах выпуклой емкости для более широкого, чем S_α класса S_α .



1. Класс S_n и оценка выпуклой емкости. Последовательность $\{a_n\}$ ($n=0, 1, 2, \dots$) назовем выпуклой, если, полагая

$$\Delta a_n = a_n - a_{n+1}, \quad \Delta^2 a_n = \Delta a_n - \Delta a_{n+1},$$

имеем

$$\Delta^2 a_n \geq 0 \quad (n=0, 1, 2, \dots).$$

Следуя Темко (2), введем понятие выпуклой емкости множества. Для этого рассмотрим последовательность $\{\lambda_n\}$, обладающую двумя свойствами:

- 1) $\lambda_n \rightarrow 0$,
- 2) $\{\lambda_n\}$ выпукла.

Известно (3), что в этом случае функция

$$Q(r, x) = \lambda_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \lambda_n r^n \cos nx$$

удовлетворяет условию $Q(r, x) > 0$ при $0 < x < 2\pi$ и $0 < r < 1$.

Определение 1. Измеримое по Борелю множество $E \subset [0, 2\pi]$ имеет положительную выпуклую емкость относительно последовательности $\{\lambda_n\}$, если существует мера μ , сосредоточенная на E , для которой функция

$$V(x, r) = \int_0^{2\pi} Q(r, x-t) d\mu(t)$$

остается равномерно ограниченной по x при $r \rightarrow 1$.

В случае отсутствия такой меры μ , считаем выпуклую емкость относительно $\{\lambda_n\}$ равной нулю.

Выпуклой емкостью E относительно $\{\lambda_n\}$ назовем число

$$C(E, \lambda_n) = e^{-V_E}, \quad \text{где } V_E = \inf_{\mu} \left(\lim_{r \rightarrow 1} \sup_{0 < x < 2\pi} V(x, r) \right).$$

Определение 2. Условимся говорить, что непрерывная на $0 < t < 1$ функция $H(t) > 0$ принадлежит классу S_n , если $H(0) = \infty$,

$$tH(t) \downarrow 0 \text{ при } t \rightarrow 0, \quad \int_0^1 \frac{dt}{tH(t)} < \infty, \quad \lim_{x \rightarrow 0} \frac{1}{xH(x)} \int_0^x H(t) dt = c,$$

где $c \neq 0, \infty$ и $H(xy) \leq H(x)H(y)$.

Теперь мы с помощью класса функций S_n можем определить тот класс функций S_n , для которого возможно обобщить результат Бромана.

Определение 3. Гармоническая в единичном круге функция

$$f(r, \nu) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} r^n (a_n \cos n\nu + b_n \sin n\nu)$$

принадлежит классу S_n если

$$\sum_1^{\infty} (a_n^2 + b_n^2) H\left(\frac{1}{n}\right) < \infty,$$

где $H(t)$ принадлежит классу S_n .

В качестве $\{\lambda_n\}$ рассмотрим следующую последовательность

$$\lambda_n = \sum_{k=n}^{\infty} \frac{1}{kH\left(\frac{1}{k}\right)}.$$

Заметим, что так как

$$\Delta \lambda_n = \frac{1}{nH\left(\frac{1}{n}\right)},$$

то $n\Delta \lambda_n \downarrow 0$ и $\Delta^2 \lambda_n > 0$.

Лемма 1. Пусть

$$V_E = \sup_0^{\infty} V(x, r)$$

и

$$\alpha_n = \int_0^{2\pi} \cos n\psi d\mu(\psi), \quad \beta_n = \int_0^{2\pi} \sin n\psi d\mu(\psi).$$

тогда

$$\sum_1^{\infty} \frac{1}{H\left(\frac{1}{n}\right)} (\alpha_n^2 + \beta_n^2) < V_E.$$

Теперь приведем теорему об оценке выпуклой емкости.

Теорема 1. Пусть вещественная функция $f(\psi)$ принадлежит классу S_n и пусть на множестве E $f(\psi) > \rho > 0$. Тогда для выпуклой емкости относительно $\{\lambda_n\}$ имеет место следующая оценка

$$C(E, \lambda_n) < e^{-M\rho^2},$$

где M зависит от функции $H(t)$.

Доказательство. Пользуясь свойством интеграла Пуассона, можем выбрать r настолько близко к единице, чтобы выполнялось следующее неравенство

$$\int_0^{2\pi} f(r, \psi) d\mu(\psi) > \rho - \varepsilon. \quad (1)$$

Так как

$$\begin{aligned} \int_0^{2\pi} f(r, \psi) d\mu(\psi) &= \int_0^{2\pi} \sum_0^{\infty} r^n (a_n \cos n\psi + b_n \sin n\psi) d\mu(\psi) = \\ &= \sum_0^{\infty} r^n (a_n \alpha_n + b_n \beta_n). \end{aligned}$$

то, применяя неравенство Шварца, получаем

$$\left\{ \sum_1^{\infty} r^n (a_n a_n + b_n b_n) \right\}^2 < \sum_1^{\infty} H\left(\frac{1}{n}\right) r^{2n} (a_n^2 + b_n^2) \sum_1^{\infty} \frac{1}{H\left(\frac{1}{n}\right)} (a_n^2 + b_n^2) < \\ < M_1 \sum_1^{\infty} \frac{1}{H\left(\frac{1}{n}\right)} (a_n^2 + b_n^2).$$

Пользуясь леммой 1 и неравенством (1), имеем

$$(\rho - \varepsilon)^2 < M_1 V E.$$

Откуда следует оценка теоремы

$$C(E, \lambda_n) = e^{-V E} < e^{-M \rho^n}.$$

2°. () полной радиальной вариации функции класса S_n . Введем следующие обозначения

$$h(x) = \int_0^x H(u) du, \text{ где } H(u) \in C_n.$$

$$S_n(f) = \sum_1^{\infty} H\left(\frac{1}{n}\right) (a_n^2 + b_n^2),$$

$$D_n(f) = \frac{1}{\pi} \int_0^1 \int_0^{2\pi} \left(\frac{\partial f}{\partial r} \right)^2 h\left(\log \frac{1}{r}\right) r d\varphi dr \quad \text{и}$$

$$E_n(f) = \frac{1}{\pi} \int_0^1 \int_0^{2\pi} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial r \partial \varphi} \right)^2 h\left(\log \frac{1}{r}\right) \log^2 \frac{1}{r} \cdot r d\varphi dr.$$

Докажем сперва следующую лемму.

Лемма 2. Если гармоническая в единичном круге функция $f(r, \varphi)$ принадлежит классу S_n , то

$$D_n(f) \leq M' S_n(f), \quad (2)$$

$$E_n(f) \leq M'' S_n(f), \quad (3)$$

где M' и M'' зависят от функции $H(t)$.

Доказательство. Простые вычисления дают

$$\int_0^{2\pi} \left(\frac{\partial f}{\partial r} \right)^2 d\varphi = \pi \sum_1^{\infty} n^2 r^{2n-2} (a_n^2 + b_n^2),$$

$$D_n(f) = \sum_1^{\infty} (a_n^2 + b_n^2) \int_0^1 n^2 r^{2n-1} h\left(\log \frac{1}{r}\right) dr.$$

Обозначая $\log \frac{1}{r} = \frac{t}{n}$, оценим интеграл, входящий в (4).

$$\int_0^1 n^2 r^{2n-1} h\left(\log \frac{1}{r}\right) dr = n \int_0^{\infty} h\left(\frac{t}{n}\right) e^{-2t} dt < \\ < M_1 n h\left(\frac{1}{n}\right) \int_0^{\infty} h(t) e^{-2t} dt = M_2 n h\left(\frac{1}{n}\right) = M' H\left(\frac{1}{n}\right).$$

Подставляя эту оценку в (4), получаем неравенство (2). Точно такими же рассуждениями получается неравенство (3).

С помощью леммы 2 докажем теорему о радиальной вариации функции класса S_n .

Теорема 2. Если гармоническая в единичном круге функция $f(r, \nu)$ принадлежит классу S_n , то ее полная радиальная вариация суммируема, принадлежит классу S_n и

$$S_n(F) \leq M S_n(f), \quad (5)$$

где M зависит от функции $H(t)$.

Доказательство. Заметив, что

$$\left(\frac{\partial F}{\partial r}\right)^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial r}\right)^2,$$

получим

$$D_n(F) = D_n(f). \quad (6)$$

Докажем теперь, что следующее равенство имеет место в единичном круге почти всюду

$$\left(\frac{\partial^2 F}{\partial r \partial \nu}\right)^2 = \left(\frac{\partial^2 f}{\partial r \partial \nu}\right)^2. \quad (7)$$

Прежде всего заметим, что f_r и $r f_r'$ имеют нули в одинаковых точках, а последняя гармонична. Если в точке (r, ν) $r f_r' \neq 0$, то в окрестности этой точки функция $r f_r'$ имеет постоянный знак, следовательно,

$$F_{r\nu} = \frac{\partial}{\partial \nu} |f_r| = \pm f_{r\nu}$$

в любой точке, где $f_r' \neq 0$. И так как условие $r f_r' = 0$ выполняется самое большее на множестве меры нуль, то этим и доказывается равенство (7), откуда следует, что

$$E_n(F) = E_n(f). \quad (8)$$

Суммируемость функции $F(\nu)$ можно доказать следующим образом:

$$\int_0^{2\pi} F(\nu) d\nu = \int_0^1 \int_0^{2\pi} \left| \frac{\partial f}{\partial r} \right| d\nu dr = \int_0^{1/2} + \int_{1/2}^1 = P + Q.$$

Сходимость интеграла P очевидна. Пользуясь неравенством Шварца, получим

$$Q^2 \leq \int_{1/2}^1 \int_0^{2\pi} \left(\frac{\partial f}{\partial r} \right)^2 h \left(\log \frac{1}{r} \right) r d\psi dr \cdot \int_{1/2}^1 \int_0^{2\pi} \frac{d\psi dr}{h \left(\log \frac{1}{r} \right) \cdot r} < \\ < 2\pi^2 D_n(f) \int_{1/2}^1 \frac{dr}{r h \left(\log \frac{1}{r} \right)} = 2\pi^2 D_n(f) \int_0^{\log 2} \frac{dr}{h(r)} < M D_n(f),$$

т. е. интеграл Q также сходящийся.

Если напишем, что

$$F(r, \psi) \sim \frac{1}{2} A_0(r) + \sum_1 A_n(r) \cos n\psi + B_n(r) \sin n\psi,$$

то коэффициенты Фурье полностью определены для случая $r = 1$.

Пусть

$$\frac{\partial F}{\partial r} \sim \frac{1}{2} A'_0 + \sum_1 A'_n \cos n\psi + B'_n \sin n\psi,$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial r \partial \psi} \sim \sum_1 n B'_n \cos n\psi - n A'_n \sin n\psi.$$

Из равенства Парсеваля получим

$$\frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \left(\frac{\partial f}{\partial r} \right)^2 d\psi = \frac{1}{2} A_0'^2 + \sum_1 (A_n'^2 + B_n'^2),$$

$$\frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial r \partial \psi} \right)^2 d\psi = \sum_1 (n^2 A_n'^2 + n^2 B_n'^2).$$

Теперь, пользуясь равенствами (6), (8) и леммой 2, найдем, что

$$\int_0^1 \left| \frac{1}{2} A_0'^2 + \sum_1 (A_n'^2 + B_n'^2) \left(1 + n^2 \log \frac{1}{r} \right) \right| h \left(\log \frac{1}{r} \right) r dr = \\ = D_n(F) + E_n(F) = D_n(f) + E_n(f) \leq M S_n(f). \quad (9)$$

Так как $A_n(0) = 0$ для любого n , то

$$A_n(1) = \int_0^1 A'_n(r) dr,$$

и снова применяя неравенство Шварца, имеем

$$A_n^2(1) \leq \left\{ \int_0^1 |A'_n(r)| dr \right\}^2 \leq \int_0^1 A_n'^2 \left(1 + n^2 \log^2 \frac{1}{r} \right) h \left(\log \frac{1}{r} \right) r dr$$

$$\times \int_0^1 \frac{dr}{\left(1 + n^2 \log^2 \frac{1}{r}\right) h\left(\log \frac{1}{r}\right) r}. \quad (10)$$

Заменяя в последнем интеграле $\log \frac{1}{r} = \frac{t}{n}$, получим

$$\begin{aligned} \int_0^1 \frac{dr}{\left(1 + n^2 \log^2 \frac{1}{r}\right) h\left(\log \frac{1}{r}\right) r} &= \int_0^{\frac{1}{n}} \frac{dt}{\frac{n}{t} h\left(\frac{t}{n}\right) (1+t^2) t} < \\ &< M_1 \int_0^{\frac{1}{n}} \frac{dt}{H\left(\frac{t}{n}\right) (1+t^2) t}. \end{aligned} \quad (11)$$

Так как $H(xy) \leq H(x) H(y)$, то, положив $x = \frac{t}{n}$, $y = \frac{1}{t}$, лег-

ко усмотреть, что $H\left(\frac{t}{n}\right) > \frac{H\left(\frac{1}{n}\right)}{H\left(\frac{1}{t}\right)}$, позволяющее неравенство

(11) написать в следующем виде:

$$\int_0^1 \frac{dr}{\left(1 + n^2 \log^2 \frac{1}{r}\right) h\left(\log \frac{1}{r}\right) r} < \frac{M}{H\left(\frac{1}{n}\right)}.$$

Подставляя это неравенство в (10), получим

$$H\left(\frac{1}{n}\right) A_n^2(1) < M \int_0^1 A_n^2 \left(1 + n^2 \log^2 \frac{1}{r}\right) h\left(\log \frac{1}{r}\right) r dr, \quad (12)$$

Аналогично получится, что

$$H\left(\frac{1}{n}\right) B_n^2(1) < M \int_0^1 B_n^2 \left(1 + n^2 \log^2 \frac{1}{r}\right) h\left(\log \frac{1}{r}\right) r dr. \quad (13)$$

Просуммировав неравенства (12) и (13) по n , получим

$$\sum_1^\infty H\left(\frac{1}{n}\right) (A_n^2(1) + B_n^2(1)) \equiv S_n(F) < M S_n(f).$$

Теорема полностью доказана.

Соединяя теоремы 1 и 2, приходим к следующей теореме, которая и является обобщением теоремы Бромана.

Теорема 3. Если гармоническая в единичном круге функция принадлежит классу S_n , то ее полная радиальная вариация ограничена всюду, кроме, быть может, множества E , у которого

выпуклая емкость относительно $\{\lambda_n\}$ $\left(\lambda_n = \sum_{k=n}^{\infty} \frac{1}{kH\left(\frac{1}{k}\right)} \right)$ равна нулю.

Институт математики и механики
Академии наук Армянской ССР
Ереванский государственный университет

Վ. Ս. ԶԱԳԱՐՅԱՆ և Ի. Հ. ՆԱԶԱՐԵԱՆ

Հարմոնիկ ֆունկցիաների մի դասի շառավղադրի լրիվ վարիացիայի մասին

Միավոր շրջանում հարմոնիկ

$$f(r, \varphi) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} r^n (a_n \cos n\varphi + b_n \sin n\varphi)$$

ֆունկցիան կասենք, որ պատկանում է S_n դասին, եթե

$$\sum_{n=1}^{\infty} (a_n^2 + b_n^2) H\left(\frac{1}{n}\right) < \infty,$$

որտեղ $H(t)$ ֆունկցիան մոնոտոն աճող է, երբ $t \rightarrow 0$ և բավարարում է որոշակի պայմաններին:

$$F(\varphi) = \int_0^1 \left| \frac{\partial f(r, \varphi)}{\partial r} \right| dr$$

ինտեգրալը առնված է $f(r, \varphi)$ ֆունկցիայի շառավղային լրիվ վարիացիայի Ապաշուշ-ված է հետևյալ թեորեմը:

Թեորեմ. եթե միավոր շրջանում հարմոնիկ ֆունկցիան պատկանում է S_n դասին, ապա նրա շառավղային լրիվ վարիացիան սահմանափակ է աճենություն, բացի դեպքերից:

Ներքին մի ուղղիսի բաղադրյալն, որի ուղղիցի ունակությունը 0 է $\lambda_n = \sum_{k=n}^{\infty} \frac{1}{kH\left(\frac{1}{k}\right)}$

հաջորդականությունը նկատմամբ:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. A. Broman, On two classes of trigonometrical series, Uppsala, 1947. 2. К. Темку, Выпуклая емкость и ряды Фурье, ДАН СССР, т. 110, № 6 (1956), 943—944. 3. Н. Барн, Тригонометрические ряды, М., 1961.

Р. В. Амбарцумян

О пуассоновских наложениях скоплений

(Представлено академиком В. А. Амбарцумяном 31/III 1965)

§1. Введение. Точечные процессы в пространстве одного или многих измерений, которые мы называем пуассоновскими наложениями скоплений, вполне определяются заданием нестационарного точечного процесса Γ со средним числом происходящих в нем событий τ и некоторого числа $\lambda > 0$. Соответствующий процесс пуассоновского наложения скоплений строится как суперпозиция независимых реализаций процесса Γ , которые мы называем скоплениями и чьи начала составляют независимый пуассоновский процесс Λ интенсивности λ в пространстве соответствующего числа измерений. Процессы такой конструкции рассматривались в работах М. С. Бартлетта ⁽¹⁾ и Е. Неймана ⁽²⁾.

Обозначим построенный таким образом стационарный точечный процесс через Σ . Очевидно, что интенсивность процесса равна $\tau = \lambda\tau$.

Будем употреблять принятый термин „поток“ для обозначения точечного процесса в одном измерении (например, времени).

В этой заметке мы обсуждаем следующую проблему: в какой степени статистические свойства потока Γ могут быть восстановлены при помощи информации, содержащейся в достаточно длинной реализации потока Σ в условиях, когда заданы лишь моменты времени, в которых произошли события потока Σ и отсутствует дополнительная информация о принадлежности событий тем или иным скоплениям. Кроме того, мы дадим несколько простых рекомендаций для использования при практическом анализе пуассоновских наложений скоплений.

Мы ограничимся рассмотрением „одномерных свойств“ потока Σ , т. е. будем рассматривать только одномерные распределения, связанные с потоком Σ . Такой подход обоснован с точки зрения приложений.

Основные результаты будут касаться производящей функции

$$U(z, x) = \sum_{n=0}^{\infty} z^n u^{(n)}(x),$$

где $1-u^{<n>}(x)$ является функцией распределения общей длины $n+1$ последовательных интервалов между событиями в потоке Σ . Заметим, что вероятности $v_m(t)$ того, что за период времени длины t в потоке Σ произойдет более чем m событий, связаны с функциями $u^{<n>}(x)$ через формулы Пальма

$$v_0(t) = \sigma \int_0^t u^{<0>}(\xi) d\xi, \quad (1)$$

$$v_m(t) = \sigma \int_0^t |u^{<m>}(\xi) - u^{<m-1>}(\xi)| d\xi \quad (m = 1, 2, \dots),$$

и, таким образом, эти вероятности не могут дать добавочной информации о процессе Γ .

Целесообразное (одномерное) описание потока Γ получаем с помощью системы производящих функций

$$G_m(z, x) = \sum_{n=0}^{\infty} z^n g_m^{<n>}(x) \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

которые описывают течение потока Γ , начиная с момента появления $m+1$ -го события этого процесса. Через $g_m^{<n>}(x)$ мы обозначили вероятность того, что промежуток времени между $m+1$ -м событием потока Γ (при условии, что таковое наступит) и $m+n+2$ -м событием потока Γ превзойдет величину x .

Мы будем рассматривать следующие два преобразования потоков.

Для каждого потока Π мы строим прореженный поток $\overset{p}{\Pi}$ путем выкидывания некоторых событий потока Π . Прореживание производится таким образом, что каждое событие потока Π выкидывается с вероятностью p или остается на месте с вероятностью $(1-p)$, причем выкидывание (или оставление) каждого из событий не зависит от характера расположения событий в данной реализации потока Π и от того, выкидывается или не выкидывается любое другое событие потока Π . Сохраним символы, уже введенные для потока Π для обозначения соответствующих понятий потока $\overset{p}{\Pi}$, снабжая лишь их "степенью" p . Например,

$$u^{<0>}(x) = (1-p) \sum_{n=0}^{\infty} p^n u^{<n>}(x) = (1-p) U(p, x). \quad (2)$$

Другое преобразование определяется только для потоков с конечным средним числом происходящих событий; оно представляет

собой некоторую процедуру усреднения $\sim$. Введем поток $\bar{\Gamma}$ путем непосредственного описания большого ансамбля его реализаций.

Обозначим через P_m вероятность того, что в скоплении произойдет больше чем m событий, а через Γ_m — течение потока Γ после момента появления его $m+1$ -го события (предполагая, что таковое в действительности произошло).

По определению, ансамбль, который строится путем смешения ансамблей реализаций потоков Γ_m , причем каждый из этих ансамблей берется с весом $\frac{1}{\gamma} P_m$, составляет большой ансамбль реализаций для потока $\bar{\Gamma}$.

Мы опять сохраним символы, введенные для потока Γ для обозначения соответствующих понятий, относящихся к $\bar{\Gamma}$, лишь снабжая их знаком тильда. Например,

$$\bar{G}_0(z, x) = \frac{1}{\gamma} \sum_{m=0}^{\infty} P_m G_m(z, x).$$

По аналогии с (2) получаем

$$\bar{g}_0^p(x) = (1-p) \bar{G}_0(p, x). \quad (3)$$

§ 2. Основные принципы. Возвращаясь к стационарному потоку пуассоновского наложения Σ , устанавливаем теорему, которую можно назвать „принципом расщепления“.

Теорема 1. *Течение потока Σ после его произвольного события (процесс Σ_1) может быть описано как наложение независимых потоков Σ и Γ*

$$\Sigma_1 = \bar{\Gamma} + \Sigma. \quad (4)$$

Под термином „произвольное событие“, как обычно, мы понимаем, что каждое событие потока Σ может быть выбрано в качестве произвольного события с одинаковым весом, независимо от конкретной картины потока Σ вблизи этого события.

Доказательство. Рассматривая скопление Γ' , которому принадлежит произвольное событие потока Σ , легко находим, что оно является событием номер $m+1$ в этом скоплении с вероятностью

$\frac{1}{\gamma} P_m$, и следовательно, хвост скопления Γ' ведет себя как поток

$\bar{\Gamma}$. Что касается событий, не принадлежащих к Γ' , то они составляют независимый поток Σ благодаря тому обстоятельству, что некоторая информация относительно местонахождения начала скопления Γ' , которой мы располагаем, не меняет пуассоновского характера начал других скоплений.

Теорема 2. Для каждого стационарного потока Π

$$(\Pi_1)^p = (\Pi)^p_1,$$

(Π_1 обозначает течение потока Π после его произвольного события).

Доказательство. Рассмотрим ансамбль реализаций отрезка потока Π с общим числом событий N достаточно большим.

Вероятность того, что заданное событие α будет избрано в качестве „произвольного события“ для потока Π , есть $1/N$. После описанной процедуры прореживания это событие α участвует в полученном таким образом ансамбле реализаций потока Π с вероятностью $(1-p)$. Средним числом событий после прореживания становится $N(1-p)$, и, таким образом, вероятность того, что данное событие будет избрано в качестве произвольного события для потока Π , равна $1/N$ и не зависит от p . Вместе с предположением о независимости каждого выбрасывания это позволяет выбирать произвольное событие в потоке Π перед проведением процедуры прореживания.

Применяя процедуру прореживания к потоку Σ_1 , из (4) получаем

$$(\Sigma_1)^p = \Sigma^p + \frac{p}{\Gamma}$$

я по теореме 2

$$(\Sigma_1)^p_1 = \Sigma^p_1 + \frac{p}{\Gamma}. \quad (5)$$

Знак $+$ опять означает наложение независимых потоков.

§3. Формальное решение и примеры. Используя (5), находим

$$u^{(p)}_0(x) = (1 - v_0(x)) \cdot \frac{p}{g_0} g_0(x). \quad (6)$$

С помощью (1), (2) и (3) сводим (6) к интегральному уравнению

$$(1-p)U(p, x) = \varepsilon(1-p)^2 \int U(p, \xi) d\xi \cdot (1-p)\bar{G}_0(p, x)$$

и, наконец,

$$U(p, x) = \bar{G}_0(p, x) e^{-(1-p)\varepsilon \int_0^x \bar{G}_0(p, \xi) d\xi} \quad (7)$$

Это уравнение, конечно, остается верным, когда мы подставляем вместо p любое комплексное z , удовлетворяющее условию $|z| < 1$. Заметим, что производящая функция $U(z, x)$ определяет всего лишь функцию $\bar{G}_0(z, x)$

$$\bar{G}_0(z, x) = \frac{U(z, x)}{(1-z)^2 \int U(z, \xi) d\xi},$$

и поэтому всегда необходима дополнительная информация о природе потока Γ для того, чтобы полностью восстановить его одномерные свойства.

Практически некоторые сведения о характере скоплений можно получить, исследуя поведение кривых $u^{(0)}(x)$ и $M_1(t)$ — среднего числа событий в потоке Σ_1 за период $(0, t)$.

Располагая кривой $u^{(0)}(x)$, мы строим

$$\int dx \frac{u^{(0)}(x)}{\int u^{(0)}(\xi) d\xi} \quad (*) \quad (8)$$

Измеряя наклон асимптоты для (*), оцениваем отношение

$$\frac{P_0}{1} = \text{наклон асимптоты } (*). \quad (8)$$

Высота пересечения асимптоты для (*) с осью ординат может оказаться полезной для получения сведений о расстоянии между событиями внутри скоплений.

Например, если поток Γ строится путем вырезания куска однородного потока Π так, что этот кусок содержит больше чем m событий с вероятностью P_m и число событий на этом отрезке не зависит от их расположения, имеем

$$\bar{g}_0^{(0)}(x) = \frac{1}{1} P_0 + q^{(0)}(x) \left(1 - \frac{1}{1} P_0 \right),$$

где $q^{(0)}(x)$ — функция Пальма для потока Π . Отсюда для средней длины l интервала между событиями в потоке Π получаем оценку

$$\hat{l} = \frac{\text{высота пересечения асимптоты } (*) \text{ с осью ординат}}{1 - \text{наклон асимптоты } (*)}.$$

Что касается $M_1(t)$, то согласно (4)

$$M_1(t) = \lambda t + \bar{m}(t).$$

где $\bar{m}(t)$ есть среднее число событий, происходящих в потоке Γ за период $(0, t)$. Поэтому отношение $\frac{\sum n P_n}{\gamma} = \bar{m}(\infty)$ может быть оценено

$$\frac{\sum n P_n}{\gamma} = \text{высота пересечения асимптоты для } M_\Gamma(t) \text{ с осью ординат} \quad (9)$$

§ 4. Обсуждение. Пуассоновское наложение скоплений может наблюдаться с различными степенями информации о пуассоновском потоке Λ , которые составляют начала скоплений. Таковыми могут быть:

- а) параметр потока Λ неизвестен;
- б) параметр потока Λ известен и равен λ ;
- в) наблюдаем реализацию Σ и одновременно порождающую ее реализацию потока Λ .

В случае а) практически невозможно найти величину γ в общем случае; с помощью (8) и (9) все же можно получить некоторую информацию о числе событий в скоплениях.

В случае б) полагаем

$$\gamma = \frac{\sigma}{\lambda}.$$

Если имеет место случай в), то „принцип расщепления“ можно сформулировать в следующем виде.

Обозначим через Σ' течение потока Σ после произвольного события потока Λ . Тогда

$$\Sigma' = \Sigma + \Gamma. \quad (10)$$

Таким образом, поток Γ может быть описан в терминах потоков Σ' и Σ .

Этот принцип остается неизменным, когда мы переходим к пуассоновским наложениям скоплений в пространстве двух или большего числа измерений.

Наиболее простым следствием (10) является (для плоскости)

$$M'(r) = \pi r^2 + m(r), \quad (11)$$

где $M'(r)$ (соответственно $m(r)$) есть ожидаемое число событий процесса Σ' (соответственно Γ) в круге радиуса r с центром в начале процесса.

Разумеется, как в (10), так и в (4) компонента Σ может расщепляться как некий шум, вносящий дополнительное слагаемое в дисперсию оценки для $m(r)$ (или для $m(t)$).

Желая применить (11) к исследованию ограниченной совместной реализации процессов Σ и Λ , покрываем данную карту системой $\{C_r\}$ непересекающихся кругов радиуса r с центрами в точках процесса Λ и полагаем, что в этих кругах реализации процесса Σ' независимы (практически). С ростом r число независимых подсчетов событий

процесса Σ' уменьшается. Отметим возможность использования смещенных оценок для $m(r)$ с тем, чтобы увеличить отношение сигнала к шуму при таком анализе. Их можно строить с помощью оценок величины $m_i(r)$ — математическое ожидание числа событий процесса Γ в круге S радиуса r , относительно которого начало процесса Γ занимает случайное положение; именно оно распределено равномерно в concentрическом кругу S радиуса ϵ .

Пусть η_n — число точек процесса Σ , лежащих в S_n , ζ_n — число точек процесса Λ , лежащих в concentрическом кругу S_n радиуса ϵ (включая центр), N_k — число кругов в системе $\{S_n\}$, для которых ζ_n принимает значение k , $N = \sum_{k=1}^{\infty} N_k$.

Смещенной оценкой для $m(r)$ служит

$$\hat{m}(r) = \frac{\sum_{n=1}^N \eta_n - N\sigma\pi r^2}{\sum_{n=1}^{\infty} kN_k}, \quad (12)$$

Имея большую свободу в построении системы $\{S_n\}$, выгодно выбирать ее таким образом, чтобы сумма $\sum_{n=1}^N \zeta_n$ достигала своего максимального значения.

При построении таких смещенных оценок следует учитывать действие „принципа неопределенности“: уменьшение дисперсии оценки (12) (которое достигается увеличением ϵ) вызывает увеличение смещения оценки, и наоборот. Заметим, что относительная эффективность применения (12) возрастает с ростом r .

Прием находит свое обоснование в следующем принципе, выражающем определенное свойство линейности пуассоновских наложений скоплений.

Обозначим через Σ^n течение процесса Σ после момента одновременного появления n событий процесса Λ (более строгое определение потока Σ^n дается с помощью очевидного предельного перехода).

Теорема 3.

$$\Sigma^n = \Sigma + \underbrace{\Gamma_1 + \Gamma_2 + \dots + \Gamma_n}_{n \text{ независимых процессов } \Gamma}.$$

В заключение рассмотрим однородное уравнение

$$\Pi_1 = \Pi, \quad (13)$$

которое приводит к новому определению пуассоновского потока.

Теорема 4. Пусть Π является стационарным потоком и

пусть Π_1 есть течение потока Π после его произвольного события.

Если Π удовлетворяет уравнению (13), то Π есть поток Пуассона.

Доказательно. Теорема немедленно следует из (7), когда мы полагаем

$$\bar{G}_0(p, x) = \frac{1}{1-p}.$$

В этом случае

$$U(p, x) = \frac{1}{1-p} e^{-x(1-p)},$$

что характеризует пуассоновский поток.

Институт математики и механики
Академии наук Армянской ССР

II. Գ. ՀԱՄԱՐԱՐՁՈՒՄԹԱՆ

Կույտերի պատահական վերադրման սուբիլ

Քոչ արժան լինի ոչ ստացիոնար մի կետային հոսք Γ , որի համար իրականացվող պատահարների միջին թիվը վերջավոր է:

Քոչ $\lambda > 0$ լինի Λ Պուասոնի մի հոսքի ինտենսիվություն: Կատարվում են m մի Σ պրոցես, որը հանդիսանում է իրարից անկախ Γ հոսքերի (կույտերի) վերադրում, բնականորեն, որ այդ կույտերի սկիզբները համընկնում են Λ հոսքի պատահարների հետ:

Հարժանում դուրս է բերվում $U(z, x) = \sum_{n=0}^{\infty} u^{(n)}(x)$ ֆունկցիայի տեսքով, ինչպես

$1 - u^{(n)}(x)$ — ի պատահարների միջև բնական $n+1$ իրար հաջորդող միջակայքերի բնական երկարություն բաշխման ֆունկցիան է Σ հոսքում:

Ոչնչու հետև հույս է տրվում, որ հնարավոր է $U(z, x)$ ֆունկցիայի միջոցով նկարագրել միայն որոշակի միջինացման ձևափոխության միջոցով Γ հոսքից ստացվող $\bar{\Gamma}$ հոսքի համակարգչականները: Որոշ գործնական հանձնարարումներ են տրվում Σ հոսքերի վիճակագրության վերաբերյալ:

Վերջին թեորեմում բերվում է Պուասոնի հոսքի բնորոշման համար բավարար պահանջների մի նոր միջինային սխեմա:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Ք Յ Ո Ւ Ն

¹ M. C. Барталетт, The spectral analysis of point processes J. R. Statist. Soc. B, 25, 264, 1963. ² E. Heijman, Э. Л. Скомм и Д. Уэн, Statistics of images of galaxies with particular reference to clustering. Proceedings of the Third Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, vol. 3, 1955.

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

С. М. Саакян

Об одной смешанной задаче упругого равновесия
 прямоугольной призмы

(Представлено чл. корр. АН Армянской ССР О. М. Сапонджяном 17/III 1965)

Рассматривается задача об упругом равновесии прямоугольной призмы, когда на боковых плоскостях ($v = 0, b; z = 0, c$) заданы компоненты вектора напряжений, а на торцах ($x = \pm a$) заданы перемещения. Для простоты вычисления предполагается, что граничные условия задачи симметричны относительно плоскости ($x = 0$). Это обстоятельство позволяет решать задачу для половины призмы ($x \geq 0, y \geq 0, z \geq 0$), требуя при этом, чтобы на плоскости симметрии ($x = 0$) удовлетворялись условия симметрии:

$$\tau_{xy}(0, y, z) = \tau_{xz}(0, y, z) = u(0, y, z) = 0. \quad (1)$$

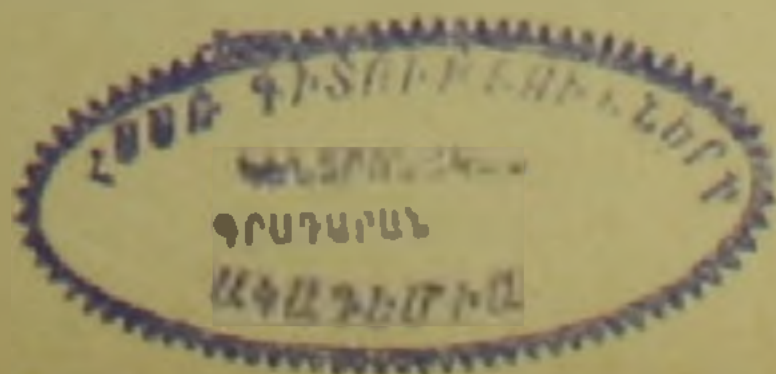
Решение уравнения равновесия Ламе представляется в виде сумм двойных рядов Фурье в трех направлениях, которые содержат гиперболотригонометрические функции с неизвестными коэффициентами. Определение этих коэффициентов приводится к решению бесконечных систем линейных алгебраических уравнений. Доказывается, что полученные системы квазирегулярны и имеют ограниченные сверху и стремящиеся к нулю свободные члены.

Граничные условия рассматриваемой задачи принимаются в виде:

$$\begin{aligned} x = a: & \quad u = v = w = 0; \\ y = 0, b: & \quad \tau_{xy} = \tau_{yz} = \sigma_y = 0; \\ z = 0: & \quad \tau_{xz} = \tau_{yz} = \sigma_z = 0; \\ z = c: & \quad \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0; \sigma_z = f(x, y), \end{aligned}$$

где $f(x, y)$ кусочно-непрерывная функция в области ($-a \leq x \leq a, 0 \leq y \leq b$).

Причем нулевые граничные значения перемещений и напряжений (кроме σ_z) приняты для простоты расчетов. Они не нарушают общности поставленной задачи, поскольку замена нулевых значений заданными функциями не действует на ход решения задачи и отражается в свободных членах системы (¹).



Решение уравнений равновесия в перемещениях в области $(0 \leq x \leq a, 0 \leq y \leq b, 0 \leq z \leq c)$ ищется в виде:

$$\begin{aligned}
 u &= u_0 + \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} f_{mn}^{(1)}(x) \cos \beta_m y \cos \gamma_n z + \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \varphi_{ln}^{(1)}(y) \sin \alpha_l x \cos \gamma_n z + \\
 &\quad + \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \psi_{lm}^{(1)}(z) \sin \alpha_l x \cos \beta_m y, \\
 v &= v_0 + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} f_{mn}^{(2)}(x) \sin \beta_m y \cos \gamma_n z + \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \varphi_{ln}^{(2)}(y) \cos \alpha_l x \cos \gamma_n z + \\
 &\quad + \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \psi_{lm}^{(2)}(z) \cos \alpha_l x \sin \beta_m y,
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
 w &= w_0 + \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} f_{mn}^{(3)}(x) \cos \beta_m y \sin \gamma_n z + \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_{ln}^{(3)}(y) \cos \alpha_l x \sin \gamma_n z + \\
 &\quad + \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \psi_{lm}^{(3)}(z) \cos \alpha_l x \cos \beta_m y,
 \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}
 u_0 &= a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 z; \\
 v_0 &= b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 z;
 \end{aligned} \tag{4}$$

$$w_0 = c_0 + c_1 x + c_2 y + c_3 z;$$

$$\alpha_l = \frac{(2l-1)\pi}{2a}; \quad \beta_m = \frac{m\pi}{b}; \quad \gamma_n = \frac{n\pi}{c}; \tag{5}$$

m и n одновременно не равны нулю.

При отсутствии объемных сил перемещения являются бигармоническими функциями. Учитывая это, а также условия симметрии (1), неизвестные функции $f_{mn}^{(1)}(x) \dots \dots \psi_{lm}^{(3)}(z)$, входящие в выражения (3), можно представить в виде:

$$\begin{aligned}
 f_{mn}^{(1)}(x) &= A_{mn}^{(1)} \operatorname{sh} K_{mn} x + D_{mn}^{(1)} k_{mn} x \operatorname{ch} k_{mn} x; \\
 f_{mn}^{(i)}(x) &= B_{mn}^{(i)} \operatorname{ch} k_{mn} x + C_{mn}^{(i)} k_{mn} x \operatorname{sh} k_{mn} x; \quad (i = 2, 3);
 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
 \varphi_{ln}^{(i)} &= M_{ln}^{(i)} \operatorname{sh} k_{ln} y + N_{ln}^{(i)} \operatorname{ch} k_{ln} y + E_{ln}^{(i)} k_{ln} y \operatorname{sh} k_{ln} y + F_{ln}^{(i)} k_{ln} y \operatorname{ch} k_{ln} y \\
 &\quad (i = 1, 2, 3);
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \psi_{lm}^{(i)}(z) &= K_{lm}^{(i)} \operatorname{sh} k_{lm} z + L_{lm}^{(i)} \operatorname{ch} k_{lm} z + H_{lm}^{(i)} k_{lm} z \operatorname{sh} k_{lm} z + G_{lm}^{(i)} k_{lm} z \operatorname{ch} k_{lm} z \\
 &\quad (i = 1, 2, 3),
 \end{aligned}$$

где $A_{mn}^{(1)} \dots \dots G_{lm}^{(3)}$ постоянные интегрирования, которые связаны следующими соотношениями:

$$k_{mn} A_{mn}^{(1)} + (3 - 4\nu) k_{mn} D_{mn}^{(1)} + \beta_m B_{mn}^{(2)} + \gamma_n B_{mn}^{(3)} = 0;$$

$$\begin{aligned}
\beta_m C_{mn}^{(3)} &= \gamma_n C_{mn}^{(2)}; & k_{mn} C_{mn}^{(2)} + \beta_m D_{mn}^{(1)} &= 0; \\
K_{ln} M_{ln}^{(2)} + (3 - 4\nu) K_{ln} F_{ln}^{(2)} + \alpha_l N_{ln}^{(1)} + \gamma_n N_{ln}^{(3)} &= 0; \\
k_{ln} N_{ln}^{(2)} + (3 - 4\nu) k_{ln} E_{ln}^{(2)} + \alpha_l M_{ln}^{(1)} + \gamma_n M_{ln}^{(3)} &= 0; \\
\gamma_n E_{ln}^{(2)} + k_{ln} F_{ln}^{(3)} &= 0; & \gamma_n F_{ln}^{(2)} + k_{ln} E_{ln}^{(3)} &= 0; \\
\gamma_n F_{ln}^{(1)} &= \alpha_l F_{ln}^{(3)}; & \gamma_n E_{ln}^{(1)} &= \alpha_l E_{ln}^{(3)}; \\
k_{lm} K_{lm}^{(3)} + (3 - 4\nu) k_{lm} G_{lm}^{(3)} + \alpha_l L_{lm}^{(1)} + \beta_m L_{lm}^{(2)} &= 0; \\
K_{lm} L_{lm}^{(3)} + (3 - 4\nu) k_{lm} H_{lm}^{(3)} + \alpha_l K_{lm}^{(1)} + \beta_m K_{lm}^{(2)} &= 0; \\
\alpha_l G_{lm}^{(3)} + k_{lm} H_{lm}^{(1)} &= 0; & \beta_m H_{lm}^{(3)} + k_{lm} G_{lm}^{(2)} &= 0; \\
\alpha_l H_{lm}^{(2)} &= \beta_m H_{lm}^{(1)}; & \alpha_l G_{lm}^{(2)} &= \beta_m G_{lm}^{(1)};
\end{aligned} \tag{7}$$

где ν коэффициент Пуассона.

$$k_{ln} = \sqrt{\alpha_l^2 + \beta_m^2}; \quad k_{ln} = \sqrt{\alpha_l^2 + \gamma_n^2}; \quad k_{mn} = \sqrt{\beta_m^2 + \gamma_n^2}.$$

Пользуясь уравнениями обобщенного закона Гука и выражениями для перемещений (3), получим решения для напряжений через функции $u_0, v_0, w_0, f_{mn}^{(i)}(x); \varphi_{ln}^{(i)}(y); \Psi_{lm}^{(i)}(z)$ ($i = 1, 2, 3$).

Удовлетворив граничным условиям (2), получим ряд соотношений между коэффициентами интегрирования $a_0, \dots, c_3, A_{mn}^{(1)}, \dots, G_{lm}^{(3)}$. Разрешая эти соотношения вместе с (7) относительно неизвестных постоянных, для последних получим следующие выражения:

$$a_0 = a_1 = a_2 = a_3 = b_0 = b_1 = b_2 = b_3 = c_0 = c_1 = c_2 = c_3 = 0;$$

$$C_{mn}^{(3)} = -\frac{\gamma_n}{k_{mn}} D_{mn}^{(1)}; \quad B_{mn}^{(2)} = \frac{\beta_m}{k_{mn}} k_{mn} a \operatorname{th} k_{mn} a D_{mn}^{(1)}; \quad C_{mn}^{(2)} = -\frac{\beta_m}{k_{mn}} D_{mn}^{(1)};$$

$$B_{mn}^{(3)} = \frac{\gamma_n}{k_{mn}} k_{mn} a \operatorname{th} k_{mn} a D_{mn}^{(1)}; \quad A_{mn}^{(1)} = -(3 - 4\nu + k_{mn} a \operatorname{th} k_{mn} a) D_{mn}^{(1)};$$

$$E_{ln}^{(3)} = -\frac{\gamma_n}{k_{ln}} F_{ln}^{(2)}; \quad E_{ln}^{(1)} = -\frac{\alpha_l}{k_{ln}} F_{ln}^{(2)}; \quad F_{ln}^{(1)} = -\frac{\alpha_l}{k_{ln}} E_{ln}^{(2)};$$

$$F_{ln}^{(3)} = -\frac{\gamma_n}{k_{ln}} E_{ln}^{(2)};$$

$$N_{ln}^{(2)} = -2(1 - \nu) E_{ln}^{(2)}; \quad M_{ln}^{(1)} = -\frac{\alpha_l}{k_{ln}} (1 - 2\nu) E_{ln}^{(2)};$$

$$M_{ln}^{(3)} = -\frac{\gamma_n}{k_{ln}} (1 - 2\nu) E_{ln}^{(2)};$$

$$M_{ln}^{(2)} = -[2(1 - \nu) - k_{ln} b \operatorname{cth} k_{ln} b] F_{ln}^{(2)} - k_{ln} b E_{ln}^{(2)};$$

$$V_{ln}^{(3)} = \frac{z_n}{k_{ln}} [k_{ln} b E_{ln}^{(2)} + (-1 + 2\nu + k_{ln} b \operatorname{cth} k_{ln} b) F_{ln}^{(2)}];$$

$$N_{ln}^{(1)} = \frac{z_l}{k_{ln}} [k_{ln} b E_{ln}^{(2)} + (-1 + 2\nu + k_{ln} b \operatorname{cth} k_{ln} b) F_{ln}^{(2)}];$$

$$H_m^{(2)} = -\frac{\beta_m}{k_{lm}} G_m^{(3)}; H_m^{(3)} = -\frac{z_l}{k_{lm}} G_m^{(3)}; G_m^{(1)} = -\frac{z_l}{k_{lm}} H_m^{(1)};$$

$$G_m^{(2)} = -\frac{\beta_m}{k_{lm}} H_m^{(1)};$$

$$L_{lm}^{(3)} = -2(1 - \nu) H_m^{(3)}; K_{lm}^{(1)} = -\frac{z_l}{k_{lm}} (1 - 2\nu) H_m^{(3)}; K_{lm}^{(2)} =$$

$$= -\frac{\beta_m}{k_{lm}} (1 - 2\nu) H_m^{(3)};$$

(8)

$$K_{lm}^{(3)} = -[2(1 - \nu) + k_{lm} b \operatorname{cth} k_{lm} b] G_m^{(3)} - k_{lm} c H_m^{(1)};$$

$$L_{lm}^{(2)} = \frac{\beta_m}{k_{lm}} [k_{lm} c H_m^{(3)} + (-1 + 2\nu + k_{lm} c \operatorname{cth} k_{lm} c) G_m^{(3)}];$$

$$L_{lm}^{(1)} = \frac{z_l}{k_{lm}} [k_{lm} c H_m^{(3)} + (-1 + 2\nu + k_{lm} c \operatorname{cth} k_{lm} c) G_m^{(3)}];$$

где

$$D_{mn}^{(1)} = \frac{b}{a} \frac{X_{mn}}{k_{mn} \operatorname{ch} k_{mn} a}; E_{ln}^{(2)} = \frac{z_{ln} - Y_{ln}}{2a_l}; H_{lm}^{(3)} = \frac{b}{c} \frac{V_{lm} - U_{lm}}{2a_l};$$

$$F_{ln}^{(2)} = \frac{1}{2a_l \operatorname{sh} k_{ln} b} [Y_{ln} (\operatorname{ch} k_{ln} b + 1) - z_{ln} (\operatorname{ch} k_{ln} b - 1)];$$

$$G_m^{(3)} = \frac{b}{c} \frac{1}{2a_l \operatorname{sh} k_{lm} c} [U_{lm} (\operatorname{ch} k_{lm} c + 1) - V_{lm} (\operatorname{ch} k_{lm} c - 1)].$$

Неизвестные постоянные $X_{lm}; Y_{ln}; Z_{ln}; U_{lm}; V_{lm}$ должны быть определены из следующих бесконечных систем линейных алгебраических уравнений

$$h_{mn} X_{mn} + \sum_{l=1}^{\infty} a_{lmn}^{(2)} Y_{ln} + \sum_{l=1}^{\infty} b_{lmn}^{(1)} U_{lm} = 0; (m, n, = 0, 2, 4 \dots);$$

$$h_{mn} X_{mn} + \sum_{l=1}^{\infty} a_{lmn}^{(1)} z_{ln} + \sum_{l=1}^{\infty} b_{lmn}^{(1)} V_{lm} = 0; (m, n, = 1, 3, 5 \dots);$$

$$f_{ln} Y_{ln} + \sum_{m=0, 2, \dots}^{\infty} a_{lmn}^{(2)} X_{mn} + \sum_{m=0, 2, \dots}^{\infty} b_{lmn}^{(2)} U_{lm} = 0; \left(\begin{matrix} l = 1, 2, \dots \\ n = 0, 2, 4, \dots \end{matrix} \right);$$

$$f_{ln} Y_{ln} + \sum_{m=0, 2, \dots}^{\infty} a_{lmn}^{(2)} X_{mn} + \sum_{m=0, 2, \dots}^{\infty} b_{lmn}^{(2)} V_{lm} = 0; \left(\begin{matrix} l = 1, 2, \dots \\ n = 1, 3, 5, \dots \end{matrix} \right);$$

$$d_{ln} z_{ln} + \sum_{m=1,3,\dots} a_{lmn}^{(2)} X_{mn} + \sum_{m=1,3,\dots} b_{lmn}^{(2)} U_{lm} = 0; \quad \left(\begin{array}{l} l=1, 2, \dots \\ n=0, 2, 4, \dots \end{array} \right) \quad (9)$$

$$d_{ln} z_{ln} + \sum_{m=1,3,\dots} a_{lmn}^{(1)} X_{mn} + \sum_{m=1,3,\dots} b_{lmn}^{(1)} V_{lm} = 0 \quad \left(\begin{array}{l} l=1, 2, \dots \\ n=1, 3, 5, \dots \end{array} \right);$$

$$c_{lm} U_{lm} + \sum_{n=0,2,\dots} a_{lmn}^{(3)} X_{mn} + \sum_{n=0,2,\dots} b_{lmn}^{(1)} V_{lm} = \frac{\nu}{2\nu-1} a_{ln} \quad \left(\begin{array}{l} l=1, 2, \dots \\ n=0, 2, 4, \dots \end{array} \right);$$

$$c_{lm} U_{lm} + \sum_{n=0,2,\dots} a_{lmn}^{(3)} X_{mn} + \sum_{n=0,2,\dots} b_{lmn}^{(1)} z_{ln} = \frac{\nu}{2\nu-1} a_{ln} \quad \left(\begin{array}{l} l=1, 2, \dots \\ n=1, 3, 5, \dots \end{array} \right);$$

$$e_{lm} V_{lm} + \sum_{n=1,3,\dots} a_{lmn}^{(3)} X_{mn} + \sum_{n=1,3,\dots} b_{lmn}^{(3)} z_{ln} = \frac{\nu}{2\nu-1} a_{ln} \quad \left(\begin{array}{l} l=1, 2, \dots \\ n=0, 2, 4, \dots \end{array} \right);$$

$$e_{lm} V_{lm} + \sum_{n=1,3,\dots} a_{lmn}^{(3)} X_{mn} + \sum_{n=1,3,\dots} b_{lmn}^{(3)} z_{ln} z = \frac{\nu}{2\nu-1} a_{ln} \quad \left(\begin{array}{l} l=1, 2, \dots \\ n=1, 3, 5, \dots \end{array} \right);$$

где a_{lm} — коэффициент разложения функции $f(x, y)$ в ряд Фурье, в области $(0 \leq x < a, 0 \leq y < b)$,

$$h_{mn} = \frac{b}{a} \frac{(3-4\nu) \operatorname{th} k_{mn} a - \frac{k_{mn} a}{\operatorname{ch}^2 k_{mn} a}}{k_{mn}};$$

$$f_{ln} = \frac{k_{ln}}{a_l} \frac{\operatorname{sh} k_{ln} b + k_{ln} b}{\operatorname{ch} k_{ln} b - 1}; \quad d_{ln} = \frac{k_{ln}}{a_l} \frac{\operatorname{sh} k_{ln} b - k_{ln} b}{\operatorname{ch} k_{ln} b + 1};$$

$$c_{lm} = \frac{b}{c} \frac{k_{lm}}{a_l} \frac{\operatorname{sh} k_{lm} c + k_{lm} c}{\operatorname{ch} k_{lm} c - 1};$$

$$e_{lm} = \frac{b}{c} \frac{k_{lm}}{a_l} \frac{\operatorname{sh} k_{lm} c - k_{lm} c}{\operatorname{ch} k_{lm} c + 1}; \quad a_{lmn}^{(1)} = \frac{4(-1)^{m+l-1} \beta_m^2 - \nu(\beta_m^2 + k_{ln}^2)}{a(\beta_m^2 + k_{ln}^2)^2}$$

$$b_{lmn}^{(1)} = \frac{4(-1)^{l+n-1} \gamma_n^2 - \nu(k_{lm}^2 + \gamma_n^2)}{a(\gamma_n^2 + k_{lm}^2)^2};$$

$$a_{lmn}^{(2)} = \frac{8(-1)^{l-1} \cdot a_l}{b(a_l^2 + k_{mn}^2)} \left(\nu - \frac{\beta_m^2}{a_l^2 + k_{mn}^2} \right);$$

$$b_{lmn}^{(2)} = \frac{8(-1)^n \cdot \nu a_l^2 k_{lm}^2 + \gamma_n^2(\beta_m^2 + \nu a_l^2)}{b \cdot a_l (k_{lm}^2 + \gamma_n^2)^2};$$

$$a_{lmn}^{(3)} = \frac{8(-1)^{l-1} \cdot a_l}{c(a_l^2 + k_{mn}^2)} \left(\nu - \frac{\gamma_n^2}{a_l^2 + k_{mn}^2} \right);$$

(10)

$$b_{lmn}^{(3)} = \frac{8(-1)^m}{c\alpha_l} \cdot \frac{\nu\alpha_l^2 k_{ln}^2 + \beta_m^2 (\gamma_n^2 + \alpha_l^2)}{(\beta_m^2 + k_{ln}^2)^2}$$

Докажем регулярность бесконечных систем (9). Для суммы абсолютных значений коэффициентов уравнений первой бесконечной системы (9) будем иметь:

$$S_{mn}^{(1)} = \sum_{l=1}^{\infty} \left| \frac{a_{lmn}^{(1)}}{h_{mn}} \right| + \sum_{l=1}^{\infty} \left| \frac{b_{lmn}^{(1)}}{h_{mn}} \right| = \frac{(1+2\nu) \operatorname{th} k_{mn}a - \frac{k_{mn}a(1-2\nu)}{\operatorname{ch}^2 k_{mn}a}}{(3-4\nu) \operatorname{th} k_{mn}a - \frac{k_{mn}a}{\operatorname{ch}^2 k_{mn}a}}$$

$$\lim_{m \rightarrow \infty} S_{mn}^{(1)} = \frac{1+2\nu}{3-4\nu} < 1; \text{ при } \left(0 < \nu < \frac{1}{3} \right),$$

или
 $n \rightarrow \infty$

Подставляя из первой системы (9) X_{mn} в третью систему, получаем новую систему для Y_{ln} и U_{lm}

$$f_{ln}Y_{ln} - \sum_{m=0,2,\dots} a_{lmn}^{(2)} \left(\sum_{l=1}^{\infty} \frac{a_{lmn}^{(1)}}{h_{mn}} Y_{ln} + \sum_{l=1}^{\infty} \frac{b_{lmn}^{(1)}}{h_{mn}} U_{lm} \right) + \sum_{l=1}^{\infty} b_{lmn}^{(2)} U_{lm} = 0. \quad (12)$$

Для суммы абсолютных значений коэффициентов системы (12) будем иметь оценку

$$S_{ln}^{(2)} = \frac{1+2\nu}{3-4\nu} \cdot \frac{\alpha_l^2}{k_{ln}} \left[\frac{16}{b} \sum_{m=0,2,\dots}^{\infty} \frac{\nu k_{ln}^2 - (1-\nu)\beta_m^2}{(\beta_m^2 + k_{ln}^2)^2} + (1-2\nu) \operatorname{cth} \frac{k_{ln}b}{2} - \frac{4\nu}{k_{ln}b} - \frac{k_{ln}b}{2 \operatorname{sh}^2 \frac{k_{ln}b}{2}} \right] - \left[1 - (1-2\nu) \frac{\alpha_l^2}{k_{ln}^2} \right] \operatorname{cth} \frac{k_{ln}b}{2} + \frac{4\nu\alpha_l^2}{bk_{ln}^3} - \frac{\alpha_l^2 b}{2k_{ln} \operatorname{sh} \frac{k_{ln}b}{2}}.$$

Для конечной суммы

$$S_{ln}^{(m_0)} = \frac{16\alpha_l^2}{bk_{ln}} \sum_{m=0,2,\dots}^{m_0} \frac{\nu k_{ln}^2 - (1-\nu)\beta_m^2}{(\beta_m^2 + k_{ln}^2)^2}$$

Имеем оценку (2)

$$S_{ln}^{(m_0)} < \frac{4}{\pi} \frac{\alpha_l^2}{k_{ln}^2} \left[\sqrt{\nu(1-\nu)} - (1-2\nu) \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{\nu}{1-\nu}} \right]. \quad (13)$$

Имея в виду (13), для $S_{ln}^{(2)}$ получаем оценку

$$S_{ln}^{(2)} < \left[1 - \frac{2(1-2\nu)(1-3\nu)}{3-4\nu} \frac{\alpha_l^2}{k_{ln}^2} \right] \operatorname{cth} \frac{k_{ln}b}{2} + \frac{8\nu\alpha_l^2}{bk_{ln}^3} \cdot \frac{1-3\nu}{3-4\nu} + \frac{1+2\nu}{3-4\nu} \frac{\alpha_l^2}{k_{ln}^2} \cdot \frac{4}{\pi} \left[\sqrt{\nu(1-\nu)} - (1-2\nu) \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{\nu}{1-\nu}} \right] -$$

$$= \frac{k_{in}b}{2\operatorname{sh}^2 \frac{k_{in}b}{2}} \left| \frac{\gamma_n^2}{k_{in}^2} + \frac{(1+2\nu)}{3-4\nu} \cdot \frac{\alpha_l^2}{k_{in}^2} \right|;$$

$\lim S_n^{(2)} \leq 1$; при $(0 < \nu < 0,25)$;

или $n \rightarrow \infty$
или $l \rightarrow \infty$

Нетрудно заметить, что свободные члены бесконечной системы (9) будут ограничены сверху и имеют порядок не ниже чем $\frac{1}{k_{in}}$, если внешняя нагрузка удовлетворяет условиям Дирихле (2).

Ереванский политехнический институт

Ա Ր ՈՒԼՆԵՐՆԵՐ

Ուղղանկյուն պրիզմայի առանցքային հաճախակցությունը մեկ խառը խնդրի մասին

Դիտարկվում է ուղղանկյուն պրիզմայի առանցքային հաճախակցություն մեկ խառը խնդիր: Կրթ պրիզմայի ($y = 0, b, z = 0, c$) կողմնային շարժումների վարժումը են լարումները, իսկ ($x = \pm a$) հիմքերի վրա՝ տեղափոխումները:

Լամբյի հաճախումների լուծումը փնտրվում է Ֆուրիե կրկնակի շարքերի տեսքով: Որոշ պարունակում են անհայտ գործակիցների հիպերբոլա-հոսանքային աշխատանքային: Այդ գործակիցների որոշումը բերվում է դժային հաճախումների մեղմումը սխեմաների լուծման, որոշ է տրվում: Եր այդ սխեմաները կվազի-սեղույթը են և ունեն ղերելից սահմանափակ և դրանի ձգտող ազատ տեղումներ:

ЛИТЕРАТУРА — Կ Ր ՈՒ Ն Ն Ե Ր Ն Ե Ր Ն

¹ А. А. Баблюк, С. М. Саакян, «Известия АН Арм ССР», серия физ.-мат. наук, т. XVII, № 6 (1964). ² Л. В. Кантарович, В. И. Крылов, Приближенные методы высшего анализа, Гостехиздат, 1950. ³ С. М. Саакян, ДАН Арм ССР, т. XI, № 1 (1965).

В. С. Адамов, Л. Г. Кантарджян, Э. А. Оганов и С. С. Чиркинян

Влияние перепоглощения на затухание фосфоресценции борных фосфоров при импульсном световом возбуждении

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Г. М. Гарибяном 10/III 1965)

Для объяснения закономерностей длительного свечения органических молекул обычно привлекается трехуровневая схема энергетических состояний, предложенная Яблонским. Расчет кинетики свечения, проведенный Б. Я. Свешниковым ⁽¹⁾ на основе этой схемы, без учета вторичных процессов, вызываемых конечностью геометрических размеров светящегося объема, привел к однородным дифференциальным уравнениям второго порядка с постоянными коэффициентами для заселенностей метастабильного и флуоресцентного уровней. Поэтому зависимость скорости изменения чисел молекул от времени и, соответственно, закон послесвечения как для α -, так и для β -фосфоресценции был получен в виде суммы двух экспонент, декремент затухания одной из которых по порядку величины равен среднему времени жизни молекулы на флуоресцентном уровне. Таким образом, для времен, много превосходящих время жизни молекулы во флуоресцентном состоянии ($t \gg \tau_f$), следовало бы ожидать экспоненциального хода затухания экспериментальной кривой длительного свечения, тогда как неэкспоненциальность свидетельствовала бы либо о нарушении условий, ограничивающих справедливость уравнений Б. Я. Свешникова (реабсорбция, разные светящиеся центры и др.), либо о недостаточности схемы Яблонского.

Закон затухания длительного свечения органических молекул исследовался многими авторами, причем в большинстве более поздних работ получены отклонения закона затухания от экспоненты. В работах ⁽²⁻⁴⁾ неэкспоненциальность кривой затухания объясняется недостаточностью трехуровневой схемы Яблонского для исследованных молекул и делается соответствующее уточнение схемы путем введения в нее нескольких метастабильных уровней, появляющихся в результате взаимодействия метастабильной молекулы со средой ⁽⁴⁾.

С другой стороны, в работах ^(5,6) было показано, что неэкспоненциальность длительного послесвечения молекул можно объяснить

и в рамках трехуровневой схемы Яблонского, если учесть процессы перепоглощения, имеющие место в любом реальном объекте исследования из-за конечности его размеров и значительного перекрытия спектров поглощения с коротковолновой частью спектра фосфоресценции.

Зависимость плотности возбужденных молекул на флуоресцентном и метастабильном уровнях от времени, полученная в работе (2) с учетом K -кратного перепоглощения α -фосфоресценции, выражается формулой

$$n^k(\xi_0, t) = e^{-\lambda_1 t} \sum_{m=0}^k a_m^k t^m + e^{-\lambda_2 t} \sum_{m=0}^k b_m^k t^m, \quad (1)$$

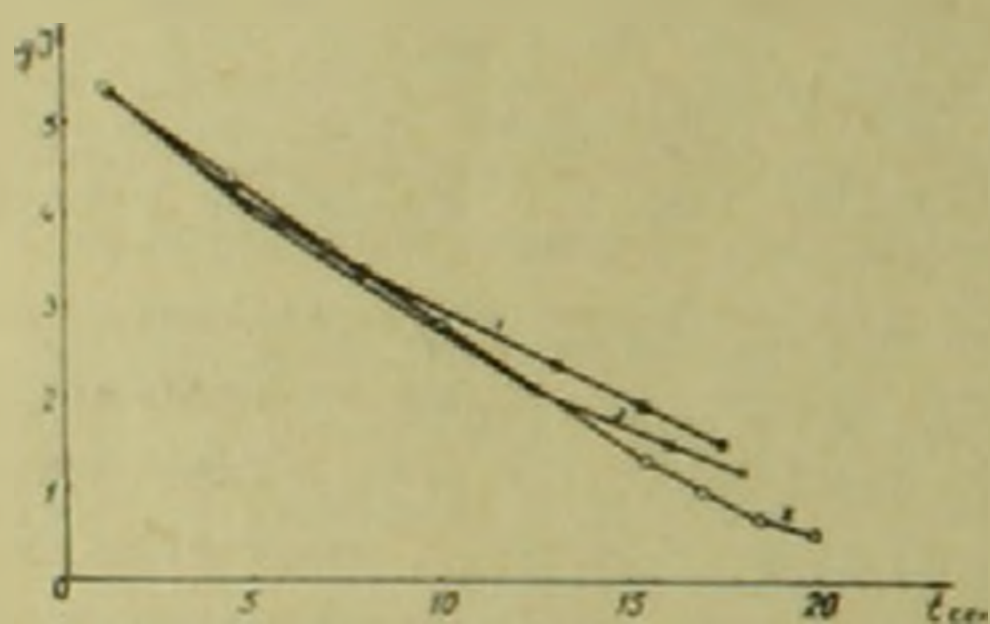
где время t отсчитывается от момента выключения внешнего возбуждения. ξ_0 — расстояние от первого слоя со стороны возбуждения до слоя, в котором определяется плотность возбужденных молекул, $\lambda_1, \lambda_2, a_m^k, b_m^k$ — не зависящие от времени величины, определяемые вероятностями переходов в трехуровневой схеме Яблонского и числом возбужденных молекул на соответствующем уровне при $t = 0$. Возрастающие со временем полиномы в формуле (1) показывают, что затухание фосфоресценции при наличии перепоглощения должно иметь более медленное спадание, чем экспоненциальное, получаемое в случае отсутствия перепоглощения.

Настоящая работа предпринята с целью получить экспериментальное подтверждение влияния перепоглощения на кинетику затухания длительного свечения, а также качественного сравнения временного хода экспериментальных кривых с формулой (1).

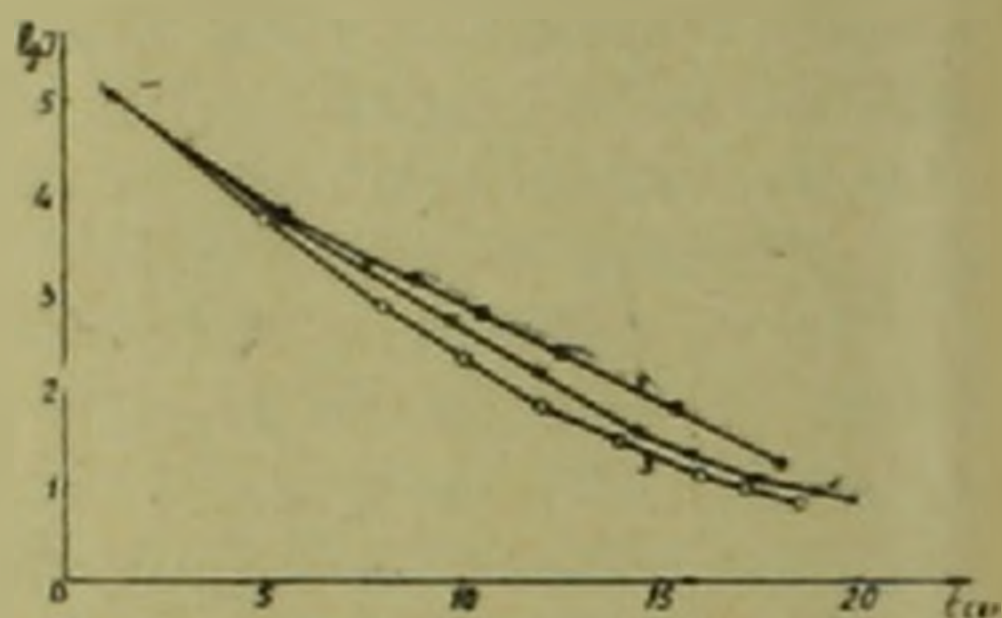
Исследованы образцы борных перлов, активированные флуоресцентном, разных концентраций и толщины. Образцы возбуждались нефiltroванным светом импульсной лампы ИФК-120. В схему зажигания импульсной лампы был включен электрический секундомер, который запускался одновременно со вспышкой. После освещения образца светом импульсной лампы образец поворачивался освещенной стороной к фотоумножителю ФЭУ-14Б, после чего открывался фотозатвор, расположенный между образцом и фотоумножителем. Одновременно с открыванием фотозатвора электрический секундомер останавливался. Таким образом, секундомер позволял определить промежуток времени от начала возбуждения до момента открывания фотозатвора. Фототок подавался на катодный осциллограф С1-4, время развертки которого было равно 10 сек. Осциллограммы кривых затухания фотографировались. Для выделения α - и β -полос фосфоресценции перед ФЭУ устанавливались соответственно светофильтры СС-5 и ЖЗС-1. Каждая кривая затухания определялась в несколько приемов: при небольшой чувствительности установки регистрировалось затухание в первые 5—7 сек., затем чувствительность несколько повышалась и регистрировалось затухание следующего ин-

тервала в 5 — 7 сек. и т. д. Осциллограммы разных временных участков затухания для одного и того же образца сшивались. Чувствительность установки на каждом участке затухания подбиралась такой, чтобы фототок от послесвечения „глухого“ образца не регистрировался. Чтобы убедиться, что при изменении чувствительности установки форма кривой затухания не искажается, а также с целью проверки воспроизводимости установки, отдельные временные участки кривой затухания были нами определены несколько раз при одной и той же чувствительности и при разных чувствительностях установки. При этом были получены совпадающие (с точностью 8 — 12%) значения для скоростей затухания, определенных по углу наклона к оси абсцисс кривых затухания, нанесенных в полулогарифмическом масштабе.

Полученные нами кривые затухания α -, β -полос и суммарной фосфоресценции для трех образцов: $C = 10^{-5}$ г/г, $l = 23$ мм, $C = 10^{-4}$ г/г, $l = 1,3$ мм и $C = 10^{-4}$ г/г, $l = 23$ мм не дали сколько-нибудь значительного изменения хода затухания от соответствующих кривых для образца $C = 10^{-5}$ г/г, $l = 2,7$ мм, поэтому они не включены в рисунки.



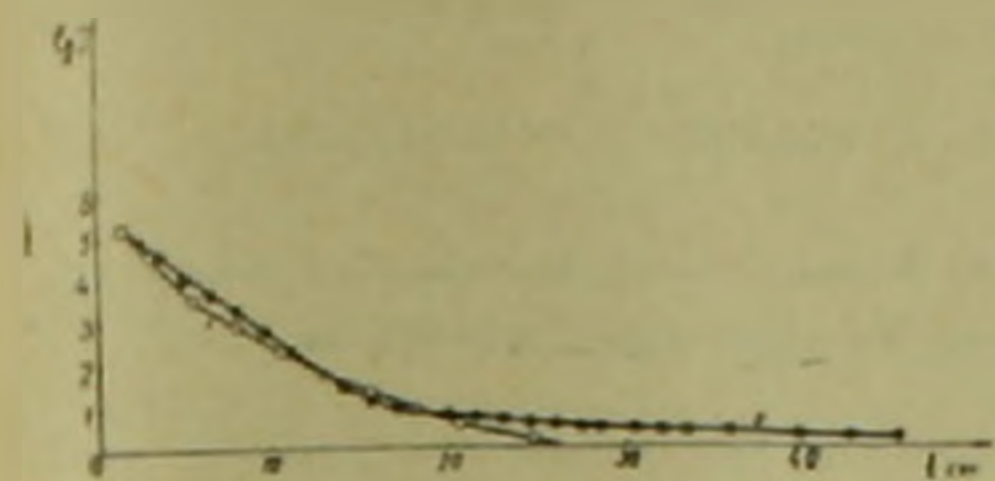
Фиг. 1. Законы затухания α -полосы длительного свечения борных перлов, активированных флуоресценном для образцов различной толщины и концентрации красителя. 1 — $C = 10^{-5}$ г/г, $l = 2,7$ мм; 2 — $C = 10^{-3}$ г/г, $l = 1,3$ мм; 3 — $C = 10^{-3}$ г/г, $l = 28$ мм.



Фиг. 2. Законы затухания β -полосы длительного свечения борных перлов, активированных флуоресценном: кривые 1, 2, 3, соответственно принадлежат образцам, указанным на фиг. 1.

На фиг. 1 в полулогарифмическом масштабе приведены кривые затухания α -фосфоресценции. Кривая 1 соответствует образцу $C = 10^{-5}$ г/г, $l = 2,7$ мм, в котором реабсорбция должна практически отсутствовать. Максимальная реабсорбция α -полосы фосфоресценции среди всех исследованных нами образцов, имеет место в образце $C = 10^{-4}$ г/г, $l = 28$ мм (кривая 3). Затухание β -фосфоресценции этих же образцов показано соответствующими кривыми на фиг. 2. Как видно из кривых 1 на фиг. 1 и 2, даже в случае практического отсутствия в образце перепоглощения α -полосы, как α -, так и β -фосфоресценции обнаруживают заметное отклонение хода затухания от экспоненциального. Кривая 1 на фиг. 1 имеет три участка, а кривая 1 на фиг. 2 имеет два участка.

вая 1 на фиг. 2 два участка с отличающимися скоростями затухания, причем скорости затухания обеих кривых на далеких стадиях уменьшаются примерно на 40% по сравнению со скоростями первых стадий. Влияние перепоглощения на закон затухания α - и β -полос фосфоресценции сводится к изменению скоростей затухания отдельных участков, приводя, как видно из сравнения кривых 2 и 3 на фиг. 1 и 2 с кривыми 1, к некоторому увеличению скорости на ранних стадиях и к более чем трехкратному ее уменьшению на поздних стадиях затухания. Сравнение кривых фиг. 1 с кривыми фиг. 2 показывает также, что влияние реабсорбции на характер затухания α - и β -полос фосфоресценции в основном одинаково. Учитывая последнее обстоя-



фиг. 3. Законы затухания суммарного длительного свечения борных перлов, активированных флуоресценцией: 1 — $C = 10^{-3}$ г/г, $l = 2,7$ мм; 2 — $C = 10^{-3}$ г/г, $l = 28$ мм.

тельством, мы определили законы затухания суммарной фосфоресценции двух образцов: $C = 10^{-3}$ г/г, $l = 2,7$ мм и $C = 10^{-3}$ г/г, $l = 28$ мм, позволяющие проникнуть в далекие стадии затухания. Соответствующие кривые представлены на фиг. 3. На этом рисунке хорошо видно „затягивающее“ влияние перепоглощения на закон затухания, приводящее к чрезвычайно медленной скорости спадания на далеких стадиях затухания. В результате сум-

марное послесвечение образца, в котором происходит значительное перепоглощение, имеет общую продолжительность более 80 сек., тогда как свечение образца, в котором перепоглощение практически отсутствует, прекращается на 26 сек., при одинаковой чувствительности установки и равных интенсивностях на начальных стадиях затухания.

Экспериментально установленное для далеких стадий значительное уменьшение скорости затухания у образцов с большим перепоглощением качественно согласуется с формулой (1), вместе с тем последняя не предусматривает некоторого увеличения скорости затухания на ранних стадиях, а также небольшого различия кривых затуханий α - и β -полос. Сказанное позволяет сделать некоторые предварительные выводы в отношении результатов, которые могут быть получены при попытке более детального сопоставления экспериментальных данных с формулой (1). Известно, что перепоглощение люминесценции сопровождается перераспределением возбужденных молекул по электронно-колебательным уровням, что приводит к усечению коротковолновой полосы излучения и соответствующему сдвигу максимума спектра в длинноволновую сторону. При наличии заметной зависимости времени жизни молекулы на возбужденном уровне от запаса колебательной энергии учет влияния перепоглощения на кинетику свечения, даваемый формулой (1), которая выведена без при-

вращения колебательной структуры энергетических уровней, вряд ли окажется достаточно удовлетворительным. Учет колебательной структуры энергетических уровней, несомненно, улучшит формулу (1) и в частном случае отсутствия переноса флуоресценции, не снимая при этом необходимости введения в рассмотрение для некоторых объектов исследования нескольких электронных метастабильных уровней, появляющихся в результате расщепления триплетного уровня молекулы при взаимодействии со средой ⁽⁴⁾ либо принадлежащих разным центрам свечения ⁽⁵⁾.

Институт радиофизики и электроники
Академии наук Армянской ССР

Վ. Ս. ԱՄԻՐՈՎ, Լ. Տ. ՂԱՆՔԱՆՅԱՆ, Է. Ա. ՕԳԱՆՈՎ, Ս. Ս. ԶԻՐՔԻՆՅԱՆ

Վերականգնման ազդեցությունը բորային ֆոսֆորների ֆոսֆորենցենցիայի մաքման վրա իմպուլսային լույսով գրգռելու դեպքում

Հետազոտվել են կցանով հաստատուն հոսանքի կատողային օսցիլոգրաֆի ազնայությամբ հասցված ևն ֆլուորենցենցիանով ազդեցված բորային մարգարիտի 3- և 5-շերտերի ֆոսֆորենցենցիայի մաքման օրենքի օսցիլոգրամները: Հետազոտված ևն առերևի հաստատության և կոնցենտրացիայի նմուշները Դրոգունով կատարվել է 11ՓԿ—120 իմպուլսային լույսով:

Ստացված էքզերիմենտալ տվյալները համադրվել են առկա Ներթ-դուգանի վերջնական հաստատության ունեցող շերտի համար հաղված ֆոսֆորենցենցիայի մաքման օրենքի առկա կարի 3-շերտի վերականգնման գնագրում:

ЛИТЕРАТУРА — ԴՐԱՇԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Б. Я. Свешников, Докторская диссертация, ФИАН, 1951.
2. П. Принсгейм и Г. Вогельс, J. phys. et. radium, 8, 121 (1937).
3. С. Като и М. Коицуми, Bull. Chem. Soc. (Japan) 30, 27, (1957).
4. В. А. Пилипович и Б. Я. Свешников, Опт. и спектр., 5, 290 (1958).
5. В. С. Адамов и Л. Т. Кантарджян, Опт. и спектр., 13, 100, (1962).
6. Ю. В. Конобеев, Опт. и спектр., 15, 375 (1963).
7. В. В. Бредель, ДАН СССР, 1, 103, 787 (1955).

БИОХИМИЯ

Г. В. Барсегян

Количественное определение свободного этаноламина в животных тканях пара-бензохиноном

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР С. А. Мирзояном 4/III 1965)

Исходя из важного биологического значения этаноламина его количественное определение в животных тканях представляет большой интерес.

Триер в 1911 г. предложил метод определения этаноламина путем образования им комплексного соединения с золотом ⁽¹⁾. Чаргафф применял динодсалициловую экстракцию этаноламина из продуктов гидролиза фосфатидов ⁽²⁾. В последующие годы количественное определение этаноламина производилось периодатным методом, который впервые был предложен Николэ и Шинном ⁽³⁾. Периодатный метод, сущность которого заключается в определении количества образовавшегося аммиака из этаноламина в присутствии периодата (H_2IO_6), был применен Рамси и Стюартом ⁽⁴⁾, Бурмастером ⁽⁵⁾, Флэри и Гитаром ⁽⁶⁾, Артомом ⁽⁷⁾, Фишманом и Артомом ⁽⁸⁾, Камалыном ⁽⁹⁾. Недостаток периодатного метода заключается в его неспецифичности, так как вместе с этаноламином в реакцию вовлекается и серин.

Открытие и совершенствование хроматографии создало ряд новых методов для количественного определения этаноламина. Какнингидрин — положительное вещество, этаноламин был идентифицирован обычным методом определения аминокислот. Меджи и др. обнаружили этаноламин в гидролизатах фосфатидов методом хроматографии на бумаге при использовании в качестве растворителя смеси метил-этил-кетона, метил-целлосольва и уксусной кислоты в определенных соотношениях ⁽¹⁰⁾. Для лучшего разделения этаноламина часто применяется двухмерная хроматография, так как его R_f близок к таковым других аминокислот.

Некоторыми авторами этаноламин определялся методом хроматографии на колонках с использованием различных ионообменных смол Дауэкс-50, Зео-Карб и др. ⁽¹¹⁻¹³⁾. Несмотря на чувствительность хроматографического метода, его сложность, продолжительность и необходимость для этих редких реактивов лишает исследователей воз-

возможности широко применять его для этой цели. Исходя из этого, мы поставили перед собой задачу разработать более простой, но чувствительный метод количественного определения этаноламина в животных тканях. При разработке нашего метода мы исходили из того, что этаноламин вступает в специфическую реакцию с пара-бензохиноном с образованием оранжево-красного окрашивания. Как показали наши исследования, другие аминоспирты, аминокислоты, адреналин, серотонин и даже производные этаноламина, как фосфоэтаноламин, не дают этой специфической реакции. Для проверки специфичности предложенного нами метода мы провели также исследования с экстрактами печени с предварительным разделением этаноламина методом хроматографии на бумаге. Результаты этих опытов показали, что, кроме этаноламина, другие метаболиты не реагируют с пара-бензохиноном.

Сущность метода заключается в экстрагировании этаноламина из животных тканей с последующей цветной реакцией с пара-бензохиноном. Для экстракции мы использовали этиловый или бутиловый спирты, в которых этаноламин хорошо растворяется. Цветная реакция с пара-бензохиноном развивается не сразу. При хранении реакционной смеси в темном месте при 37°C через 1,5 часа образуется стойкое оранжево-красное окрашивание.

Навеска исследуемой ткани (например, 1 г печени) переносится в ступку, растирается и высушивается в вакуумном эксикаторе над CaCl_2 . Процесс высушивания можно проводить также продуванием холодного воздуха. Необходимо избегать притока теплого воздуха, с целью предотвращения испарения этаноламина. Даже при применении холодного воздуха процесс высушивания надо заканчивать в эксикаторе.

После высушивания ткань растирают в порошок и количественно переносят в колбочку, куда наливают 5 мл этилового или бутилового спирта, колбу прикрывают и оставляют стоять на ночь (12—16 часов) для полного экстрагирования этаноламина. Затем содержимое колбочек переносят в центрифужные пробирки, а колбочки дважды прополаскивают 1 мл спирта, который переливают в пробирки. Центрифугирование в течение 15 мин. производится при 2000 xg . Надосадочную жидкость наливают в 10-миллилитровую градуированную пробирку, а к осадку приливают 1 мл спирта, содержимое пробирки тщательно перемешивают, вновь центрифугируют и надосадочную жидкость приливают к основному экстракту. Промывание осадка повторяют трижды. К экстракту этаноламина добавляют точно 0,2 мл раствора пара-бензохинона, объем раствора доводят до 10 мл спиртом, перемешивают и оставляют в затемненном термостате при 37°C в течение 1,5 часа. В указанное время образуется оранжево-красное окрашивание. Одновременно ставится контрольный опыт, состоящий из 9,8 мл этилового или бутилового спирта и 0,2 мл раствора пара-бензохинона; фотометрирование опытной пробы производят в фотоэлектроколориметре против слепой пробы (фильтр синий, кювета 1 см). Количественный расчет этаноламина производится по заранее составленной калибровочной кривой с использованием точных растворов этаноламина.

Пара-бензохинон представляет собой желтые игольчатые кристаллы. Его можно выкристаллизовать из бензола и желательно хранить в темной склянке. Растворы пара-бензохинона готовятся непосредственно перед употреблением следующим образом: 100 мг пара-бензохинона растворяют в 10 мл смеси, состоящей из 8 мл N-бутилового спирта и 2 мл пиридина.

Количество свободного этаноламина, определенного нашим методом в тканях белых крыс, соответствует литературным данным. Для проверки предлагаемого метода мы поставили опыты по воспроизводству этаноламина. С этой целью к печеночным гомогенатам белых крыс добавляли разные количества этаноламина, который определялся с удовлетворительной точностью. В табл. I приводятся эти данные.

Как видно из данных табл. I, количество добавленного этаноламина почти полностью воспроизводится этим методом.

Высокая чувствительность нашего метода выражается в порядке 0,5—1 мкг.

Таблица I

Воспроизводимость этаноламина при его добавлении к печени белых крыс

Количество добавленного этаноламина в мкг	Количество найденного этаноламина в мкг	Воспроизведенный этаноламин	
		в мкг	в % от добавленного
0	27,5	—	—
20	46,2	19,7	98,7
40	67,5	40	100
60	85,0	57,5	95,8
80	102,5	75,0	93,7
100	126,2	98,7	98,7

Таким образом, предложенным нами несложным методом можно с большой точностью определить количество свободного этаноламина в животных тканях. Этим же методом можно пользоваться для определения этаноламина в гидролизатах фосфатидов.

Ереванский зоотехническо-ветеринарный институт

Գ Վ. ՔԱՐԱՆՂՅԱՆ

Կենդանական հյուսվածքներից ազատ էքստրակտների սրտումը պարու-բենզոլիմիդով

էքստրակտներ լայնորեն տարածված է կենդանական աշխարհում: Նա օրգանիզմում գտնվում է ինչպես ազատ, այնպես էլ կապված վիճակում, հատկապես ֆոսֆատիդների կազմում: Բազմաթիվ հետազոտություններով ցույց է տրվել էքստրակտների կարևոր փնդոգիական դերը: Նրա քանակական որոշումը կենդանական օրգանիզմի հյուսվածքներում ունի որոշակի նշանակություն: Էքստրակտների քանակական որոշման միջև հիմա գոյություն ունեցող եղանակներն իրենց անհետաքննելի կամ ծանրակշիռության պատճառով չեն կարողացել լայն կիրառում գտնել գիտահետազոտության և կլինիկական աշխատանքի մեջ:

տազոտակա շրջաններում, այդ իսկ պատճառով մեր առաջ խնդիր դրեցինք մշակել կենդանական հյուսվածքներում ազատ էթանոլամինի որոշման մատչելի և ճշգրիտ եղանակ:

Մեր կողմից առաջարկված էթանոլամինի որոշման եղանակի սկզբունքը այն է, որ էթանոլամինը տալիս է յուրահատուկ գունավորման ունակցիտ պարա-րենզոխինոնի հետ: Ընդհանուր առմամբ տվեցին մեր հետազոտությունները, բացի էթանոլամինից, օրգանիզմում գտնվող մյուս միացությունները չեն տալիս այդ բնորոշ ունակցիտ:

Էթանոլամինի որոշման համար հետազոտվող հյուսվածքը տրորում են, չորացնում, ալկոհոլով հետո հյուսվածքի փոշու վրա ավելացնում են էթիլ կամ բուտիլ սպիրտ (էթանոլամինը էքստրակցիայի ենթարկելու համար) և թողնում են 12—16 ժամ, որից հետո ցենտրաֆուգում են և վերել հեղուկի վրա ավելացնում են պարա-րենզոխինոնի լուծույթ: Ստացված խառնուրդը 1,5 ժամը ընթացքում պահում են մթացրած թերմոստատի մեջ 37°-ում, որի հետևանքով առաջանում է կարմրա-նարնջագույն գունավորում: Դունավոր լուծույթը ֆատոմետրում են և էթանոլամինի համարի թանակներով նախորոք կազմած կորագծի օղևաթյամբ որոշում են հետազոտվող հյուսվածքում ազատ էթանոլամինի քանակը:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ *Труер*, Z. *Physiol. Chem.* 76, 496, 1911—12. ² *Чаргаф*, *Зиф*, *Риттенберг*, J. *Biol. Chem.* 138, 439, 1941. ³ *Николэ*, *Шинн*, J. *Biol. Chem.*, 139, 687, 1941. ⁴ *Рамси*, *Стьюарт*, *Biochem. J.* 35, 39, 1941. ⁵ *Бурмастер*, J. *Biol. Chem.*, 165, 1—6, 1946. ⁶ *Флэри*, *Гитар*, *Bull. Soc. Chem. Biol.*, 28, 651, 1946. ⁷ *Артом*, J. *Biol. Chem.*, 157, 585, 1945. ⁸ *Фишман*, *Артом*, *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 60, 288, 1945. ⁹ *Г. В. Камалян*, Диссертация, 1952, Ереван. ¹⁰ *Мэдж*, *Бейкер*, *Томпсон*, *Biochem. Biophys. Acta*, 40, 118, 1960. ¹¹ *Стейн*, J. *Biol. Chem.* 201, 45, 1953. ¹² *Декст*, *Фойлер*, *Вэлыш*, *Biochem. J.* 48, 13, 1951. ¹³ *Лак*, *Вилькоккс*, J. *Biol. Chem.* 205, 859, 1953. ¹⁴ *Блау*, *Biochem. J.* 80, 193, 1961.

БИОХИМИЯ

Г. Х. Бунятыан, академик АН Армянской ССР, и А. А. Симонян

Окислительное фосфорилирование в митохондриях мозга
 куриного эмбриона в течение его развития

(Представлено 30 IV 1965)

Развитие зародыша связано с потреблением большого количества энергии. В этом отношении значительный интерес представляет динамика окислительного фосфорилирования в различных тканях зародыша при его развитии.

В настоящем сообщении приводятся результаты наших исследований, посвященных изучению динамики соотношения окисления и фосфорилирования (Р/О) и активности аденозинтрифосфатазы в митохондриях мозга куриного эмбриона в течение его развития.

Опыты ставились с 13 дня развития эмбриона до вылупления цыпленка. Для сравнения изучалось также окислительное фосфорилирование митохондрий мозга 1—2-дневных цыплят и зрелых птиц (петух). Возраст эмбриона определялся по срокам инкубации и корректировался по таблицам морфологического развития Лилли⁽¹⁾.

Исследования проводились на эмбрионах кур породы белый леггорн.

Зародыш быстро обезглавливали, извлекали мозг и освобождали от оболочек, кровь удаляли фильтровальной бумагой, смоченной в растворе 0,25 М сахарозы. Для каждого опыта брали 5—6 г мозгового вещества, полученного из нескольких зародышей. Без предварительного измельчения мозг гомогенизировали стеклянным гомогенизатором типа Поттера с вращающимся тефлоновым пестиком в 0,25 М растворе сахарозы, при соотношении 1:9, в течение 20 секунд. Клеточные фракции отделяли дифференциальным центрифугированием, методом Манделя и других⁽²⁾ с некоторыми модификациями.

Ядра и цитоплазматические обломки клетки отделяли центрифугированием при 800—900 x g в течение 12 мин., а митохондрии — при 15000 x g в течение 15 мин. Чистоту митохондриальной фракции проверяли морфологическим и энзиматическим способами: фазово-контрастным микроскопом и определением активности сукцинатдегидрогеназы по методу Ваттенберга и Леонга⁽³⁾.

Морфологический контроль показал, что митохондриальная фрак-

ция состоит из цельных маленьких и крупных митохондрий. В некоторых случаях обнаруживались обломки миелиновых оболочек.

Все операции, начиная с гомогенизации ткани до выделения митохондрий, проводили при температуре 0—3°. Конечный осадок митохондрий суспензировали в 0,25 М растворе сахарозы и вносили в соответствующую реакционную смесь.

Изолированные митохондрии инкубировали в течение 1 часа при 26°. Инкубационная смесь содержала (в $\mu\text{мольях}$): субстрат окисления—50 (сукцинат, глутамат и α -кетоглутарат), фосфат калия—40, KCl—100, MgCl_2 —10, глюкоза—150, АТФ—3 и 0,5—0,75 $\mu\text{г}$ гексокиназы. Конечный объем 2,0—2,2 мл, pH—7,4. Митохондрии добавляли из расчета на 500 $\mu\text{г}$ свежей ткани.

Поглощение кислорода определяли в аппарате Варбурга (¹).

Неорганический фосфат определяли по методу Лоури и Ловеза (²), модифицированному В. П. Скулачевым (³).

АТФ-азную активность определяли по приросту неорганического фосфора. Инкубационная смесь для определения активности фермента содержала 1,6 мл 0,25 М раствора сахарозы, 0,2 мл АТФ (20 $\mu\text{г}$ АТФ в 1 мл), pH инкубационной смеси 7,4. Температура инкубации 26°, время 30 минут.

Все полученные данные рассчитаны на 1 $\mu\text{г}$ белка. Белок определяли методом Лоури и др. (⁴).

Результаты исследований показывают, что соотношение поглощенного кислорода митохондриями мозга куриного эмбриона и эстерифицированного фосфата с 13 дня развития до вылупления цыпленка постепенно уменьшается (табл. 1). Так, на 13-й день инкубации P/O при окислении сукцината составляет $1,92 \pm 0,104$, на 14-й — $1,83 \pm 0,057$, затем, постепенно понижаясь, на 20-й день доходит до $0,79 \pm 0,022$. У однодневных цыплят оно равняется $0,85 \pm 0,045$. У зрелых птиц P/O снова повышается, составляя $1,92 \pm 0,063$. Полученные результаты свидетельствуют, что уровень окислительного фосфорилирования, начиная с начала плодной стадии, постепенно понижается.

Количество поглощенного кислорода митохондриями мозга в течение развития зародыша прогрессивно увеличивается. Так, на 13-й день развития эмбриона количество поглощенного кислорода митохондриями мозга составляет $1,92 \pm 0,101$ $\mu\text{катома}$, на 14-й день — $2,07 \pm 0,048$, затем, повышаясь, на 17-й день доходит до $4,90 \pm 0,236$, на 19-й день — $7,99 \pm 0,375$ $\mu\text{катома}$ кислорода. Количество поглощенного кислорода митохондриями мозга 2—5-дневных цыплят составляет $7,74 \pm 0,204$ $\mu\text{катома}$.

Аналогичные изменения отмечаются и в отношении эстерифицированного фосфата.

Интенсивность эндогенного дыхания митохондрий мозга в ходе развития эмбриона усиливается. На 13-й день оно составляет $0,14 \pm 0,031$, на 17-й — $1,04 \pm 0,067$, а на 20-й день — $1,25 \pm 0,154$ $\mu\text{катома}$ кислорода. Эндогенное дыхание митохондрий 2—5-дневных цыплят

Таблица 1

Соотношение окисления и фосфорилирования в митохондриях мозга куриного эмбриона в течение эмбриогенеза, субстрат сукцинат (Р и О в мкатамах, $M \pm m$)

Дни развития эмбриона	Эндогенное дыхание			Сукцинат		
	ΔO	ΔP	P/O	ΔO	ΔP	P/O
13	$0,14 \pm 0,031$ (6)	$0,16 \pm 0,077$ (6) $t=2,0$	—	$1,92 \pm 0,101$ (6) $P < 0,001$	$3,65 \pm 0,114$ (6) $t=14$	$1,92 \pm 0,104$ (6) $t=11$
14	$0,19 \pm 0,031$ (6)	$0,12 \pm 0,049$ (6) $t=2,4$	—	$2,07 \pm 0,048$ (6) $P < 0,001$	$3,83 \pm 0,040$ (6) $t=95$	$1,83 \pm 0,057$ (6) $t=32$
15	$0,59 \pm 0,094$ (6)	$0,04 \pm 0,020$ (6) $t=2,0$	—	$3,39 \pm 0,389$ (6) $P < 0,001$	$5,28 \pm 0,398$ (6) $t=13$	$1,58 \pm 0,070$ (6) $t=22$
16	$0,67 \pm 0,034$ (5)	$0,13 \pm 0,056$ (5) $t=2,3$	—	$2,15 \pm 0,083$ (6) $P < 0,001$	$3,19 \pm 0,078$ (6) $t=40$	$1,51 \pm 0,038$ (6) $t=40$
17	$1,04 \pm 0,067$ (6)	$0,06 \pm 0,025$ (6) $t=3$	—	$4,90 \pm 0,236$ (6) $P < 0,001$	$6,88 \pm 0,109$ (6) $t=63$	$1,41 \pm 0,063$ (6) $t=22$
18	$0,82 \pm 0,040$ (6)	$0,34 \pm 0,294$ (6) $t=1,2$	—	$5,07 \pm 0,056$ (6) $P < 0,001$	$6,79 \pm 0,068$ (6) $t=99$	$1,33 \pm 0,013$ (6) $t=102$
19	$1,07 \pm 0,038$ (6)	$0,10 \pm 0,034$ (6) $t=3$	—	$7,99 \pm 0,375$ (10) $P < 0,001$	$8,55 \pm 0,246$ (10) $t=34$	$1,09 \pm 0,075$ (10) $t=19$
20	$1,25 \pm 0,154$ (6)	$0,24 \pm 0,055$ (6) $t=4$	—	$5,45 \pm 0,226$ (6) $P < 0,001$	$4,37 \pm 0,379$ (6) $t=11$	$0,79 \pm 0,022$ (6) $t=35$
21	$0,84 \pm 0,031$ (6)	$0,09 \pm 0,045$ (6) $t=2,2$	—	$6,02 \pm 0,065$ (6) $P < 0,001$	$5,26 \pm 0,179$ (6) $t=29$	$0,88 \pm 0,040$ (6) $t=22$
1-ш. цыпл.	$0,76 \pm 0,077$ (5)	$0,97 \pm 0,041$ (5) $t=23$	—	$6,82 \pm 0,276$ (6) $P < 0,001$	$5,80 \pm 0,517$ (6) $t=11$	$0,85 \pm 0,045$ (6) $t=18$
2-5-ш. цыпл.	$1,10 \pm 0,040$ (6)	$0,16 \pm 0,085$ (6) $t=2$	—	$7,74 \pm 0,204$ (20) $P < 0,001$	$6,52 \pm 0,365$ (20) $t=17$	$0,82 \pm 0,063$ (20) $t=13$
Петух	$0,69 \pm 0,094$ (6)	$0,15 \pm 0,098$ (6) $t=1,5$	—	$3,69 \pm 0,100$ (6) $P < 0,001$	$7,08 \pm 0,182$ (6) $t=38$	$1,92 \pm 0,063$ (6) $t=30$

составляет $1,10 \pm 0,040$ мкатама кислорода. Интересно отметить, что у кур эндогенное дыхание митохондрий снижается.

При эндогенном дыхании фосфат не только не эстерифицируется, а, наоборот, высвобождается и в инкубационной среде увеличивается количество свободного фосфата.

* Количество свободного Р.

Соотношение окисления и фосфорилирования в митохондриях мозга куриного эмбриона в течение эмбриогенеза, субстрат — глутамат (Р и О в мкмоль/мг М. ± м)

Дни развития эмбриона	Эндогенное питание			Глутамат		
	ΔO	ΔP ¹	P/O	ΔO	ΔP	P/O
13	0,69 ± 0,030 (6)	0,03 ± 0,005 (6) t=6	—	5,59 ± 0,294 (6) P < 0,001	11,27 ± 0,317 (6) t=35	2,04 ± 0,07 (6) t=25
14	0,87 ± 0,017 (6)	0,94 ± 0,025 (6) t=37	—	4,14 ± 0,131 (6) P < 0,001	7,43 ± 0,139 (6) t=53	1,79 ± 0,03 (6) t=57
15	1,60 ± 0,092 (6)	1,61 ± 0,068 (6) t=23	—	6,09 ± 0,289 (6) P < 0,001	9,30 ± 0,148 (6) t=63	1,54 ± 0,18 (6) t=20
16	1,40 ± 0,073 (6)	1,19 ± 0,029 (6) t=16	—	5,54 ± 0,220 (6) P < 0,001	8,29 ± 0,168 (6) t=49	1,50 ± 0,06 (6) t=26
17	1,04 ± 0,030 (6)	1,50 ± 0,033 (6) t=45	—	5,89 ± 0,048 (6) P < 0,001	6,64 ± 0,100 (6) t=66	1,29 ± 0,07 (6) t=16
18	0,84 ± 0,064 (6)	1,32 ± 0,048 (6) t=27	—	6,15 ± 0,222 (6) P < 0,001	6,98 ± 0,100 (6) t=69	1,14 ± 0,052 (6) t=22
19	1,58 ± 0,035 (6)	1,91 ± 0,059 (6) t=32	—	5,92 ± 0,319 (6) P < 0,001	7,28 ± 0,267 (6) t=27	1,24 ± 0,09 (6) t=13
20	2,03 ± 0,031 (6)	1,49 ± 0,040 (6) t=37	—	6,89 ± 0,348 (6) P < 0,001	5,17 ± 0,229 (6) t=22	0,76 ± 0,06 (6) t=11
21	2,52 ± 0,013 (6)	1,72 ± 0,030 (6) t=57	—	7,35 ± 0,392 (6) P < 0,001	6,00 ± 0,185 (6) t=32	0,82 ± 0,052 (6) t=15
1-дн. цып.	2,06 ± 0,049 (6)	0,84 ± 0,100 (6) t=8	—	6,61 ± 0,153 (6) P < 0,001	6,83 ± 0,248 (6) t=27	1,03 ± 0,05 (6) t=30
2-дн. цып.	1,94 ± 0,033 (6)	1,49 ± 0,042 (6) t=35	—	5,16 ± 0,124 (6) P < 0,001	4,44 ± 0,079 (6) t=56	0,85 ± 0,019 (6) t=44
Петух	0,33 ± 0,022 (6)	0,66 ± 0,069 (6) t=9	—	6,05 ± 0,133 (6) P < 0,001	6,15 ± 0,236 (6) t=26	1,01 ± 0,04 (6) t=25

При окислении глутамата соотношение окисления и фосфорилирования в митохондриях мозга эмбриона с начала плодной стадии до вылупления цыпленка также понижается. Как видно из приведенных данных (табл. 2), на 13-й день развития P/O составляет $2,04 \pm 0,07$

¹ Количество свободного Р.

на 15-й — $1,54 \pm 0,187$, на 18-й — $1,14 \pm 0,052$, а на 21-й день инкубации — $0,82 \pm 0,052$. У 1 — 2-дневных цыплят Р₂О составляет $1,03 \pm 0,035$ и $0,85 \pm 0,019$, примерно на таком уровне оно сохраняется у петуха ($1,01 \pm 0,040$).

Следует отметить, что при окислении глутамата в отличие от сукцината процесс поглощения кислорода митохондриями в течение эмбрионального развития особых изменений не претерпевает.

Что касается эстерификации фосфата, то этот процесс интенсивно протекает в начальном периоде плодной стадии, особенно на 13-й день, затем понижается и начиная с 17 дня инкубации до вылупления цыпленка почти не изменяется.

Полученные результаты показывают, что и в митохондриях мозга петуха процесс фосфорилирования протекает медленнее, чем в начале плодной стадии развития эмбриона. В митохондриях мозга петуха количество эстерифицированного фосфата составляет всего $6,15 \pm 0,236$ мкатама, тогда как на 13-й день развития эмбриона утилизация фосфата доходит до $11,2 \pm 0,317$, а на 15-й день — $9,30 \pm 0,148$ мкатама Р.

Аналогичные результаты в отношении окислительного фосфорилирования получены и в опытах, в которых субстратом окисления служил α -кетоглутарат (табл. 3).

Следует отметить, что при окислении α -кетоглутарата интенсивность поглощения кислорода митохондриями сравнительно ниже, чем при утилизации сукцината и, особенно, глутамата.

Полярнографические исследования также показали, что по мере эмбрионального развития поглощение кислорода митохондриями мозга усиливается.

Исследования, проведенные по изучению АТФ-азы, показывают, что в ходе развития эмбриона ее активность в митохондриях мозга повышается (табл. 4). Так, например, на 13-й день инкубации активность фермента составляла $1,70 \pm 0,062$, на 15-й — $1,88 \pm 0,039$, на 18-й она повышалась — $2,10 \pm 0,004$, а на 21-й день — $2,38 \pm 0,129$ мкатама Р (на 1 мг белка). У однодневных цыплят активность фермента также высокая, у 2 — 8-дневных цыплят она несколько понижается — $2,19 \pm 0,168$ мкатама Р, дальнейшее понижение АТФ-азной активности митохондрий мозга отмечается у зрелых кур ($1,88 \pm 0,129$ мкатама Р).

Выводы. Результаты проведенных исследований показывают, что уровень окислительного фосфорилирования (субстраты окисления — сукцинат, глутамат и α -кетоглутарат), начиная от плодной стадии развития куриного эмбриона вплоть до вылупления цыпленка, понижается. Параллельно с этим усиливается свободное окисление, на счет которого повышается температура зародыша. В течение эмбрионального развития повышается и активность митохондриальной АТФ-азы. Обнаруженные значительные сдвиги в энергетическом обмене имеют

Соотношение окисления и фосфорилирования в митохондриях мозга куриного эмбриона в течение эмбриогенеза, субстрат α -кетоглутарат (С) и Р в $\mu\text{кат}/\text{мг}$ М $\pm$ m)

Дни развития эмбриона	Эндогенное дыхание			α -кетоглутарат		
	ΔC	ΔP^1	Р/С	ΔC	ΔP	Р/С
13	$0,74 \pm 0,040$ (6)	$0,07 \pm 0,005$ (6) $t=14$	—	$3,22 \pm 0,202$ (6) $P < 0,001$	$5,71 \pm 0,192$ (6) $t=30$	$1,79 \pm 0,077$ (6) $t=23$
14	$0,59 \pm 0,077$ (6)	$0,89 \pm 0,046$ (6) $t=19$	—	$2,28 \pm 0,082$ (6) $P < 0,001$	$3,26 \pm 0,050$ (6) $t=65$	$1,43 \pm 0,081$ (6) $t=17$
15	$1,42 \pm 0,133$ (6)	$1,32 \pm 0,101$ $t=13$	—	$4,26 \pm 0,100$ (6) $P < 0,001$	$4,97 \pm 0,108$ (6) $t=46$	$1,17 \pm 0,040$ $t=20$
16	$1,12 \pm 0,098$ (6)	$1,13 \pm 0,073$ (6) $t=15$	—	$3,43 \pm 0,115$ (6) $P < 0,001$	$4,96 \pm 0,118$ (6) $t=33$	$1,15 \pm 0,021$ (6) $t=54$
17	$0,75 \pm 0,115$ (6)	$1,33 \pm 0,054$ (6) $t=24$	—	$3,86 \pm 0,170$ (6) $P < 0,001$	$4,00 \pm 0,151$ (6) $t=26$	$1,05 \pm 0,063$ (6) $t=12$
18	$0,94 \pm 0,037$ (6)	$1,20 \pm 0,050$ (6) $t=24$	—	$4,11 \pm 0,136$ (6) $P < 0,001$	$4,18 \pm 0,148$ (6) $t=28$	$1,05 \pm 0,050$ (6) $t=18$
19	$1,65 \pm 0,066$ (6)	$1,51 \pm 0,102$ (6) $t=14$	—	$4,68 \pm 0,264$ (6) $P < 0,001$	$3,66 \pm 0,110$ (6) $t=33$	$0,91 \pm 0,060$ (6) $t=15$
20	$1,79 \pm 0,078$ (6)	$1,44 \pm 0,026$ (6) $t=37$	—	$5,03 \pm 0,288$ $P < 0,001$	$3,87 \pm 0,238$ (6) $t=16$	$0,77 \pm 0,061$ (6) $t=12$
21	$1,98 \pm 0,222$ (6)	$1,82 \pm 0,029$ (6) $t=63$	—	$4,97 \pm 0,365$ (6) $P < 0,001$	$3,75 \pm 0,162$ (6) $t=23$	$0,79 \pm 0,218$ (6) $t=8$
1-я цыпл.	$2,00 \pm 0,039$ (6)	$0,92 \pm 0,056$ (6) $t=16$	—	$5,04 \pm 0,144$ (6) $P < 0,001$	$3,72 \pm 0,145$ (6) $t=25$	$0,73 \pm 0,036$ (6) $t=20$
2-я цыпл.	$1,78 \pm 0,060$ (6)	$1,43 \pm 0,029$ (6) $t=0,50$	—	$4,06 \pm 0,092$ (6) $P < 0,001$	$2,85 \pm 0,036$ (6) $t=79$	$0,70 \pm 0,014$ (6) $t=50$
Пегух	$0,28 \pm 0,021$ (6)	$0,76 \pm 0,030$ (6) $t=25$	—	$3,40 \pm 0,095$ (6) $P < 0,001$	$3,61 \pm 0,101$ (6) $t=35$	$1,06 \pm 0,053$ (6) $t=20$

важное биологическое значение для развития эмбриона и создают предпосылки для вылупления цыпленка из яйца.

¹ Количество свободного Р.

Таблица 4

Аденозинтрифосфаташан активність митохондриал мозга куриного эмбриона
в течение эмбриогенеза $M \pm m$

Дни развития эмбриона	P в мкатомах	t	Дни развития эмбриона	P в мкатомах	t
13	$1,70 \pm 0,062$ (7)	27	19	$2,11 \pm 0,034$ (3)	61
14	$1,82 \pm 0,134$ (6)	13	20	$2,59 \pm 0,017$ (5)	17,6
15	$1,88 \pm 0,039$ (19)	48	21	$2,38 \pm 0,129$ (5)	18
16	$2,01 \pm 0,419$ (9)	4,7	1-11. выпл.	$2,37 \pm 0,046$ (5)	27
17	$1,96 \pm 0,043$ (7)	45	2-8-11. выпл.	$2,19 \pm 0,168$ (5)	13
18	$2,10 \pm 0,004$ (5)	52	Нетых	$1,88 \pm 0,129$	14

2. Խ. ՌՈՒՆՅԱՔՅԱՆ, Հակակառ ՌՈՒ ՔԱ ակադեմիկոս, Լ. Ս. Ա. ՍԻՄՈՆՅԱՆ:

Օրգանաչին ֆոսֆորիացումը հավի սաղմի ուղեղի միոսոնդրիալ հեմոմ ճրագագայում ընթացում

Կատարված հետադոստոթյունների արդյունքները ցույց են տալիս, որ հավի սաղմ-
նային զարգացման ընթացքում օրգանաչին ֆոսֆորիացումն ուղեղի միոսոնդրիալ հեմոմ
սկսած պտղային ստադիայից մինչև հաի դուրս գալը, իջնում է: Դրան հուղընթաց բարձ-
րանում է ազատ օրգանաչման պրոցեսը, խթանվում է մակր-էրգերի հեղրումը, որի հե-
տևանքով մեծանում է ազատ էներգիայի րանակը և այս նպատակով է սաղմի մարմնի ճե-
րմատիվանի բարձրացմանը: Սաղմնային զարգացման ընթացքում միոսոնդրիալ հեմոմ
պտղին ախտիվոթյունը առիանաբար բարձրանում է, որը սերտորեն կաղված է օր-
գանաչին ֆոսֆորիացման վերը նշված փոփոթյունների հետ:

Սաղմնային զարգացման 2-րդ կեսից սկսած էներգետիկ փոխանակության ճեղ
կատարվող այս ախաչարժերը ունեն կարևոր թուլոդիական նշանակոթյուն, ինչպես սաղմի
թուրիմիական պրոցեսների, նույնպես և ձեափորված հաի մղից դուրս գալու ընթացքում:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- Г. Гамилтон, Lillies Development of the Chick, New York, 1952. * П. Мак-
свелл и др., J. Neurochem., 8, 126, 1961. * Р. Ваттенберг и Ж. Лопес, J. Histochem.
Cytochem., 8, 296, 1960. * В. В. Умбрейт, Р. Х. Буррис, Дж. Ф. Штауффер, Ма-
шметрические методы изучения тканевого обмена, М., ИЛ, 1951. * О. Лоури и
Ж. Лопес, J. Biol. Chem., 162, 421, 1946. * В. П. Скулачев, Соотношение окисления
и фосфорилирования в дыхательной цепи, 153—154, М., 1962. * О. Лоури и др., J.
Biol. Chem., 193, 265, 1951.

С. А. Зограбин

О баритовой минерализации на Ахтальском полиметаллическом месторождении

(Представлено академиком АН Армянской ССР И. Г. Магакьяном 4/1 1965)

На Ахтальском месторождении барит представлен двумя разновидностями, различающимися по времени образования, химизму, текстурно-структурным особенностям, по морфологическим признакам и по условиям залегания.

В литературе эти разновидности выделяются по преобладающей окраске соответственно как красный и белый бариты. Однако окраска не во всех случаях является надежным признаком для различения баритов Ахтальского месторождения, так как среди «красных» баритов встречаются серые, розовые, красно-бурые и белые разновидности. Правильнее говорить о раннем и позднем баритах, являющихся продуктами различных стадий минерализации.

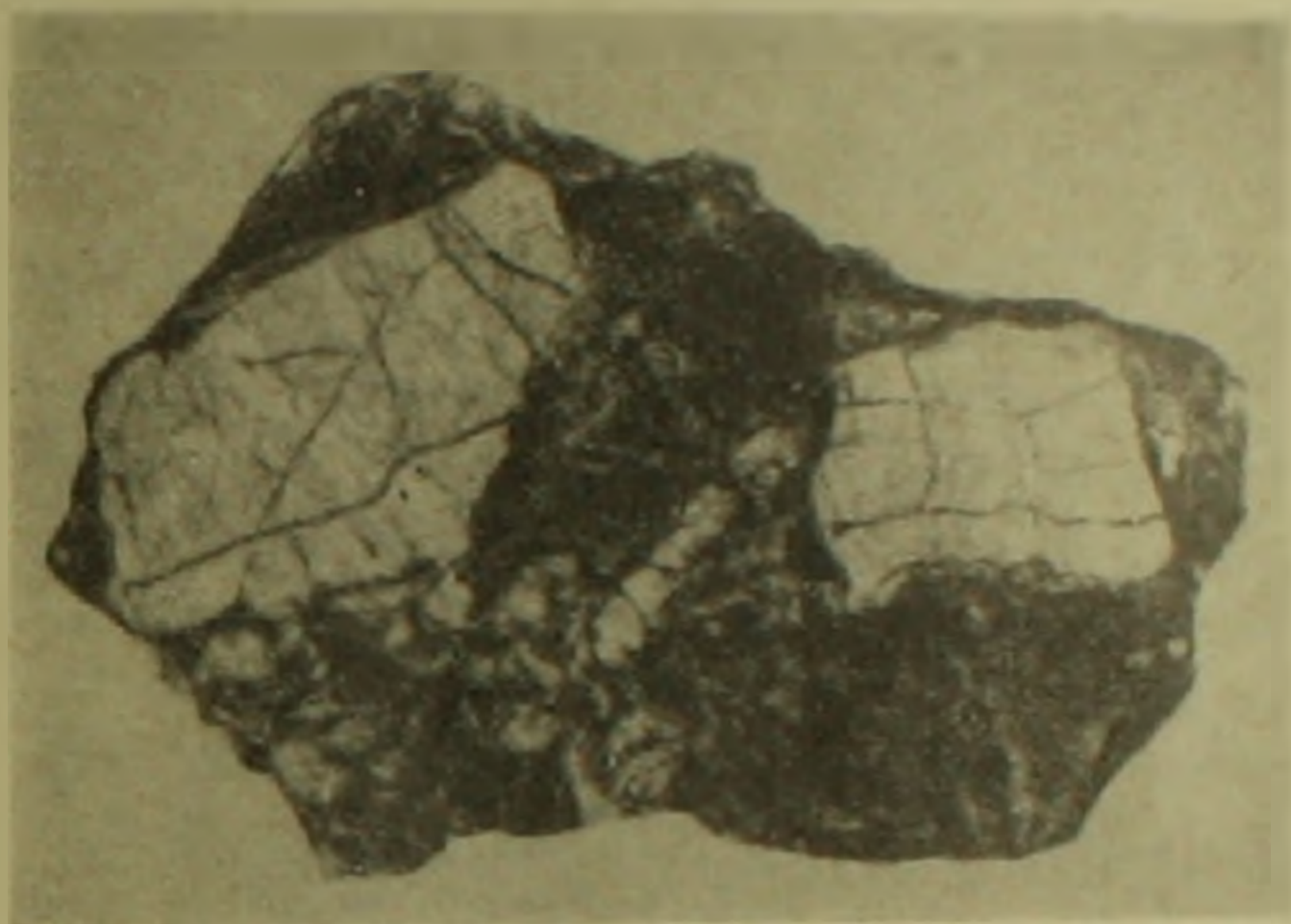
Ранний барит, пользующийся наибольшим распространением, имеет массивное, плотное, мелкозернистое строение и часто различно окрашен. Интенсивность окраски меняется от белой и серой через розовую и красно-бурую до темно-буро-красной, в зависимости от характера и количества содержащихся в нем примесей (табл. 1).

Эта разновидность барита залегает в виде шляпы над рудными телами и представляет промышленную ценность.

Поздний барит имеет значительно меньшее распространение, слагает небольшие гнезда, маломощные жилы и прожилки, пересекающие как ранний барит, так и полиметаллическую руду. Поздний барит всегда белого цвета, характеризуется крупнозернистым строением. Часто образует крупные таблитчатые кристаллы. Эта разновидность барита не представляет промышленной ценности.

До последнего времени большинством исследователей принималось, что бариты на Ахтальском месторождении являются продуктом единой стадии минерализации, проявившейся в конце рудного процесса. Однако еще Н. А. Фокиным отмечалось, что отложение барита произошло до отложения полиметаллов. Согласно М. Л. Лачиняну отложение барита происходило в промежутке времени между образованием

серного колчедана и полиметаллов и в незначительных количествах продолжалось как при образовании полиметаллов, так и после их образования. Подобные взгляды недавно снова были высказаны Э. А. Сагателян. Но из-за недостаточности фактов вопрос этот остался спорным. Между тем у нас в процессе детальной документации и изучения строения рудных тел накопились факты, доказывающие наличие на месторождении двух самостоятельных и разорванных во времени стадий баритовой минерализации. Некоторые из этих фактов вкратце нами были описаны (¹).



Фиг. 1. Полированный штуф 1 2 пат. вел.



Фиг. 2. Полированный штуф 1 2 пат. вел.

Ранняя баритовая стадия проявилась после серноколчеданной стадии минерализации, что можно доказать наличием остроугольных обломков почковидных агрегатов пирита (белое) в раннем барите (черное) (фиг. 1). Часто ранний барит проникает в промежутки и полости между концентрически-зональными и радиально-лучистыми агрегатами почковидного пирита, замещая и разъедая его.

Элементы	Ранний барит						
	белый	серова- го-белый	серый	розовый	лилово- красный	красно- бурый	темно- буро- красный
	H/153	170	H/158	H/159	H/119	H/153a	H/156
Si	0,003— 0,01	~0,01	~0,3	3—10	0,3—1	0,3	0,3—1
Al	0,003— 0,01	0,003— 0,01	>0,03	0,03— 0,1	>0,3	0,03— 0,1	~0,3
Mg	0,003	0,003— 0,01	>0,01	0,01— 0,03	~0,03	>0,01	~0,03
Ca	0,03— 0,1	~0,01	~0,02	~0,01	0,01	0,01— 0,03	~0,1
Fe	~0,03	0,001— 0,003	~0,01	>0,03	3	3—10	>10
Na	~0,03	~0,003	~0,0003	0,01	0,01— 0,03	~0,1	>0,03
Mn	~0,0001	~0,001	~0,0001	~0,0003	~0,001	0,003— 0,01	0,03— 0,1
Ti	~0,01	~0,01	<0,001	~0,001	~0,01	~0,01	0,03
V	—	—	—	~0,001	>0,003	0,001?	~0,03
Zr	<0,001	~0,002	—	—	—	<0,001?	~0,002
Cu	<0,01	0,0003— 0,001	~0,01	~0,001	~0,01	~0,03	~0,003
Pb	0,01— 0,03	0,003— 0,01	~0,03	0,003— 0,01	0,03— 0,1	0,01— 0,03	~0,01
Ag	—	—	0,003— 0,01	0,002	0,003— 0,01	0,0003— 0,001	—
Zn	—	не опр.	0,003— 0,01	~0,033	0,003	~0,003	0,1
Sr	3—10	3—10	~3	1	3—10	>3	~3

Таблица 1

Поздний барит					
белый					
Н/200	Н 200 а	Н/200 б	Н 64	Н 90	Н/163
~ 0,03	~ 0,01	~ 0,001	~ 0,1	0,03 — 0,1	0,003 — 0,01
~ 0,01	0,01 — 0,03	0,003 — 0,01	0,003 — 0,01	0,03 — 0,1	0,003 — 0,01
~ 0,01	~ 0,01	~ 0,003	< 0,01	≥ 0,01	~ 0,003
0,003	~ 0,01	~ 0,03	~ 0,03	~ 0,01	0,03 — 0,1
0,003 — 0,01	~ 0,01	~ 0,002	~ 0,01	0,01 — 0,03	~ 0,03
~ 0,003	0,003 — 0,01	0,003 — 0,01	~ 0,03	~ 0,01	~ 0,03
~ 0,0001	0,0003 0,001	~ 0,001	0,0003 — 0,001	~ 0,0003	~ 0,0001
0,01	0,01	~ 0,01	< 0,01	~ 0,01	~ 0,01
—	—	—	—	—	—
0,001	< 0,001?	0,001	< 0,001	?	< 0,001
~ 0,001	< 0,001	0,0001	≥ 0,01	~ 0,003	< 0,01
0,01	—	—	0,03 — 0,1	~ 0,003	0,01 — 0,03
—	—	—	~ 0,0001	—	—
—	—	—	0,1	—	—
~ 3	1 — 3	~ 1	~ 3	1	3 — 10

Иногда наложение баритовой стадии минерализации на участки развития почковидного пирита приводит к образованию оригинальных текстур замещения шестоватыми кристалликами барита почковидного пирита.

Значительно реже и труднее устанавливаются взаимоотношения раннего барита с полиметаллической стадией. Такие взаимоотношения нами наблюдались на горизонте +8,5 м штольни № 16, вскрывающем рудное тело № 11. Здесь отчетливо видно проникновение полиметаллических жил и прожилков в красный барит. На фиг. 2, представляющей макрофото штуфа, взятого с данного участка, видно пересечение красного барита (черное) полиметаллическим прожилком (белое) мощностью 3—4 см. На этой же фотографии видно, что полиметаллическая руда проникает в барит также в виде тончайших прожилков и вкрапленности. Взаимоотношения между ранней баритовой и полиметаллической стадиями отчетливо наблюдаются и под микроскопом (пересечение, разъедание, цементирование обломков барита полиметаллами).

Следует отметить, что в контакте полиметаллической руды с баритом часто образуется серицит.

Взаимоотношения позднего белого барита с продуктами предыдущих стадий минерализации вполне определенные. Прожилки белого барита, развитого повсеместно, пересекают как ранний барит, так и минералы полиметаллической стадии.

Особый интерес представляет вопрос окраски раннего барита, для которого более всего характерен лилово-красный цвет с переходами в серый.

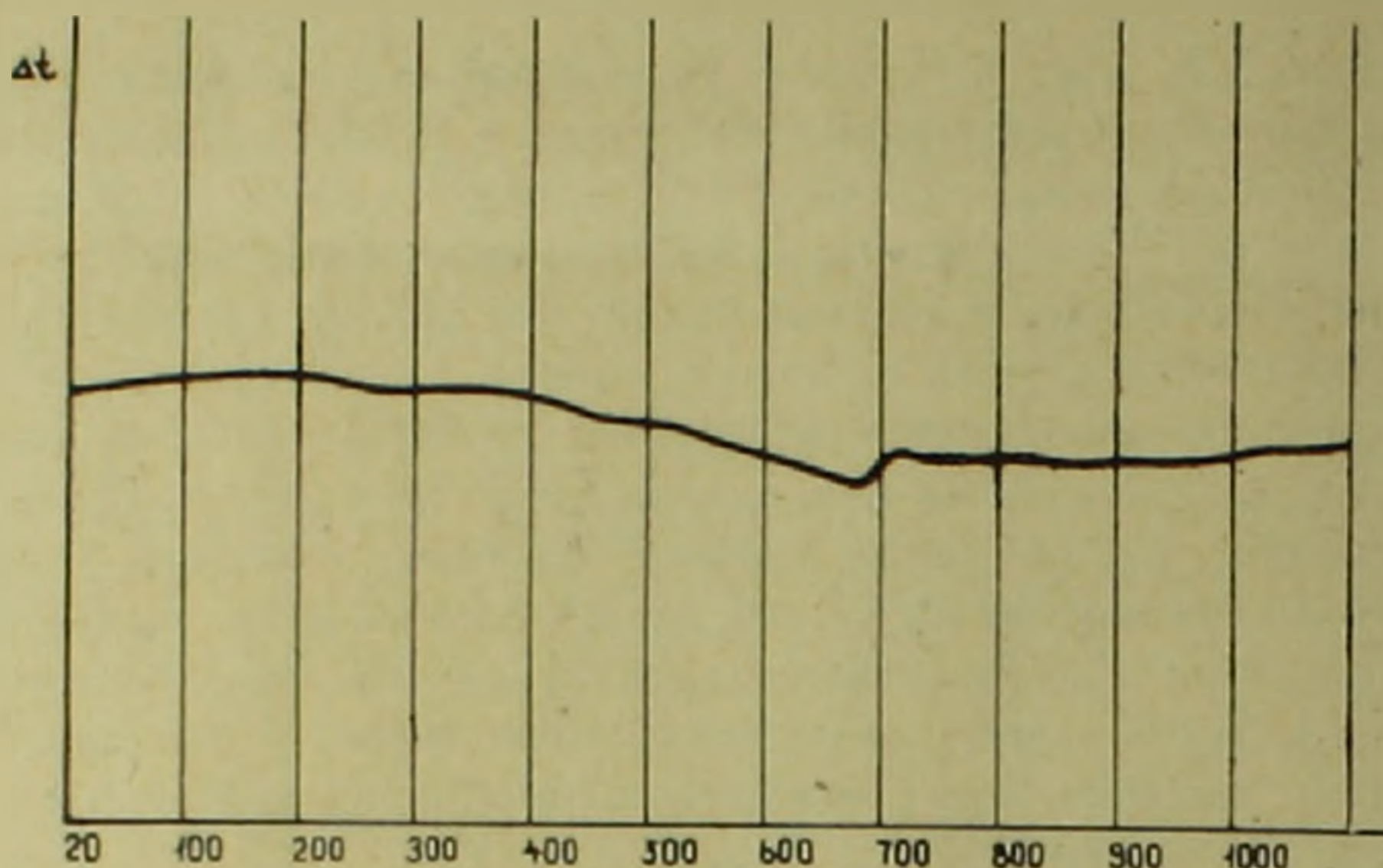
По данным спектральных анализов, окраска барита обусловлена содержанием железа (табл. 1).

Микроскопическое изучение, а также термический анализ показали, что железо в барите присутствует в виде гематита. На фиг. 3 приводится кривая нагревания гематита с характерным эндотермическим эффектом при температуре 675°.

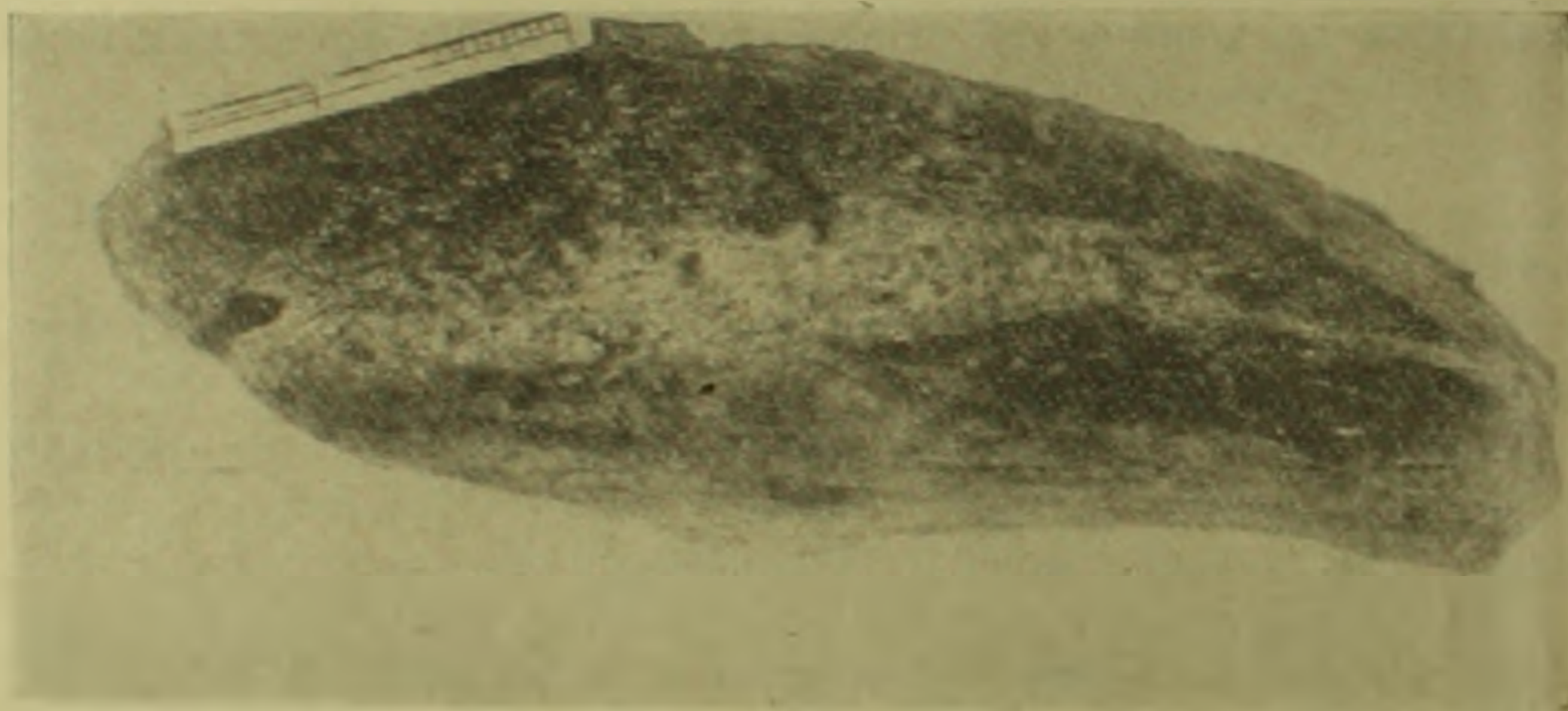
По мнению некоторых исследователей (²), окраска красного барита сингенетична с его отложением и зависит от среды, в которой он формировался. По их данным рост и образование кристаллов барита происходили в различных средах: в железистой, маложелезистой или почти безжелезистой. В первом случае в связи с исключительной насыщенностью среды железом барит приобретает красную окраску. При этом большое значение придается маломощной пачке рассланцованных красно-бурых пород, образовавшихся за счет измененных кварцевых порфиров и порфиритов в результате тектонических подвижек, происходивших по контакту этих пород. Однако некоторые факты противостоят такому мнению.

Во-первых, нужно отметить, что окраска этих красно-бурых пород не является первичной, а обусловлена теми же процессами, в результате которых был окрашен барит. Это доказывается тем обстоятельством, что часто эти породы бывают окрашены с периферии (фиг. 4), а в

средних частях, куда не проникли растворы, они имеют обычно зеленовато-серую окраску. Кроме того, иногда наблюдается неокрашенный барит прямо в контакте с этими породами.



Фиг. 3. Кривая нагревания гематита.

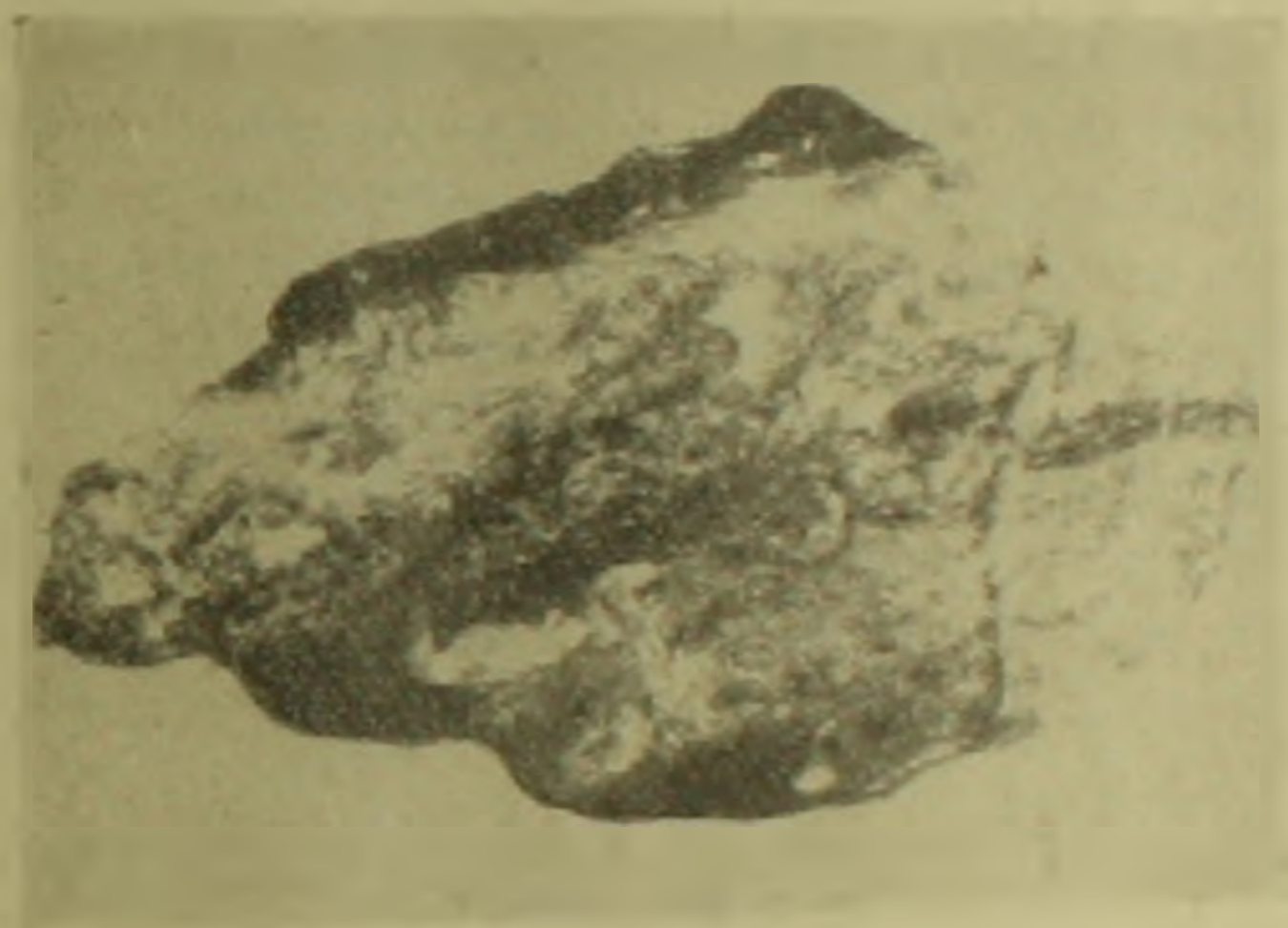


Фиг. 4 Штуф. нат. жел.

По-видимому, нельзя объяснить причину окраски барита и насыщенностью среды железом. Тут речь должна идти скорее об изменении окислительно-восстановительного потенциала в процессе рудообразования. Можно указать многочисленные случаи наложения баритовой минерализации на участки с серноколчеданным оруденением. В таких случаях барит разъедает и замещает пирит, однако при этом никакого покраснения в барите не наблюдается (хотя уже отложение сульфата бария свидетельствует о значительном окислении растворов). В данном случае в насыщенности среды железом сомневаться не приходится.

Не исключено, что в некоторых случаях окраска барита может быть сингенетичной с его кристаллизацией, однако наблюдения свидетельствуют, что в момент кристаллизации ранний барит в большинстве

случаев имел серую, а иногда серовато-белую окраску. Последующее покраснение его произошло под воздействием железистых растворов и, следовательно, носит эпигенетический характер. Железистые растворы проникали в барит по тончайшим трещинкам и порам, отлагая в них гематит, в результате чего отдельные участки барита оказались окрашенными в красный цвет. Часто этот процесс не протекал до конца, благодаря чему барит оказался местами пронизанным сетью прожилок гематита, вдоль которых произошло интенсивное его покраснение (фиг. 5). Этим и объясняются часто наблюдаемые взаимопереходы между красным и серым (иногда серовато-белым) баритами. Микроскопическое изучение красного барита показывает, что обычно гематит слабо проникает в кристаллы барита, а в основном отлагается в промежутках между ними. Иногда это наблюдается и макроскопически на штуфах. При этом создается ложное впечатление будто красный барит цементирует обломки белого барита.



Фиг. 5. Светлое — серый барит; темное — красный барит, черное — по краям образца и в середине — гематит. Штуф. Нат. вел.

Отложение высшего окисла железа — гематита после барита свидетельствует о дальнейшем окислении растворов, что представляет закономерное явление. Обогащение растворов кислородом могло произойти как за счет кислорода воздуха, так и за счет кислорода, растворенного в надозных водах при смешении их с гидротермальными растворами. Возможно, что здесь имеет место также «локально проявленный случай окисления», установленный А. Г. Бетехтиным.

По данным А. Г. Бетехтина ⁽¹⁾ покраснение барита может произойти также в результате наложения на него восстановительных сульфидоносных растворов. Однако некоторые факты свидетельствуют об отсутствии подобных явлений на Ахтальском месторождении. К числу их относятся случаи наложения полиметаллической минерализации на серый барит без всяких следов покраснения барита.

Наложение гематитовой минерализации на баритовую, пересечение барита гематитовыми прожилками, а также наличие на месторождении небольших по размерам обособленных пластообразных гематитовых тел (устье шт. 7; гор+29 м шт. № 16 и др.) позволяет выделить на Ахтальском месторождении гематитовую стадию минерализации, которая проявилась после ранней баритовой и до полиметаллической стадии минерализации.

Таким образом, суммируя приведенный выше фактический материал, можно сделать вывод о наличии двух этапов гидротермальной деятельности, в результате которых образовались рудные тела Ахтальского месторождения. В первый этап сформировалось серноколчеданное оруденение, во второй — полиметаллическое. Проявление второго этапа было связано с возобновившейся вспышкой трещинообразования, вызвавшей отщепление новых порций гидротермальных растворов из рудоносного очага.

Изучение парагенетических ассоциаций минералов, последовательно сменяющих друг друга (сульфид → сульфат → окисел → сульфид → сульфат), приводит к выводу о том, что в обоих этапах гидротермальной деятельности происходило закономерное изменение окислительно-восстановительного потенциала рудоносных растворов. Появление барита в конечных стадиях обоих этапов гидротермальной деятельности может свидетельствовать о едином источнике растворов.

Эти факты свидетельствуют о прерывистости рудного процесса, о пульсационном характере отделения гидротермальных растворов из рудоносного очага, а также об изменении геологических и физико-химических условий по пути движения гидротермальных растворов.

Ս. Ա. ՉՈՀՐԱՐՅԱՆ

Օխրաւայի բազմամեֆազային հանքավայրի բարիտային հանքանոցման մասին

Օխրաւայի հանքավայրում առանձնացվում են բարիտի երկու տարատեսակ՝ վաղ և ուշ բարիտներ, որոնք արդյունք են հանքայնացման տարբեր ստադիաների և տարրերվում են քիմիական բաղադրությամբ, ձևարանական հատկութիւններով տերստորային-ստրուկտուրային առանձնահատկութիւններով և տեղադրման պայմաններով:

Մինչև վերջերս բնդուվում էր, որ բարիտները հանքայնացման մեկ ստադիայի արդյունք են, հանքային պրոցեսի վերջում առաջացած:

Հոդվածում բերվում են փաստեր, որոնք ապացուցում են բարիտային երկու ինքնուրույն ստադիաների առկայութիւնը: Վաղ բարիտային ստադիան հանդես է գալիս ծծմբակոչնդանային հանքայնացումից հետո, իսկ ուշ բարիտայինը՝ բազմամետաղային ստադիայի հանքայնացումից հետո: Վաղ ստադիայի բարիտի կարմիր գույնը պայմանավորված է հեմատիտի պարունակությամբ:

Հեմատիտային հանքայնացման վրսդումը բարիտայինի վրա, վաղ ստադիայի բարիտի հատումը հեմատիտային երակիկներով, ինչպես և փոքր չափսերի շերտանման առանձնացված հեմատիտային մարմինների առկայութիւնը, թույլ է տալիս հանքավայրում առանձնացնելու հեմատիտային հանքայնացման ստադիա, որը հանդես է եկել մինչև բազմամետաղային հանքանոցումը, վաղ բարիտային ստադիայից հետո:

Միևերանների իրար հաջորդող պարադոքսների համակցությունների ուսումնասիրությունը
և տալիս է իդրոթերմալ գործունեության երկու էտապների առկայությունը. որոնց ընթաց-
քում տեղի է ունենում օքսիդային-վերականգնող պատկերացիի օրինաչափ փոփոխում հանքային
լուծույթներում:

Այս փաստերը վկայում են հանքային պրոցեսի ընդհատության, իդրոթերմալ լուծույթների
հանքային օչախից պուլսացիոն ընթացի անցուման, ինչպես և երկրաբանական ու ֆիզիկա-թի-
վական պայմանների փոփոխության մասին իդրոթերմալ լուծույթների շարժման ուղիներում:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

С. А. Зогрибян, Св. С. Мкртчян, Э. А. Сагатемян, ДАН Арм ССР, т. XXXIX, №6
(1964). * А. Г. Казарян, С. В. Казарян, О стадиях минерализации Ахтальского ме-
сторождения, Научные труды НИГМИ, вып II, 1961. * А. Г. Бетехтин, Гидротер-
мальные растворы, их природа и процессы рудообразования, и кн.: Основные пробле-
мы в учении о магматогенных рудных месторождениях, Изд. АН СССР, М., 1963.

А. А. Авакян и Г. М. Мкртчян

(О содержании примесей в кристаллах пирита различной морфологии

(Представлено академиком АН Армянской ССР И. Г. Магакьяном 3/II 1965)

Вопросы связи формы кристаллов пирита и содержания в них примесей освещаются в работах многих исследователей. Наиболее ценными, однако, следует считать работы авторов (¹⁻⁴), исследовавших этот вопрос путем сравнения содержаний примесей в кристаллах пирита, находящихся в одинаковых геологических условиях, но имеющих различную морфологию, обусловленную неподдающимся учету различием условий роста в микромасштабе. Такой подход к исследованию необходим для исключения влияния геологических условий на содержание примесей в кристаллах различной морфологии.

Данные вышеуказанных авторов, однако, во многом противоречивы. Одни из них в октаэдрических кристаллах по сравнению с кубическими и пентагонально-додекаэдрическими обнаруживают более высокие содержания As (^{1,2}), другие—Ni и Co (³). Имеются также данные о том, что в октаэдрических кристаллах содержится меньше Mn, чем в пентагонально-додекаэдрических (⁴). Указанные противоречия, по-видимому, в значительной мере объясняются тем, что авторы, сравнивая содержание примесей в кристаллах пирита различной формы, не учитывали эволюцию морфологии этих кристаллов в процессе роста.

Для правильной оценки связи примеси и морфологии кристаллов, на наш взгляд, необходимо учесть следующее.

Известно, что примесь поглощается пирамидой нарастания грани (⁵). Следовательно, содержание той или иной примеси в кристаллах при прочих одинаковых условиях пропорционально объему пирамиды нарастания простой формы, которой поглощается данная примесь. Объем пирамиды нарастания зависит, во-первых, от механизма роста грани и, во-вторых, при одинаковом механизме роста,— от степени развития грани в каждый момент роста кристалла, зависящей в свою очередь от относительной скорости роста граней. Значение механизма роста граней заключается в том, что грань обладает пирамидой нарастания лишь в том случае, если растет параллельным нарастанием зональных

слоев, и лишена ее, если образована торцами смежных граней, т. е. является «гранью торможения» (фиг. 1).



Фиг. а—грань октаэдра (грань торможения), образуемая торцами граней куба; б—грань октаэдра, растущая последовательным нарастанием слоев.

Таким образом, становится ясно, что для выяснения связи морфологии кристалла с содержанием примесей совершенно недостаточно сравнивать кристаллы, различающиеся по форме. Необходимо, чтобы это различие сохранялось на всех этапах роста сравниваемых кристаллов. Точно так же отождествление кристаллов одинаковой формы допустимо лишь при одинаковой эволюции их формы в процессе роста. На фиг. 2 изображены срезы кубических кристаллов, которые, несмотря на одинаковую конечную огранку, в процессе роста были огранены различными простыми формами и поэтому не могут быть отождествлены при исследовании вопроса о примесях.

Ниже приводятся результаты наших исследований по вопросу связи морфологии кристаллов и содержания в них примесей, проведенных с учетом вышеотмеченного.

Анализы исследованных пиритов производились в спектральной лаборатории ИГН по методике приближенного количественного спектрального анализа, предложенной М. М. Клером (*).^{**} Указанная методика применена нами с некоторыми изменениями, позволяющими повысить точность метода.

Для элементов Ni, Co, Mn были проведены повторные анализы с применением следующих дополнительных мер, сводящих ошибку анализа до минимума.

1. Использование спектрографа ДФС-13 (решетка 600 штрихов на 1 мм, 1 порядок), позволившее выбрать чувствительные аналитические линии, свободные от наложений линий железа.

2. Для каждой аналитической линии в качестве линий сравнения (внутреннего стандарта) подбиралась наиболее гомологичная линия основного элемента пробы — железа.

3. Смешение пробы с угольным порошком (соотношение 2:1) и использование электродов с меньшим диаметром заточенной части обеспе-

* Термин «грань торможения» заимствован у Г. Г. Леммлейна (5).

^{**} Анализы произведены аналитиком Г. М. Мкртчяном, ему же принадлежит описание методики анализов в настоящей статье.

чивало стабильность горения и устраняло разбрызгивание пробы в процессе сжигания.

В качестве величины эквивалентной концентрации элемента нами использовалась разность почернений (ΔS) аналитических пар линий, полученная на микрофотометре МФ-2. В табл. 1 приведены для Ni, Co, Mn эквиваленты концентраций (содержаний) элементов-примесей.



Фиг. а—Кубический кристалл, обладавший в средние этапы роста кубооктаэдрической огранкой; б—кубический кристалл, обладавший в средние этапы роста пентагонально-додекаэдрической огранкой.

Срезы кристаллов перпендикулярны одной из L_2 . Внутреннее строение обнаружено травлением.

Одинаковыми номерами в таблице обозначены пробы, составленные из кристаллов пирита, находящихся в одинаковых геологических условиях (пирит одной генерации, отобранный из одного образца). Индексами при номере отмечены их различные морфологические особенности. При сравнении содержаний элементов-примесей в приведенных в таблице пробах обнаруживается следующее.

Октаэдрические кристаллы содержат больше Mn и меньше Ni и Co, чем кубические (ср. 97-а с 97-в и 162 с 162/1). То же наблюдается для кристаллов с небольшим различием габитусов, выражающемся в различной степени развития $\{111\}$, ограничивающего кристалл в комбинации с $\{100\}$ (ср. 110-а, 110-в, 110-с). Кристаллы, составляющие указанные пробы, сохраняют различия в морфологии на всем протяжении роста.

Пробы 924-а и 924-в не обнаруживают вышеприведенной зависимости между степенью развития $\{111\}$ и содержанием примесей. При рассмотрении эволюции морфологии обнаружилось, что грани октаэдра в последнем случае появляются лишь в конце роста кристалла в качестве граней торможения. В другом случае (в пробах 100-а и 100-в) подобное несоответствие не объяснимо также и при учете эволюции морфологии.

Кубические кристаллы по сравнению с пентагонально-додекаэдрическими содержат больше примесей Ni и Co (ср. 781-а и 781-с), а в одном случае и Mn (ср. 753-п и 753-к). Эволюция кристаллографических форм, ограничивающих кристаллы с высоким содержанием примесей, в данном случае выражается в смене $\{hko\}$ на $\{100\}$ по мере роста кристалла. Повышенное содержание примесей, видимо, связано с огрубением поверхности граней $\{hko\}$, которым обычно сопровождается смена $\{hko\}$ на $\{100\}$. Об этом же свидетельствует сравнение проб 922-а и 922-в. Кристаллы, составляющие эти пробы, огранены кубом и отличаются лишь скульптурой. Кристаллы с грубой интенсивной штриховкой (922-в) содержат больше примесей Ni, Co, Mn.

В связи с тем, что при анализе не удалось одновременно с линиями высокой чувствительности Ni, Co, Mn охватить и такие же линии мышьяка, чувствительность метода оказалась недостаточной для обнаружения различия содержаний мышьяка в кристаллах различной морфологии, находящихся в одинаковых геологических условиях (табл. 1).

Для этой цели пришлось прибегнуть к сравнению большого числа (примерно 150) приближенных количественных анализов проб пиритов, составленных из кристаллов различного габитуса, но образованных в менее близких условиях, чем кристаллы, составляющие пробы, приведенные в табл. 1.

В результате такого сравнения оказалось, что наиболее высокими содержаниями As (больше 0,1%) обладают кристаллы, ограненные кубом, пентагональным додекаэдром и их комбинацией. В кристаллах, ограненных комбинацией $\{100\}$ и $\{111\}$, содержание As меньше 0,1%, лишь изредка достигая этой величины. Однако в последнем случае грани октаэдра развиты незначительно.

Из вышеуказанного следует, что высокие содержания мышьяка не связаны с октаэдрическими гранями, на что указывают и другие авторы⁽²⁾. Содержание Mn выше в октаэдрических, а Ni и Co — в кубических кристаллах.

Кубические кристаллы и кристаллы с грубой скульптурой содержат больше примесей, чем соответственно пентагонально-додекаэдрические и кристаллы без скульптуры.

Таблица 1

Результаты спектрального анализа. Содержание Ni, Co, Mn представлено эквивалентными величинами, содержание As — в процентах

№ № проб	Морфологические особенности кристаллов	Содержание элементов-примесей			
		Ni	Co	Mn	As
753 н	Пентагон-додекаэдр	62	136	116	0,2
753 к	Куб	35	160	172	0,2
781 а	Пентагон-додекаэдр с плоскими гранями	10,5	70	175	—
781 с	Куб с выпуклыми гранями	28	120	205	0,01
922 а	Куб с плоскими гранями без штриховки	9,5	5	30	0,1
922 н	Куб с интенсивной штриховкой	24,5	47	179	0,1
924 а	Куб	—	7	152	0,01
924 в	Кубооктаэдр	28	190	230	0,01
97 а	Куб	29,5	—	135	—
97 н	Октаэдр	39	—	16	—
100 а	Октаэдр	21	—	87	—
100 н	Октаэдр с {hko}	11	—	77	—
110 н	Куб	23	11	240	—
110 с	Кубооктаэдр	31	10	235	—
110 а	Октаэдр в комбинации с неразвитым кубом	34	8	220	—
162	Куб	28	—	148	—
162/1	Октаэдр	68	—	74	—

Однако содержание примесей не всегда находится в строгой зависимости от какого-либо из приведенных морфологических факторов. В связи с этим допустимо предположить, что морфологические особенности кристаллов и содержание в них примесей не являются взаимообуславливающими факторами, а связаны друг с другом условиями образования кристалла.

Институт геологических наук
Академии наук Армянской ССР

Ա. Ա. ԱՂԱԳՅԱՆ, Լ. Ն. Մ. ՄԿԻՏՅԱՆ

ԾՃՔԻ ԿԱՆԵՂԱՆԻ ՆԱԵՐԻՆԵ ՄԱՐՖՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐԻ ԽԱՌՈՒՆՈՒՄՆԵՐԻ ԱՊԱՐԱՆՈՒԿՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

ԾՃՔԻ ԿԱՆԵՂԱՆԻ ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐԻ ՄԱՐՖՈԼՈԳԻԱԿԱՆ և ԵՐԱՆԳՐԱԾ ԽԱՌՈՒՆՈՒՄՆԵՐԻ ԱՊԱՐԱՆՈՒԿՈՒԹՅԱՆ ԿԱԿԻ ՈՍՈՒՄՆԱԵՐՈՒԹՅԱՆԵՐ ԵՂԻՐՈՒՄ ՀԵՄԱԳՈՒՄՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՒՄ ՀԱՂՔԻ չԻ ՄՈՆԻՏՈՐ ԲՅՈՒՐԵՂ ՄԱՐՖՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՓԱՓՈԹՈՒԹՅՈՒՆԵՐ ԵՐԱ ՄԵՐ ԲԵՐՁՅՈՒՄ: ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐՈՒՄ ԽԱՌՈՒՆՈՒՄՆԵՐԻ ԱՊԱՐԱՆՈՒԿՈՒԹՅՈՒՆԵՐ ԿԱԽՎԱԾ և ԽԱՌՈՒՆՈՒՄ ԿԱՆԵՂ ԵՐԱՄԻ ՄԵՐ ՄԵՐՄԱՆԻՅՈՒՄ և ՎԱՐՂԱՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆՆԵՐԻ ՀԵՄԵՐԱՐ ԵՂՎԱԾ ՀԱՐՑԻ ՈՍՈՒՄՆԱԵՐՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱՐ ԲԱՎԱԿԱՆ չԻ ՎԵՎԱՎԱՐՎԵԼ ՄԻՋՅԵ ԲՅՈՒՐԵՂՎԵՐՆԵՎԱՆ ՃԵՈՎ, ՄԱՅՍ ԱՂԱՐ և ԼԵՆԵԼ ԵՐԱ ՄԵՐ ԱՐԵՎԵՆՈՒՄ ՈՆԵՑՄԱԾ ՃԵՐ ՎԱՐՂԱՑՈՒՄԻՑ:

Հաշվի առնելով վերահիշյալը փոքրացված սխալով կատարված ձեռքի կոլլեկցանի բյուրեղների սպեկտրալ մոտավոր քանակական անալիզների հիման վրա կարելի է հանգել հետևյալին՝

Օկտաէդրիկ բյուրեղներում Mn -ի պարունակությունը ավելին է, քան խորանարդային բյուրեղներում: Մինչդեռ Ni և Co հախուռկը խորանարդային բյուրեղներում և կոպիտ սկուլպտուրա ունեցող նիստերով սահմանափակված բյուրեղներում Ni , Co և Mn պարունակությունը համապատասխանորեն ավելին է, քան պենտագոնալ—դոդեկաէդրիկ և հարթ նիստերով սահմանափակված բյուրեղներում: As պարունակությունը ավելի քիչ է այն բյուրեղներում, օրոնք ունեն զարգացած օկտաէդրիկ նիստեր:

Ուսկայն հաղվադեպ նկատվում է նշված օրինաչափությունների բացառություն:

Այդ հանգամանքը հետաքննություն է տալիս ենթադրել, որ ինչպես բյուրեղի մորֆոլոգիան, այնպես էլ նրանում խառնուրդների պարունակությունը կախված են մի երրորդ գործոնից և պայմանավորված չեն միմյանցով:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Դ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Ք Յ Ո Ւ Ն

¹ Б. Ф. Куликов, В. А. Мажневский, ЗВМО, ч. 89, вып. 3, 1960. ² И. Синагава, Cosopls pro miner. a geol., Roc. VI, Cis. 4, 1961. ³ Ч. Д. Джафаров, Автореферат диссертации, Баку, 1963. ⁴ П. Очер, Есопом. geology, 36, № 4, 1941. ⁵ Г. Г. Леммлейн, Секториальное строение кристаллов. Изд. АН СССР, М.—Л., 1949. ⁶ М. М. Клер, Приближенный количественный спектральный анализ минерального сырья, основанный на ослаблении интенсивности спектральных линий на три порядка, М., 1959.

Г. Б. Межлумян

О находке апатита в магнетитовых рудах Ахавнадзорского месторождения

(Представлено академиком АН Армянской ССР Н. Г. Манакьяном 23/IV 1965)

В связи с составлением прогнозно-металлогенической карты Памбакского рудного района на железо возникла необходимость минералого-геохимического исследования руд некоторых железорудных месторождений и рудопроявлений этого района, изучить типы руд, а также текстурно-структурную характеристику последних с целью освещения особенностей их геологических условий образования и выяснения перспектив.

При изучении Ахавнадзорского железорудного месторождения в его рудах нами впервые в 1964 году установлен апатит, описанию которого посвящена настоящая статья. Нахождение и широкое развитие апатита в магнетитовых рудах и его содержание в последних позволяют на этом месторождении наряду с другими выделить новый апатит-магнетитовый тип руд. Прежде чем перейти к минералого-геохимической характеристике апатита, остановимся на краткой геологической характеристике месторождения, в рудах которого развит установленный минерал.

Район месторождения входит в Памбакский тектоно-магматический комплекс Памбак-Зангезурской структурно-металлогенической зоны (¹).

Магнетитовое и апатит-магнетитовое оруденение пространственно приурочено к скарновой полосе, развитой вдоль приконтактной зоны Ахавнадзорского гранитоидного интрузива. Возраст последнего верхнеэоценовый (²). Скарновая зона имеет весьма сложную форму и протягивается в северо-западном направлении (290—300°) с падением на юго-запад, иногда на северо-восток, под углом 50—75°. По данным поисково-разведочных работ Разданской геологической экспедиции Аргосгеолкома, скарновая зона прослеживается на 1,0—1,5 км при ширине 20—30 м в пережимах и 50—60 м в раздувах. На одном из участков полосы ширина скарновой зоны достигает 130—150 м. Среди скарнов магнетитовое оруденение морфологически представлено

линзами, жилами, гнездами, шлирами и небольшими зонами вкрапленного оруденения. По данным скважины № 72, заданной в южной части скарновой полосы, суммарная мощность по нескольким интервалам массивной богатой руды составляет около 35 м. В остальных интервалах скарны содержат маломощные прожилки и вкрапленность магнетита. По пробуренным скважинам и относительным отметкам выходов магнетитовых руд оруденение прослеживается на глубину более 200—250 м.

По текстурно-структурным и морфологическим особенностям руд Ахавнадзорского месторождения представлены массивной, прожилковой и вкрапленной разновидностями, которые по минеральному составу подразделяются на магнетитовый и апатит-магнетитовый типы.

Апатит-магнетитовые руды среди скарнов образуют прожилки, жилы, линзы и шлиры размером от нескольких миллиметров до 40—50 см. Эти руды развиты в северной части месторождения.

Апатит является характерным минералом апатит-магнетитового типа руд. Минерал широко развит в богатых массивных рудах и в подчиненном количестве встречается в прожилковом типе. В последнем апатит распределен весьма неравномерно: его количество варьирует в значительных пределах. В апатит-магнетитовых рудах содержание апатита составляет 1—2 до 10—13%, иногда до 18% от общего объема руды. Содержание апатита в массивных рудах в среднем составляет 3—5%.

Апатит макроскопически представлен как идиоморфными кристаллами, так и неправильно зернистыми скоплениями в виде жил, цепочек, гнезд, шлиров и других морфологических форм. Кристаллы апатита обычно короткопризматические и короткостолбчатые, размером 0,8—3,0 мм в поперечных разрезах. В массивных и прожилковых апатит-магнетитовых рудах они встречаются также в виде хорошо ограненных шестигранных коротких призм, размером 0,6—0,8 см в поперечнике. Для изученного апатита наиболее характерными являются призмы с хорошо развитыми боковыми гранями (10—10).

Цвет апатита серый, светло-серый. Излом раковистый, блеск стеклянный на плоскости грани, а на свежих изломах—жирный. Твердость высокая (около 5), хрупкий, спайность не обнаруживается. Под микроскопом, в проходящем свете, апатит бесцветен, отличается значительно высоким рельефом и шагреновой поверхностью. В скрещенных николях довольно темный, от темно-серого до почти черного. Угасание прямое. Поперечные разрезы отличаются характерной шестигранной формой. Минерал оптически одноосный, отрицательный. Показатели преломления, определяемые иммерсионным методом, следующие: $N_o = 1,635$; $N_e = 1,630$; двупреломление — 0,005.

Изученный минерал был подвергнут также рентгеноструктурному анализу (анализ выполнен в рентгеноструктурной лаборатории ИГи АН АрмССР С. В. Геворкян), который подтвердил его принадлежность к апатиту.

Результаты полного химического анализа апатита, отобранного под бинокулярной лупой, приводятся в табл. 1.

При пересчете химического анализа получена формула $\text{Ca}_{10}\text{P}_6\text{O}_{24}(\text{F}, \text{Cl})_2$, где соотношение молекулярных количеств $\text{Cl}:\text{F} = 0,06:0,07$. По составу и соотношению хлора и фтора изученный апатит относится к смешанному типу. Следует отметить, что фтор-хлорсодержащий апатит в природе пользуется сравнительно ограниченным распространением. Низкое содержание гадолинов и некоторых компонентов (OH , CO_2 , SrO и др.) указывает на своеобразность и в какой-то степени стерильность нашего апатита.

По данным трех полуколичественных спектральных анализов в составе апатита наряду с элементами, определенными химическим методом, установлены Cu , Ni , Pb , Zn , Ag , As , Sr . Результаты химического анализа свидетельствуют о несколько пониженном содержании P_2O_5 и CaO по сравнению с теоретической формулой апатита, что обусловлено высоким содержанием Fe и Si в данной пробе. Повышенное содержание Fe и Si обусловлено нечистотой анализируемой пробы*. Под микроскопом и бинокулярной лупой установлено, что в зернах апатита встречаются мельчайшие пылевидные выделения магнетита.

В составе данного апатита содержание суммы элементов-примесей составляет 1,21%. Отсутствие собственных минералов редких земель позволяет допустить изоморфное вхождение этих элементов в кристаллическую решетку апатита, по всей вероятности, путем замещения двухвалентных катионов кальция. В. М. Гольдшмидтом (2) установлено, что в минералах возможность изоморфизма редких земель гораздо лучше проявляется в отношении двухвалентного катиона кальция, чем катионов трехвалентных элементов. В этом отношении большой интерес представляет не только суммарное процентное содержание элементов-примесей, но и их дифференциальная характеристика.

При сравнении результатов химических анализов апатитов одного из железорудных месторождений Армянской ССР (4) и изученного апатита обнаруживается низкое содержание суммы элементов-примесей в последнем.

Таблица 1

Компоненты	Вес в %
P_2O_5	38,24
SiO_2	2,50
TiO_2	н. о.
Al_2O_3	0,20
Fe_2O_3	1,10
FeO	0,71
CaO	52,15
MgO	сл.
MnO	0,10
Na_2O	0,07
K_2O	0,07
H_2O	0,40
F_2	0,70
Cl_2	1,14
CO_2	0,76
S	0,17
Эл. пр.	1,21
Сумма	99,19
$-\text{O}=\text{F}_2$	0,29
$-\text{O}=\text{Cl}_2$	0,32
Сумма	98,58

* Анализ выполнен аналитиком М. М. Языджиан в химической лаборатории ИИ Н АН АрмССР. Анализ произведен методом ионнообменных смол.

** По результатам анализа пробы № А-12 чистоотобранного апатита содержание P_2O_5 в нем 39,77%, а CaO —53,30%.

По условиям образования магнетитовое оруденение Ахавнадзорского месторождения Э. А. Хачатурян (*) относит к контактово-метасоматическому (скарновому) генетическому типу. Полевые наблюдения и камеральная обработка собранных материалов позволяют придерживаться этой точки зрения. Однако следует подчеркнуть особую роль анометасоматических гидротермальных процессов при формировании месторождений, в частности при образовании богатых массивных и прожилковых магнетитовых и апатит-магнетитовых руд. Эти гидротермальные процессы, приводящие к образованию богатых массивных апатит-магнетитовых руд, имели место после формирования гранатовых скарнов (андрадитового состава) с вкрапленным оруденением магнетита.

В заключение необходимо отметить, что

1. Установление апатита в минеральном составе магнетитовых руд Ахавнадзорского месторождения позволяет наряду с магнетитовым выделить апатит-магнетитовый тип оруденения, что дает возможность более полно осветить вопросы генезиса месторождения.

2. В свете приведенных данных Ахавнадзорское месторождение приобретает определенное научное и практическое значение, а также в отношении проведения поисковых работ на аггруды.

3. Апатит-магнетитовый тип оруденения следует считать характерным не только для Ахавнадзора, но, возможно, также и для других месторождений и рудопроявлений железа, размещенных в пределах Памбакского рудного района.

Կ. Յ. ՄԱԿԱՆԻՍԻԱՆ

Աղավազների համեմատարկ մագնետիտային համեմատությունը ապատիտ հայտնաբերման մասին

1964 թ. երկրաբանական ուսումնասիրությունների ժամանակ Աղավազների երկաթի հանքանյութերում առաջին անգամ հայտնաբերվել է ապատիտ, որը թույլ է առիթ մագնետիտային հանքանյութերի հետ մեկտեղ նշված հանքաժայռում առանձնացնել հանքանյութում նոր՝ ապատիտ-մագնետիտային տիպ:

Հազվադեպ բերվում է ապատիտ միներալի մանրամասն նկարագրությունը, բնութագրվում է ապակառույ առաջինների իրման վրա նրա զեոքիմիական բնութագրերը, ինչպես նաև ապատիտ-մագնետիտային հանքանյութերի աեղաբաշխման որինաչափությունը:

Բերված փաստական նյութերի ամփոփումը հանքաժայռային է առիթ կատարելու աեակաև և զործնական որոշ եզրակացություններ, այն է, հանգամանորեն յուսաբանել Աղավազների հանքաժայռի ծագման երկրաբանական պայմանները և նշել որոշման-հետախույզական աշխատանքների կազմակերպման անհրաժեշտությունը՝ ապատիտ հանքանյութում հետաևհարները վերջնականորեն պարզելու նպատակով:

ЛИТЕРАТУРА — ԿՐԱՆԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

* Н. Г. Магакьян, «Сов. геол.» № 7, 1959. * Г. П. Богдысян, Тр. XIII Всес. сесс. по опред. абсолют. вопр. геол. формаций, Изд. АН СССР, М., 1965. * В. И. Гольдшмидт, Л. Томассен, Сб. Новые идеи в геохимии, т. I, Русский перевод Н. Л. Борнеман-Старынкевич, 1924. * Э. Х. Гулян, Изв. АН АрмССР, науки о Земле, XVII, № 1, 1964. * Э. А. Хачатурян, Генетические типы железорудных месторождений Армянской ССР и перспективы их освоения, Изд. АН Арм ССР, Ереван, 1963.

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

В. О. Казарян

О природе старения высших растений*

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР А. Л. Тахтаджяном 11/II 1965)

Существующая в биологической литературе концепция о старении растений как «стадийном» или старческом изменении клеток верхушечной меристемы, приводящем к затуханию жизнедеятельности и отмиранию организма (¹), опровергнута множеством фактов (²). Последние, наоборот, свидетельствуют об онтогенетической молодости меристематических клеток конусов нарастания независимо от ярусного месторасположения их на растении.

Не соответствует реальным фактам также воззрение, считающее старение процессом расходования потенциальной жизнеспособности в результате последовательного образования конуса нарастания и производных от него органов и тканей (³). Достаточно напомнить, что укорененные черенковые растения, происходящие от любого яруса дерева, способны достигать вегетативной мощности и долговечности, соответствующей материнскому растению.

Специальные эксперименты, наблюдения в природе и многие известные факты побудили иначе подойти к проблеме старения растений. Разрабатываемые нами представления о физиологической сущности старения обоснованы многочисленными экспериментальными данными, а также теоретическим анализом некоторых биологических особенностей высших растений.

Первая из указанных особенностей заключается в асинхронном образовании, развитии и старении метамерных органов и стеблевых тканей. Отмирание отдельных органов и элементов живых тканей наблюдается с ранних периодов онтогенеза, хотя растение продолжает усиливать вегетативный рост. Старение тех или иных частей связано с двумя обстоятельствами: с неравномерным изменением внутреннего режима жизнедеятельности указанных частей и тканей в ходе онто-

* В данном сообщении изложены ведущие положения подготовляемой автором монографии «Онтогенетическое затухание корне-лиственной связи (старение высших растений)».

тенева и с постепенным нарушением координации и нарастании числа надземных и подземных метаболических органов.

Следующая особенность растений—биполярная ориентация клеток и органов, т. е. полярность. Главным и наиболее ярко выраженным морфологическим ее проявлением, как известно, является образование функционально и структурно различных метамеров: листьев и корней на противоположных концах общей оси. В ходе индивидуального развития постепенно увеличивается, с одной стороны, число листьев и всасывающих корней, с другой—расстояние между ними.

Третьей особенностью, присущей всему живому, является целостность, осуществляющаяся корреляцией и координацией всех процессов органов и частей растения. Основным условием ее проявления и, следовательно, обеспечения развития подавляющего большинства высших растений является корне-листовая функциональная связь. Корни, согласно множеству экспериментальных данных, полученных за последние два-три десятилетия, являются теми всасывающими и метаболическими органами, которые непрерывно передают к надземной системе, кроме воды и минеральных элементов, разнообразные метаболиты (аминокислоты, амиды, продукты нуклеинового обмена, белки, органические соединения фосфора, ферменты и др. соединения), необходимые для формирования и роста листьев, синтеза хлорофилла и белков. Листья же обеспечивают корни ассимилятами и физиологически активными соединениями для их роста и нормальной жизнедеятельности.

Эти основные черты перечисленных трех особенностей высших растений подсказывают непосредственный подход к пониманию сущности старения растений. Для их онтогенетического развития, как отмечено выше, характерны две противоположные тенденции: с одной стороны нарастание общего числа полярно расположенных метамеров (всасывающих корней и листьев), с другой—прогрессивное увеличение в результате биполярного верхушечного роста расстояния между листьями и корнями. Дело в том, что увеличение числа полярно расположенных метамеров в ходе индивидуального развития растений обусловлено соответствующим усилением функциональной связи между ними. Последняя, однако, не может непрерывно интенсифицироваться параллельно с увеличением расстояния между листьями и корнями. Это обстоятельство, как будет показано в дальнейшем, является одним из главных внутренних факторов, вызывающих ослабление обмена веществ между корнями и листьями древесных форм. Прекращение верхушечного роста или же асинхронное отмирание отдельных полярно расположенных метамеров у древесных растений после определенного вегетативного развития является результатом ослабления функциональной связи между листьями и всасывающими корнями по сравнению с их мощностью, т. е. нарушением корреляции между корнями и листьями и их общей поверхностью. У других жизненных форм растений ослабление корне-листовой связи обуславливается иными внутренними факторами: наступлением генеративного развития, отмиранием эле-

ментов проводящей системы и др. Во всех случаях подавление роста последующие за ним старение и отмирание растений обуславливаются затуханием этой связи.

Из всего изложенного логически следует, что старение растений представляет собой процесс онтогенетического затухания корне-листовой связи. Процесс этот выражается с одной стороны в координированном необратимом уменьшении количества поступающих в листья воды, минеральных элементов и корневых метаболитов, в параллельном ослаблении питания корней ассимилятами и физиологически активными веществами, с другой стороны — в уменьшении массы листьев и всасывающих корней.

Первым наиболее наглядным показателем наступления старения является ослабление роста—сокращение, прежде всего числа листовых метамеров и всасывающих корней. Следует учесть, что каждая почка, подобно семенам, обладает потенциальной способностью развиваться в нормальное растение. Одной из существенных причин недоразвития и отмирания множества почек на любом древесном или кустарниковом растении является возникновение и усиление корневой недостаточности, выражающейся в понижении поглотительной и метаболической активности по сравнению с теми требованиями, которые предъявляют листья и растущие почки. Дальнейшее ослабление корневой активности у древесных растений вызывает сначала отмирание отдельных метамеров, а затем суховершинность и постепенное высыхание скелетных ветвей в направлении от верхушки к корневой шейке.

У травянистых форм корневая недостаточность начинается с наступлением цветения и плодоношения, в связи с чем исключается поступление ассимилятов к корневой системе. Последняя в силу этого прекращает рост, а затем всасывающую и поглотительную деятельность. Указанная недостаточность приводит с другой стороны к ослаблению синтеза нуклеиновых кислот и белков в процессе фотосинтеза. Это обстоятельство, в свою очередь, оказывает подавляющее влияние на вегетативный рост. Основным продуктом листового синтеза в данном периоде онтогенеза являются углеводы, которые поступают главным образом в корни для усиления их роста и повышения функциональной активности. Несмотря на это, прежний уровень корневой активности не восстанавливается. Значительная доля этих сахаров расходуется по пути их передвижения на формирование элементов проводящих систем, а другая часть, поступающая в корни, не может обеспечить интенсивный рост, всасывающую и метаболическую деятельность последних.

Время возникновения и темпы усиления корневой недостаточности являются одним из характерных показателей сравнительной долговечности растений. Виды, у которых корневая недостаточность ощущается рано, отличаются меньшей долговечностью. Развитие этой тенденции у тех или иных форм определяется также величиной соотношения общей массы надземной и корневой системы. У растений, обладающих, по сравнению с надземными органами, мощной корневой системой,

указанная недостаточность наступает поздно и усиливается более медленно. Такие формы, как правило, показывают большую продолжительность жизни даже в неблагоприятных условиях существования (растения-подушки, шпалерные растения и др.).

Ниже приводится перечень основных внутренних факторов, приводящих к онтогенетическому затуханию корне-лиственной связи (старение) у разнообразных растительных форм.

1. *Увеличение расстояния между листьями и корнями.* Онтогенетическое развитие растений характеризуется прежде всего нарастанием числа листоносных метамеров, корневых разветвлений и увеличением расстояния между указанными активно функционирующими метаболическими системами. Экспериментально установлено, что у древесных форм по мере отделения листьев от корней ослабляется функциональная связь между ними: увеличиваются расходы ассимилятов по пути их передвижения на формирование проводящих элементов и на дыхание последних, уменьшается скорость их передвижения, затрудняется поднятие поглощенной корнями воды к листьям и т. д. Вследствие всего этого коррелятивно сокращается общая площадь листьев и всасывающая поверхность корней.

2. *Усиление водного дефицита у вновь появляющихся верхушечных листьев.* Одним из показателей ярусной разнокачественности листьев, как известно, является усиление их ксероморфности. Развитие этого свойства приводит к увеличению водного дефицита, что сильнее проявляется у древесных форм. Установлено, что у мощных деревьев, растущих даже во влажной почве, наблюдается закрывание устьичных проемов в полудневные часы, вследствие наступления водного дефицита. Последний, кроме того, вызывает ослабление или подавление процесса деления меристематических клеток растущих почек. Таким образом, перемещение основной листовой массы к более верхним ярусам вызывает ослабление общей фотосинтетической продуктивности и роста растений через усиление ксероморфности и водного дефицита. Слабая деятельность листьев и сокращение их массы в свою очередь ухудшают корневое питание.

3. *Ухудшение внутренних условий образования элементов проводящих систем и их функционирование.* Проводящие ткани — ксилема и флоэма — в течение жизненного цикла растений непрерывно отмирают и обновляются. В ксилеме отмирают внутренние слои древесины, обновляющимися же частями являются ежегодно образующиеся периферийные кольца. В сфере флоэмы, наоборот, отмирают периферийные, и обновляются внутренние, смежные с камбием слои. Таким образом, молодые и более жизнедеятельные элементы проводящих тканей всегда возникают с обеих сторон активно функционирующего камбия, и отмирают расположенные дальше от него элементы. В ходе онтогенетического развития число жизнедеятельных слоев проводящих тканей сокращается по мере уменьшения общей поверхности листьев и всасывающих корней, что коррелятивно подавляет их функциональную связь.

У стержнекорневых травянистых и кустарничковых форм корне-листовая связь ослабляется вследствие сгнивания тканей корневой шейки. Последнее, как известно, связано с отмиранием плодущих побегов, оставляющих на корневой шейке мертвую поверхность, через которую впоследствии проникает гниль, образуя очаг разложения. В дальнейшем, по мере увеличения числа отмирающих побегов и увеличения в связи с этим мертвой поверхности на шейке корня и расширения очага разложения, значительно сокращаются живые флоэмные и ксилемные ткани. Развитие этой тенденции в конце-концов приводит к партикуляции куста, а затем полному его отмиранию.

4. *Наступление цветения и плодоношения.* Этот кардинальный для жизнедеятельности и филогенеза растений процесс оставляет глубокий отпечаток на ходе обменных реакций, осуществляющихся во всех органах и тканях. У древесных и кустарниковых растений с наступлением поры массового плодоношения резко подавляется рост надземных органов и корневой системы. Вследствие ежегодного расходования огромной массы ассимилятов на образование цветков и плодов существенно ухудшается снабжение корней ассимилятами, вызывая тем самым ослабление их роста и метаболической деятельности. Это обстоятельство в свою очередь, подавляет рост надземных органов. Непосредственным следствием обильного плодоношения является ослабление обмена веществ между корнями и листьями.

Затухание корне-листовой связи у однолетников резко усиливается после плодоношения. Генеративное развитие вызывает нарушение би-полярного распределения ассимилятов вследствие прекращения передвижения их к корневой системе. Последняя, не получая ассимиляты, сама направляет к цветкам и плодам вместе с корневыми метаболитами содержащиеся в ней пластические вещества. Цветение и семенообразование у однолетников приводит с другой стороны к прекращению формирования новых листоносных метамеров, так как все отрастающие почки развиваются в цветки.

5. *Переход активной корне-листовой связи от главной оси к осям замещения у кустарников и полукустарников.* Одной из характерных черт этих жизненных форм является энергичное кущение с ранних периодов онтогенеза и ограниченный верхушечный рост осей. Кроме того, каждая ось замещения, независимо от того, возникает ли она от угла кущения, от корней или плагиотропных подземных побегов, формирует собственную корневую систему, хотя и остается связанной с корнями материнской оси. При такой структуре куста связь корневой системы центральных осей с собственными листьями со временем становится значительно слабее, чем с листьями смежных осей замещения, что ускоряет старение материнских осей. Таким образом, по мере появления новых боковых осей (индивидов) и перехода активной корне-листовой связи от материнских к осям замещения усиливается старение последних.

6. *Ухудшение условий развития и функционирования полярно расположенных метамеров в онтогенезе растений.* У ряда жизнен-

ных форм в ходе онтогенеза по мере прогрессивного увеличения числа листоносных метамеров и всасывающих корней в ограниченном жизненном пространстве усиливается расхождение между требованиями и наличием соответствующих условий для роста и нормального функционирования полярных метамеров. При таких условиях многие из них отмирают, не достигая нормальной величины, а другие значительно подавляются в жизнедеятельности. Угнетение функционирования корней или листьев вследствие чрезмерного увеличения их числа в ограниченном жизненном пространстве особенно ярко проявляется у плотнокустовых злаков, у ряда многоосных кустарников и полукустарников.

У названных жизненных форм новые побеги или оси замещения и отходящие от них корни образуются от узла кушения. В силу этого на небольшом жизненном подземном или надземном пространстве со временем появляется множество идентичных метамеров (листьев и корней), между которыми обостряется борьба за условия существования. Наиболее угнетенные из них отмирают в раннем периоде онтогенеза, что приводит к соответственному ослаблению корне-листовой связи у материнского куста в целом. Искусственно отделенные побеги с собственными корнями, пересаженные на новое место, за короткий срок достигают значительной мощности и живут дольше материнского куста.

Существуют и другие причины затухания корне-листовой связи, свойственные тем или иным небольшим группам растений. Они играют существенную роль только в старении указанных форм. Для каждой жизненной формы растений характерны те или иные из рассмотренных выше основных факторов онтогенетического затухания корне-листовой связи.

У одних форм решающим для старения является увеличение расстояния между листьями и корнями и им не свойственна партикуляция, у других основную роль играет наступление генеративного развития или проявляется партикуляция.

Существует множество видов среди высших растений, у которых по той или иной причине редуцированы листья, функцию которых выполняют зеленые стебли (кактус и др.) или взамен корней функционируют ризонды (мхи, псилотумы и др.) Это обстоятельство, однако, не исключает высказанные нами представления о физиологической сущности их старения. Последнее у этих растений, подобно всем остальным корне-листо-стеблевым формам, наступает вследствие ослабления функциональной связи между ассимилирующей тканью и подземными всасывающими и метаболическими органами.

Новая концепция о старении растений одновременно дает возможность понять биологическую сущность омоложения. В противоположность старению омоложение заключается в изоляции от материнского растения специализированных органов размножения или частей, способных формировать листья и корни. Этот процесс по сути дела является актом омоложения как для отделяющейся части, так и для ма-

теринского организма в целом. Разница заключается лишь в степени омоложения. Отделяющаяся часть омолаживается более глубоко в силу того, что корне-листовая связь у нее устанавливается и интенсифицируется заново, а у материнского организма она усиливается соответственно мощности удаленной части. С этой точки зрения омоложение поросли от срубленного пня более глубокое, чем омоложение обрезанных деревьев ⁽²⁾.

Ботанический институт
Академии наук Армянской ССР

Վ. Ն. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

Քաղաքակարգ բույսերի ծերացման բնույթի մասին

ժամանակակից բիոլոգիայում, ինչպես հայտնի են, դեռ չեն մշակված բույսերի ծերացման հիմունքները, իսկ եղած պատկերացումներն էլ հերքվում են բազմաթիվ տվյալներով:

Հեղինակի կողմից վերջին մի քանի տարիների ընթացքում հավաքված են մեծ քանակությամբ փաստական մատերիալներ, ինչպես և դրված են մի շարք փորձեր և կատարված են բազմաթիվ բիոքիմիական անալիզներ, որոնց հիման վրա տրվում են նոր պատկերացումներ բարձրակարգ բույսերի ծերացման ֆիզիոլոգիական բնույթի մասին, այն դիտելով որպես բույսերի արմատատերևային ֆունկցիոնալ կապի ռետոդենետիկական մարման պրոցես: Տվյալ հաղորդումը հանդիսանում է հեղինակի կողմից պատրաստվող բարձրակարգ բույսերի ծերացման էությունը և փիրված մենագրության հիմնական տեսական դրույթների շարադրումը:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Ի Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Յ ՈՒ Ն

¹ Т. Д. Лысенко, Агробиология, Сельхозгиз, 1948. ² В. О. Казарян, Физиологические основы онтогенеза растений, Ереван, 1949. ³ Н. А. Кренке, Теория циклического старения и омоложения растений, Сельхозгиз, 1940.

