

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АРМЕНИИ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ԶԵԿՈՒՅՅՆԵՐ

ДОКЛАДЫ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ

ԳԻՏԱԿԱՆ ՀՍՆԴԵՍ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

1996

Том 96 № 2—4

Издается с января 1944г.

Выходит 4 раза в год

Խմբագրական կոլեգիա

Редакционная коллегия

ԳԱՍՐԶՈՒՄԱՆՅԱՆ, տեխն. գիտ. թեկնածու (պատ. քարտուղար), ԷԳԱՖՐԻԿՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, ՊԵՔԱՂՂԱՍԱՐՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, ԻՍԳԱՐԻԵԼՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, ՎՎԴՈՎԼԱԹՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս (պատ. խմբագրի տեղակալ), ԱԱԹԱԼԱԼՅԱՆ Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, ՎՀՀԱՍԲՈՐԶՈՒՄՅԱՆ, ակադեմիկոս, ՎՀՂԱԶԱՐՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, ՎԳՂԱՐԱԳՅՈՋՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, ՅՈՒՀԵՈՒԹՈՒՐՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, ՖՏԱՍՐԳՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, ՂԱՍԵՂՐԱԿՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս (պատ. խմբագիր), ՎԲՖԱՆԱՐԶՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս

В.А.АМБАРЦУМЯН, академик, Г.А.АРЗУМАНЯН, канд. техн. наук (отв. секретарь), Э.Г.АФРИКЯН, академик НАН Армении, Г.Е.БАГДАСАРЯН, академик НАН Армении, Э.С.ГАБРИЭЛЯН, академик НАН Армении, В.В.ДОВЛАТЯН, академик НАН Армении (зам. отв. редактора), В.О.КАЗАРЯН, академик НАН Армении, К.Г.КАРАГЕЗЯН, академик НАН Армении, Ф.Т.САРКИСЯН, академик НАН Армении, Д.М.СЕДРАКЯН, академик НАН Армении (отв. редактор), А.А.ТАЛАЛЯН, академик НАН Армении, Ю.Г.ШУКУРЯН, академик НАН Армении, В.В.ФАНАРДЖЯН, академик НАН Армении

ՀՀ ԳԱԱ «ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ» ՀՐԱՏԱՐԱԿՉՈՒԹՅՈՒՆ

ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАН

УДК 517.547

В. И. Гаврилов, академик НАН Армении В. С. Захарян

Некасательный рост и ограниченность нормальных голоморфных функций

(Представлено 12/IV 1995)

В статье исследуется свойство ограниченности нормальных голоморфных функций, определенных в единичном круге на комплексной плоскости, в зависимости от условий их ограниченности на малых подмножествах круга.

1. Предварительные определения и обсуждения. Символами V и Γ обозначим, соответственно, единичный круг $V: |z| < 1$ на комплексной z -плоскости $\mathbb{C}: |z| < \infty$ и единичную окружность $\Gamma: |z| = 1$. Напомним, что мероморфную функцию $f(z)$, определенную в круге V , называют нормальной функцией, если множество функций $\{(f \circ S)(z) | S \in T\}$, порождаемое функцией $f(z)$ на группе T всех конформных автоморфизмов $S(z)$ круга V , образует в V нормальное семейство в смысле Монтеля (1). Хорошо известно, что семейство нормальности функции $f(z)$ полностью характеризуется в терминах ее сферической производной $f^\#(z) = \frac{f'(z)}{1 + |f(z)|^2}$, являющейся неотрицательной непрерывной функцией в круге V , поскольку в каждой точке $z \in V$, в которой

$f(z) \neq \infty, 0$, справедливо свойство $\left(\frac{1}{f}\right)^\#(z) = f^\#(z)$, которое и служит

определением функции $f^\#(z)$ в полюсах функции $f(z)$ в круге V . Именно, мероморфная функция $f(z)$ будет нормальной функцией в круге V тогда и только тогда, когда $\sup_{z \in V} (1 - |z|^2) f^\#(z) < +\infty$ (см. (2) или (3), с.152).

Последнее условие имеет простую геометрическую интерпретацию. Рассмотрим одноточечную компактификацию комплексной плоскости $\mathbb{C}$ в виде сферы Римана Ω , на которой определена сферическая метрика с линейным элементом $d\chi(w) = \left(1 + |w|^2\right)^{-1} |dw|$. В частности, если $w = f(z)$,

$z \in V$, то $d\chi(f(z)) = f''(z)|dz|$, $z \in V$. В единичном круге V определена гиперболическая метрика с линейным элементом $d\sigma(z) = (1 - |z|^2)^{-1}|dz|$, $z \in V$. Поэтому мероморфная в круге V функция $f(z)$ будет нормальной тогда и только тогда, когда существует такая постоянная $C = C_f > 0$, что $d\chi(f(z)) \leq C d\sigma(z)$, $z \in V$; т.е. тогда и только тогда, когда функция $f(z)$ удовлетворяет условию Липшица относительно сферической метрики на сфере Римана Ω и гиперболической метрики в единичном круге V .

2. Ограниченные функции Блока. Голоморфную функцию $f(z)$, определенную в круге V , называют функцией Блока, если $\sup_{z \in V} (1 - |z|)|f'(z)| < +\infty$. Любая ограниченная голоморфная функция $f(z)$, определенная в круге V , является функцией Блока, поскольку из свойства $|f(z)| \leq K$, $z \in V$, и из представления производной $f'(z)$ интегралом Коши от функции $f(z)$ непосредственно следует оценка $|f'(z)| \leq K(1 - |z|)^{-1}$, $z \in V$. Так как $f''(z) \leq |f'(z)|$, $z \in V$, то каждая функция Блока является нормальной голоморфной функцией. Эллиптическая модулярная функция $g(z) \neq 0, 1, \infty$, $z \in V$, доставляет пример нормальной голоморфной функции, не являющейся функцией Блока (см. также пример 3 в пункте 7 ниже).

В статье (4) доказано следующее достаточное условие ограниченности функции Блока.

Теорема А. Если существует такая постоянная $K > 0$, что для функции Блока $f(z)$ условие $\limsup_{r \rightarrow 1-0} |f(r\zeta)| \leq K$, $0 < r < 1$, выполняется в

каждой граничной точке $\zeta \in \Gamma$, то функция ограничена в круге V .

Доказываемый ниже в пункте 3 результат распространяет утверждение теоремы А на все нормальные голоморфные функции, ослабляя при этом условие на рост функции.

3. Ограниченные нормальные голоморфные функции. Для произвольной точки $\zeta \in \Gamma$ обозначим через $h(\zeta, \varphi)$ хорду круга

$D_\zeta: \left| z - \frac{1}{2}\zeta \right| < \frac{1}{2}$, оканчивающуюся в точке ζ и образующую с диамет-

ром круга D_ζ в точке ζ угол раствора φ , $-\frac{\pi}{2} < \varphi < \frac{\pi}{2}$. Тогда символ

$h(\zeta, 0)$, обозначающий диаметр круга D_ζ в точке ζ , будет обозначать также радиус круга V в точке ζ . Угловую подобласть круга D_ζ , распо-

ложенную между хордами $h(\zeta, \varphi_1)$ и $h(\zeta, \varphi_2)$, $-\frac{\pi}{2} < \varphi_1 < \varphi_2 < \frac{\pi}{2}$, обоз-

начим символом $\Delta(\zeta, \varphi_1, \varphi_2)$ (или просто $\Delta(\zeta)$, если нас не интересует величина раствора угла $\Delta(\zeta, \varphi_1, \varphi_2)$).

Последовательность точек (z_n) круга V назовем некасательно сходящейся к граничной точке $\zeta \in \Gamma$, если $\zeta = \lim_{n \rightarrow \infty} z_n$ и точки z_n лежат в некотором угле $\Delta(\zeta)$ с вершиной в точке ζ для всех индексов $n \in \mathbb{N}$, начиная с некоторого индекса $N \in \mathbb{N}$, т.е. $z_n \in \Delta(\zeta)$ для всех $n \in \mathbb{N}$, $n \geq N$.

Определение 1. Условимся считать, что мероморфная функция $f(z)$ обладает в граничной точке $\zeta \in \Gamma$ свойством (а), если функция ограничена на некоторой последовательности точек (z_n^ζ) , некасательно сходящихся к точке ζ , т.е. оценка $|f(z_n^\zeta)| \leq K_\zeta$ справедлива для всех индексов $n \in \mathbb{N}$ с некоторой константой $K_\zeta > 0$.

Например, если в точке $\zeta \in \Gamma$ справедливо свойство $\limsup_{r \rightarrow 1-0} |f(r\zeta)| < +\infty$, то функция $f(z)$ обладает в точке $\zeta \in \Gamma$ свойством

(а) с постоянной $K_\zeta = \limsup_{r \rightarrow 1-0} |f(r\zeta)| + \varepsilon$ для любого числа $\varepsilon > 0$.

Теорема 1. Если нормальная голоморфная функция $f(z)$ обладает свойством (а) в каждой точке $\zeta \in \Gamma$, то $f(z)$ ограничена в круге V . Если, дополнительно, существует такая постоянная $K > 0$, что константы K_ζ в свойстве (а) удовлетворяют неравенству $K_\zeta \leq K$ для всех точек $\zeta \in \Gamma$, то $|f(z)| \leq K$ всюду в круге V .

Докладательство. Допустим, напротив, что функция $f(z)$ не ограничена в круге V . Поскольку для голоморфной функции $f(z)$ значение ∞ является исключительным значением и функция $f(z)$ не ограничена в круге V , то, согласно теореме Кирста и Шильрайна (5), значение ∞ является асимптотическим значением для функции $f(z)$, т.е. в круге V существует такая жорданова кривая L , оканчивающаяся на Γ , на которой $\lim_{|z| \rightarrow 1, z \in L} f(z) = \infty$.

Имеются только две возможности: 1) кривая L имеет единственную предельную точку ζ_0 на окружности Γ , т.е. кривая L оканчивается в единственной точке $\zeta_0 \in \Gamma$, и 2) кривая L имеет по крайней мере две различные предельные точки на Γ , т.е. кривая L оканчивается некоторой замкнутой дугой γ на Γ (возможно, $\gamma = \Gamma$).

В случае 2), в силу теоремы единственности из статьи ((6), теорема 1), мы должны иметь $f(z) \equiv \infty$, $z \in V$, в то время как по условию теоремы $f(z) \neq \infty$, $z \in V$.

В случае 1), согласно известному результату из статьи ((2), теорема 1), функция $f(z)$ обязана иметь угловой предел ∞ в точке $\zeta_0 \in \Gamma$, т.е. для любого угла $\Delta(\zeta_0)$ имеем $\lim_{z \rightarrow \zeta_0, z \in \Delta(\zeta_0)} f(z) = \infty$. Последнее противоречит свойству (а) функции $f(z)$ в точке $\zeta_0 \in \Gamma$.

Итак, оба случая 1) и 2) невозможны, и значит функция $f(z)$ ограничена в круте V , т.е. доказано первое утверждение теоремы 1.

Согласно классической теореме Фату (см., например, (7), с.66), функция $f(z)$ имеет почти всюду на Γ конечные угловые граничные значения, т.е. в каждой точке $\zeta \in \Gamma$, за возможным исключением точек некоторого множества $E \subset \Gamma$ линейной лебеговой меры нуль, $\text{mes} E = 0$, существует конечный $\lim_{z \rightarrow \zeta, z \in \Delta(\zeta)} f(z) = f(\zeta)$ по любому углу $\Delta(\zeta)$ и значение $f(\zeta)$ не зависит от раствора угла $\Delta(\zeta)$. Так как функция $f(z)$ обладает в каждой точке $\zeta \in \Gamma$ свойством (а), то $|f(\zeta)| \leq K_\zeta$ в тех точках $\zeta \in \Gamma$, в которых угловой предел $f(\zeta)$ существует. Если функция $f(z)$ удовлетворяет дополнительному условию теоремы 1, то заключаем, что $|f(\zeta)| \leq K$ для всех точек $\zeta \in \Gamma$, в которых угловой предел $f(\zeta)$ существует. В силу теоремы Г.М.Фихтенгольца (см. (7), с.97), ограниченная голоморфная функция $f(z)$ представима в круте V интегралом Пуассона—Лебега от своей граничной функции $f(\zeta)$, $\zeta \in \Gamma$. Прямая оценка этого интеграла при условии, что $|f(\zeta)| \leq K$ почти всюду на Γ , приводит к заключению, что $|f(z)| \leq K$ для всех $z \in V$, т.е. доказано и второе утверждение теоремы 1.

4. Достаточное условие ограниченности функции Блока. В статье (4) доказано достаточное условие ограниченности функции Блока, основанное на введенном в (4) понятии пренебрежимо малого граничного множества. Множество E точек окружности Γ называют пренебрежимо малым, если для любой точки $\zeta \in E$ можно указать некоторую дугу I на Γ , лежащую в $\Gamma \setminus E$ и оканчивающуюся в точке ζ . Из определения непосредственно следует, что любое пренебрежимо малое множество на Γ не более чем счетное, поскольку оно равномощно некоторому множеству открытых взаимно непересекающихся дуг на Γ , которое, как известно, не более чем счетное.

Теорема Б (4). Если существуют такая постоянная $K > 0$ и такое пренебрежимо малое множество E на Γ , что функция Блока $f(z)$ обладает свойством $\limsup_{z \rightarrow \zeta, z \in V} |f(z)| \leq K$ в каждой точке $\zeta \in \Gamma \setminus E$, то функция $f(z)$ ограничена в круте V .

Прежде чем комментировать условие теоремы Б с позиций теории предельных множеств, отметим, что функция, удовлетворяющая усло-

вию этой теоремы, обладает в каждой точке $\zeta \in \Gamma \setminus E$ свойством (а) с постоянными $K_\zeta \leq K$, $\zeta \in \Gamma \setminus E$. Напомним теперь, что в теории предельных множеств символом $C(f, \zeta, S)$ принято обозначать предельное множество комплекснозначной функции $f(z)$, определенной в круге V , в граничной точке $\zeta \in \Gamma$ по множеству S , принадлежащему кругу V и имеющему точку ζ в качестве своей предельной точки. По определению, множество $C(f, \zeta, S)$ состоит из всех таких точек $w \in \Omega$, которые являются пределом $\lim_{n \rightarrow \infty} f(z_n^w) = w$ для некоторой последовательности точек (z_n^w) , $z_n^w \in S$, $n \in \mathbb{N}$, $\lim_{n \rightarrow \infty} z_n^w = \zeta$. В этих обозначениях свойство $\limsup_{z \rightarrow \zeta, z \in V} |f(z)| \leq K$ равносильно тому, что предельное множество $C(f, \zeta, V)$ функции $f(z)$ в точке $\zeta \in \Gamma \setminus E$ по всему кругу V ограничено и содержится в круге $|w| \leq K$.

Согласно теореме Э. Коллингвуда (см. (8), с.105), для произвольной комплекснозначной функции $f(z)$, определенной в круге V , и для произвольной точки $\zeta \in \Gamma$ можно указать такую жорданову кривую L_ζ^o , лежащую в V и оканчивающуюся в точке ζ , по которой $C(f, \zeta, L_\zeta^o) = C(f, \zeta, V)$. Для произвольной жордановой кривой L_ζ , лежащей в круге V и оканчивающейся в точке $\zeta \in \Gamma$, совпадение $C(f, \zeta, L_\zeta) = C(f, \zeta, V)$ происходит, как правило, редко. Даже в случае радиусов $h(\zeta, 0) = h_\zeta$ круга V в граничных точках $\zeta \in \Gamma$ существуют ограниченные голоморфные в V функции $f(z)$, для которых равенство $C(f, \zeta, h_\zeta) = C(f, \zeta, V)$ справедливо в точках $\zeta \in \Gamma$, образующих множества нулевой линейной лебеговой меры, т.е. $C(f, \zeta, h_\zeta) \neq C(f, \zeta, V)$ для почти всех точек $\zeta \in \Gamma$ (см. пример 4 в пункте 7 ниже). С другой стороны, однако, справедлива следующая теорема Э. Коллингвуда (см. (8), с.108): для произвольной мероморфной функции $f(z)$, определенной в круге V , граничные точки $\zeta \in \Gamma$, в которых $C(f, \zeta, h_\zeta) \neq C(f, \zeta, V)$, обязаны образовать множество первой категории (по Бэру) на Γ .

Проведенные выше обсуждения указывают направление дальнейшего ослабления условий теоремы Б посредством введения нового свойства (б).

Определение 2. Будем считать, что мероморфная функция $f(z)$, определенная в круге V , обладает в граничной точке $\zeta \in \Gamma$ свойством (б), если на некоторой жордановой кривой L_ζ , лежащей в V

и оканчивающейся в точке ζ , предельное множество $C(f, \zeta, L_\zeta)$ ограничено и содержится в круте $|w| \leq K_\zeta$, где $K_\zeta > 0$ — некоторая постоянная.

В частности, в силу свойства непрерывности, голоморфная функция $f(z)$, определенная в круте V , обладает свойством (б) в граничной точке $\zeta \in \Gamma$ тогда и только тогда, когда $\limsup_{z \rightarrow \zeta, z \in L_\zeta} |f(z)| = K_\zeta < +\infty$ на некоторой жордановой кривой L_ζ , лежащей в круте V и оканчивающейся в точке ζ .

Подчеркнем еще раз, что в определении свойства (б) не требуется, чтобы $C(f, \zeta, V) = C(f, \zeta, L_\zeta)$ для выбранной жордановой кривой L_ζ в точке $\zeta \in \Gamma$.

Имеет место следующая

Теорема 2. Если существуют такая постоянная $K > 0$ и такое пренебрежимо малое множество E на Γ , что функция Блока $f(z)$ обладает свойством (а) в каждой точке $\zeta \in \Gamma \setminus E$ и свойством (б) в почти каждой точке $\zeta \in \Gamma \setminus E$, причем постоянные K_ζ в свойстве (б) удовлетворяют неравенству $K_\zeta \leq K$, то функция $f(z)$ ограничена в круте V и $|f(z)| \leq K$ всюду в V .

Следствие. Если существуют такая постоянная $K > 0$ и такое пренебрежимо малое множество E на Γ , что функция Блока $f(z)$ обладает свойством $\limsup_{r \rightarrow 1-0} |f(r\zeta)| \leq K$, $0 < r < 1$, в каждой точке $\zeta \in \Gamma \setminus E$, то

функция $f(z)$ ограничена в круте V и $|f(z)| \leq K$ всюду в V .

Условия теоремы 2 и следствия к ней значительно слабее не только условий теоремы А, но и условий теоремы Б (см. обсуждение примера 4 в пункте 7 ниже).

В доказательстве теоремы 2 используются свойства предельных множеств мероморфных функций, которые позволяют свести условие теоремы 2 к условию теоремы Б.

5. В основе доказательства теоремы 2 лежит следующая

Лемма 1. Пусть E — произвольное пренебрежимо малое множество на Γ и $K > 0$ — постоянная. Если нормальная голоморфная в V функция $f(z)$ обладает в каждой точке $\zeta \in \Gamma \setminus E$ свойством (а) и в почти каждой точке $\zeta \in \Gamma \setminus E$ обладает свойством (б), в котором постоянные K_ζ удовлетворяют неравенству $K_\zeta \leq K$, то в каждой точке $\zeta \in \Gamma \setminus E$ функция $f(z)$ обладает свойством $\limsup_{z \rightarrow \zeta, z \in V} |f(z)| \leq K$ (т.е. функция $f(z)$ удовлетворяет условиям теоремы Б).

Доказательство леммы 1. Рассмотрим произвольную точку $\zeta_0 \in \Gamma \setminus E$. Тогда существует некоторая открытая дуга $\gamma \subset \Gamma \setminus E$,

которая содержит точку ζ_0 , и существует некоторое множество E_0 на γ нулевой линейной лебеговой меры, $\text{mes} E_0 = 0$, что в любой точке $\zeta \in \gamma \setminus E_0$ голоморфная функция $f(z)$ обладает свойством (б), и значит, множество $C(f, \zeta, L_\zeta)$ содержится в круге $|w| \leq K_\zeta \leq K$ для всех $\zeta \in \gamma \setminus E_0$. Для произвольного числа $\eta > 0$ образуем множество M_η , которое есть замыкание (в Ω) объединения множеств $\bigcup C(f, \zeta, L_\zeta)$ по всем точкам $\zeta \in \gamma \setminus E_0$, $0 < |\zeta - \zeta_0| < \eta$, и положим $C_{\Gamma \setminus E_0}^*(f, \zeta_0) = \bigcap_{\eta > 0} M_\eta$. По изложенному выше, множество $C_{\Gamma \setminus E_0}^*(f, \zeta_0)$ ограничено и содержится в круге $|w| \leq K$. Согласно теореме К.Носиро (см. (3), с.76), множество $C(f, \zeta_0, V) \setminus C_{\Gamma \setminus E_0}^*(f, \zeta_0)$ открытое, т.е. граница множества $C(f, \zeta_0, V)$ содержится в границе множества $C_{\Gamma \setminus E_0}^*(f, \zeta_0)$. Поэтому, если множество $C(f, \zeta_0, V)$ ограничено, то оно содержится в круге $|w| \leq K$, и если множество $C(f, \zeta_0, V)$ не ограничено, то значение $\infty \in C(f, \zeta_0, V) \setminus C_{\Gamma \setminus E_0}^*(f, \zeta_0)$. В последнем случае, поскольку значение ∞ не принимается голоморфной функцией $f(z)$ в круге V , согласно другой теореме К.Носиро (см. (3), с.80), значение ∞ обязано быть асимптотическим значением функции $f(z)$ либо в точке ζ_0 , либо в каждой точке некоторой сходящейся к ζ_0 последовательности точек (ζ_k) , $\zeta_k \in \gamma$, $k \in \mathbb{N}$, $\lim_{k \rightarrow \infty} \zeta_k = \zeta_0$. Так как асимптотическое значение нормальной функции в граничной точке обязано быть угловым граничным значением функции в этой точке и это противоречит свойству (а) функции $f(z)$, то второй случай, когда множество $C(f, \zeta_0, V)$ не ограничено, невозможен.

Итак, мы показали, что условия леммы 1 влекут то свойство, что множество $C(f, \zeta_0, V)$ содержится в круге $|w| \leq K$ для любой точки $\zeta_0 \in \Gamma \setminus E$, т.е. доказали утверждение леммы 1.

Приступая непосредственно к доказательству теоремы 2, отметим прежде всего, что функция Блока $f(z)$ является нормальной голоморфной функцией, удовлетворяющей условиям леммы 1, а значит, и утверждению леммы 1, которое совпадает с условиями теоремы Б. Поэтому, согласно утверждению теоремы Б, функция Блока $f(z)$ ограничена в круге V . По теореме Фагу, функция $f(z)$ имеет почти всюду на Γ конечные угловые граничные значения $f(\zeta)$ и, по условию теоремы 2, $|f(\zeta)| \leq K$ для почти всех точек $\zeta \in \Gamma \setminus E$. Поскольку пренебрежимо малое множество $E \subset \Gamma$ не более, чем счетное множество, то $\text{mes} E = 0$

и поэтому окончательное утверждение, что $|f(z)| \leq K$ для всех точек $z \in V$, устанавливается таким же способом, что и в доказательстве теоремы 1.

6. Усиление теоремы 2.

Определение 3. Будем считать, что мероморфная функция $f(z)$, определенная в круге V , обладает в граничной точке $\zeta \in \Gamma$ свойством (в), если $f(z)$ ограничена на некоторой последовательности точек (z_n^ζ) круга V , сходящейся в точке ζ , и для которой $\lim_{n \rightarrow \infty} \sigma(z_n^\zeta, z_{n+1}^\zeta) = 0$.

Понятно, что если функция $f(z)$ обладает в граничной точке $\zeta \in \Gamma$ свойством (б), то она обладает в точке ζ и свойством (в).

Лемма 2. Для любой нормальной мероморфной функции $f(z)$, определенной в круге V , свойства (б) и (в) равносильны в каждой граничной точке $\zeta \in \Gamma$.

Доказательство леммы 2 основано на утверждении (см., например, (9)), что для произвольной нормальной мероморфной функции $f(z)$, определенной в круге V , справедливо свойство: если последовательности (z_n) и (z'_n) точек круга V связаны условием $\lim_{n \rightarrow \infty} \sigma(z_n, z'_n) = 0$ и существует $\lim_{n \rightarrow \infty} f(z_n) = w$, то $w = \lim_{n \rightarrow \infty} f(z'_n)$.

Пусть нормальная мероморфная в V функция $f(z)$ обладает свойством (в) в граничной точке $\zeta \in \Gamma$, т.е. существует такая последовательность точек (z_n^ζ) , $z_n^\zeta \in V$, $n \in \mathbb{N}$, $\lim_{n \rightarrow \infty} z_n^\zeta = \zeta$, для которой

$\lim_{n \rightarrow \infty} \sigma(z_n^\zeta, z_{n+1}^\zeta) = 0$ и $\limsup_{n \rightarrow \infty} |f(z_n^\zeta)| = K_\zeta < +\infty$. Для произвольного $n \in \mathbb{N}$

соединим попарно точки z_n^ζ и z_{n+1}^ζ геодезической прямой Λ_n относительно гиперболической метрики $d\sigma(z)$ в круге V и образуем кривую

$L = \bigcup_{n=1}^{\infty} \Lambda_n$, которая, в силу гиперболической геометрии круга V , оканчи-

вается в точке $\zeta \in \Gamma$. Согласно отмеченному выше утверждению,

$\limsup_{z \rightarrow \zeta, z \in L} |f(z)| = \limsup_{n \rightarrow \infty} |f(z_n^\zeta)| = K_\zeta < +\infty$, т.е. функция $f(z)$ обладает в

точке $\zeta \in \Gamma$ свойством (б).

Следствие. Утверждение теоремы 2 остается справедливым, если в ее условиях свойство (б) заменить на свойство (в).

7. Примеры. Приведенные в этом пункте примеры показывают, во-первых, что свойства голоморфности и нормальности функции в условии теоремы 1 являются неулучшаемыми и, во-вторых, что утверждение теоремы 2 перестает быть справедливым для нормальных голоморфных функций.

Пример 1. Существует нормальная мероморфная функция $F(z)$, не ограниченная в круте V и обладающая свойством (а) в каждой точке $\zeta \in \Gamma$.

Выберем в качестве $F(z)$ нормальную мероморфную в круте V функцию, построенную в статье (9), у которой $F(z_n) = 0$, $n \in \mathbb{N}$, на некоторой последовательности точек (z_n) , $z_n \in V$, $n \in \mathbb{N}$, $\lim_{n \rightarrow \infty} |z_n| = 1$, предельные точки которой заполняют всю окружность $\Gamma: |z| = 1$ и которая обладает свойством $\limsup_{n \rightarrow \infty} \sigma(z_n, z_{n+1}) = \mu_0, 0 < \mu_0 < +\infty$. Для произвольной точки $\zeta \in \Gamma$ рассмотрим угол $\Delta(\zeta, -\varphi, \varphi)$, раствор которого 2φ удовлетворяет условию $\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \operatorname{th}(\mu_0 + 1)$. Тогда

$$\sigma(h(\zeta, -\varphi), h(\zeta, \varphi)) = \inf_{z \in h(\zeta, \varphi)} \left[\inf_{z' \in h(\zeta, -\varphi)} \sigma(z', z) \right] > \mu_0$$

и значит, угол $\Delta(\zeta, -\varphi, \varphi)$ обязан содержать некоторую подпоследовательность (z_{n_k}) последовательности (z_n) , $(z_{n_k}) \in \Delta(\zeta, -\varphi, \varphi)$, $k \in \mathbb{N}$, $\lim_{k \rightarrow \infty} z_{n_k} = \zeta$, на которой $|F(z_{n_k})| = 0$, $k \in \mathbb{N}$, т.е. функция $F(z)$ обладает свойством (а) в каждой точке $\zeta \in \Gamma$.

Пример 2. Для произвольной положительной, строго возрастающей функции $q(r)$, определенной на $0 \leq r < 1$ и имеющей $\lim_{r \rightarrow 1-0} q(r) = +\infty$, существует голоморфная и не ограниченная в круте V функция $G(z)$, которая обладает свойством (а) в каждой точке $\zeta \in \Gamma$, а также свойствами $\limsup_{|z| \rightarrow 1, z \in V} (1 - |z|^2) G^\#(z) = +\infty$ и $(1 - |z|^2) G^\#(z) \leq q(|z|)$ для всех z , $0 < r_0 < |z| < 1$.

В качестве функции $G(z)$ рассмотрим бесконечное произведение

$$G(z) = \prod_{j=1}^{\infty} \left(1 - \frac{z}{1 - \frac{1}{n_j}} \right)^{n_j}$$

в котором последовательность натуральных чисел (n_j) удовлетворяет

условию $\left(\sum_{j=1}^{k-1} n_j \right) < n_k$, $n_1 > 1$, $k \in \mathbb{N}$, $k \geq 2$. Как показано в статье (10),

бесконечное произведение абсолютно и равномерно сходится в круте V к голоморфной функции $G(z)$, которая не ограничена в круте V и для

которой $\limsup_{|z| \rightarrow 1, z \in V} (1 - |z|^2) G''(z) = +\infty$ и $(1 - |z|^2) G''(z) \leq q(|z|)$ для всех $z \in V$,

$r_0 < |z| < 1$ с некоторым r_0 , $0 < r_0 < 1$. Функция $G(z)$ имеет n_j простых

нулей z'_j , $i = 1, 2, \dots, n_j$, на окружности $|z| = 1 - \frac{1}{n_j}$, $j \in \mathbb{N}$. Поскольку из

условия на последовательность (n_j) следует, что $n_k \geq kn_{k-1}$, $k \in \mathbb{N}$, $k \geq 2$,

то непосредственный подсчет показывает, что $\limsup_{j \rightarrow \infty} \sigma(z'_j, z'^{j+1}_j) =$

$= \sigma_0 < +\infty$ для любого фиксированного индекса i . Поэтому, так же, как

и в примере 1, убеждаемся, что для каждой точки $\zeta \in \Gamma$ существует угол

$\Delta(\zeta)$, который содержит некоторую последовательность точек (z_m) ,

выбранную из точек z'_j , $i = 1, 2, \dots, n_j$, $j \in \mathbb{N}$, для которой $z_m \in \Delta(\zeta)$,

$m \in \mathbb{N}$, $\lim_{m \rightarrow \infty} z_m = \zeta$, и $G(z_m) = 0$, $m \in \mathbb{N}$. т.е. функция $G(z)$ обладает

свойством (а) в каждой точке $\zeta \in \Gamma$.

Примеры 1 и 2 показывают, что утверждение теоремы 1 перестает быть справедливым для нормальных мероморфных функций, а также для голоморфных функций, у которых свойство нормальности нарушается сколь угодно мало.

Пример 3. Существует нормальная голоморфная в круге V функция $g(z)$, обладающая свойствами: 1) функция $g(z)$ не является функцией Блока; 2) $\lim_{r \rightarrow 1-0} |g(r\zeta)| = |g(\zeta)| = 1$ для всех $\zeta \in \Gamma$, $\zeta \neq 1$; 3) $\lim_{r \rightarrow 1-0} |g(r)| = +\infty$.

Рассмотрим функцию $f(z) = \exp\left(-\frac{1+z}{1-z}\right)$, $z \in V$, голоморфную и ограниченную в круге V , $|f(z)| \leq 1$, $z \in V$. Следовательно, $\limsup_{|z| \rightarrow 1, z \in V} (1 - |z|) \cdot$

$|f'(z)| = M < +\infty$. Функция $g(z) = \frac{1}{f(z)}$ голоморфна в круге V и не огра-

ничена в нем, так как $\lim_{r \rightarrow 1-0} g(r) = \lim_{r \rightarrow 1-0} \exp\left(\frac{1+r}{1-r}\right) = +\infty$. Поскольку

$f'(z) = -[g(z)]^{-2} \cdot g'(z)$, $z \in V$, то

$$g''(z) = \frac{|g'(z)|}{1 + |g(z)|^2} = \frac{|g(z)|^2}{1 + |g(z)|^2} |f'(z)| \leq |f'(z)|, \quad z \in V,$$

и значит, $\limsup_{|z| \rightarrow 1, z \in V} (1 - |z|) g''(z) \leq \limsup_{|z| \rightarrow 1, z \in V} (1 - |z|) |f'(z)| = M < +\infty$, т.е. функция

$g(z)$ является нормальной голоморфной функцией в круге V . С другой стороны,

$$\lim_{r \rightarrow 1-0} (1-r)|g'(r)| = \lim_{r \rightarrow 1-0} (1-r) \frac{2}{(1-r)^2} \exp\left(\frac{1+r}{1-r}\right) = +\infty,$$

т.е. функция $g(z)$ не является функцией Блока.

Наконец, существует $\lim_{r \rightarrow 1-0} g(r\zeta) = g(\zeta) = \exp\left(\frac{1+\zeta}{1-\zeta}\right)$ для любой точки

$\zeta \in \Gamma$, $\zeta \neq 1$, и если $\zeta = e^{i\theta}$, $0 < \theta < 2\pi$, то $g(\zeta) = \exp\left(\frac{1+\zeta}{1-\zeta}\right) = \exp\left(i \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2}\right)$,

и значит, $|g(\zeta)| = \left|\exp\left(\frac{1+\zeta}{1-\zeta}\right)\right| = 1$ для всех $\zeta \in \Gamma$, $\zeta \neq 1$, т.е. выполняется

свойство 2) в примере 3.

Более того, в каждой точке $\zeta \in \Gamma$, $\zeta \neq 1$, функция $g(z)$ непрерывная, и значит, $C(g, \zeta, V) = \{g(\zeta)\}$, $\zeta \in \Gamma$, $\zeta \neq 1$. Таким образом, $\limsup_{z \rightarrow \zeta, z \in V} |g(z)| = 1$

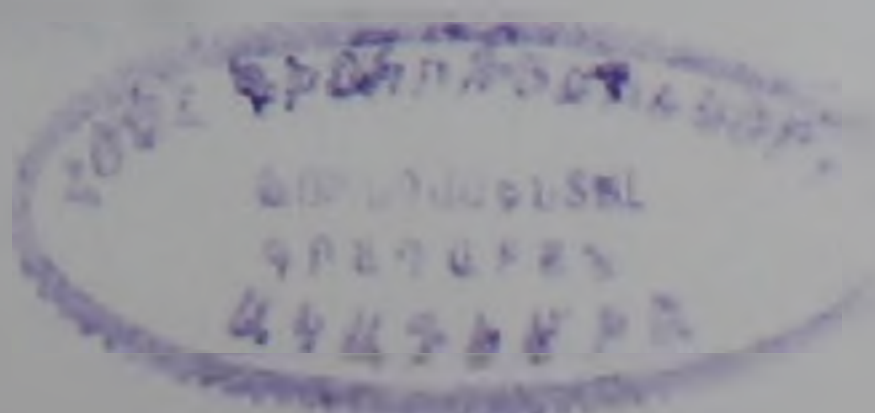
для всех точек $\zeta \in \Gamma$, $\zeta \neq 1$.

Пример 3 показывает, что утверждения теоремы Б, теоремы 2 и следствия к ней несправедливы для произвольных нормальных голоморфных функций даже в случае, когда пренебрежимо малое множество состоит из единственной точки (в примере 3 оно состоит из точки $\zeta = 1 \in \Gamma$).

Пример 4. Рассмотрим любую голоморфную в круте V функцию $f(z)$, принадлежащую классу (V) Зейделя, для которой каждая точка окружности Γ является особой точкой. Согласно теореме В.Зейделя (см. (3), с.67-68), в каждой точке $\zeta \in \Gamma$ предельное множество $C(f, \zeta, V)$ совпадает с кругом $|w| \leq 1$. С другой стороны, по определению функций класса (V) Зейделя, почти во всех точках $\zeta \in \Gamma$ существуют угловые граничные значения $f(\zeta)$ функции $f(z)$ и $|f(\zeta)| = 1$. Поэтому заключаем, что почти во всех точках $\zeta \in \Gamma$ предельное множество $C(f, \zeta, h_\zeta)$ функции $f(z)$ по радиусу h_ζ круга V в точке ζ состоит из единственного значения $f(\zeta)$ и $|f(\zeta)| = 1$.

Итак, функция $f(z)$ в примере 4 удовлетворяет условиям теоремы 2, в которых пренебрежимо малое множество пустое и $C(f, \zeta, h_\zeta) \neq C(f, \zeta, V)$ почти во всех точках $\zeta \in \Gamma$. В этом смысле условия теоремы 2 значительно слабее условий теоремы Б.

Московский государственный университет им М.В.Ломоносова
Государственный инженерный университет Армении



Նորմալ հոլոմորֆ ֆունկցիաների ոչ շոշափող լսճը և սսհմանսփսկոթյունը

Ներկա հոդվածում դիտարկվում է միավոր շրջանում նորմալ հոլոմորֆ ֆունկցիաների սահմանափակ լինելու հատկությունը՝ կախված շրջանում փոքր ենթաբազմությունների վրա նրանց սահմանափակ լինելուց:

Վերջում բերվում են օրինակներ, որոնք ցույց են տալիս նախորդ թեորեմներում պարունակվող որոշ պայմանների ճշգրտությունը կամ անհրաժեշտությունը:

ЛИТЕРАТУРА-ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ П.Монтель, Нормальные семейства аналитических функций, М.-Л., ОНТИ, 1936. ² O.Lehlo, K.I.Vivtanen, Acta Math., v.97, №1-2, p.47-65 (1957). ³ К.Носиро, Предельные множества, М., ИЛ, 1963. ⁴ A.Bonilla, F.P.Gonsales, Bull. Austral. Math. Soc., v.42, №1, p.33-39 (1990). ⁵ S.Kierst, E.Szpilrajn, Fund. Math., v.21, p.276-294 (1933). ⁶ В.И.Гаврилов, ДАН СССР, т.138, №1, с.16-17 (1961). ⁷ И.И.Привалов, Граничные свойства аналитических функций, М.-Л., ГИТТЛ, 1950. ⁸ Э.Коллингвуд, А.Ловатер, Теория предельных множеств, М., Мир, 1971. ⁹ F.Bagemihl, W.Seidel, Ann. acad. sci. fenn., Ser. A1, Math., v.280, p. 11-14 (280). ¹⁰ V.I.Gavrilov, Nagoya Math. J., v.35, p.151-157 (1969).

УДК 517.53

Р. А. Багян

Обобщение теоремы Вороновской на случай квазиполиномов типа Бернштейна–Хаусдорфа

(Представлено академиком НАН Армении В.С.Захаряном 31/VII 1995)

1. Известна следующая классическая теорема Вороновской (см. (1)):
Если функция $f(x)$ имеет в промежутке $[0,1]$ непрерывную производную второго порядка, то имеет место следующее соотношение:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n[f(x) - B_n(x; f)] = -\frac{1}{2} x(1-x)f''(x), \quad (1)$$

где

$$B_n(x; f) = \sum_{k=0}^n f\left(\frac{k}{n}\right) C_n^k x^k (1-x)^{n-k}$$

полиномы Бернштейна.

Арамэ (2) установлена теорема, в некотором смысле обобщающая вышеуказанный результат Вороновской.

Теорема. *Если функция $f(x)$ имеет в промежутке $[0,1]$ и непрерывна в нем, то имеет место следующее равенство:*

$$f(x) - B_n(x; f) = -\frac{x(1-x)}{n} [\xi_1, \xi_2, \xi_3, f], \quad (2)$$

где ξ_1, ξ_2, ξ_3 — значения из промежутка $[0,1]$, а $[\xi_1, \xi_2, \xi_3, f]$ — разделенная разность для функции $f(x)$.

Далее заметим, что

$$R_n(x^2) = x^2 - B_n(x, x^2) = -\frac{x(1-x)}{n}.$$

Следовательно, формула (2) может быть переписана в виде

$$R_n(f) = f(x) - B_n(x; f) = R_n(x^2) [\xi_1, \xi_2, \xi_3, f].$$

Из свойств разделенных разностей известно, что если функция имеет непрерывную вторую производную, то

$$[\xi_1, \xi_2, \xi_3, f] = \frac{f''(x)}{2!} x \in (0,1).$$

2. Пусть неубывающая последовательность $\{\lambda_n\}$ удовлетворяет следующим условиям:

$$0 = \lambda_0 < \lambda_1 \leq \lambda_2 \leq \dots \leq \lambda_n \leq \dots, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \lambda_n = +\infty, \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\lambda_n} = +\infty. \quad (3)$$

В работе (3) с этой последовательностью были ассоциированы квазиполиномы типа Бернштейна – Хаусдорфа:

$$\begin{aligned} \mathcal{B}_n(x; f) &= \sum_{k=0}^n f(\sigma_{n,k}) \omega_{n,k}(x); \quad \sigma_{n,k} = \sum_{j=k+1}^n \frac{1}{\lambda_j} \\ \omega_{n,k}(x) &= \frac{\prod_{j=k+1}^n \lambda_j}{2\pi i} \int_C \frac{e^{x\xi} d\xi}{\prod_{j=k}^n (\xi + \lambda_j)} \end{aligned} \quad (4)$$

и установлена их равномерная сходимость к функции $f(x) \in C[0, +\infty]$. В статье (3) при доказательстве этой теоремы требовалось, чтобы последовательность $\{\lambda_n\}$ удовлетворяла условиям (3). Однако, если снова просмотреть доказательство, то можно заметить, что условие возрастания последовательности не нужно. А именно, достаточно требовать лишь следующее:

$$\lambda_0 = 0, \quad \lambda_n > 0, \quad n = 1, 2, \dots, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \lambda_n = +\infty, \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\lambda_n} = +\infty.$$

Целью данной работы является обобщение теоремы Вороновской, а также Арамэ на случай квазиполиномов типа Бернштейна – Хаусдорфа (4). Устанавливается также свойство монотонности для указанных квазиполиномов и получается оценка остатка

$$R_n(f) = f(x) - \mathcal{B}_n(x; f).$$

Для того чтобы сформулировать основные результаты, необходимы предварительные сведения.

Поповичиу (4) введены обобщенные разделенные разности

$$[x_1, x_2, x_3, f] = V \begin{pmatrix} f_0 & f_1 & f \\ x_1 & x_2 & x_3 \end{pmatrix} : V \begin{pmatrix} f_0 & f_1 & f_2 \\ x_1 & x_2 & x_3 \end{pmatrix},$$

где

$$V \begin{pmatrix} f_0 & f_1 & f_2 \\ x_1 & x_2 & x_3 \end{pmatrix} = \|f_j(x_i)\|, \quad j = 0, 1, 2; \quad i = 1, 2, 3,$$

i – номер строки, j – номер столбца. Функции f_0, f_1, f_2 предполагаются непрерывными, линейно независимыми, а x_1, x_2, x_3 – узлы интерполяции. Обычные разделенные разности получаются, если принять $f_j = x^j$, $j = 0, 1, 2$.

Рассмотрим обобщенные разделенные разности Поповичу в случае

$$f_j = e^{-j\lambda x} \quad (0 < \lambda < \infty) \quad j = 0, 1, 2, \quad x \in [0, +\infty).$$

Непосредственным подсчетом убеждаемся в справедливости следующих равенств:

$$[x_1, x_2, x_3, e^{-\lambda x}] = 0,$$

$$[x_1, x_2, x_3, e^{-2\lambda x}] = 1.$$

Определение. Будем называть функцию $f(x)$ выпуклой, полиномиальной или вогнутой относительно функции $e^{-\lambda x}$, если обобщенная разделенная разность

$$[x_1, x_2, x_3, f] > 0, = 0, < 0.$$

Заметим, что если сделать замену $e^{-\lambda x} = t$, $t \in [0, 1]$, $f(x) = f\left(-\frac{1}{\lambda} \ln t\right) = g(t)$,

то получим обычные определения выпуклости, полиномиальности и вогнутости.

Теорема 1. Пусть $f(x) \in C[0, +\infty)$, тогда для квазиполиномов типа Бернштейна – Хаусдорфа имеет место следующее соотношение:

$$B_n - B_{n+1} = \sum_{k=1}^n \omega_{n+1,k+1}(x) \frac{\lambda_1^2 e^{-2\lambda_1 \tau_{n,k}}}{\lambda_{n+1}} \left(\frac{1}{\lambda_k} - \frac{1}{\lambda_{n+1}} \right) [\tau_{n,k-1}, \tau_{n+1,k}, \tau_{n,k}; f], \quad (5)$$

где $\{\tau_{n,k}\}$ – плотное к узлам интерполяции $\{\sigma_{n,k}\}$ множество. Таким образом, последовательность $\{B_n(f, x)\}$, $(n \geq 1)$, убывающая, стационарная, возрастающая в зависимости от того, выпуклая $f(x)$, полиномиальная или вогнутая.

Заметим, что формула (5) в частном случае $\lambda_n = n$ и после замены $e^{-\lambda x} = t$ перейдет в формулу для классических полиномов С.Н. Бернштейна, полученную Арамэ (2).

Т. Поповичу (4) ввел следующее определение: линейный функционал $R(f)$, определенный на $C[a, b]$, имеет простую форму, если для всех $f \in C[a, b]$

$$R(f) = K[x_1, x_2, x_3, f],$$

где $K \neq 0$ не зависит от f и различных узлов x_1, x_2, x_3 .

Им установлен также следующий признак: для того чтобы функционал $R(f)$ имел простую форму, необходимо и достаточно, чтобы $R(f) \neq 0$ для всякой функции $f(x)$, выпуклой относительно функций $\{e^{-i\lambda x}\}$, $i = 0, 1, 2$, причем

$$R[1] = 0, \quad R[e^{-\lambda x}] = 0, \quad R[e^{-2\lambda x}] \neq 0.$$

Теперь приведем основной результат настоящей работы.

Теорема 2. Для всякой непрерывной функции $f(x)$ на $[0, +\infty)$ имеет место следующее равенство:

$$R_n(f; x) = f(x) - \mathcal{B}_n(f; x) = R_n(e^{-2\lambda_1 x})[\xi_1, \xi_2, \xi_3; f], \quad (6)$$

где ξ_1, ξ_2, ξ_3 — значения из промежутка $[0, +\infty)$.

Доказательство. Пусть выпуклая функция $f(x) \in C[0, +\infty)$. Тогда по теореме 1 последовательность квазиполиномов (4) убывающая. С другой стороны, $\mathcal{B}_n(f; x) \Rightarrow f(x)$ на $[0, +\infty)$. Следовательно, $R_n(f) = f(x) - \mathcal{B}_n(f; x) < 0$, т.е. $R_n(f) \neq 0$ для выпуклой и непрерывной функции $f(x)$. В силу признака Поповичу

$$R_n(f; x) = K_n(x)[\xi_1, \xi_2, \xi_3; f],$$

где $K_n(x)$ — коэффициент, не зависящий от функции $f(x)$. Возьмем, в частности, $f(x) = e^{-2\lambda_1 x}$. Так как $[\xi_1, \xi_2, \xi_3, e^{-2\lambda_1 x}] = 1$, то $R_n(e^{-2\lambda_1 x}) = K_n(x)$ и формула (6) установлена. Теорема 2 доказана.

Замечание. Формула (6) теоремы 2 является обобщением известной формулы (1) Вороновской. Действительно, если сделать замену $e^{-\lambda_1 x} = t$, $f\left(-\frac{1}{\lambda_1} \ln t\right) = g(t)$, $t \in [0, 1]$; $R_n(g(t)) = R_n(t^2)[\xi'_1, \xi'_2, \xi'_3; g(t)]$. Это формула (2) Арамэ для классических полиномов Бернштейна, откуда в случае дважды непрерывной дифференцируемости функции получается теорема Вороновской (1).

В заключение работы займемся оценкой остатка $R_n(f; x)$. В статье (3) получена оценка остатка для функции $e^{-\lambda_1 x} x^p$, $p = 0, 1, 2, \dots$ (см. (3), с. 325). Если воспользоваться этой оценкой при $p = 0$, $\lambda = 2\lambda_1$, получим

$$R_n(e^{-2\lambda_1 x}) = e^{-2\lambda_1 x} - \mathcal{B}_n[e^{-2\lambda_1 x}, x] \leq D e^{-\varepsilon \sum_{j=1}^n \frac{1}{\lambda_j}}, \quad 0 < \varepsilon \leq 1, \quad D = \text{const}.$$

Используя эту оценку в соотношении (6), будем иметь

$$R_n(f; x) = f(x) - B_n(f; x) \leq C e^{-\varepsilon \sum_{j=1}^n \frac{1}{\lambda_j}}, \quad 0 < \varepsilon \leq 1, \quad C = \text{const}.$$

Если $\varepsilon = 1, \lambda_j = j$ и $\sum_{j=1}^n \frac{1}{j} \sim \ln n$, то получим классическую оценку

приближения полиномами С.Н.Бернштейна (т.е. $O\left(\frac{1}{n}\right)$).

Государственный инженерный университет Армении

Ռ. Ա. ԲԱՂԻՅԱՆ

Վորոնովսկայաի թեորեմի ընդհանրացումը Բեռնշտեյն-Հառ սդորֆի տիպի քվադիրազմանդամների համար

Ներկա հոդվածում ընդհանրացվում է Վորոնովսկայաի թեորեմը Բեռնշտեյն-Հառ-սդորֆի տիպի քվադիրազմանդամների համար: Ապացուցվում է նաև մոնոտոնության հատկությունը այդ քվադիրազմանդամների համար և ստացվում է մնացորդային անդամի գնահատականը: Մասնակի դեպքում ստացվում է հայտնի գնահատականը Բեռնշտեյնի բազմանդամների համար:

ЛИТЕРАТУРА-ՓԲԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ *Е.В.Ворновская*, ДАН СССР, сер.А, С.79-85 (1932). ² *О.Арамэ*, Mathematica (Cluj), v.2 (25), fasc.1, p.25-40 (1960). ³ *Р.А.Багиян*, Изв. АН Армении, т.26, №4, с.324-342 (1991). ⁴ *Т.Popoviciu*, Mathematica (Cluj), v.1 (24), fasc.1, p.95-142 (1959).

УДК 517.53

Г. В. Арутюнян

**О равномерном приближении квазиполиномами
с коэффициентами из заданного множества**

(Представлено академиком НАН Армении Н.У.Аракеляном 24/XI 1995)

1°. Пусть $\{\lambda_n\}_1^\infty, \{a_n\}_1^\infty$ — строго монотонно возрастающие последовательности положительных чисел, причем

$$\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \infty, \quad \overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} (a_{n+1} - a_n) < +\infty. \quad (1)$$

Квазиполиномом по системе функций $\{x^{\lambda_n}\}_0^\infty$ ($\lambda_0 = 0, x \geq 0$) будем называть конечную сумму вида

$$p(x) = \sum_{n=0}^m p_n x^{\lambda_n}$$

с произвольными действительными коэффициентами $p_n, n = 0, 1, \dots, m$.

Обозначим $C[a, b]$ банахово пространство вещественных непрерывных на сегменте $[a, b]$ функций с нормой $\|f\| = \sup\{|f(x)| : x \in [a, b]\}$. По известной теореме Мюнца (1) множество всех квазиполиномов по системе функций $\{x^{\lambda_n}\}_0^\infty$ плотно в пространстве $C[a, b]$ ($a \geq 0$) тогда и только тогда, когда

$$\sum_{n=1}^{\infty} \lambda_n^{-1} = \infty. \quad (2)$$

Возникает вопрос: в какой форме сохранится теорема Мюнца, если у аппроксимирующих квазиполиномов по системе $\{x^{\lambda_n}\}_0^\infty$ допускать коэффициенты только из множества $\{\pm a_n\}_1^\infty$? В настоящей заметке приводятся некоторые результаты по этому вопросу. Отметим, что частный случай указанной задачи, когда $\{a_n\}_1^\infty \subset \mathcal{N}$ (т.е. рассматривает-

ся аппроксимация квазиполиномами с целыми коэффициентами) изучался в ряде работ (см. (2-5)).

2°. Обозначим через $C^*[a, b]$ множество всех функций f из $C[a, b]$, которые удовлетворяют условию $f([a, b] \cap \{0, 1\}) \subset \{0\}$. Ясно, что $C^*[a, b]$ является подпространством $C[a, b]$, причем $C^*[a, b] = C[a, b]$, если $[a, b] \cap \{0, 1\} = \emptyset$.

Теорема 1. Пусть строго монотонно возрастающая последовательность положительных чисел $\{a_n\}_1^\infty$ удовлетворяет условиям (1) и строго монотонно возрастающая последовательность положительных чисел $\{\lambda_n\}_1^\infty$ удовлетворяет условию

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\lambda_n}{\log n} = 0.$$

Тогда какое бы ни взять число b , $b > 1$, произвольную функцию $f \in C^*[0, b]$ можно равномерно на $[0, b]$ приблизить квазиполиномами вида

$$p(x) = \sum_{i=1}^k \pm a_{\lambda_i} x^{\lambda_i}. \quad (3)$$

Теорема 2. Пусть строго монотонно возрастающая последовательность положительных чисел $\{a_n\}_1^\infty$ удовлетворяет условиям (1) и строго монотонно возрастающая последовательность положительных чисел $\{\lambda_n\}_1^\infty$ удовлетворяет условию

$$\lambda_n / \log n \downarrow a \text{ при } n \rightarrow \infty.$$

Тогда какое бы ни взять число b , где $b < e^{\frac{1}{a}}$, произвольную функцию $f \in C^*[0, b]$ можно равномерно на $[0, b]$ приблизить квазиполиномами вида (3).

Замечание 1. В теореме 2 условие $b < e^{\frac{1}{a}}$ является точным (см (3)).

Теорема 3. Пусть строго монотонно возрастающие последовательности положительных чисел $\{a_n\}_1^\infty$ и $\{\lambda_n\}_1^\infty$ удовлетворяют соответственно условиям (1), (2) и $\lim_{n \rightarrow \infty} \lambda_n = \infty$. Тогда какое бы ни взять

число b , $0 < b < 1$, любую функцию $f \in C^*[0, b]$ можно равномерно на $[0, b]$ приблизить квазиполиномами вида (3).

Теорема 4. Пусть строго монотонно возрастающая последовательность положительных чисел $\{\lambda_n\}_1^\infty$ удовлетворяет условиям (2),

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \lambda_n = \infty \text{ и}$$

$$1 - \frac{\lambda_n}{\lambda_{n+1}} \downarrow 0 \text{ при } n \rightarrow \infty,$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left(1 - \frac{\lambda_n}{\lambda_{n+1}}\right)^2 < +\infty.$$

Тогда любую функцию $f \in C^*[0,1]$ можно равномерно на $[0,1]$ приблизить квазиполиномами вида (3).

Замечание 2. Отметим, что теорема 4 обобщает и усиливает некоторые результаты из работ (2,6).

Ереванский государственный университет

Գ. Վ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

Տրված բազմությունից գործակիցներով քվադրատական համակարգի հավասարաչափ մոտարկման մասին

Աշխատանքում ուսումնասիրվում է $[0, +\infty]$ կիսաառանցքի կոմպակտ բազմությունների վրա հավասարաչափ մոտարկման հնարավորությունը $P_n \in \{\pm a_k\}_1^\infty$ գործակիցներով $\sum_{n=0}^m P_n x^{\lambda_n}$ տեսքի քվադրատական համակարգի: Այստեղ դրական թվերի $\{\lambda_n\}_1^\infty$ և

$\{a_k\}_1^\infty$ հաջորդականությունները խիստ մոնոտոն աճող են, ընդ որում $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \infty$, $\lim_{n \rightarrow \infty} (a_{n+1} - a_n) < +\infty$. Ստացված արդյունքներն ընդհանրացնում են ամբողջ գործակիցներով քվադրատական համակարգի մոտարկման մասին արդեն հայտնիները: Մասնավորաբար, դիտարկվում է մոտարկում $[0, +\infty]$ կիսաառանցքի կամայական երկարության հատվածի վրա:

ЛИТЕРАТУРА-ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ W.Rudin, Real and Complex Analysis, Mc. Graw-Hill Book Company, T. London, 1966. ² В.А.Мартirosян, Изв. АН АрмССР, Математика, т.8, №2, с.167-175 (1973). ³ В.А.Мартirosян, Мат. заметки, т.27, №2, с.237-243 (1980). ⁴ O.Ferguson, M.Golitschek, Trans. Amer. Math. Soc., v.213, p.115-126 (1975). ⁵ J.Tzimbalario, Can. Math. Bull., v.20, №1, p.129-131 (1977). ⁶ А.О.Гельфонд, УМН, т.21, №3, с.225-229 (1966).

УДК 517.958

М. Л. Агаловян

**Об одной задаче на собственные значения,
возникающей в сейсмологии**

(Представлено академиком НАН Армении А.Б.Нерсисяном 15/XII 1995)

1. Существует множество физических задач, решение которых сводится к решению задачи на собственные значения дифференциальных операторов (1). К ней, в частности, приводится задача определения частот собственных колебаний сооружений при сейсмическом воздействии. Точное определение этих частот позволяет при надлежащем выборе основания сооружения избежать резонансных явлений.

Рассмотрим следующую типичную задачу. Требуется определить ненулевое решение однородных динамических уравнений теории упругости ортотропного тела (2,3)

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} &= \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} = \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}, \\ \frac{\partial u}{\partial x} &= a_{11} \sigma_x + a_{12} \sigma_y, \quad \frac{\partial v}{\partial y} = a_{12} \sigma_x + a_{22} \sigma_y, \quad \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = a_{66} \sigma_{xy} \end{aligned} \quad (1.1)$$

в полосе $\Omega = \{x, y: x \in [0; l], |y| \leq h; h \ll l\}$ при следующих граничных условиях:

$$\sigma_{xy}(h) = \sigma_y(h) = 0, \quad (1.2)$$

$$u(-h) = v(-h) = 0, \quad (1.3)$$

где σ_{ik} — компоненты тензора напряжений, u, v — компоненты вектора перемещения, a_{ik} — упругие постоянные податливости, ρ — плотность среды.

Условиям при $x = 0, l$ в подобных задачах соответствует решение типа пограничного слоя, т.е. решение, быстро затухающее при удалении от торцов в глубь полосы. Это решение строится и изучается отдельно (4).

К условиям (1.2), (1.3) присоединяются начальные условия:

$$\begin{aligned} u(x, y, t) /_{t=0} &= u_0(x, y), v(x, y, t) /_{t=0} = v_0(x, y); \\ \dot{u}(x, y, t) /_{t=0} &= \bar{u}(x, y), \dot{v}(x, y, t) /_{t=0} = \bar{v}(x, y), \end{aligned} \quad (1.4)$$

где точками обозначены производные по времени t .

Частное решение однородной системы (1.1) при однородных условиях (1.2), (1.3) будем искать в виде

$$Q_{\alpha\beta} = Q_{jk}(x, y) \exp(i\omega t), \quad \alpha, \beta = x, y; j, k = 1, 2, \quad (1.5)$$

т.е.

$$\begin{aligned} \sigma_{xy} &= \sigma_{12}(x, y)e^{i\omega t}, \quad \sigma_x = \sigma_{11}(x, y)e^{i\omega t}, \quad \sigma_y = \sigma_{22}(x, y)e^{i\omega t}, \\ u(x, y, t) &= u_1(x, y)e^{i\omega t}, \quad v(x, y, t) = v_1(x, y)e^{i\omega t}. \end{aligned} \quad (1.6)$$

Чтобы решить систему, получающуюся после подстановки (1.6) в (1.1), перейдем к безразмерным переменным и безразмерным компонентам вектора перемещения по формулам:

$$\xi = x/l, \quad \zeta = y/h, \quad U_1 = u_1/l, \quad V_1 = v_1/l.$$

В результате приходим к системе

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial \xi} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial \zeta} + \varepsilon^{-2} \omega_*^2 U_1 &= 0, \quad \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial \xi} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial \zeta} + \varepsilon^{-2} \omega_*^2 V_1 = 0, \\ \frac{\partial U_1}{\partial \xi} &= a_{11} \sigma_{11} + a_{12} \sigma_{22}, \quad \varepsilon^{-1} \frac{\partial V_1}{\partial \zeta} = a_{12} \sigma_{11} + a_{22} \sigma_{22}, \\ \varepsilon^{-1} \frac{\partial U_1}{\partial \zeta} + \frac{\partial V_1}{\partial \xi} &= a_{66} \sigma_{12}, \quad \varepsilon = h/l, \quad \omega_*^2 = \rho \omega^2 h^2. \end{aligned} \quad (1.7)$$

Система (1.7) сингулярно возмущена малым параметром ε . Ее решение складывается из решений внутренней задачи и пограничного слоя (5.6). Решение внутренней задачи, которое является основным, ищем в виде

$$Q_{jk} = \varepsilon^{\chi_{jk} + s} Q_{jk,s}, \quad s = \overline{0, N}, \quad (1.8)$$

где Q_{jk} — любая из искоемых величин, χ_{jk} — целые числа, характеризующие порядок соответствующих величин. Они определяются таким образом, чтобы получить непротиворечивую систему относительно $Q_{jk,s}$. Поставленная цель достигается, если $\chi_{jk} = -1$ для напряжений, а для перемещений $\chi_{jk} = 0$, т.е.

$$\begin{aligned} \sigma_{11} &= \varepsilon^{-1+s} \sigma_{11,s}, \quad \sigma_{12} = \varepsilon^{-1+s} \sigma_{12,s}, \quad \sigma_{22} = \varepsilon^{-1+s} \sigma_{22,s}, \\ U_1 &= \varepsilon^s U_{1,s}, \quad V_1 = \varepsilon^s V_{1,s}, \quad s = \overline{0, N}. \end{aligned} \quad (1.9)$$

Подставив (1.9) в (1.7) и приравняв коэффициенты при одинаковых степенях ε , получим:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \sigma_{11,s-1}}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{12,s}}{\partial \xi} + \omega_*^2 U_{1,s} &= 0, \quad \frac{\partial \sigma_{12,s-1}}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{22,s}}{\partial \xi} + \omega_*^2 V_{1,s} = 0, \\
\frac{\partial U_{1,s-1}}{\partial \xi} &= a_{11} \sigma_{11,s} + a_{12} \sigma_{22,s}, \quad \frac{\partial V_{1,s}}{\partial \xi} = a_{12} \sigma_{11,s} + a_{22} \sigma_{22,s}, \\
\frac{\partial U_{1,s}}{\partial \xi} + \frac{\partial V_{1,s-1}}{\partial \xi} &= a_{66} \sigma_{12,s}.
\end{aligned} \tag{1.10}$$

В (1.9) считается, что $Q_{j,k,m} = 0$, если $m < 0$.

Из системы (1.9) вытекают следующие рекуррентные формулы для последовательного определения всех величин $Q_{j,k,s}$:

$$\begin{aligned}
\sigma_{12,s} &= \frac{1}{a_{66}} \left(\frac{\partial U_{1,s}}{\partial \xi} + \frac{\partial V_{1,s-1}}{\partial \xi} \right); \\
\frac{\partial^2 U_{1,s}}{\partial \xi^2} + a_{66} \omega_*^2 U_{1,s} &= - \frac{\partial^2 V_{1,s-1}}{\partial \xi \partial \xi} - a_{66} \frac{\partial \sigma_{11,s-1}}{\partial \xi}; \\
\sigma_{11,s} &= \frac{1}{a_{11}} \frac{\partial U_{1,s-1}}{\partial \xi} - \frac{a_{12}}{a_{11}} \sigma_{22,s}; \\
\sigma_{22,s} &= \frac{1}{A_{11}} \left(\frac{\partial V_{1,s}}{\partial \xi} - \frac{a_{12}}{a_{11}} \frac{\partial U_{1,s-1}}{\partial \xi} \right); \\
A_{11} &= (a_{11} a_{22} - a_{12}^2) / a_{11}; \\
\frac{\partial^2 V_{1,s}}{\partial \xi^2} + A_{11} \omega_*^2 V_{1,s} &= \frac{a_{12}}{a_{11}} \frac{\partial^2 U_{1,s-1}}{\partial \xi \partial \xi} - A_{11} \frac{\partial \sigma_{12,s-1}}{\partial \xi}.
\end{aligned} \tag{1.11}$$

2. Остановимся более подробно на важном случае $s=0$. При этом имеем

$$\sigma_{12,0} = \frac{1}{a_{66}} \frac{\partial U_{1,0}}{\partial \xi}, \quad \frac{\partial^2 U_{1,0}}{\partial \xi^2} + a_{66} \omega_*^2 U_{1,0} = 0, \tag{2.1}$$

$$\sigma_{11,0} = - \frac{a_{12}}{a_{11}} \sigma_{22,0}, \quad \sigma_{22,0} = \frac{1}{A_{11}} \frac{\partial V_{1,0}}{\partial \xi}, \quad \frac{\partial^2 V_{1,0}}{\partial \xi^2} + A_{11} \omega_*^2 V_{1,0} = 0. \tag{2.2}$$

Известно (3), что $a_{ii} > 0$, $a_{ii} a_{jj} - a_{ij}^2 > 0$.

Функцию $U_{1,0}$ будем искать в виде

$$U_{1,0} = u_{1,0}(\xi) \bar{u}_{1,0}(\xi).$$

Тогда легко видеть, что

$$U_{1,0} = u_{1,0}(\xi) \left(C_1 \sin \omega_* \sqrt{a_{66}} \xi + C_2 \cos \omega_* \sqrt{a_{66}} \xi \right). \tag{2.3}$$

Вычислив $\sigma_{12,0}$ и удовлетворив граничным условиям (1.2) и (1.3) относительно σ_{11} и u , получим однородную алгебраическую систему

относительно произвольных постоянных C_1, C_2 . Из условия существования ненулевого решения этой системы вытекает, что $\cos 2\omega_* \sqrt{a_{66}} = 0$, т.е.

$$\omega_{*n} = \frac{\pi}{4\sqrt{a_{66}}} (2n+1), \quad n = 0, 1, \dots,$$

а также $C_1 = C_2 \operatorname{tg} \omega_* \sqrt{a_{66}}$.

Учитывая, что $\omega_*^2 = \rho h^2 \omega^2$, для частот собственных колебаний будем иметь

$$\omega_n = \frac{\pi}{4h\sqrt{\rho a_{66}}} (2n+1) = \frac{\pi}{4h} \sqrt{\frac{G_{12}}{\rho}} (2n+1), \quad n = 0, 1, \dots, \quad (2.4)$$

где $G_{12} = \frac{1}{a_{66}}$ — модуль сдвига. Величина $V_s = \sqrt{\frac{G_{12}}{\rho}}$ — хорошо известная в теории упругости и сейсмологии скорость распространения в бесконечной среде сдвиговых или S-волн (2,7).

Таким образом, условиями $\sigma_n(h) = 0$, $u(-h) = 0$ в полосе возбуждаются собственные сдвиговые колебания с частотой (2.4).

Используя (2.3), нетрудно доказать ортогональность собственных функций

$$\int_1^1 \bar{u}_{1,0n}(\zeta) \bar{u}_{1,0m}(\zeta) d\zeta = \begin{cases} 0, & n \neq m \\ 2, & n = m \end{cases}$$

Точно так же из (2.2) вытекает:

$$\begin{aligned} V_{1,0} &= v_{1,0}(\xi) \left(C_3 \sin \sqrt{A_{11}} \omega_* \xi + C_4 \cos \sqrt{A_{11}} \omega_* \xi \right); \\ \sigma_{22,0} &= v_{1,0}(\xi) \frac{\omega_*}{\sqrt{A_{11}}} \left(C_3 \cos \sqrt{A_{11}} \omega_* \xi - C_4 \sin \sqrt{A_{11}} \omega_* \xi \right). \end{aligned}$$

Удовлетворив остальным условиям (1.2) и (1.3), получим:

$$\cos 2\sqrt{A_{11}} \omega_* = 0, \quad \text{т.е.} \quad \omega_* = \frac{\pi}{4\sqrt{A_{11}}} (2n+1), \quad (2.5)$$

$$\omega_n = \frac{\pi}{4h\sqrt{\rho A_{11}}} (2n+1), \quad n = 0, 1, \dots,$$

где $V_p = \frac{1}{\sqrt{\rho A_{11}}} = \sqrt{\frac{E_2}{\rho(1-\nu_{12}\nu_{21})}}$ — хорошо известная в сейсмологии скорость распространения продольных волн.

Если в V_p пренебречь коэффициентом Пуассона ν_{jk} , то получим известную скорость распространения продольных волн в стержне.

Отметим, что система $\left\{ \frac{1}{\sqrt{2}} V_{1,0n} \right\}$ также ортогональна.

Таким образом, условиями (1.2) и (1.3) в полосе (фундаменте) порождаются два типа собственных колебаний с частотами (2.4) и (2.5), существенно зависящими как от скоростей распространения продольных и сдвиговых волн, так и от ширины полосы.

Известно (7), что сейсмические волны имеют периоды ($T = 2\pi / \omega$) в пределах $10^{-2} - 10^{-3}$ с. При этом сильным землетрясениям соответствуют периоды $\sim 10^2$ с. Формулы (2.4) и (2.5) показывают, что путем надлежащего подбора материала полосы (фундамента) и величины ее ширины (толщины) можно избежать резонансных явлений, тем самым уменьшив отрицательное влияние сейсмических волн.

3. При $s > 0$ уравнения относительно $U_{1,s}$ и $V_{1,s}$ и соответствующие им решения, согласно (1.11), взаимно зависимы и ими будут описываться взаимные влияния продольных и сдвиговых собственных колебаний. Решения, соответствующие собственным значениям (2.4), обозначим индексом c , а соответствующие значениям (2.5) — индексом p . Любая из величин будет иметь вид $Q = Q^c + Q^p$. В частности,

$$\begin{aligned} \sigma_{12,0}^c \neq 0, \quad U_{1,0}^c \neq 0, \quad \sigma_{11,0}^c = \sigma_{22,0}^c = V_{1,0}^c \equiv 0, \\ \sigma_{12,0}^p = U_{1,0}^p \equiv 0, \quad \sigma_{11,0}^p \neq 0, \quad \sigma_{22,0}^p \neq 0, \quad V_{1,0}^p \neq 0. \end{aligned} \quad (3.1)$$

Можно показать:

$$\begin{aligned} U_{1,s} &= C_{s,2}^c(\xi) \left(\operatorname{tg} \omega_*^c \sqrt{a_{66}} \sin \omega_*^c \sqrt{a_{66}} \zeta + \cos \omega_*^c \sqrt{a_{66}} \zeta \right) + U_{1,s}^p; \\ V_{1,s} &= C_{s,4}^p(\xi) \left(\operatorname{tg} \omega_*^p \sqrt{A_{11}} \sin \omega_*^p \sqrt{A_{11}} \zeta + \cos \omega_*^p \sqrt{A_{11}} \zeta \right) + V_{1,s}^c, \end{aligned}$$

где $U_{1,s}^p, V_{1,s}^c$ — известные функции, определяемые из условий (1.2), (1.3) после их удовлетворения для S -ого приближения, т.е. построение последующих приближений не приводит к появлению принципиально новых групп постоянных интегрирования, остающихся неизвестными.

Поскольку собственные функции задачи составляют ортогональную систему, нетрудно удовлетворить начальным условиям (1.4), разложив функции, стоящие в правых частях этих условий, в ряды Фурье по этим функциям.

В заключение отметим, что предложенный в работе подход можно использовать для определения собственных значений, а следовательно, и частот в задаче собственных колебаний в пространственном случае, а также изучения динамики сейсмического воздействия.

Институт математики НАН Армении

Սեփական արժեքների որոշման մի խնդրի մասին սեյսմոլոգիայում

Դիտարկված է սեփական արժեքների որոշման խնդիր, հիմք ընդունելով մաթեմատիկական առաժգականության տեսության դինամիկական հավասարումները:

Այն դեպքում, երբ տիրույթն իրենից ներկայացնում է օրթոտրոպ շերտ, որոշված են սեփական արժեքները և համապատասխան սեփական ֆունկցիաները:

Ապացուցված է, որ սեփական ֆունկցիաները կազմում են օրթոգոնալ համակարգ: Արտածված են կապեր որոշված սեփական արժեքների և շերտի սեփական տատանումների հաճախությունների միջև: Ստացված են բանաձևեր, որոնք կապ են հաստատում շերտի սեփական տատանումների հաճախությունների և սեյսմոլոգիայում հայտնի սահքային ու երկայնական ալիքների արագությունների, ինչպես նաև շերտի հաստության միջև: Ուսումնասիրությունը կատարված է սինգուլյար գրգռված դիֆերենցիալ հավասարումների ասիմպտոտիկ ինտեգրման մեթոդով: Ստացված են ռեկուրենտ բանաձևեր լարումների տենզորի և տեղափոխման վեկտորի բաղադրիչների որոշման համար: Ստացված արդյունքները կարող են օգտագործվել սեյսմոլոգիայում շինարարության մեջ՝ մասնավորապես օգտագործելով վերը ստացված բանաձևերը կարելի է հասնել նրան, որ սեյսմիկ ազդեցության դեպքում կառույցի հիմքը զերծ մնա ռեզոնանսային վիճակ ընկնելուց:

ЛИТЕРАТУРА-ՓՐԱՎԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Л. Коллатц, Задачи на собственные значения, М., Наука, 1968. ² И.Н.Снедаон, Д.С.Берри, Классическая теория упругости, М., Физматгиз, 1961. ³ С.Г.Лехницкий, Теория упругости анизотропного тела, М., Наука, 1977. ⁴ Л.А.Агаловян, Межвузовский сб. "Механика", изд. ЕИУ, вып.3 (1984). ⁵ В.Вазов, Асимптотические разложения решений дифференциальных уравнений, М., Мир, 1968. ⁶ А.Б.Васильева, В.Ф.Бутузов, Асимптотические разложения решений сингулярно возмущенных уравнений, М., Наука, 1973. ⁷ К.Касахара, Механика землетрясений, М., Мир, 1985.

МАТЕМАТИКА

УДК 519.1

А. Г. Саруханян

Дополнительные параметрические блочные последовательности

(Представлено академиком НАН Армении Ю. Г. Шукурьяном 28/III 1996)

В работе вводится понятие дополнительных параметрических блочных последовательностей, на основе которых строится новый класс ортогональных массивов и матриц Адамара.

Пусть $A_i = (A_{i,j})_{j=1}^n$, $i = 1, 2, \dots, m$ — последовательности параметрических матриц порядка k , зависящих от r параметров x_i , $i = 1, 2, \dots, r$.

Определение 1. Последовательности A_i , $i = 1, 2, \dots, m$ назовем дополнительными параметрическими блочными последовательностями длины n с блочной размерностью k и обозначим через $CPB(m; n, k, r)$, если выполняются следующие условия:

$$A_{i,j} A_{t,p}^T = A_{t,p} A_{i,j}^T, \text{ для всех } i, j, t, p;$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_{i,j} A_{i,j}^T = \frac{mnk}{r} \sum_{i=1}^r x_i^2 I_k;$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n-j} A_{i,j} A_{i,j+j}^T = 0, \quad j = 1, 2, \dots, n-1,$$

где T — знак транспонирования, I_k — единичная матрица порядка k .

Определение 2^(1,2). Параметрическая матрица $H(X_1, X_2, X_3, X_4)$ порядка $4t$ называется массивом Бомера — Холла порядка $4t$, если выполняются условия:

- элементы матрицы H имеют вид $\pm X_i$, $i = 1, 2, 3, 4$;
- строки (столбцы) матрицы H формально ортогональны;

$$HH^T = t \sum_{i=1}^4 X_i X_i^T \times I_{4t},$$

где $\times$ — знак кронекеровского произведения.

Замечание 1. Если $x_i = \pm 1$, то $CPB(m; n, k, r)$ -последовательности являются обычными дополнительными блочными последовательностями и обозначаются через $CB(m; n, k)$ (3.4).

Замечание 2. $CPB(2; n, k, r)$ -последовательности называются параметрическими блочными последовательностями Голся и обозначаются через $GB(n, k, r)$, а при $x_i = \pm 1$ — через $GB(n, k)$.

Имеют место следующие теоремы:

Теорема 1. Для любых целых неотрицательных чисел a, b, c и матриц типа Вильямсона порядка m (1.5) существуют $CPB(4; 2^a 10^b 26^c + 1, 2m, 4)$ -последовательности.

Теорема 2. Если существуют $CPB(4; n, k, 4)$ -последовательности и матрицы типа Вильямсона порядка m , то существуют $CB(4; n, mk)$ -последовательности.

Теорема 3. Пусть существуют массивы Бомера — Холла порядка $2^n m$, матрица Адамара порядка $2^n r$ и последовательности Голя длины k (2). Тогда существуют $CPB(4; 4^n + k + 1, 4^n mr, 4)$ -последовательности.

Теорема 4. Если существуют массивы Бомера — Холла порядка $2^n m$ и $2^k r$, матрица Адамара порядка $2^n r$ и $2^k q$, то существуют $CPB(4; (2^{2n+1} + 1)(2^{2k+1} + 1), 2^{2(n+k)} mrpq, 4)$ -последовательности.

Теорема 5. Если существуют $CPB(4; n, k, 4)$ -последовательности, то существует массив Бомера — Холла порядка $4nk$.

Из вышеприведенных теорем, в частности, следует

Следствие. Существуют массивы Бомера — Холла следующих порядков:

$$4^{n+1}(2^a 10^b 26^c + 4^n + 1)mr, \quad 4^{n+1}(2^{2n+1} + 1)mrk,$$

$$2^{10} \cdot 33^2 \prod_{i=1}^4 (2^{a_i} 10^{b_i} 26^{c_i} + 1)w,$$

где $2^n m$ — порядок массива Бомера — Холла, $2^n r$ — порядок матрицы Адамара, $k = 3, 7, 13$, w — порядок матриц Вильямсона, a_i, b_i, c_i — целые неотрицательные числа.

Отсюда, используя теорему Бомера — Холла о построении матриц Адамара (1.2), получаем также класс матриц Адамара новых порядков.

Институт проблем информатики и автоматизации НАН Армении

Հ. Գ. ՍԱՐՈՒՆԱՆՅԱՆ

Պարամետրական բլոկային լրացուցիչ հաջորդականություններ

Աշխատանքում ներմուծված է պարամետրական բլոկային լրացուցիչ հաջորդականությունների գաղափարը, որը թույլ է տալիս կառուցել Բոմբեր-Հոլլի զանգվածների և Հադամարի մատրիցների նոր դաս: Ապացուցված է, որ ունենալով 2^m կարգի Բոմբեր-Հոլլի զանգված, 2^r կարգի Հադամարի մատրից և k երկարության Գոլբյի հաջորդականություններ, գոյություն ունեն $4^m + k + 1$ երկարության 4^{mr} կարգի բլոկների պարամետրական բլոկային լրացուցիչ հաջորդականություններ: Բերված է պարամետրական բլոկային լրացուցիչ հաջորդականությունների միջոցով Բոմբեր-Հոլլի զանգվածների կառուցման թեորեմ: Մասնավորապես կառուցված են $4^{m+1}(2^a 10^b 26^c + 4^m + 1)mr$ և $4^{m+1}(2^{2^{a+1}} + 1)mrk$ կարգի Բոմբեր-Հոլլի զանգվածներ, որտեղ 2^m -ը Բոմբեր-Հոլլի զանգվածի կարգ է, 2^r -ը Հադամարի մատրիցի կարգ է, $k = 3, 7, 13$ իսկ a, b, c -ն ոչ բացասական ամբողջ թվեր են:

ЛИТЕРАТУРА-ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ W.D.Wallis, A.P.Street, J.S.Wallis, Lecture Notes in Math., v.232 (1972). ² J.Seberry, M.Yamada, Contemporary Design Theory: A Collection of Surveys, 1992. ³ А.Г.Саруханян, Мат.вопр. кибернетики и выч. техники, т.12, с.105-129 (1984). ⁴ H.Khaghani, Discrete Math., v.120, p.115-120 (1993). ⁵ С.С.Агаян, А.Г.Саруханян, Мат. заметки, т.30, №4, с.603-617 (1981).

МАТЕМАТИКА

УДК 519.68:510

С. А. Нигиян, А. О. Хачоян

Интерпретация и преобразование логических программ

(Представлено академиком НАН Армении Н.У.Аракеляном 30/V 1996)

Предлагаемая работа относится к математическим основам логического программирования. Логический язык программирования определяется как язык, программами которого являются выполнимые формулы некоторой логики. К программе обращаются с запросами. Интерпретатор логического языка программирования по программе и соответствующему ей запросу решает: является ли запрос логическим следствием программы? Естественно, что интерпретатор должен быть логически корректным, т.е. если он не в силах ответить на поставленный запрос, то должен либо остановиться с неопределенным ответом, либо функционировать бесконечно (см. (1)). Однако область определения интерпретатора можно расширять, осуществляя преобразования логических программ (см. (2)). Естественно, преобразования должны быть такими, чтобы множества запросов, являющихся логическим следствием исходной и преобразованной программ, совпадали.

В разделе 1 данной статьи описан общий подход к обсуждаемой проблеме, в разделе 2 получены конкретные результаты для некоторых классов ПРОЛОГ-программ

1. Зафиксируем множество M , содержащее по крайней мере два элемента $true$ и $false$. Введем понятие типа: 1) множество M есть тип; 2) любое непустое подмножество типа есть тип; 3) если $\beta, \alpha_1, \dots, \alpha_k$ ($k > 0$) — типы, то множество всех отображений из $\alpha_1 \times \dots \times \alpha_k$ в β есть тип; 4) других типов, кроме определенных согласно 1-3, нет.

Пусть C — множество констант, принадлежащих некоторым типам, X — множество переменных некоторых типов. Из элементов множеств C и X строятся термы. Определение терма дано в работе (1). Элементарной формулой назовем терм, тип которого входит в множество $\{true, false\}$. Определение формулы: 1) любая элементарная формула есть формула. 2) если A, B — формулы и $x \in X$, то $\neg(A), (A) \& (B), (A) \vee (B), (A) \supset (B), (A) \sim (B), \forall x(A), \exists x(A)$ есть формулы; 3) других формул, кроме определенных согласно 1-2, нет. Через $\Phi(C, X)$ обозначим

множество формул, построенных с использованием C и X . Некоторое вхождение переменной в формулу называется связанным, если оно находится в области действия λ или одного из кванторов $\forall$ или $\exists$. В противном случае это вхождение переменной называется свободным. Переменная x свободна в формуле A , если x имеет свободное вхождение в A . Интерпретация I формулы A определяется заданием значений всем ее свободным переменным. Значение формулы A на интерпретации I определяется естественным образом. Формула A называется выполнимой, если существует такая интерпретация I , на которой A принимает значение true. Формулу A будем называть тождественно истинной, если значение формулы A на любой интерпретации есть true. Если A, B — формулы и формула $(A) \supset (B)$ тождественно истинна, то будем говорить, что формула B является логическим следствием формулы A и обозначать $A \models B$.

Пусть $\Phi' \subset \Phi(C, X)$ и $\Phi' \neq \emptyset$. Под преобразованием формул множества Φ' мы будем понимать пару (A, A') , где $A, A' \in \Phi'$. Пусть T — некоторое непустое множество преобразований формул множества Φ' . Будем говорить, что формула $A \in \Phi'$ T -преобразуема в формулу $B \in \Phi'$ (обозначим $A \xrightarrow{T} B$), если существует такая последовательность преобразований $(A_1, A_2), \dots, (A_{n-1}, A_n)$, принадлежащих T , что $A_1 = A, A_n = B, n > 1$.

Напомним определение логического языка программирования, взятое из (1). Логический язык программирования определяется заданием шестерки $M, C, X, \text{Prog}, \Delta, U$, где:

M — непустое множество, содержащее по крайней мере два элемента true и false;

C — множество констант, принадлежащих некоторым типам;

X — множество переменных некоторых типов;

Prog — множество программ, представляющее собой некоторое подмножество выполнимых формул из $\Phi(C, X)$;

Δ — отображение, которое каждой программе $P \in \text{Prog}$ сопоставляет множество формул $\Delta(P) \subset \Phi(C, X)$, называемых запросами, соответствующими программе P ;

U — интерпретатор, представляющий собой алгоритм, который для каждой программы $P \in \text{Prog}$ и запроса $Q \in \Delta(P)$ либо останавливается с положительным ответом (yes), либо — с отрицательным (no), либо — с неопределенным ответом, либо функционирует бесконечно. Результат применения U к P и Q обозначим $U(P, Q)$. Если $U(P, Q)$ есть yes или no, то будем говорить, что $U(P, Q)$ определено. Интерпретатор U должен обладать свойством логической корректности:

если $U(P, Q) = \text{yes}$, то $P \models Q$;

если $U(P, Q) = \text{no}$, то $P \not\models Q$.

Пусть $P \in \text{Prog}$. Введем обозначения:

$$\text{Yes}(P) = \{Q \in \Delta(P) \mid P \models Q\},$$

$$\text{Ans}(U, P) = \{Q \in \Delta(P) \mid U(P, Q) \text{ — определено}\}.$$

Интерпретатор U назовем *разрешающим* (соответственно *логически полным*), если для любой программы $P \in \text{Prog}$ имеем: $\text{Ans}(U, P) = \Delta(P)$ (соответственно $\text{Yes}(P) \subset \text{Ans}(U, P)$).

Введем отношение Δ -эквивалентности на множестве программ Prog . Пусть $P_1, P_2 \in \text{Prog}$. Будем говорить, что P_1 и P_2 Δ -эквивалентны (обозначим $P_1 \sim P_2$), если $\Delta(P_1) = \Delta(P_2)$ и $\text{Yes}(P_1) = \text{Yes}(P_2)$.

Пусть T — некоторое множество преобразований программ Prog , которое для каждой программы $P \in \text{Prog}$ содержит преобразование (P, P') .

Интерпретатор U назовем *T -разрешающим* (соответственно *T -логически полным*), если для любой программы $P \in \text{Prog}$ существует такая программа $P' \in \text{Prog}$, что $P \xrightarrow{T} P'$, $P \sim P'$ и $\text{Ans}(U, P') = \Delta(P')$ (соответственно $\text{Yes}(P') \subset \text{Ans}(U, P')$).

Пусть Quer есть множество, состоящее из запросов, соответствующих всем программам множества Prog . Пусть T_q — некоторое множество преобразований запросов Quer , которое для каждого запроса $Q \in \text{Quer}$ содержит преобразование (Q, Q') .

Интерпретатор U назовем *T, T_q -разрешающим* (соответственно *T, T_q -логически полным*), если для любой программы $P \in \text{Prog}$ и любого запроса $Q \in \Delta(P)$ существуют такие $P' \in \text{Prog}$ и $Q' \in \Delta(P')$, что $P \xrightarrow{T} P'$, $Q \xrightarrow{T_q} Q'$, $P \sim P'$, $Q \in \text{Yes}(P) \Leftrightarrow Q' \in \text{Yes}(P')$ и $Q' \in \text{Ans}(U, P')$ (соответственно $Q' \in \text{Yes}(P') \Rightarrow Q' \in \text{Ans}(U, P')$).

Легко видеть, что имеет место следующее:

$$\begin{array}{ccccc} U\text{-разрешающий} & \Rightarrow & U\text{-}T\text{-разрешающий} & \Rightarrow & U\text{-}T, T_q\text{-разрешающий} \\ \Downarrow & & \Downarrow & & \Downarrow \end{array}$$

$$U\text{-логически полный} \Rightarrow U\text{-}T\text{-логически полный} \Rightarrow U\text{-}T, T_q\text{-логически полный}$$

2. В данном разделе рассматривается ПРОЛОГ, не использующий предикаты от предикатов и встроенных предикатов — чистый ПРОЛОГ. Определим шестерку $M, C, X, \text{Prog}, \Delta, U$, соответствующую чистому ПРОЛОГУ.

Зададимся тремя непересекающимися счетными множествами F , Π и V . F — множество функциональных символов с приписанной каждому символу местностью, причем для любого $n \geq 0$ F содержит счетное число символов местности n . Π — множество предикатных символов с приписанной каждому символу местностью, причем для любого $n \geq 0$ Π содержит счетное число символов местности n . V — множество

предметных переменных. Из элементов множеств F и V строятся функциональные термы (ф.термы):

- 1) каждый 0-местный символ из F есть ф.терм;
- 2) каждая предметная переменная из V есть ф.терм;
- 3) если $n > 0$, $t_1, \dots, t_n$ — ф.термы и f — n -местный символ из F , то $f(t_1, \dots, t_n)$ — ф.терм;
- 4) никаких других ф.термов, кроме определенных согласно 1-3, нет.

Через M_1 обозначим множество всех ф.термов, не использующих предметных переменных.

Предикатный терм (атом) определяется традиционным образом:

- 1) каждый 0-местный символ из Π есть атом;
- 2) если $n > 0$, $t_1, \dots, t_n$ — ф.термы и p — n -местный символ из Π , то $p(t_1, \dots, t_n)$ — атом;
- 3) никаких других атомов, кроме определенных согласно 1-2, нет.

$$M = M_1 \cup \{\text{true}, \text{false}\}.$$

$C = F$, где каждый функциональный символ $f \in F$ местности $n > 0$ есть отображение $M_1^n \rightarrow M_1$, которое n -ке $(t_1, \dots, t_n)$, где $t_i \in M_1$, $i = 1, \dots, n$, ставит в соответствие ф.терм $f(t_1, \dots, t_n)$.

$X = V \cup \Pi$, где тип каждой предметной переменной из V есть M_1 , тип каждого 0-местного предикатного символа из Π есть $\{\text{true}, \text{false}\}$, а тип каждого n -местного ($n > 0$) предикатного символа из Π есть множество всех отображений вида $M_1^n \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$.

Определим множество программ Prog. Программа $P \in \text{Prog}$ есть последовательность предложений $S_1, \dots, S_n$, $n > 0$. Каждое предложение S , входящее в P , имеет вид $A : \neg B_1, \dots, B_m$ и представляет собой дизъюнкт $A \vee \neg B_1 \vee \dots \vee \neg B_m$, где A, B_i — атомы, $i = 1, \dots, m$, $m \geq 0$. Атом A назовем головой, а последовательность $B_1, \dots, B_m$ — телом предложения S . Число m назовем длиной тела предложения S . Если $m = 0$, то S называется фактом, если же $m > 0$, то S называется правилом. Пусть $\{x_1, \dots, x_r\}$ — множество всех предметных переменных из V , входящих в программу P , $r \geq 0$. Программа P отождествляется с формулой:

$$\forall x_1 \dots \forall x_r (S_1 \& \dots \& S_n).$$

Опишем множество запросов Quer. В нашем случае $\Delta(P) = \text{Quer}$ для любой программы $P \in \text{Prog}$. Запрос $Q \in \text{Quer}$ имеет вид: $? - C_1, \dots, C_k$, где C_i — атом, $i = 1, \dots, k$, $k > 0$. Число k назовем длиной запроса Q . Пусть $\{y_1, \dots, y_s\}$ — множество всех предметных переменных из V , входящих в запрос Q , $s \geq 0$. Запрос Q отождествляется с формулой:

$$\exists y_1 \dots \exists y_s (C_1 \& \dots \& C_k).$$

U — является интерпретатором системы ПРОЛОГ, описание которого дано, например, в (2). Из (2) следует, что интерпретатор U в случае чистого ПРОЛОГа является логически корректным и не является логически полным. Отметим также, что результат интерпретатора U в случае чистого ПРОЛОГа зависит от порядка предложений программы, от порядка атомов в телах правил программы, от порядка атомов в запросе, от удаления некоторых предложений программы (естественно, сохраняющего Δ -эквивалентность программ).

Теорема 1. *Отношение Δ -эквивалентности и его дополнение не являются частично разрешимыми в случае чистого ПРОЛОГа.*

Перед тем как определить множества преобразований программ Prog и запросов Quer, введем ряд понятий.

Будем говорить, что запрос $?-C'_1, \dots, C'_k$ подобен запросу $?-C_1, \dots, C_k$, если $C'_1, \dots, C'_k$ есть перестановка $C_1, \dots, C_k$, $k > 0$.

Будем говорить, что предложение $A:-B'_1, \dots, B'_m$ подобно предложению $A:-B_1, \dots, B_m$, если $B'_1, \dots, B'_m$ есть перестановка $B_1, \dots, B_m$, $m \geq 0$.

Программу $P' = S'_1, \dots, S'_n$ назовем подобной программе $P = S_1, \dots, S_n$, если предложение S'_i подобно предложению S_i , $i = 1, \dots, n$, $n > 0$.

Программу P' назовем перестановкой (подпоследовательностью) программы P , если последовательность предложений программы P' есть перестановка (подпоследовательность) предложений программы P .

Определим следующие множества преобразований программ Prog:

$$T_1 = \{(P, P') \mid P, P' \in \text{Prog}, P' \text{ есть перестановка } P\},$$

$$T_2 = \{(P, P') \mid P, P' \in \text{Prog}, P' \text{ подобна } P\},$$

$$T_3 = \{(P, P') \mid P, P' \in \text{Prog}, P' \text{ есть подпоследовательность } P\},$$

$$T = T_1 \cup T_2 \cup T_3.$$

Определим следующее множество преобразований запросов Quer:

$$T_q = \{(Q, Q') \mid Q, Q' \in \text{Quer}, Q' \text{ подобен } Q\}$$

Чистый ПРОЛОГ, не использующий предметных переменных, назовем чистым ПРОЛОГом без переменных.

Теорема 2. *Интерпретатор U в случае чистого ПРОЛОГа без переменных является:*

T_1 -логически полным,

не $T_1 \cup T_2, T_q$ -разрешающим,

не T_2, T_q -логически полным,

T_3 -разрешающим.

Будем говорить, что программа P содержит повторяющийся предикатный символ p , если число предложений программы P , головы которых используют символ p , больше 1.

Чистый ПРОЛОГ, программы которого не содержат повторяющихся предикатных символов, назовем чистым ПРОЛОГом без повторяющихся предикатных символов.

Теорема 3. Интерпретатор U в случае чистого ПРОЛОГа без повторяющихся предикатных символов является:

логически полным,

не $T_1 \cup T_2, T_q$ -разрешающим,

T_3 -разрешающим.

Чистый ПРОЛОГ, использующий только 1-местные предикатные символы, 0-местные функциональные символы и предметные переменные, назовем монадическим ПРОЛОГом. Монадический ПРОЛОГ, длины запросов и тел правил которого равны 1, назовем обрезанным монадическим ПРОЛОГом.

Теорема 4. Интерпретатор U не является T, T_q -логически полным в случае обрезанного монадического ПРОЛОГа, программы которого содержат не более двух повторяющихся предикатных символов.

Следствие теоремы 4. Интерпретатор U не является T, T_q -логически полным в случае обрезанного монадического ПРОЛОГа.

Теорема 5. Интерпретатор U в случае обрезанного монадического ПРОЛОГа, программы которого содержат не более одного повторяющегося предикатного символа, является:

T_1 -логически полным,

не T_1, T_q -разрешающим,

не T_3, T_q -логически полным,

$T_1 \cup T_3$ -разрешающим.

Ереванский государственный университет

Ս Ա ՆԻԳԻՅԱՆԻ Օ ԽԱՉՈՅԱՆ

Տրամաբանական ծրագրերի ինտերպրետացիա և ձևափոխություն

Աշխատանքում դիտարկվում են հարցեր, որոնք կապված են տրամաբանական ծրագրավորման լեզվի ինտերպրետատորի որոշման տիրույթի ընդլայնման հետ՝ տրամաբանական ծրագրերի ձևափոխման միջոցով: Բնականաբար, ձևափոխությունները պետք է լինեն այնպիսին, որ համընկնեն հարցումների այն բազմությունները, որոնք հանդիսանում են տրված և ձևափոխված ծրագրերի տրամաբանական հետևանքներ: Նկարագրված է դիտարկվող պրոբլեմի ընդհանուր մոտեցումը և ստացված են կոնկրետ արդյունքներ ՊՐՈԼՈԳ ծրագրերի որոշակի դասերի համար:

ЛИТЕРАТУРА – ՓՐԱՎԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ С.А.Нигиян, ДНАН Армении, т.95, №1, с.26-29 (1995). ² С.А.Нигиян, Программирование, №2, 1994, с 64-73, (англ. перевод: S.A.Nigiyal, Programming and Computer Software, v.20, №2, p 69-75 (1994)).

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

УДК 519.95

В. А. Варданян

О реализации логических функций комбинационными схемами, тестируемыми относительно неисправностей задержек путей

(Представлено академиком НАН Армении Ю. Г. Шукурьяном 25/I 1996)

В (1,2) было введено понятие "робастного теста" (robust test) для обнаружения неисправностей задержек путей (path delay fault) в комбинационных схемах. Неисправность задержки пути в комбинационной схеме называется робастно тестируемой, если существует пара тестовых наборов, в результате последовательного применения которых на входах схемы переходный сигнал распространяется вдоль данного пути до выхода схемы независимо от величины задержек на других путях в схеме. Следует отметить, что во время применения робастных тестов случайные паразитные сигналы или нежелательные переходы не могут приводить к ложным результатам тестирования. В (3) разработан теоретический аппарат для анализа и синтеза комбинационных схем, робастно тестируемых относительно неисправностей задержек всех путей в схеме. Такие схемы принято называть вполне RPDFT (robust path delay fault testable) схемами (см. (3,4)).

Основная цель настоящей работы — исследование возможности реализации различных классов булевых функций в виде вполне PRDFT схем, являющихся комбинационными схемами глубины 2.

Подробные определения всех понятий, не приводимых ниже, можно найти в (2-5). Приведем некоторые обозначения и определения, необходимые для описания основных результатов работы. Пусть $E^n = \{0,1\}^n$ — множество вершин n -мерного единичного куба. Множество $E^{n,j}$ всех наборов $\tilde{a} = (a_1, \dots, a_n) \in E^n$, имеющих в точности j единиц в своих координатах, называется j -м слоем куба E^n , $0 \leq j \leq n$. Пусть $B(n)$ — множество всех булевых функций от n переменных, $S(n)$ — множество всех симметрических функций из $B(n)$. Отметим, что симметрическая функция полностью определяется заданием номеров тех слоев n -мерного куба, где функция принимает единичное значение.

Говорят, что почти все элементы множества $M(n) = \{a_1, \dots, a_n\}$ обладают некоторым свойством P , если доля элементов из $M(n)$, обладающих свойством P , стремится к единице при $n \Rightarrow \infty$.

Последовательность наборов $\tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_s \in E^n$ называется цепью длины s (см. (6)), если для всех j , $1 \leq j \leq s-1$, $\tilde{a}_{j+1}$ получается из $\tilde{a}_j$ заменой некоторого нуля в его координатах на единицу. Пусть

$$L_n(k, m) = \bigcup_{l=k}^m E^{n,l}, \quad 0 \leq k < m \leq n.$$

Следующие леммы легко вытекают из леммы Анселя (см. (6)).

Лемма 1. Множество $L_n(k, n-k) \subseteq E^n$, $0 \leq k \leq \lfloor n/2 \rfloor$, может быть покрыто множеством $\binom{n}{\lfloor n/2 \rfloor}$ попарно непересекающихся цепей, обладающих следующими свойствами:

а) число цепей длины $n - 2k + 1$, начинающихся на $E^{n,k}$ и оканчивающихся на $E^{n,n-k}$, равно $\binom{n}{k}$;

б) число цепей длины $n - 2s + 1$, $k + 1 \leq s \leq \lfloor n/2 \rfloor$, начинающихся на $E^{n,k}$ и оканчивающихся на $E^{n,n-s}$, равно $\binom{n}{s} - \binom{n}{s-1}$.

Лемма 2. Если $\lfloor n/2 \rfloor \leq k < m \leq n$ (соответственно, $0 \leq k < m \leq \lfloor n/2 \rfloor$), то множество $L_n(k, m) \subseteq E^n$ может быть покрыто множеством $\binom{n}{k}$ (соответственно, $\binom{n}{m}$) попарно непересекающихся цепей, обладающих следующими свойствами:

а) число цепей длины $m - k + 1$, начинающихся на $E^{n,k}$ и оканчивающихся на $E^{n,m}$, равно $\binom{n}{m}$ (соответственно, $\binom{n}{k}$);

б) число цепей длины $m - k + 1 - j$, $1 \leq j \leq m - k$, начинающихся на $E^{n,k}$ (соответственно, $E^{n,k+j}$) и оканчивающихся на $E^{n,m-j}$ (соответственно, $E^{n,m}$), равно $\binom{n}{m-j} - \binom{n}{m-j+1}$ (соответственно $\binom{n}{k+j} - \binom{n}{k+j-1}$).

Лемма 3. Если $0 \leq k \leq \lfloor n/2 \rfloor$ и $\lfloor n/2 \rfloor \leq m < n - k$ (соответственно, $n - k < m \leq n$), то множество $L_n(k, m)$ может быть покрыто множеством $\binom{n}{\lfloor n/2 \rfloor}$ попарно непересекающихся цепей, обладающих следующими свойствами:

а) число цепей длины $m - k + 1$, начинающихся на $E^{n,k}$ и оканчивающихся на $E^{n,m}$, равно $\binom{n}{k}$ (соответственно, $\binom{n}{m}$);

б) число цепей длины $m - k + 1 - j$, $1 \leq j \leq n - m - k$ (соответственно, $1 \leq j \leq m - n + k$), начинающихся на $E^{n,k+j}$ (соответственно, $E^{n,k}$) и оканчивающихся на $E^{n,m}$ (соответственно, $E^{n,m-j}$), равно $\binom{n}{k+j} - \binom{n}{k+j-1}$ (соответственно, $\binom{n}{m-j} - \binom{n}{m-j+1}$);

в) число цепей длины $n - 2s + 1$, $n - m + 1 \leq s \leq \lfloor n/2 \rfloor$ (соответственно, $k + 1 \leq s \leq \lfloor n/2 \rfloor$), начинающихся на $E^{n,s}$ и оканчивающихся на $E^{n,n-s}$, равно $\binom{n}{s} - \binom{n}{s-1}$.

Лемма 4. Для всех k , $0 \leq k \leq \lfloor n/2 \rfloor$, множество $L_n(k, n-k)$ может быть покрыто множеством $\binom{n}{k}$ кубов размерности $n - 2k$, таких, что каждый набор $\bar{a} \in E^{n,k} \cup E^{n,n-k}$ будет покрыт единственным кубом.

Теорема 1. Существует класс функций $\Phi(n) \subseteq B(n)$, не имеющих вполне RPDFT-реализаций глубины 2, и

$$|\Phi(n)| = 2^{2^n - n - 1} \sum_{s=2}^{n-1} \binom{n}{s} 2^{-s(n-1)}$$

Следствие 1. Имеется не менее $2^{(1-o(1))2^n}$ булевых функций, не имеющих вполне RPDFT-реализаций глубины 2.

Пусть $S_{RPDFT}(n)$ множество функций из $S(n)$, имеющих вполне RPDFT-реализации глубины 2.

Теорема 2. При $n \geq 11$,

$$\begin{aligned} |S_{RPDFT}(n)| = & \frac{1}{\sqrt{5}} \left(\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^{n+5} - \left(\frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^{n+5} \right) + \frac{1}{5} \left(\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^{2\lfloor (n-1)/2 \rfloor + 5} + \right. \\ & \left. + \left(\frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^{2\lfloor (n-1)/2 \rfloor + 5} - (-1)^{\lfloor (n-1)/2 \rfloor} \right) - \frac{2}{\sqrt{5}} \left(\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^{\lfloor (n-1)/2 \rfloor + 6} - \left(\frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^{\lfloor (n-1)/2 \rfloor + 6} \right) - \\ & - \frac{1}{2} n(n-3) - \lfloor (n-1)/2 \rfloor^2 + 4\lfloor (n-1)/2 \rfloor - 6. \end{aligned}$$

Следствие 2. При $n \rightarrow \infty$,

$$|S_{RPDFT}(n)| \sim \frac{1}{\sqrt{5}} \left(\frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^{n+5} + \frac{1}{5} \left(\frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^{2\lfloor (n-1)/2 \rfloor + 5}.$$

Следствие 3. Почти все функции из $S(n)$ не имеют вполне RPDFT-реализаций глубины 2.

В таблице приведены значения $|S(n)|$ и $|S_{RPDFT}(n)|$ для $1 \leq n \leq 10$.

n	$ S(n) $	$ S_{RPDFT}(n) $
1	4	2
2	8	6
3	16	14
4	32	26
5	64	50
6	128	83
7	256	153
8	512	241
9	1024	433
10	2048	665

Определение. Булева функция $g(x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_m)$ от $n+m$ переменных называется RPDFT-расширением для булевой функции $f(x_1, \dots, x_n)$, если удовлетворяет следующим условиям:

- а) g имеет вполне RPDFT-реализацию глубины 2.
- б) существуют константы $\sigma_1, \dots, \sigma_m \in \{0, 1\}$ такие, что $g(x_1, \dots, x_n, \sigma_1, \dots, \sigma_m) \equiv f(x_1, \dots, x_n)$.

На основе лемм 1-4 предложены алгоритмы построения RPDFT-расширений для булевых и симметрических булевых функций, не имеющих вполне RPDFT-реализаций глубины 2.

Теорема 3. Для любой функции $f \in B(n)$, не имеющей вполне RPDFT-реализаций глубины 2, можно построить RPDFT-расширение $g(x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_m)$ такое, что $m \leq 2$.

Основные результаты работы представлены также в (?).

Автор выражает глубокую благодарность Ерванду Зорьяну из AT&T Bell Laboratories (США) за полезные советы и большую поддержку.

Институт проблем информатики и автоматизации НАН Армении

Վ Ա ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

Տրամաբանական ֆունկցիաների իրականացման մասին ճանապարհային հապաղումների անսարքությունների նկատմամբ ստուգելի կոմբինացիոն սխեմաների տեսքով

Կատարված է բուլյան ֆունկցիաների մի լայն դաս, որոնց հնարավոր է իրականացնել ճանապարհային հապաղումների անսարքությունների նկատմամբ լիովին ռոբաստ ստուգելի երկու-խորության կոմբինացիոն սխեմաների տեսքով:

Ստացված են հշգրիտ և ասիմպտոտիկ բանաձևեր n փոփոխականի այն սխեմերիկ բուլյան ֆունկցիաների քանակի համար, որոնք ունեն ճանապարհային հապաղումների

անսարքությունների նկատմամբ լիովին ուրախատ ստուգելի երկու-խորության (լիովին RPDFT) իրականացում: Ապացուցված է, որ համարյա բոլոր սիմետրիկ ֆունկցիաները չունեն այդպիսի ներկայացում:

Ներմուծված է բուլյան ֆունկցիայի ընդլայնման մի գաղափար (RPDFT-ընդլայնում) և ապացուցված է, որ ցանկացած բուլյան ֆունկցիա, որ չունի երկու խորության լիովին RPDFT-իրականացում, կարելի է ընդլայնել ոչ ավել, քան երկու լրացուցիչ փոփոխականների միջոցով և ստանալ մի ֆունկցիա, որն ունի երկու-խորության լիովին RPDFT-իրականացում:

ЛИТЕРАТУРА-ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ G.L.Smith, Proc. Int. Test Conf., 1985. ² C.L.Lin, S.M.Reddy, IEEE Trans. Computer-Aided Design, CAD-6, №5 (1987). ³ S.Devadas, K.Keutzer, IEEE Trans. Computer-Aided Design, v.11, №1 (1992). ⁴ S.Devadas, K.Keutzer, IEEE Trans. Computer-Aided Design, v.11, №3 (1992). ⁵ С.В.Яблонский, Введение в дискретную математику, М., Наука, 1979. ⁶ Ж.Ансель, Киб. сб. Новая сер., М., Мир, вып. 5 (1968). ⁷ V.A.Vardanian, Proc. 14th IEEE VLSI Test Symposium, 1996.

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

УДК 539.3

В. С. Тоноян, С. А. Мелкумян

**Симметричная контактная задача для ортотропной
полуплоскости с внутренним вертикальным конечным разрезом**

(Представлено академиком НАН Армении Б. Л. Абрамяном 16/Х 1995)

В работе рассматривается плоская контактная задача для упругой ортотропной полуплоскости ($x \geq 0$) с внутренним вертикальным конечным разрезом ($a < x < b$). На конечном участке границы полуплоскости приложен жесткий штамп с основанием произвольной гладкой формы, симметрично расположенный относительно оси разреза ($z = 0$).

Предполагается, что трение между штампом и полуплоскостью отсутствует. Для простоты принимается также, что граница полуплоскости вне штампа свободна от касательных внешних напряжений, а в разрезе действует только нормальное давление.

Рассматривается плоское деформированное состояние ($-\infty < y < \infty$), и задача решается в перемещениях методом Фурье. Решение представлено в виде суммы интегралов Фурье. Отыскание произвольных функций интегрирования в конечном счете сводится к решению системы из "парных" и "тройных" интегральных уравнений. Эта система, в свою очередь, сводится к регулярной бесконечной системе линейных алгебраических уравнений.

В частных случаях, когда $a \rightarrow 0$ или $b \rightarrow \infty$, соответственно получаются контактные задачи плоской теории упругости для ортотропной полуплоскости с вертикальными конечным или полубесконечным разрезом.

Так как задача симметрична относительно оси $z = 0$, то можно ограничиться рассмотрением только квадранта ($0 < x < \infty$, $0 < z < \infty$).

Граничные условия для квадранта имеют вид:

$$\begin{aligned} \tau_{zx}(0, z) &= 0, \quad 0 < z < \infty; \quad \tau_{zx}(x, 0) = 0, \quad 0 < x < \infty; \\ U_x(0, z) &= f_1(z), \quad 0 < z \leq c; \quad \sigma_x(0, z) = f_2(z), \quad c < z < \infty; \\ U_x(x, 0) &= 0, \quad 0 < x \leq a; \quad b \leq x < \infty; \quad \sigma_x(x, 0) = f_3(x), \quad a < x < b. \end{aligned} \quad (1)$$

Решение задачи ищем в виде сумм интегралов Фурье:

$$\begin{aligned} U_x(x, z) &= \frac{1}{c_{11}} \int_0^\infty \alpha \bar{U}(\alpha, z) \sin \alpha x d\alpha + \frac{1}{c_{11}} \int_0^\infty \beta \bar{U}(\beta, x) \cos \beta z d\beta \\ U_z(x, z) &= \frac{1}{c_{44}} \int_0^\infty \alpha \bar{U}(\alpha, z) \sin \alpha x d\alpha + \frac{1}{c_{44}} \int_0^\infty \beta \bar{U}(\beta, x) \cos \beta z d\beta \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} \bar{U}(\alpha, z) &= \sum_{j=1}^2 \Delta_1(t_j) A_j(\alpha) e^{-\alpha t_j z}; \quad \bar{U}(\beta, x) = \sum_{k=1}^2 \Delta_1(t_k) t_k^{-2} B_k(\beta) e^{-\beta t_k^{-1} x}; \\ \bar{W}(\alpha, z) &= \sum_{j=1}^2 \Delta_2(t_j) A_j(\alpha) e^{-\alpha t_j z}; \quad \bar{W}(\beta, x) = \sum_{k=1}^2 \Delta_2(t_k) B_k(\beta) e^{-\beta t_k^{-1} x}; \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь $A_j(\alpha)$ и $B_k(\beta)$ — неизвестные функции интегрирования, которые нужно определить из условий (1), а плотности, входящие в (3), определяются по формулам:

$$\Delta_1(t_k) = \left(\frac{c_{13}}{c_{44}} + 1 \right) t_k; \quad \Delta_2(t_k) = 1 - \frac{c_{44}}{c_{11}} t_k^2. \quad (4)$$

Из решения биквадратного уравнения

$$\frac{c_{33}}{c_{11}} t^4 + \left(\frac{c_{13}^2}{c_{44}} + 2 \frac{c_{13}}{c_{11}} - \frac{c_{13}}{c_{44}} \right) t^2 + 1 = 0. \quad (5)$$

где c_{11} , c_{13} , c_{33} и c_{44} — модули упругости материала, определяется t_k .

Используя основные соотношения теории упругости (1) для исследуемой среды и (2), (3), можно все компоненты тензора напряжений выразить через $A_j(\alpha)$ и $B_k(\beta)$.

Удовлетворяя граничным условиям (1), получаем (2):

$$A_j(\alpha) = a_j A_1(\alpha); \quad B_k(\beta) = b_k B_1(\beta),$$

$$\begin{cases} \int_0^\infty \beta B_1(\beta) \cos \beta z d\beta = \frac{c_{11}}{n_{11}} f_1(z) & 0 < z \leq c \\ \int_0^\infty \beta^2 B_1(\beta) \cos \beta z d\beta = \frac{1}{n_{12}} f_2(z) - \frac{1}{n_{12}} \sum_{j=1}^2 a_j \int_0^\infty \alpha^2 A_1(\alpha) e^{-\alpha t_j z} d\alpha & c < z < \infty \end{cases}$$

$$\begin{cases} \int_0^x \alpha A_1(\alpha) \cos \alpha x d\alpha = 0 & 0 < x \leq a \\ \int_0^x \alpha^3 A_1(\alpha) \cos \alpha x d\alpha = \frac{1}{m_{12}} f_3(x) - \frac{1}{m_{12}} \sum_{k=1}^2 b_{3k} b_k \int_0^\infty \beta^2 B_1(\beta) e^{-\beta x} d\beta & a < x < b \\ \int_0^\infty \alpha A_1(\alpha) \cos \alpha x d\alpha = 0 & b \leq x < \infty \end{cases} \quad (6)$$

Здесь

$$\begin{aligned} a_1 &= 1; \quad a_2 = -\frac{a_{11}}{a_{12}}; \quad b_1 = 1; \quad b_2 = -\frac{b_{11}}{b_{12}}; \\ a_{1j} &= \frac{c_{44}}{c_{11}} \Delta_1(t_j) t_j + \Delta_2(t_j); \quad b_{1k} = \frac{c_{44}}{c_{11}} \Delta_1(t_k) t_k^{-2} - \Delta_2(t_k) t_k^{-1}; \\ n_{11} &= \sum_{k=1}^2 \Delta_1(t_k) t_k^{-2} b_k, \quad b_{2k} = -\Delta_1(t_k) t_k^{-3} + \frac{c_{13}}{c_{44}} \Delta_2(t_k); \\ n_{12} &= \sum_{k=1}^2 b_{2k} b_k; \quad a_{2j} = \Delta_1(t_j) - \frac{c_{13}}{c_{44}} \Delta_2(t_j) t_j; \\ m_{12} &= \sum_{j=1}^2 a_{3j} a_j; \quad a_{3j} = \frac{c_{13}}{c_{11}} \Delta_1(t_j) - \frac{c_{33}}{c_{44}} \Delta_2(t_j); \\ b_{3k} &= -\frac{c_{13}}{c_{11}} \Delta_1(t_k) t_k^{-3} + \frac{c_{33}}{c_{44}} \Delta_2(t_k). \end{aligned} \quad (7)$$

Подобные системы из "парных" и "тройных" интегральных уравнений (6) рассматривались в работах (3,4) и др.

Используя результаты (3), из (6) получаем:

$$\begin{aligned} B_1(\beta) &= \frac{2}{\pi} \frac{1}{\beta} \int_0^c \varphi_1(r) J_1(\beta r) dr + \frac{2}{\pi} \frac{1}{\beta} \int_c^\infty \varphi_2(r) J_1(\beta r) dr + \\ &\quad + \frac{2}{\pi} \frac{1}{\beta} \int_0^c F_1(r) J_1(\beta r) dr \end{aligned} \quad (8)$$

$$A_1(\alpha) = \frac{1}{2\alpha^2} \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1) A_n J_{2n+1}(b\alpha); \quad (9)$$

где

$$\varphi_1(r) = -r \frac{d}{dr} \frac{c_{11}}{n_{11}} \int_0^r \frac{f_1(z)}{\sqrt{r^2 - z^2}} dz; \quad \varphi_2(z) = -\frac{1}{n_{12}} \int_c^\infty \frac{zf_2(z)}{\sqrt{z^2 - r^2}} dz;$$

$$F_1(r) = \frac{r}{n_{12}} \sum_{j=1}^2 a_{2j} a_j \int_0^\infty \alpha^2 A_1(\alpha) K_1(\alpha r) d\alpha;$$

$$A_n = \frac{2n+1}{\pi\sqrt{2}} \int_\beta^\pi P_n(\cos\theta) \sin\theta d\theta \int_0^\pi \frac{G(\varphi)}{(\cos\theta - \cos\varphi)^{1/2}} d\varphi; \quad (10)$$

$$G(\varphi) = - \int_\varphi^\pi \varphi_3(b \sin \varphi / 2) d\varphi + \frac{1}{m_{12}} \sum_{k=1}^2 b_{3k} b_k \int_\varphi^\pi d\varphi \int_0^\infty \beta^2 B_1(\beta) e^{-\beta b \sin \varphi / 2} d\beta + c_1;$$

$$\varphi_3(b \sin \varphi / 2) = \frac{1}{m_{12}} f_3(b \sin \varphi / 2); \quad c_1 = \sum_{n=0}^\infty (-1)^n A_n;$$

$$\varphi = 2 \arcsin \frac{x}{b}; \quad \beta = 2 \arcsin \frac{a}{b}.$$

Здесь $J_\nu(z)$ — функция Бесселя первого рода от действительного аргумента; $K_\nu(z)$ — функции Макдональда; $P_n(z)$ — полином Лежандра.

Имея в виду (8), (9) и (10), исключая $B_1(\beta)$ и производя замену неизвестных

$$(2n+1)G_n = \sqrt{2}\pi A_n, \quad (11)$$

для определения G_n получаем следующую бесконечную систему линейных алгебраических уравнений:

$$G_n = \Omega_n + \sum_{m=1}^\infty K_{mn} G_m, \quad (12)$$

где введены обозначения:

$$\Omega_n = \int_\beta^\pi P_n(\cos\theta) \sin\theta d\theta \int_0^\pi \frac{N(\varphi)}{(\cos\theta - \cos\varphi)^{1/2}} d\varphi; \quad (13)$$

$$K_{mn} = \int_\beta^\pi P_n(\cos\theta) \sin\theta d\theta \int_0^\pi \frac{M_m(\varphi)}{(\cos\theta - \cos\varphi)^{1/2}} d\varphi. \quad (14)$$

Здесь

$$\begin{aligned}
 N(\varphi) = & - \int_{\varphi}^{\pi} \varphi_3(b \sin \varphi / 2) d\varphi + \\
 & + \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{m_{12}} \sum_{k=1}^2 b_{3k} b_k \int_{\varphi}^{\pi} d\varphi \int_0^c \frac{r \varphi_1(r)}{\left[(b t_k^{-1} \sin \varphi / 2)^2 + r^2 \right]^{3/2}} dr + \\
 & + \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{m_{12}} \sum_{k=1}^2 b_{3k} b_k \int_{\varphi}^{\pi} d\varphi \int_c^{\infty} \frac{r \varphi_2(r)}{\left[(b t_k^{-1} \sin \varphi / 2)^2 + r^2 \right]^{3/2}} dr; \quad (15)
 \end{aligned}$$

$$M_m(\varphi) = \frac{1}{\pi^2} \cdot \frac{1}{m_{12}} \cdot \frac{(2m+1)^2}{\sqrt{2}} \sum_{k=1}^2 b_{3k} b_k \cdot \sum_{j=1}^2 a_{2j} a_j$$

$$\cdot \int_{\varphi}^{\pi} d\varphi \int_c^{\infty} \frac{r^2 B_m(t_j r)}{\left[(b t_k^{-1} \sin \varphi / 2)^2 + r^2 \right]^{3/2}} dr,$$

а $B_m(t_j r)$ определяется по формуле

$$\begin{aligned}
 B_m(t_j r) = & \frac{\pi \left(m + \frac{1}{2} \right) \cdot (2m-1)!! \cdot (2m-1)!!}{2^{2(1-m)} \cdot m \cdot (t_j r)^{2(m+1)} \cdot (2m+1) \cdot (2m-1)!} \cdot \\
 & F \left(\frac{2m+3}{2}, \frac{2m-1}{2}; 2(m+1); - \left(\frac{b}{t_j r} \right)^2 \right),
 \end{aligned}$$

где $F(\alpha, \beta; \gamma; r)$ — гипергеометрическая функция Гаусса.

Исходя из результатов (3) показано, что система (12) вполне регулярна. Решая (12) методом последовательных приближений, коэффициенты G_n можно определить с любой точностью. Далее по формулам (11), (9), (8) и (6) можно определить все неизвестные функции и, следовательно, напряжения и перемещения в любой точке полуплоскости.

В частности, напряжения под штампом и вне разреза определяются по формулам:

$$\begin{aligned}
 \sigma_x(0, z) = & - \frac{2n_{12}}{\pi} \left[\frac{\varphi_1(c)}{\sqrt{c^2 - z^2}} + \frac{\varphi_2(c)}{\sqrt{c^2 - z^2}} + \frac{F_1(c)}{\sqrt{c^2 - z^2}} \right] + \\
 & + \frac{2n_{12}}{\pi} \left[\int_z^c \frac{\varphi_1'(r)}{\sqrt{r^2 - z^2}} dr + \int_c^{\infty} \frac{\varphi_2'(r)}{\sqrt{r^2 - z^2}} dr + \int_c^{\infty} \frac{F_1'(r)}{\sqrt{r^2 - z^2}} dr \right] + \\
 & + \sum_{j=1}^2 a_{2j} a_j \int_0^{\infty} \alpha^2 A_1(\alpha) e^{-\alpha^2 z^2} d\alpha; \quad 0 < z < c; \quad (17)
 \end{aligned}$$

$$\sigma_z(x,0) = \frac{m_{12}}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{a^2 - x^2}} \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1)^2 G_n \cos \left[(2n+1) \arcsin \frac{x}{b} \right] +$$

$$+ \sum_{k=1}^2 b_{3k} b_k \int_0^{\infty} \beta^2 B_1(\beta) e^{-\beta_k^{-1} x} d\beta; \quad 0 < x < a \quad (18)$$

$$\sigma_z(x,0) = \frac{m_{12}}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{x^2 - b^2}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(2n+1)^2 b^{2n+1} G_n \sin \frac{(2n+1)\pi}{2}}{\left(x + \sqrt{x^2 - b^2} \right)^{2n+1}} +$$

$$+ \sum_{k=1}^2 b_{3k} b_k \int_0^{\infty} \beta^2 B_1(\beta) e^{-\beta_k^{-1} x} d\beta; \quad b < x < \infty. \quad (19)$$

Здесь

$$F_1(r) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{r}{n_{12}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sum_{j=1}^2 a_{2j} a_j \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1)^2 G_n \cdot B_n(t, r);$$

$$A_1(\alpha) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\alpha^2} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1)^2 G_n \cdot J_{2n+1}(b\alpha);$$

$$B_1(\beta) = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \int_0^c \varphi_1(r) J_1(\beta r) dr + \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \int_c^{\infty} \varphi_2(r) J_1(\beta r) dr +$$

$$+ \frac{1}{\pi^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\beta} \sum_{j=1}^2 a_{2j} a_j \sum_{m=0}^{\infty} (2m+1)^2 G_m \int_c^{\infty} r J_1(\beta r) B_m(t, r) dr.$$

Институт механики НАН Армении

Վ. Ս. ՏՈՂՈՅԱՆ, Ս. Ա. ՄԵԼՔՈՒՄՅԱՆ

Ներքին ուղղահայաց վերջավոր ճեղքով օրթոտրոպ կիսահարթության համար համաչափ կոնտակտային խնդիրը

Աշխատանքում դիտարկվում է ներքին ուղղահայաց վերջավոր ճեղքով օրթոտրոպ կիսահարթության համար հարթ կոնտակտային խնդիրը: Կիսահարթության եզրի վերջավոր մասի վրա կիրառված է ճեղքի առանցքի նկատմամբ համաչափ դասավորված կոշտ դրոշմ: Ենթադրվում է, որ շփումը կիսահարթության և դրոշմի միջև բացակայում է:

Պարզության համար ընդունվում է, որ կիսահարթության եզրը դրոշմից դուրս ազատ է արտաքին շոշափող լարումներից, իսկ ճեղքի ափերի վրա ազդում է միայն նորմալ ճնշում:

Դիտարկվում է հարթ դեֆորմացիոն վիճակ և խնդիրը լուծվում է սեղանափոխումներով Ֆուլլերի մեթոդով: Լուծումը ներկայացված է Ֆուլլերի ինտեգրալների գումարի տեսքով:

Ինտեգրման անհայտ ֆունկցիաների որոշումը սկզբում հանգի է զույգ և եռակի ինտեգրալ հավասարումների համակարգի, իսկ հետագայում ռեգուլյար գծային հանրահալվական անվերջ հավասարումների համակարգի լուծմանը:

Ստացված են անալիտիկ բանաձևեր դրոշմի տակ և հեղթից դուրս նորմալ լարումների համար, անջատված էզակիություններ:

Մասնավոր դեպքում ստացված են դեպի եզր դուրս եկող վերջավոր և եզրից վերջավոր հոսսվորություններ կիսաանվերջ ուղղահայաց հեղթերով օրթոտրոպ կիսահարթության հարթ կոնտակտային խնդիրների լուծումները:

ЛИТЕРАТУРА-ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Р.Кристенсен, Введение в механику композитов. М., Мир, 1982. ² И.С.Градштейн, И.М.Рыжик, Таблицы интегралов, сумм, рядов и производений. М., 1971. ³ В.С.Тоноян, С.А.Мелкумян, ДАН АрмССР, т.LXL, №2, с.122-127 (1977). ⁴ Я.С.Уфлянд, Метод парных уравнений в задачах математической физики, Л., Наука, 1977

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОУПРУГОСТИ

УДК 539.3:534.1

В. С. Тоноян, В. А. Бежанян

Задача электроупругости для пьезокерамической полуплоскости
с двумя граничными электродами

(Представлено академиком НАН Армении С. А. Амбарцумяном 30/III 1995)

Электроупругое состояние пьезокерамической полуплоскости, поляризованной в направлении оси, перпендикулярной к границе полуплоскости с двумя граничными электродами, рассмотрено в работе (1).

В настоящей работе получено точное решение задачи электроупругости для пьезокерамической полуплоскости, когда на границе располагаются два ленточных электрода с электрическими потенциалами $\pm V_0$, симметричные относительно вертикальной оси. Предполагается, что направление предварительной поляризации параллельно границе полуплоскости, которая свободна от внешних механических воздействий. Полуплоскость граничит с вакуумом. Решение задачи представлено в виде интегралов Фурье. Определение произвольных функций интегрирования сведено к решению "тройных" интегральных уравнений по тригонометрическим функциям, которые решаются в замкнутом виде. Получены аналитические формулы для плотности распределения электрических зарядов на электродах и для нормальных механических напряжений под электродами с выделенной корневой особенностью.

Рассмотрим статическое состояние плоской деформации пьезоэлектрического полупространства $x \geq 0, |z| < \infty, |y| < \infty$ из пьезокерамики, поляризованной в направлении оси z . Пусть на участках $a < |z| < b$, $x = 0, |y| < \infty$ границы полупространства располагаются два ленточных электрода с электрическими потенциалами $\pm V_0$. Предполагаем отсутствие на границе $x = 0$ полупространства с вакуумом механических нагрузок.

Учитывая, что механические нагрузки на границе полуплоскости отсутствуют, а электрод рассматривается как бесконечно тонкий проводящий слой, а также симметричность задачи и то обстоятельство, что электрические постоянные пьезокерамической среды значительно

больше постоянных вакуума, можно ограничиться рассмотрением области правой квадранты.

Как известно, поставленная электроупругая задача математически сводится к решению системы, состоящей из уравнений: движения Ньютона (1.72), электростатики (1.73), состояния (1.74) и соотношений (1.75) работы (2) со следующими граничными условиями (3):

$$\begin{aligned}\sigma_x(0, z) &= 0, \quad \tau_{zx}(0, z) = 0, \quad 0 \leq z < \infty, \\ D_x(0, z) &= 0, \quad 0 \leq z < a, \quad b < z < \infty, \\ \Psi(0, z) &= V_0, \quad a < z < b,\end{aligned}\quad (1)$$

где σ_x, τ_{zx} — компоненты тензора механических напряжений, D_x — компонент вектора электрической индукции, Ψ — электростатический потенциал.

Решения задачи ищем в виде интегралов Фурье:

$$\begin{aligned}U_x(x, z) &= -\frac{1}{c_{11}^E} \int_0^\infty \beta \bar{U}(\beta, x) \sin \beta z d\beta; \\ U_z(x, z) &= \frac{1}{c_{44}^E} \int_0^\infty \beta \bar{W}(\beta, x) \cos \beta z d\beta; \\ \Psi(x, z) &= -\frac{1}{e_{15}} \int_0^\infty \beta \bar{\Psi}(\beta, x) \cos \beta z d\beta,\end{aligned}\quad (2)$$

где U_x, U_z — составляющие вектора упругих перемещений,

$$\begin{aligned}\bar{U}_x(\beta, x) &= \sum_{k=1}^3 \Delta_1(t_k) t_k e^{-\frac{\beta}{t_k} x} B_k(\beta); \\ \bar{W}(\beta, x) &= \sum_{k=1}^3 \Delta_2(t_k) e^{-\frac{\beta}{t_k} x} B_k(\beta); \\ \bar{\Psi}(\beta, x) &= \sum_{k=1}^3 \Delta_3(t_k) e^{-\frac{\beta}{t_k} x} B_k(\beta).\end{aligned}\quad (3)$$

Здесь $B_k(\beta)$ — произвольные функции интегрирования, которые нужно определить из граничных условий задачи (1). Коэффициенты формулы (3) определяются:

$$\begin{aligned}\Delta_1(t_k) &= \kappa t_k^2 + \kappa_1; \\ \Delta_2(t_k) &= \eta t_k^4 + \eta_1 t_k^2 + 1; \\ \Delta_3(t_k) &= \nu t_k^4 + \nu_1 t_k^2 + 1,\end{aligned}\quad (4)$$

где

$$\begin{aligned}
 \kappa &= \left(\frac{e_{31}}{e_{15}} + 1 \right) \frac{c_{33}^E}{c_{44}^E} - \left(\frac{c_{13}^E}{c_{44}^E} + 1 \right) \frac{e_{33}}{e_{15}} ; \\
 \kappa_1 &= \frac{c_{13}^E}{c_{44}^E} \cdot \frac{e_{33}}{e_{15}} ; \\
 \eta_1 &= \left(\frac{e_{31}}{e_{15}} + 1 \right) \left(\frac{c_{13}^E}{c_{11}^E} + \frac{c_{44}^E}{c_{11}^E} \right) - \frac{c_{44}^E}{c_{11}^E} - \frac{e_{33}}{e_{15}} ; \\
 \eta &= \frac{c_{44}^E}{c_{11}^E} \cdot \frac{e_{33}}{e_{15}} ; \\
 \nu &= \frac{c_{33}^E}{c_{11}^E} ; \\
 \nu_1 &= \left(\frac{c_{13}^E}{c_{44}^E} + 1 \right) \left(\frac{c_{13}^E}{c_{11}^E} + \frac{c_{44}^E}{c_{11}^E} \right) - \frac{c_{44}^E}{c_{11}^E} - \frac{c_{33}^E}{c_{44}^E} ,
 \end{aligned} \tag{5}$$

а t_k определяется из следующего бикубического уравнений:

$$t^6 - Pt^4 + Qt^2 - R = 0. \tag{6}$$

Здесь

$$\begin{aligned}
 P &= \left(\frac{e_{33}}{c_{44}^E} \eta + \frac{\varepsilon_{33}^s}{e_{15}} \nu \right)^{-1} \left[\left(\frac{e_{31}}{c_{11}^E} + \frac{e_{15}}{c_{11}^E} \right) \kappa - \frac{e_{33}}{c_{44}^E} \eta_1 + \frac{e_{15}}{c_{44}^E} \eta - \frac{\varepsilon_{33}^s}{e_{15}} \nu_1 + \frac{\varepsilon_{11}^s}{e_{15}} \nu \right] ; \\
 Q &= \left(\frac{e_{33}}{c_{44}^E} \eta + \frac{\varepsilon_{33}^s}{e_{15}} \nu \right)^{-1} \left[\left(\frac{\varepsilon_{33}^s}{e_{15}} + \frac{e_{33}}{c_{44}^E} \right) - \left(\frac{e_{31}}{c_{11}^E} + \frac{e_{15}}{c_{44}^E} \right) \kappa_1 - \frac{e_{15}}{c_{44}^E} \eta_1 - \frac{\varepsilon_{11}^s}{e_{15}} \nu_1 \right] ; \\
 R &= \left(\frac{e_{33}}{c_{44}^E} \eta + \frac{\varepsilon_{33}^s}{e_{15}} \nu \right)^{-1} \left(\frac{e_{15}}{c_{44}^E} + \frac{\varepsilon_{11}^s}{e_{15}} \right) .
 \end{aligned} \tag{7}$$

Используемые обозначения для упругих, пьезоэлектрических и диэлектрических постоянных материала указаны в (4). Имея в виду (2), (3) и основные соотношения электроупругости в декартовой системе координат (2), можно все компоненты сопряженного электроупругого поля выразить через $B_k(\beta)$. Потом, удовлетворяя граничным условиям (1), получаем (5):

$$B_k(\beta) = C_k B_1(\beta) , \tag{8}$$

$$\begin{cases} \int_0^{\infty} B(\beta) \cos \beta z d\beta = 0 & 0 < z < a, \\ \int_0^{\infty} \frac{B(\beta)}{\beta} \cos \beta z d\beta = -\frac{e_{15}}{n_1} V_0 & a \leq z \leq b, \\ \int_0^{\infty} B(\beta) \cos \beta z d\beta = 0 & b < z < \infty, \end{cases} \quad (9)$$

где

$$B(\beta) = \beta^2 B_1(\beta); \quad (10)$$

$$C_1 = 1; C_2 = \frac{a_{13}a_{21} - a_{11}a_{23}}{a_{12}a_{23} - a_{13}a_{22}}; C_3 = \frac{a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}}{a_{12}a_{23} - a_{13}a_{22}};$$

$$a_{1k} = \Delta_1(t_k) - \frac{c_{13}^E}{c_{44}^E} \Delta_2(t_k) + \frac{e_{31}}{e_{15}} \Delta_3(t_k); \quad (11)$$

$$a_{2k} = \frac{c_{44}^E}{c_{11}^E} \Delta_1(t_k) t_k + \frac{\Delta_2(t_k)}{t_k} - \frac{\Delta_3(t_k)}{t_k};$$

$$n_1 = \sum_{k=1}^3 \Delta_3(t_k) C_k.$$

Решение тройного интегрального уравнения (9) ищем в виде

$$B(\beta) = \sum_{n=1}^{\infty} B_n J_{2n}(\beta b). \quad (12)$$

Здесь B_n — неизвестные пока коэффициенты, подлежащие определению; $J_\nu(x)$ — функция Бесселя первого рода с действительным аргументом. После подстановки (12) в (9), изменения порядка интегрирования и суммирования, с учетом интеграла Вебера-Шефхейптлиана (5), "тройное" интегральное уравнений сводится к парным тригонометрическим рядовым уравнениям

$$\begin{cases} \sum_{n=1}^{\infty} B_n \cos \left[2n \arcsin \left(\frac{z}{b} \right) \right] = 0 & 0 < z < a, \\ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{B_n}{n} \cos \left[2n \arcsin \left(\frac{z}{b} \right) \right] = -\frac{e_{15}}{n_1} V_0 & a \leq z \leq b. \end{cases} \quad (13)$$

Обозначая

$$z = b \cos \frac{\theta}{2}; \quad a = b \cos \frac{\lambda}{2} \quad (14)$$

и интегрируя первое уравнение (13) по θ в пределах от λ до π , а второе от θ до λ , получим

$$\begin{cases} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{B_n}{n} \sin n\theta = -\frac{e_{15}}{n_1} V_0 \theta & 0 \leq \theta \leq \lambda, \\ \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin n\theta = 0 & \lambda < \theta < \pi. \end{cases} \quad (15)$$

Используя результаты (6), из (15) получаем

$$B_n = -4 \frac{e_{15}}{n_1} V_0 \cdot n \sin^2 \frac{\lambda}{2} F\left(1+n; 1-n; 2; \sin^2 \frac{\lambda}{2}\right), \quad (16)$$

где $F(\alpha; \beta; \gamma; z)$ — гипергеометрический ряд. Используя (16), (12), (10), (8) и основные соотношения электроупругости (2), можно определить все искомые компоненты сопряженного электроупругого поля в любой точке полуплоскости.

Институт механики НАН Армении

Վ. Ս. ՏՈՆՈՅԱՆ, Վ. Ա. ԲԵԺԱՆՅԱՆ

Երկու եզրային էլեկտրոդներով պլեգոկերամիկ կիսահարթության համար էլեկտրաառաձգական խնդիրը

Աշխատանքում ստացված է պլեգոկերամիկ կիսահարթության համար էլեկտրաառաձգական խնդրի հիմնական լուծումը, երբ կիսահարթության եզրի վրա տեղադրված են ուղղահայաց առանցքի նկատմամբ սիմետրիկ դասավորված պոտենցիալներով երկու ժապավենաձև էլեկտրոդներ: Ենթադրվում է, որ նախնական բեռնացման ուղղությունը զուգահեռ է կիսահարթության եզրին, որը ազատ է արտաքին մեխանիկական լարումներից: Խնդրի լուծումը ներկայացված է Ֆուրյեի ինտեգրալների տեսքով: Ինտեգրման կամայական ֆունկցիաների որոշումը բերվել է ըստ եռանկյունաչափական ֆունկցիաների եռակի ինտեգրալ հավասարման լուծմանը, որը լուծվել է փակ տեսքով: Ստացված են անալիտիկ բանաձևեր էլեկտրոդների վրա էլեկտրական լիցքերի բաշխման խտության և էլեկտրոդների տակ նորմալ մեխանիկական լարումների համար անջատված եզակիությանը:

ЛИТЕРАТУРА-ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Б.А.Кудрявцев, Проблема прочности, №7, с.56-59, 1982. ² В.Т.Григченко, А.Ф.Улитко, Н.А.Шульга, Электроупругость, Киев, Наукова думка, 1989. ³ А.Ф.Улитко, в кн.: Современные проблемы механики и авиации, М., Наука, с.290-300, 1982. ⁴ А.Ф.Улитко, Тепловые напряжения в элементах конструкций, вып.15, с.90-99 (1975). ⁵ И.С.Градштейн, И.М.Рыжик, Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений, М., Изд. физ.-мат. лит., 1971. ⁶ C.J.Tranter, Proc. Glasgow Math. Assoc., 4, part 2, p.49-57, 1959.

УДК 629.7.064.56

Ф. В. Гаспарян, К. Б. Матевосян

Солнечные элементы на основе неоднородного легированного полупроводника

(Представлено академиком НАН Армении В. М. Арутюняном 3/V 1995)

В последние годы усилился интерес к неоднородно компенсированным полупроводникам, что обусловлено возможностью гарьирования основных параметров полупроводника в широком диапазоне с помощью создания специальных профилей легирующей примеси. На солнечных элементах (СЭ) на основе кремниевых p^+nn^+ структур, по данным (1), при двустороннем освещении можно получить мощности до 250 Вт/м². По данным (2), наличие неоднородности в распределении примесных атомов способствует увеличению квантовой эффективности на 175%. Проведенные нами расчеты в (3) показывают существенное влияние неоднородного легирования полупроводников на фоточувствительность и обнаружительную способность полупроводниковых ИК инжекционных фотодиодов.

Ниже рассматриваются p^+nn^+ кремниевые структуры с неоднородно компенсированной базой и обсуждаются возможности создания на их основе СЭ. Статические, фотоэлектрические и шумовые характеристики таких структур детально рассмотрены ранее (3). Считается, что база структур содержит донорные примеси с мелким энергетическим уровнем (с концентрацией N_D) и компенсирована акцепторами (с концентрацией $N_A(x)$), создающими однозарядные рекомбинационные глубокие уровни (ГУ). Схематически вид структур и зонная энергетическая диаграмма показаны в (3) (см. рис.10.3). Рассматриваются несколько случаев распределения компенсирующих примесей.

1. Рассмотрим случай, когда ГУ распределены в базе по закону

$$N_A(x) = \begin{cases} N_{A_1} \exp(-\alpha x), & 0 \leq x_1 \leq x, \\ N_{A_2} = \text{const}, & x_1 \leq x \leq d. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь N_{A_1} и N_{A_2} — концентрация ГУ на границе освещаемого p^+n перехода и в объеме, соответственно; α — параметр, определяющий

температуры $N_A(x)$. Под влиянием солнечного излучения в области приповерхностного p^+n перехода создаются электронно-дырочные пары, которые впоследствии разделяются как полем p^+n перехода, так и встроенным в базу полем из-за наличия градиента концентрации $N_A(x)$. В результате p^+ область превращается в резервуар свободных дырок, а n -база — в резервуар для свободных электронов, уменьшается потенциальный барьер p^+n перехода. Структура оказывается в режиме прямого смещения. Такая ситуация характерна для структур с двойной инжекцией при слабых возбуждениях (3). Основываясь на такой аналогии, можно воспользоваться выражением для ВАХ структур с двойной инжекцией при слабых уровнях инжекции. Для случая распределения $N_A(x)$ по закону (1) оно имеет вид (3)

$$j = \frac{9}{8} e u_n u_p \tau_p^o \frac{N_D}{\beta' d^3} \left\{ V + V_F \left[\left(1 - \frac{x_1}{d} \right)^2 + A_1 \left(\frac{x_1}{d} \right) \sqrt{\frac{ax_1}{1 - \delta_4}} \right] \right\}^2 \cdot \left[\left(1 - \frac{x_1}{d} \right)^2 + A_2 \left(\frac{x_1}{d} \right)^{3/2} \right]^{-1} \quad (2)$$

Здесь

$$V_F = \frac{f N_A' d^2}{6 u_p n_1 N_D}, \quad f = \alpha \eta \frac{\lambda}{hc} \frac{P}{S}, \quad A_1 = \frac{6 \delta_6 N_{A_1}}{ab d N_A'}, \quad A_2 = \sqrt{(1 - \delta_4) \frac{N_{A_1}}{\beta' n_1}},$$

α — коэффициент поглощения, η — квантовый выход, λ — длина волны излучения, P — плотность потока солнечного излучения, d — длина n -базы, S — площадь светочувствительной поверхности. Остальные обозначения обычные (см., например, (3)).

Ниже для простоты считаем, что генерация свободных носителей заряда осуществляется в основном за счет собственного поглощения и для α используется формула Фэна (4)

$$\alpha = \frac{2 \pi e^2 (2 m_r)^{5/2}}{3 \varepsilon_0 m_0^2 h^2 c^2 n_n} \left(\frac{hc}{\lambda} - E_g \right)^{3/2} \frac{\lambda}{hc}.$$

Здесь m_r — приведенная масса, m_0 — масса свободного электрона, ε_0 — диэлектрическая проницаемость, n_n — коэффициент преломления полупроводника.

Из выражения (2) легко определяются значения тока короткого замыкания $j_{кз}$ (при $V = 0$) и напряжение холостого хода $V_{хх}$ (при $j = 0$). Путем приравнивания к нулю производных

$$\frac{dj_{k3}}{da}, \frac{dj_{k3}}{dN_{A_1}}, \frac{dj_{k3}}{dx_1}, \frac{dV_{xx}}{da}, \frac{dV_{xx}}{dN_{A_1}}, \frac{dV_{xx}}{dx_1}$$

определяются оптимальные значения параметров a , N_{A_1} и x_1 , при которых j_{k3} и V_{xx} принимают максимальные значения.

Чем больше значение N_{A_1} и меньше x_1 , тем сильнее происходит перераспределение внутреннего "встроенного" электрического поля в базе, и оно больше сосредоточится у "рабочего" p^+n перехода. В результате усилится темп разделения созданных излучением электронно-дырочных пар, и значения j_{k3} и V_{xx} будут сравнительно большими. Выбор оптимального режима работы СЭ существенно ограничивается условием компенсации проводника (3).

Численный анализ показывает, что оптимальное значение параметра a составляет $a_{opt} \approx 200 \text{ см}^{-1}$, следовательно, $x_{opt} \approx 0,01 \text{ см}$.

2. Рассмотрим случай, когда компенсирующая примесь распределена в базе по закону

$$N_A(x) = N'_0 \exp(-a_1 x) + N''_0 \exp[-a_2(d-x)], \quad (4)$$

где N'_0 и N''_0 — концентрация ГУ на границе p^+n и n^+n переходов соответственно.

2.1. В случае $a_1 \neq a_2$ имеем несимметричное распределение концентрации ГУ в базе. При однородном распределении потока падающего излучения с помощью выражения (9.18) из (3) легко определить значения j_{k3} и V_{xx} для этого случая:

$$j_{k3} = \frac{e\tau_p}{2a_1 N'_0 n_1 b N_D} \left(\frac{\mu_1}{\mu_2} N''_0 f \right)^2, \quad V_{xx} = -\mu_1 \frac{N''_0 df}{u_n a_1 n_1 N_D}. \quad (5)$$

Здесь μ_1 и μ_2 — некоторые безразмерные параметры (6).

Анализ зависимости j_{k3} и V_{xx} от оптимальных значений a_1 , a_2 , N'_0 и N''_0 показывает, что абсолютное значение V_{xx} уменьшается с ростом значения a_1 и увеличивается с ростом d . Обратная тенденция наблюдается у j_{k3} .

Уменьшение j_{k3} в зависимости от d объясняется тем, что с ростом d растет время пролета электронов через базу T_n , уменьшается отношение τ_n / T_n (τ_n — время жизни электронов), растет темп рекомбинации. С другой стороны рост напряженности электрического поля у тылового nn^+ контакта, связанный с характерным распределением ГУ (см. также (3.5)), настолько замедляет движение электронов в глубь базы из-за сильного роста темпа захвата их на ГУ, что уменьшается количество свободных электронов и тем самым уменьшается j_{k3} . Таким образом

уменьшение j_{k3} с ростом d связано как с ростом T_n , так и с уменьшением количества свободных электронов.

При двустороннем освещении p^+nn^+ структуры, когда интенсивность падающего излучения изменяется по закону

$$f = f_0(e^{-ax} + e^{-a(d-x)}), \quad (6)$$

j_{k3} и V_{xx} вновь определяются выражением (5) с заменой в них μ_1 на μ'_1 (см. (6)). Здесь f_0 — интенсивность излучения, достигающая поверхности структуры.

2.2. В случае $a_1 = a_2 = a$, $N'_0 = N''_0 = N_0$ для j_{k3} и V_{xx} получаем, соответственно,

$$j_{k3} = \frac{eb\tau_p^0 N_0 f^2 \left(\frac{\varphi_1}{\varphi_2}\right)^2}{2an_1 N_D}, \quad V_{xx} = -\frac{\varphi_1 N_0 df}{an_1 u_p N_D}, \quad (7)$$

где φ_1 и φ_2 определяются сложными выражениями (6).

j_{k3} растет с ростом a , d и N_0 , а абсолютное значение V_{xx} растет с увеличением a и d при минимальном значении N_0 . В отличие от предыдущих случаев j_{k3} растет с ростом d . Такое поведение можно объяснить следующим образом. С ростом d уменьшается значение встроеного поля в базе (хотя распределение $E(x)$ не меняется), растут проводимость и ток через структуру. В этом случае выполняется условие

$$\frac{T_{n(p)}}{\tau_{n(p)}} = \frac{d}{u_n \tau_{n(p)} E} > 1,$$

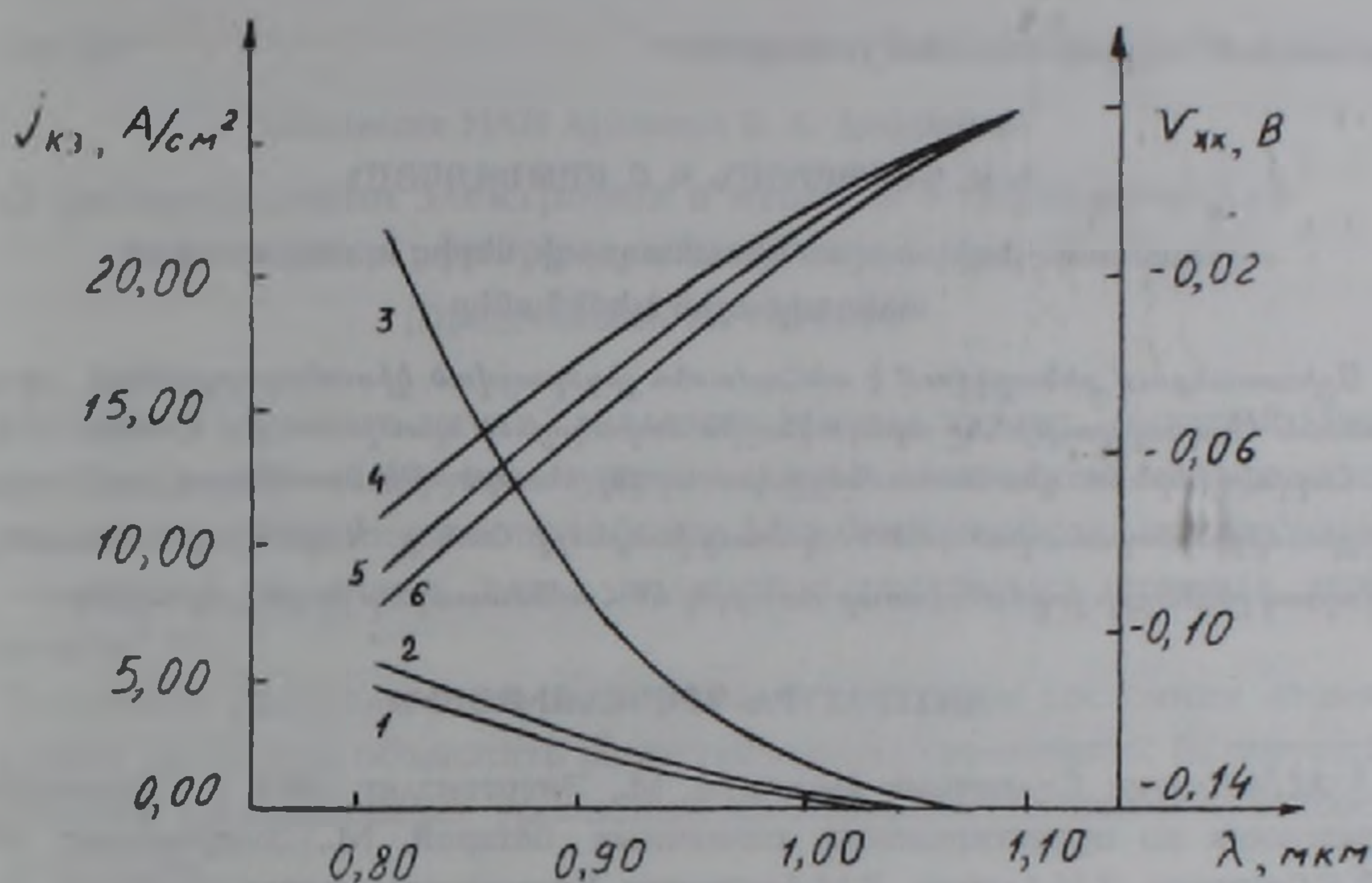
которое все время облегчается с ростом d (и с уменьшением E). С другой стороны, при тех же условиях компенсации с ростом d ГУ будут более плавно распределяться по длине базы, что также может повлиять на темп рекомбинации и способствовать росту j_{k3} .

При неоднородном распределении интенсивности падающего излучения для j_{k3} и V_{xx} получаются выражения (7) с заменой в них φ_1 на φ'_1 (см. (6)). С ростом a и d абсолютное значение V_{xx} уменьшается. Аналогичная картина наблюдается и у j_{k3} , причем когда значение d приближается к диффузионной длине носителей тока, наблюдается резкий рост j_{k3} (на порядок и более), что, на наш взгляд, обусловлено тем, что времена пролета носителей через базу сильно уменьшаются и большее число носителей проходит базу, не рекомбинируя.

3. Обобщая полученные результаты, заметим, что оптимальные значения a и d для всех рассмотренных случаев в основном близки. Существенное влияние на j_{k3} оказывает длина базы d . Для объяснения зависимости $j_{k3}(d)$ можно воспользоваться двумя конкурирующими механизмами — генерацией и рекомбинацией носителей заряда.

Таким образом, полученные результаты показывают, что выбором технологического режима компенсации можно контролировать основные параметры компенсированного материала и создать условия увеличения значений j_{k3} и V_{xx} .

На рисунке представлены спектральные зависимости j_{k3} и V_{xx} для случая 2.2 и при падении излучения параллельно плоскости p^+n перехода.



Спектральные зависимости j_{k3} (кр. 1-3) и V_{xx} (кр. 4-6) при одностороннем освещении p^+nn^+ структуры с плотностью потока падающего излучения $\sim 10^3$ Вт/м². Кривые соответствуют случаям: 1- $a=800$ см⁻¹, 2 и 4- $a=1000$ см⁻¹, 3 и 5- $a=1300$ см⁻¹, 6- $a=1500$ см⁻¹

Численные оценки проведены при 300 К для кремниевых p^+nn^+ структур, база которых компенсирована атомами серебра. Для $n-Si < Ag >$ использованы следующие параметры: исходное удельное сопротивление $\rho = 4$ Ом·см ($N_D = 1,6 \cdot 10^{14}$ см⁻³), $\mu_p = 480$ см²/В·с, $\mu_n = 1350$ см²/В·с, $\tau_p^0 = 1,5 \cdot 10^{-8}$ с, $d = 2 \cdot 10^{-2}$ см, $N_o = 2,35 \cdot 10^{14}$ см⁻³, $n_i = 3,5 \cdot 10^{13}$ см⁻³, $n_n = 3,5$, отношение сечений захвата электронов и дырок на ГУ 1/24, светочувствительная площадь $S = 10^{-4}$ см². Результаты расчетов представлены графически (рисунок). В области справедливости формулы Фэна ($\lambda \sim 1,1$ мкм) при $a = 1300$ см⁻¹ и при одностороннем освещении p^+nn^+ структуры с плотностью падающего излучения ~ 1000 Вт/м²

выделяемая мощность на длине волны 1,1 мкм равняется 103,5 Вт/м² с КПД 10,8%.

Максимальные значения выделяемой мощности и КПД получаются при одностороннем распределении ГУ (максимально выделяемая мощность $\approx 118,4$ Вт/м², а КПД 12,3%).

Авторы признательны академику НАН Армении В.М.Арутюняну за полезные советы и интерес к работе.

Ереванский государственный университет

Ֆ. Վ. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ, Կ. Բ. ՄԱԹԵՎՈՍՅԱՆ

Անհամասեռ լեգիրացված կիսահաղորդիչներից պատրաստված արեգակնային էլեմենտներ

Աշխատանքում քննարկվում է անհամասեռ լեգիրացված կիսահաղորդիչների օգտագործման հնարավորությունը արեգակնային մարտկոցներ պատրաստելու համար: Թվային հաշվարկներն ու գնահատումները կատարվել են արծաթի ատոմներով լեգիրացված սիլիցիումից պատրաստված p^+nn^+ կառուցվածքների համար: Կարևորագույն հոսանքի և պարապ ընթացքի լարման համար ստացվել են համեմատաբար բարձր արժեքներ:

ЛИТЕРАТУРА-ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ М.М.Колтун, Солнечные элементы, М., Энергоиздат, 1987. ² Г.Раушенбах, Справочник по проектированию солнечных батарей, М., Энергоиздат, 1983. ³ Փ.Վ.Գասպարյան, Յ.Ն.Ադամյան, Վ.Մ.Արուտյոնյան, Кремниевые фотоприсемики, Изд. ЕГУ, 1989. ⁴ А.Амброзьяк, Конструирование и технология полупроводниковых фотоэлектрических приборов, М., Сов. радио, 1970. ⁵ Փ.Վ.Գասպարյան, Դ.Դ.Ագասյան, ДНАН Армении, т.94, №1, с.29-36 (1993). ⁶ Կ.Բ.Մատեвоսյան, Дипломная работа, ЕГУ, 1994.

ФИЗИКА

УДК 539.182

Академик НАН Армении В. А. Джрбашян

О распределении электронов в атоме и о периодической
системе элементов

(Представлено 18/VIII 1995)

В статье "О красоте науки" академик Мигдал пишет: "Дмитрий Иванович Менделеев обнаружил удивительную симметрию химических свойств, но подлинную красоту таблица Менделеева обрела после создания квантовой механики, когда полностью раскрылась природа этой симметрии" ⁽¹⁾.

Известное распределение электронов в основном состоянии атома^{*}, которым пытаются объяснить вышеуказанную симметрию, базируется на решении традиционных уравнений квантовой механики в кулоновском поле ядра.

Состояние электрона характеризуется четырьмя квантовыми числами: $n = 1, 2, 3, \dots$, $l = 0, 1, 2, 3, 4, 5, \dots, n - 1$ (или соответственно буквами $s, p, d, f, g, h, \dots$), $m = -l, -l + 1, \dots, l$, $m_s = \pm 1/2$. Последовательными добавлениями электронов (заряда ядра) удастся красиво объяснить симметрию вплоть до $Z = 18$ — атома аргона. Для остальных элементов ($Z = 19$ — $Z = 104$) имеют место следующие нарушения симметрии.

1. Нарушается порядок заполнения оболочек. Хотя после аргона M -оболочка осталась недополненной, уже для калия ($Z = 19$) вынуждены для внешнего электрона открыть N -оболочку.

2. Ряд оболочек до конца остается незаполненным. В атоме курчатовия ($Z = 104$), например, в P -оболочке имеется 10 электронов, при наличии 72 мест, и 2 электрона в следующей Q -оболочке.

3. В природе наблюдаются электроны четырех типов (s, p, d, f), хотя симметрия разрешает больше. Нептуний ($Z = 93$) и последующие известные элементы должны были быть g -элементами, в то время как известно, что они являются f -элементами.

Указанные нарушения красоты симметрии приписывались полю остальных электронов, что не поддавалось простому рассмотрению.

^{*} См., например, ⁽²⁾.

В результате оказывается невозможным наглядно связать периоды и группы в принятой периодической таблице с физическими величинами — энергиями и моментами электронов. Но ведь именно в этом должно было состоять квантовомеханическое объяснение симметрии.

В настоящей статье предлагается новая систематизация распределения электронов в основном состоянии атома, которая лишена отмеченных недостатков.

Состояние электрона характеризуется теми же квантовыми числами: главным квантовым числом $n = 1, 2, 3, \dots$, определяющим в первом приближении энергию $E = -mc^2 (Ze^2 / \hbar c)^2 / 2n^2$, квантовым числом l квадрата орбитального момента и квантовыми числами m и m_s , проекций орбитального момента и спина. Новизна заключается в значениях, принимаемых l . Взамен $l = 0, 1, 2, \dots, n-1$ теперь принимается, что $l = E\left(\frac{n-1}{2}\right), \dots, 3, 2, 1, 0$, где $E(x)$ — целая часть x , т.е. предпочтительны

не малые, а большие l , максимальное значение которых равно $E\left(\frac{n-1}{2}\right)$, вместо $n-1$. Таким образом, получено распределение электронов в атоме.

На основе найденного распределения автором составлена таблица для периодической системы элементов, где хорошо видна симметрия. Периоды в этой таблице пронумерованы значениями главного квантового числа n . Четыре типа встречающихся в периоде элементов (s, p, d, f) обозначены возможными значениями l ($l = 0, 1, 2, 3$).

Выявленная симметрия исправила искусственное положение, существующее в традиционной таблице, где лантан не причислялся к лантаноидам, а актиний — актиноидам.

Внешний валентный электрон пятого элемента бора в новой системе принадлежит не L -оболочке ($n = 2$), как в традиционной, а M -оболочке ($n = 3$). В пользу этого говорит тот факт, что измеренный ионизационный потенциал бора меньше ионизационного потенциала предыдущего элемента — бериллия, т.е. качественное несогласие устраняется.

В предложенной системе предсказывается, что элемент с порядковым номером $Z = 121$ и последующие 17 элементов будут элементами нового типа с $l = 4$ (g -элементами).

Автор выражает благодарность академику НАН Армении М.Е.Мовсисяну и Ш.О.Баданяну за обсуждение.

Ереванский физический институт

Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս Վ. Հ. ՋՐԱՄԵՅԱՆ

Ատոմում էլեկտրոնների բաշխման և տարրերի պարբերական համակարգի մասին

Բերված են արդյունքներ ատոմում էլեկտրոնների բաշխման և տարրերի պարբերական համակարգի համար, որոնք չունեն ավանդական աղյուսակների թերությունները. ա) չի

խախտվում էլեկտրոնային թաղանթների լրացման հաջորդականությունը, բ) թաղանթները դատարկ չեն մնում, գ) սիմետրիան թուլլատրում է միայն չորս տիպի (s, p, d, f) տարրեր, որոնք և գոյություն ունեն բնության մեջ, դ) կապ է հաստատվում մի կողմից պարբերությունների, խմբերի և մյուս կողմից էլեկտրոնների էներգիաների և մոմենտների միջև, որը և հանդիսանում է տարրերի քիմիական հատկությունների սիմետրիայի քվանտա-մեխանիկական բացատրությունը:

ЛИТЕРАТУРА-ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ А.Б.Мигдал Наука и жизнь, №3, 1983. ² Д.М.Блохинцев, Основы квантовой механики, Наука, М., 1969.

УДК 538.3

Р. А. Багиян

К теории переходного излучения при условии
излучения Вавилова-Черенкова

(Представлено академиком НАН Армении М. А. Тер-Микаеляном 1/XI 1995)

Для объяснения ряда явлений, происходящих при прохождении заряженных частиц через шероховатые границы раздела сред с различными диэлектрическими проницаемостями (см., например, (1)), весьма важно детальное исследование самих формул переходного излучения для плоских поверхностей раздела.

В настоящей заметке проведено исследование обычных выражений для переходного излучения в случае нормального падения заряда на мишень* при выполнении условия излучения Вавилова-Черенкова и из них впервые получена формула излучения Вавилова-Черенкова в прозрачной среде.

Для простоты и наглядности рассмотрим формулы Гинзбурга-Франка. Перепишем в удобном для нас виде выражения для энергии переходного излучения в интервале частот $d\omega$ и интервале телесного угла $d\Omega$ при прохождении заряда со скоростью $\bar{v}$ вдоль оси Z декартовой системы координат XYZ через плоскую границу раздела $Z=0$, из первой среды с диэлектрической проницаемостью ϵ_1 , во вторую среду с диэлектрической проницаемостью ϵ_2 (см., например, (2)):

$$dI_{1,2} = \frac{e^2 \beta^2}{\pi^2 c} \sqrt{\epsilon_{1,2}} \sin^2 \theta_{1,2} \cos^2 \theta_{1,2} \left| \frac{F_{1,2}}{1 - \beta^2 \epsilon_{1,2} \cos^2 \theta_{1,2}} \right|^2 d\omega d\Omega; \quad (1)$$
$$F_{1,2} = \frac{(\epsilon_{2,1} - \epsilon_{1,2}) \left(1 - \beta^2 \epsilon_{1,2} \pm \beta \sqrt{\epsilon_{2,1} - \epsilon_{1,2} \sin^2 \theta_{1,2}} \right)}{\left(\epsilon_{2,1} \cos \theta_{1,2} + \sqrt{\epsilon_1 \epsilon_2 - \epsilon_{1,2}^2 \sin^2 \theta_{1,2}} \right) \left(1 \pm \beta \sqrt{\epsilon_{2,1} - \epsilon_{1,2} \sin^2 \theta_{1,2}} \right)},$$

* Результаты по исследованию при наклонном падении заряда на мишень составляют содержание отдельной работы автора, которая подготовлена к печати.

где e — заряд электрона; $\beta = \frac{v}{c}$, c — скорость света в вакууме, $\theta_{1,2}$ — углы излучения, причем θ_1 отсчитывается от отрицательного направления оси Z , а θ_2 — от положительного направления оси Z . Верхние знаки и первые индексы определяют энергию излучения в первой среде (излучение "назад"), а нижние знаки и вторые индексы — энергию излучения во второй среде (излучение "вперед").

Проведем анализ выражений (1) при выполнении условия излучения Вавилова-Черенкова (см., например, (2))

$$\cos \theta_{1,2} = \frac{1}{\beta \sqrt{\epsilon_{1,2}}} . \quad (2)$$

При выполнении этого условия знаменатели формул (1) обращаются в нуль в прозрачной среде. Это не должно вызывать удивления, поскольку формулы (1) помимо переходного излучения должны описывать также излучение Вавилова-Черенкова. Действительно, переходное излучение и излучение Вавилова-Черенкова возникают при равномерном и прямолинейном движении заряженной частицы, так что в этом смысле их нельзя считать принципиально различными и их разделение носит несколько условный характер.

Для получения формул Вавилова-Черенкова из выражений (1) воспользуемся одним из представлений δ -функции Дирака (см., например, (3))

$$\delta(x) = \frac{1}{\pi} \lim_{\alpha \rightarrow 0} \frac{\alpha}{x^2 + \alpha^2} . \quad (3)$$

Умножив числитель и знаменатель выражений (1) под знаком модуля на множитель

$$\frac{\alpha}{x_{1,2}^2 + \alpha^2} , \quad (4)$$

где $x_{1,2} = 1 - \beta \sqrt{\epsilon_{1,2}} \cos \theta_{1,2}$, представим (1) в следующем виде:

$$dI_{1,2} = \frac{e^2 \beta^2}{c} \sqrt{\epsilon_{1,2}} \sin^2 \theta_{1,2} \cos^2 \theta_{1,2} |\delta(x_{1,2})|^2 \times \\ \times \lim_{\alpha \rightarrow 0} \left| \frac{(x_{1,2}^2 + \alpha^2) F_{1,2}}{\alpha x_{1,2} (1 + \beta \sqrt{\epsilon_{1,2}} \cos \theta_{1,2})} \right|^2 d\omega d\Omega . \quad (5)$$

Далее, умножая числитель и знаменатель $F_{1,2}$ на сопряженный множитель

$$1 \mp \beta \sqrt{\epsilon_{2,1} - \epsilon_{1,2} \sin^2 \theta_{1,2}} \quad (6)$$

и принимая во внимание условие (2), из (5) имеем

$$dI_{1,2} = \frac{e^2 \beta^2}{c} \sqrt{\varepsilon_{1,2}} \sin^2 \theta_{1,2} |\delta(x_{1,2})|^2 \left| \frac{\varepsilon_{2,1} \cos \theta_{1,2} \mp \sqrt{\varepsilon_1 \varepsilon_2 - \varepsilon_{1,2}^2 \sin^2 \theta_{1,2}}}{\varepsilon_{2,1} \cos \theta_{1,2} + \sqrt{\varepsilon_1 \varepsilon_2 - \varepsilon_{1,2}^2 \sin^2 \theta_{1,2}}} \right|^2 \times$$

$$\times \lim_{\alpha \rightarrow 0} \left| \frac{x_{1,2}^2 + \alpha^2}{2\alpha x_{1,2}} \right|^2 d\omega d\Omega. \quad (7)$$

Учитывая, что

$$\delta(x_{1,2}) = \delta(1 - \beta \sqrt{\varepsilon_{1,2}} \cos \theta_{1,2}) = \omega \delta(\omega - k_{1,2} v \cos \theta_{1,2}), \quad (8)$$

где $k_{1,2} = \frac{\omega}{c} \sqrt{\varepsilon_{1,2}}$, заменяя одну δ -функцию на $\frac{T}{2\pi}$, где T — полное время пролета частицы, и полагая $x_{1,2} \sim \alpha$, получаем

$$dI_{1,2} = dI_{1,2}^{B-\text{Ч}} (\text{в ед. времени}) T \left| \frac{\varepsilon_{2,1} \cos \theta_{1,2} \mp \sqrt{\varepsilon_1 \varepsilon_2 - \varepsilon_{1,2}^2 \sin^2 \theta_{1,2}}}{\varepsilon_{2,1} \cos \theta_{1,2} + \sqrt{\varepsilon_1 \varepsilon_2 - \varepsilon_{1,2}^2 \sin^2 \theta_{1,2}}} \right|^2, \quad (9)$$

где

$$dI_{1,2}^{B-\text{Ч}} (\text{в ед. времени}) = \frac{e^2 \beta^2}{2\pi c} \sqrt{\varepsilon_{1,2}} \omega^2 \sin^2 \theta_{1,2} \delta(\omega - k_{1,2} v \cos \theta_{1,2}) d\omega d\Omega$$

— энергия излучения Вавилова-Черенкова в единицу времени. Величина, описывающая квадрат модуля в выражениях (9), представляет коэффициент Френеля (4).

Таким образом, выражения (9) определяют интенсивность излучения Вавилова-Черенкова, испущенного за время T и отразившегося от границы раздела.

При $\theta_{1,2} = 0$ энергия излучения $dI_{1,2}$ обращается в нуль. Это обусловлено порогом возникновения излучения (2). $dI_{1,2}$ исчезает также при условии генерации излучения Вавилова-Черенкова под углом Брюстера

$$\beta^2 \varepsilon_1^2 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2, \quad (10)$$

которое находим из закона преломления, учитывая, что при падении волны на границу раздела под углом Брюстера отраженный луч составляет с преломленным прямой угол (4). Действительно, из оптики известно, что интенсивность отраженной волны, электрический вектор которой лежит в плоскости падения, оказывается равной нулю (4), а излучаемые в данном случае волны имеют именно такую поляризацию.

Где-то в промежутке между $\theta_{1,2} = 0$ и $\theta_{1,2} = \frac{\pi}{2}$ в зависимости от соотношения между ε_1 и ε_2 энергия излучения достигает максимального значения.

При $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$, т.е. когда граница раздела отсутствует, получается формула излучения Вавилова-Черенкова в безграничной среде

$$dI^{B-C} = \frac{e^2 \beta^2}{2\pi c} \sqrt{\varepsilon} \omega^2 \sin^2 \theta T \delta(\omega - kv \cos \theta) d\omega d\Omega. \quad (11)$$

В заключение отметим, что получение формул излучения Вавилова-Черенкова из выражений для переходного излучения, особенно из общих выражений в случае наклонного прохождения заряда через шероховатые границы раздела сред, проясняет аномалии (например, неполяризованное излучение довольно большой интенсивности), возникающие при скользящем падении заряженных частиц на поверхности мишеней.

Автор выражает благодарность академику НАН Армении М.А.Тер-Микаеляну за обсуждение полученных в работе результатов. Работа проведена при частичной поддержке Международного научного фонда (грант №RY 6000).

Институт физических исследований НАН Армении

Բ. Ա. ԲԱՂԻՅԱՆ

Վավիլով-Չերենկովի ճառագայթման պայմանի դեպքում անցումային ճառագայթման տեսության վերաբերյալ

Աշխատանքում ուսումնասիրվում է Վավիլով-Չերենկովի ճառագայթման պայմանի դեպքում անցումային ճառագայթման արտահայտությունները ε_1 և ε_2 դիէլեկտրիկական հաստատուններով միջավայրերը բաժանող սահմանի վրա լիցքավորված մասնիկների նորմալ (ուղղահայաց) ընկման դեպքում:

Այդ արտահայտություններից առաջին անգամ ստացված է Վավիլով-Չերենկովի ճառագայթման բանաձևը թափանցիկ միջավայրում, որը պարզաբանում է մի շարք երևույթների միջավայրերը բաժանող անհարթ սահմանների դեպքում:

ЛИТЕРАТУРА-ՔՐԱՎԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ R.A.Bagiyal, Acta Physicae Superficiesum, v.2, p.13-23 (1990). ² М.А.Тер-Микаелян, Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях. Ереван. Изд-во АН АрмССР, 1969; M.L.Ter-Mikaelian, High energy electromagnetic processes in condensed media. N.Y., John Wiley and Sons. Inc., 1972. ³ В.В.Батыгин, И.Н.Топтыгин, Сб. задач по электродинамике, М., Наука, 1970. ⁴ Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц, Электродинамика сплошных сред. Изд-во техн.-теоретической лит., 1957.

АВТОМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 519.6

Р. Е. Саркисян

**К сходимости адаптивных интерактивных процедур,
основанных на методах производных по направлению**

(Представлено академиком НАН Армении А. А. Терзяном 11/XI 1994)

Большинство оптимизационных задач, связанных с проектированием, созданием, эксплуатацией и совершенствованием сложных технических и организационных систем, имеет многокритериальный характер, обусловленный тем, что в них при выработке и обосновании решений необходимо учитывать многочисленные разнородные взаимосвязанные факторы и требования, предъявляемые к качеству и эффективности функционирования систем.

Автоматизация решения системных многокритериальных задач связана с разработкой и реализацией на ЭВМ соответствующих интерактивных поисковых процедур, среди которых адаптивные процедуры обладают высокой эффективностью и гибкостью (1). Порождаемый ими релаксационный процесс поиска наиболее предпочтительных компромиссных решений основан на сложном алгоритмическом отображении, т.е. процесс перехода к новому решению осуществляется по рекуррентной формуле $x^{k+1} \in A(x^k)$, $k = 0, 1, \dots$, где $A = C \circ B$ — композиция отображения поиска направления (B) и отображения линейного спуска (C).

Статья посвящена доказательству сходимости этого процесса к одному из компромиссных решений, оптимальных по Парето, с учетом особенностей модели и общих свойств сложных отображений методов возможных направлений.

Как известно (2), условия, гарантирующие сходимость последовательности $\{x^k\}$ к одной из точек множества решений $D^* = \text{Arg max } u(f(x))$, $x \in \bar{D}$, где $\bar{D}$ — множество допустимых решений, $f: E^n \rightarrow E^m$ — векторный критерий, а $u: E^m \rightarrow E^1$ — функция полезности, сводятся к следующему.

Установить сходимость адаптивных интерактивных поисковых процедур можно, не прибегая к проверке упомянутых условий, а осно-

вываясь на известных свойствах множеств D , $F = \{f \in F^m / f = f(x), x \in D\}$, функций f , u и общих свойствах методов возможных направлений (2).

Рассмотрим случай, когда D выпукло, замкнуто и ограничено; f и u непрерывно дифференцируемы и вогнуты, причем u возрастает на выпуклой оболочке F . Известно, что при этих условиях множество эффективных (Парето-оптимальных) решений $\pi(D) = f^{-1}(\pi(F))$ замкнуто и ограничено, где $\pi(D)$ — эффективная граница множества F (множество компромиссных решений).

В общем случае выпуклость D и вогнутость $f(x)$ не гарантируют выпуклости множества F , однако при этом выпуклым оказывается множество $F_* = F - E^m$, где E^m — неотрицательный ортант евклидова пространства E^m , и имеют место соотношения $S(F) = F \cap \partial(F_*)$, $\pi(F) = \pi(F_*)$, $\sigma(F) = \sigma(F_*)$. В них $S(F)$ — множество слабо эффективных оценок, $\sigma(F)$ — множество собственно эффективных оценок, а $\partial(F_*)$ — граница множества (F_*) . Говорят, что множество F эффективно выпукло (3).

Пусть $H(F)$ — выпуклая оболочка F . Очевидно, что $H(F) \subset F_*$, $\pi(H(F)) = \pi(F) = \pi(F_*)$. Путем "проектирования" на F , вместо D^* , рассмотрим множества $F^* = \{f \in F / u(f) \geq u(\varphi), \forall \varphi \in F\}$, $F_H^* = \{f \in H(F) / u(f) \geq u(\varphi), \forall \varphi \in H(F)\}$; пусть $P(f)$ — множество возможных направлений в точке $f \in H(F)$, т.е. если $P \in E^m, \|P\| = 1$ и $P \in P(f)$, то найдется такое $\delta > 0$, что $f + \sigma P \in H(F)$ для всех σ из $(0, \delta)$.

Основываясь на результатах работы (4), докажем справедливость следующих утверждений:

$$f^* \in F_H^* \rightarrow f^* \in \pi(H(F)); \quad (1)$$

$$f^* \in \pi(H(F)) \rightarrow f^* \in F \subseteq H(F); \quad (2)$$

$$f^* \in \pi(H(F)) \wedge f^* \in F \rightarrow f^* \in F^*. \quad (3)$$

Доказательство. Прежде всего заметим, что по определению множества $\pi(H(F))$ для произвольной его точки f^* по крайней мере одна из координат возможных направлений из $P(f^*)$ отрицательна. Если $f^* \in F_H^*$, то имеет место условие

$$\nabla_f u(f^*)^T P \leq 0, \forall P \in P(f^*), \quad (4)$$

где $\nabla_r u(f^*)$ — градиент функции $u(f(x))$, вычисленный в точке f^* . Поскольку u возрастает на $H(F)$, все координаты градиента $\nabla_r u(f^*)$ положительны, т.е. $\partial u(f^*) / \partial f_r > 0$, $r = 1, \dots, m$. Тогда из (4) следует, что по крайней мере одна из координат вектора P отрицательна, а это может иметь место тогда и только тогда, когда $f^* \in \pi(H(F))$. Этот вывод доказывает справедливость условия (1).

Пусть точка f^H принадлежит выпуклой оболочке $H(F)$, что может иметь место тогда и только тогда, когда существуют точки $f^1, \dots, f^k$ из F и числа $\alpha_j \geq 0$, $j = 1, \dots, k$; $\sum_{j=1}^k \alpha_j = 1$, такие, что справедливо представление (2)

$$f^H = \sum_{j=1}^k \alpha_j f^j, \quad (5)$$

где k — некоторое натуральное число.

Пусть $f^* \in \pi(H(F))$ и $f^* = \alpha f^1 + (1 - \alpha) f^2$, $f^1, f^2 \in F$, $\alpha \in (0, 1)$. Если f^1 и f^2 — образы x^1 и x^2 из D по отображению f , то, ввиду выпуклости D , имеет место $x^3 = \alpha x^1 + (1 - \alpha) x^2 \in D$. Вогнутость f на D и предположение о том, что u вогнуто возрастает на $H(F)$, а следовательно на $F \subseteq H(F)$, является достаточным условием вогнутости u на D (4). Следовательно,

$$u(x^3) \geq \alpha u(x^1) + (1 - \alpha) u(x^2). \quad (6)$$

Это неравенство должно выполняться и для векторов f^1, f^2 и $f^3 = f(x^3)$, т.е.

$$f^3 \geq \alpha f^1 + (1 - \alpha) f^2 = f^*, \quad \alpha \in (0, 1). \quad (7)$$

Если $f^3 \neq f^*$, то в множестве $P(f^*)$ найдется направление такое, что по крайней мере одна из его координат положительна, а остальные координаты неотрицательны. Но $f^* \in \pi(H(F))$, так что возможен лишь исход $f^3 = f^*$. Отсюда заключаем, что $f^* \in F$, т.е. предположение (2) справедливо.

Таким образом, сделанные относительно D, f и u предположения приводят к тому, что всякое оптимальное решение из F_H^* принадлежит паретовской границе выпуклой оболочки $H(F)$ и в то же время является элементом множества $F \subseteq H(F)$. Следовательно, это решение содержится в $F^* \subseteq F$, т.е. верно и утверждение (3).

По существу рассмотренная в (1) адаптивная интерактивная процедура представляет собой формальное применение метода возможных направлений Зойтендейка (3,5) к задаче $\max u(f(x))$ при $x \in D$, в которой оптимизация вогнутой функции проводится на выпуклом и ограниченном множестве D . При этих условиях методы возможных направлений сходятся, поэтому диалоговая процедура либо останавливается за конечное число шагов в некоторой точке из D^* , либо порождает бесконечную последовательность, сходящуюся к точкам из D^* .

Численные эксперименты над моделями задач оптимизации при многих критериях показывают, что скорость сходимости достаточно высока.

В общем случае сходимость метода Зойтендейка не гарантируется из-за того, что соответствующее алгоритмическое отображение может оказаться незамкнутым.

Известны и в практике оптимизации широко применяются две корректирующие процедуры, гарантирующие сходимость алгоритмов возможных направлений к точкам из D^* (5). Одна из них известна как метод ε -возмущений и связана с пошаговой коррекцией используемого при определении множества активных ограничений $I(x^k) = \{i / q_i(x) + \varepsilon \geq 0, i = 1, \dots, r\}$ малого параметра $\varepsilon > 0$, где $q_i(x) \leq 0, i = 1, \dots, r$ — ограничения, фигурирующие в описании множества D . Другая связана с модификацией Топкиса-Вейнотта, которая сводит задачу выбора наилучшего направления к оптимизационной задаче

$$\begin{aligned} z &\longrightarrow \max \\ \nabla_x u(f(x^k))^T d &\geq z \\ \nabla_x q_i(x^k)^T + q_i(x^k) &\leq -z \\ i &= 1, \dots, r \\ d &\in E^n, \|d\| = 1, z \geq 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Пусть двойка (z^k, d^k) является решением задачи (8). Если $z^k > 0$, то $\nabla_x u(f(x^k))^T d^k > 0$ и существует $\delta > 0$ такое, что $u(f(x^k + \sigma d^k)) > u(f(x^k))$ для всех σ из $(0, \delta)$, т.е. направление $e^k = d^k$ является условным градиентом $u(f(x))$ в точке x^k . Если же $z^k = 0$, точка x^k удовлетворяет условиям теоремы Куна — Таккера для функции $u(f(x))$ и, ввиду ее вогнутости, является точкой глобального оптимума, т.е. $x^k \in D^*$.

В заключение отметим, что если в описании D фигурируют также нелинейные ограничения-равенства $h_i(x) = 0, i = 1, \dots, l$, то найденный вектор d^k будет касательным к ограничениям-равенствам и к некото-

рым активным нелинейным ограничениям, поэтому движение вдоль него приведет к нарушению ограничений. В этом случае необходимо применить стратегию проекционных методов, т.е. организовать вдоль d^k линейный поиск с последующим проектированием нового решения $x^k + \sigma_k d^k$ на множество D . Проекцию можно вычислить, например, путем решения задачи $\min \|x - z\|$ при $x \in D$, где $z = x^k + \sigma_k d^k$ — найденная на этапе линейного поиска недопустимая точка.

Государственный инженерный университет Армении

Ռ. Ե. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

Ըստ ուղղությունների ածանցյալների մեթոդի վրա հիմնված մարդ-մեքենայական ընթացակարգերի զուգամիտությունը

Բարդ տեխնիկական և կազմակերպական համակարգերի նախագծման, ստեղծման, չափագործման և կատարելագործման խնդիրների մեծամասնությունը բազմաչափանիշային բնույթ է կրում: Այդ դասի խնդիրների լուծումը կապված է համապատասխան ինտերակտիվ որոնողական ալգորիթմների և ընթացակարգերի մշակման և էՀՄ-ի վրա նրանց իրականացման հետ, որոնք պետք է բավարարեն զուգամիտության պայմաններին:

Այսատանքը նվիրված է այդպիսի ալգորիթմների և ընթացակարգերի զուգամիտության ուսումնասիրմանը, երբ, որպես կարևորագույն գործոններ, հանդես են գալիս ինչպես օբյեկտիվ մոդելների, այնպես էլ հնարավոր ուղղությունների մեթոդների հատկությունները:

ЛИТЕРАТУРА-ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Р.Е.Саркисян, Информатика. Сер. прикладные проблемы. Вопр. теории и практики, вып.2, с.84-99 (1990). ² М.Базара, К.Шетти, Нелинейное программирование. Теория и алгоритмы, М., Мир, 1982. ³ В.В.Подиновский, В.Д.Ногин, Парето-оптимальные решения многокритериальных задач, М., Наука, 1982. ⁴ А.М.Джоффрион, Дж.Дайер, А.Файнберг, в кн.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений, М., Мир, с.126-145, 1976. ⁵ Г.Реклейтис, А.Рейвиндран, К.Рэгсдел, Оптимизация в технике. Кн.2, М., Мир, 1986.

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

УДК 624.042.7

Академик НАН Армении Б. К. Карапетян, К. Б. Карапетян

О свойстве интеграла Фурье, установленном при решении задач инженерной сейсмологии

(Представлено 27/III 1996)

Колебания грунта при сильных землетрясениях можно представить интегралом Фурье (1-3) в виде бесконечной суммы бесконечно малых и бесконечно близких по частоте синусоидальных периодических колебаний

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S(\omega) e^{i\omega t} d\omega. \quad (1)$$

Функция $f(t)$ описывает некоторый реальный физический процесс в течение конечного времени. Главная часть комплексного спектра этой функции заключена в области частот $(0, \omega_1)$. Исходя из этого интегрирование можно выполнять не в бесконечных пределах, а лишь в пределах от начала процесса до его замирания и в области частот от 0 до ω_1

$$f(t) = \int_0^{\omega_1} S(\omega) e^{i\omega t} d\omega. \quad (2)$$

Спектральная плотность является комплексной функцией круговой частоты ω

$$S(\omega) = \Phi(\omega) e^{i\varphi(\omega)}, \quad (3)$$

где $\Phi(\omega)$ — амплитудный спектр функции $f(t)$, $\varphi(\omega)$ — фазовый спектр этой же функции.

Эти спектры определяются через коэффициенты Фурье

$$A(\omega) = \int_0^t f(t) \cos \omega t dt \quad \text{и} \quad B(\omega) = \int_0^t f(t) \sin \omega t dt \quad (4)$$

следующим образом

$$\Phi(\omega) = \sqrt{A(\omega)^2 + B(\omega)^2}, \quad (5)$$

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \left[\frac{B(\omega)}{A(\omega)} \right]. \quad (6)$$

Таким образом, спектральный анализ колебаний сводится к определению амплитудного и фазового спектров.

По имеющимся амплитудным спектрам Фурье (4) нами получены средние амплитудные спектры Φ и по их значениям определены средние меры интенсивности воздействия C для каждого периода колебаний.

На основании этих данных установлены средние по периодам колебаний амплитудные спектры $\Phi_{\text{ср}}$ и меры интенсивности воздействия $C_{\text{ср}}$ для землетрясений интенсивностью 6-9 баллов, используя выражения

$$\Phi_{\text{ср}} = \left[\sum_{i=1}^n \Phi_i \right] / n. \quad (7)$$

$$C_{\text{ср}} = \left[\sum_{i=1}^n \Phi_i T_i \right] / n. \quad (8)$$

Результаты этих определений приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Значения средних амплитудных спектров Фурье

I	Периоды колебаний, с												$\sum_{i=1}^{12} \Phi_i$	$\Phi_{\text{ср}}$
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,6	0,8	1	2	3		
6	0,5	2,0	3,0	4	6	7	8	8	10	11	8	8	75,5	6,3
7	1,0	4,0	7,0	11	13	15	14	19	19	16	14	14	147,0	12,0
8	4,5	5,3	11,0	15	24	23	33	46	60	51	47	24	343,8	29,0
9	2,0	8,7	12,2	22	29	40	67	77	89	69	64	57	536,9	44,7

Таблица 2

Значения средних мер интенсивности воздействия

I	Периоды колебаний, с												$\sum_{i=1}^{12} C_i$	$C_{\text{ср}}$
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,6	0,8	1	2	3		
6	0,03	0,2	0,5	0,8	1,5	2,1	3,2	4,8	8	11	16	24	72,1	6,0
7	0,05	0,4	1,1	2,2	3,3	4,5	5,6	11,4	15	16	28	42	129,6	10,8
8	0,23	0,5	1,7	3,0	6,0	6,9	13,2	27,6	48	51	94	72	324,1	27,0
9	0,10	0,9	7,8	4,4	7,3	12	26,8	46,2	71	69	128	171	538,5	44,9

Из рассмотрения табл. 1 и 2 приходим к выводу, что при землетрясениях интенсивностью $I=6-9$ баллов для периодов колебаний $T=0,05, \dots, 3,0$ с сумма средних значений амплитудных спектров Фурье равна сумме произведений этих амплитудных спектров на соответствующие периоды колебаний. Это можно представить следующим равенством:

$$\sum_{i=1}^n \Phi_i = \sum_{i=1}^n \Phi_i T_i. \quad (9)$$

Эта зависимость нами получена впервые.

Тем самым получена зависимость и между средними по периоду колебаний значениями амплитудных спектров Фурье и мер интенсивностей воздействия для землетрясений определенной интенсивности

$$\Phi_{\text{ср}} = C_{\text{ср}}. \quad (10)$$

Установленное свойство интеграла Фурье, заключающееся в равенстве среднего амплитудного спектра Фурье и средней меры интенсивности, при решении задач инженерной сейсмологии, в частности, спектральном представлении сейсмического воздействия, повторного сейсмического воздействия, определении зависимости между сейсмическим воздействием и реакцией сооружения и др., представляет определенный интерес, и в первую очередь для осуществления проверки правильности полученных значений амплитудных спектров колебаний при сильных землетрясениях.

Ереванский архитектурно-строительный институт

Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս Բ. Կ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Կ. Բ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

Ինտենսիվային սեյսմոլոգիայի խնդիրների լուծման ընթացքում ստացված Ֆուրյեի ինտեգրալի հատկության վերաբերյալ

Ֆուրյեի ամպլիտուդային սպեկտրների հիման վրա որոշվել են միջին ամպլիտուդային սպեկտրները և դրանցից ստացվել են միջին ինտենսիվության չափերը ինչպես տարբեր պարբերությունների, այնպես և տարբեր ուժի երկրաշարժերի համար:

Ստացված արդյունքների հիման վրա բացահայտվել է Ֆուրյեի ինտեգրալի մի հատկություն, որը կայանում է նրանում, որ Ֆուրյեի միջին ամպլիտուդային սպեկտրը հավասար է միջին ինտենսիվության չափին:

Այս մեր կողմից հայտնաբերված Ֆուրյեի ինտեգրալի հատկությունը ունի որոշակի արժեք և, առաջին հերթին, ստացված ամպլիտուդային սպեկտրների ճշգրտությունը ստուգելու համար:

ЛИТЕРАТУРА – ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ А.А.Харкевич, Спектры и анализ, М., Госфизматгиз, 1962. ² Н.Вянер, Интеграл Фурье и некоторые его приложения, М., Стройиздат, 1972. ³ Н.К.Каралетян, спектры сейсмических колебаний на территории Армении, Ереван, Изд. АН Арм ССР, 1976. ⁴ А.Г.Назаров, С.С.Дарбинян, Основы количественного определения интенсивности сильных землетрясений, Ереван, Изд. АН Арм ССР, 1974.

УДК 551.240

Р. А. Мовсесян

**Геодезический мониторинг вдоль активного разлома с целью
обнаружения возможных очагов сильных землетрясений
и оценки их магнитуды**

(Представлено 4/III 1996)

Рассматривается программа по геодезическому мониторингу, основанная на выводах, вытекающих из:

- 1) гипотезы Г.Ф.Рейда, позволяющей установить прогнозный признак упругого напряженного состояния Земной коры;
- 2) гипотезы о предвестниках землетрясений, возникающих при крипе;
- 3) принципа построения локальных геодезических сетей, пересекающих разломы в перпендикулярных к ним направлениях.

1. Критерием, позволяющим прогнозировать возможные очаги землетрясений (ВОЗ) на основе теории Г.Ф.Рейда (1), является обнаруживаемое повторными геодезическими измерениями экспоненциальное распределение упругих смещений горных пород (2). Если в примерно перпендикулярном к линии разлома направлении закрепить в Земной коре ряд точек, находящихся в одной вертикальной плоскости, то при наличии упругих деформаций, свидетельствующих о подготовке землетрясения, через некоторое время точки сместятся относительно друг друга. Соединив мысленно эти точки в их новом положении, получим экспоненциальную кривую линию. Она может быть описана различными математическими выражениями. В общем виде можно написать $y = Af(\alpha, x)$, где $f(\alpha, x)$ характеризует вид экспоненциальной функции, ось y направлена вдоль разлома, а начало координат находится близко к линии (полосе) разлома. Величина A — значение координаты y , к которому она стремится, когда x стремится к бесконечности. Если скорость относительного перемещения литосферных блоков U см/год,

то $A = \frac{n}{2} \cdot U$, где n — число лет, прошедших после закрепления точек

1, 2, 3 ... в одной вертикальной плоскости. Коэффициент α , имеющий размерность, обратную размерности x , характеризует скорость прибли-

жения ординат y к величине A . Чем больше α , тем при меньших значениях x ординаты y будут приближаться к A .

Предположим, что точки 1, 2, 3 ... поперечника были закреплены на участке ВОЗ до начала подготовки землетрясения, и в момент закладки плиты (блоки) активного разлома, находящиеся в движении, зацепились своими граничными поверхностями по всей длине L ВОЗ. Предположим далее, что вне зоны очага длиной L и за пределами самого очага на некотором расстоянии B в обе стороны от разлома движение плит продолжается. Чтобы выполнить расчеты по формуле (1) для определения ординат деформационной кривой, примем значения A и α , исходя из следующих соображений. Имеется около десятка примеров, когда сильные землетрясения происходили в местах, имевших до землетрясения густые геодезические сети, что и позволило выявить экспоненциальное искривление геодезических сетей (1-3). Наиболее представительным по количеству точек наблюдений можно считать землетрясение в Танго с магнитудой 7,3 (Япония, 1927 г.). Оно готовилось 170 лет, скорость перемещения литосферных блоков относительно друг друга была равна 2 см/год. Общая сумма накопленных деформаций за 170 лет оказалась равной 3,4 м (2). Исходя из этих данных $U=2$ см/год,

$A = \frac{u}{l} = 1$ см/год. Ширина зоны подготовки была около 44 км, т.е. $B=22$ км.

Допустим, мы приняли значение α в формуле (1) равным 0,1 (при x , выраженном в километрах). Тогда на расстоянии $x=22$ км y будет равен 0,975 A , если функцию $y=f(\alpha, x)$ считать гиперболическим тангенсом. Так как за 170 лет $A=170$ см, то $y=165,8$ см, т.е. $A-y=4$ см, что меньше тех ошибок, которые характеризовали точность триангуляционных измерений.

Приняв $\alpha=0,1$, $A=n$ см, мы рассчитали ординаты y для различных значений x (1 км, 2 км и т.д.) при $n=1$ см, 2 см и т.д.

Так как максимальная величина деформаций была равна 170 см на расстоянии 22 км от разлома, то максимальная относительная деформация в рассматриваемом случае была равна $7,7 \cdot 10^{-5}$.

Рассмотрим второй пример — землетрясение в Кум-Даге (Туркмения) в 1983 г. с магнитудой 5,6, когда смещения вдоль трещины составили в среднем около 0,2 м (4). Если считать, что накопление деформаций происходило с такой же скоростью, как в Танго, т.е. $U=2$ см/год, ($A=1$ см/год), то на подготовку землетрясения ушло 10 лет. Величину α приблизительно можно определить исходя из следующих рассуждений. При землетрясениях сравнительно небольшой магнитуды (4) предельную относительную деформацию можно считать несколько меньше ее среднего значения $4,7 \cdot 10^{-5}$, согласно данным Рикитаке (3). При землетрясениях с магнитудой 7 и выше, напротив, это значение выше среднего и близко к 10^{-4} согласно данным Цубои (3). Если принять для рассматриваемого случая предельную деформацию равной

$2 \cdot 10^{-5}$, то можно считать, что $10 \cdot A / x_1 = 2 \cdot 10^{-5}$, откуда при $A_{\max} = 10$ см получим $x = 5$ км. Коэффициент α должен быть таким, чтобы на расстоянии $x = 5$ км от разлома ордината y мало отличалась от значения $A_{\max}$. Так как за 10 лет величина A достигает своего максимального значения 100 мм, то $y_5 = 0,986 A_{\max} = 98,6$ мм и $A - y_5 = 1,4$ мм. Чем больше значение α , тем быстрее (при меньших значениях x) экспоненциальные кривые приближаются к одним и тем же значениям A . Кроме того, при землетрясении с магнитудой 5,6 α в несколько раз больше, чем при магнитуде 7,3. Следовательно, путем наблюдений за горизонтальными деформациями точек, закрепленных в поперечном к разлому направлении, можно сделать определенные выводы относительно ожидаемой магнитуды будущего землетрясения. Кроме того, поскольку магнитуда M связана с длиной L участка прекращения движений по разлому, то, следовательно, можно будет получить информацию о величине L (2). Очевидно, чем больше площадь зацепления (длина L), тем большая энергия накапливается к моменту достижения предельных деформаций, тем медленнее деформационная кривая приближается к значению $A_{\max}$. И наоборот, чем меньше L , тем меньше магнитуда, так как накапливаемая энергия не успевает достигнуть больших значений. Из-за меньшей сопротивляемости горных пород предельное значение относительных деформаций достигается при меньших значениях x , в результате чего уменьшается и ширина зоны B распространения деформаций. Таким образом, просматривается связь между L и B , о которой говорится в работе (2).

Значения A и α в формуле (1) должны будут определяться по результатам геодезического мониторинга для каждого конкретного разлома.

2. Перейдем теперь ко второй гипотезе. Согласно Н. Чигареву "смещение литосферных блоков не всегда сильное землетрясение, чаще всего оно происходит без ощутимых последствий" (5). В сейсмотектонике такое ползучее смещение бортов блоков Земной коры называется сейсмотектоническим крипом, хотя следует отметить, что большая часть предвестников срабатывает на него так же, как на землетрясение: поднимается уровень грунтовых вод, выделяется газ родон, появляются различные геофизические аномалии, в том числе и в электромагнитных полях. Высокоточные наблюдения регистрируют наклоны Земной поверхности в зоне разлома.

Гипотеза появления предвестников землетрясений широко развивается в различных странах. Нетрудно прийти к выводу о том, что если большая часть предвестников реагирует как на готовящееся землетрясение, так и на крип одинаковым образом, то наблюдения за предвестниками в зоне крипа могут привести к ложной тревоге. Этот факт проливает свет на вопрос о том, почему в некоторых случаях из числа

предсказанных в разных странах землетрясений одни действительно имели место, а другие не происходили.

Далее, если отмеченная выше гипотеза соответствует действительности, то логичным следует признать подход к решению задачи обнаружения ВОЗ, заключающийся в следующем. Сейсмотектоники и геологи должны распознать (дешифровать) на изучаемой территории зоны активных разломов. В отдельных случаях линии разломов достаточно четко просматриваются на больших расстояниях, в других они распознаются по косвенным признакам. Чем точнее будет намечена на карте достаточно крупного масштаба полоса разлома, тем успешнее может быть спроектирована геодезическая сеть по обе стороны от нее.

На втором этапе геодезисты приступают к исследованию данного активного разлома с целью определения на всем его протяжении участков, где наблюдается крип — ползучее смещение литосферных блоков как в горизонтальной, так и вертикальной плоскостях. Осуществляемые с этой целью геодезические построения должны позволять отличать смещения Земной поверхности, возможные во время крипа, от таковых при упругих деформациях, возникающих в процессе подготовки землетрясения.

Для выявления характера деформационного процесса, происходящего на стыке двух литосферных блоков на данном участке разлома (крип или упругие деформации), целесообразно использовать построение в виде геодезического четырехугольника. Две стороны его должны располагаться на разных блоках, примерно параллельно направлению разлома. Длины сторон в зависимости от того, с какой ошибкой дешифрируется линия разлома, могут быть от 0,5 до 1,5 км. При указанной длине в линейных измерениях возможна относительная ошибка, близкая к $1 \cdot 10^{-6} D$, где D — длина измеряемой линии. Для достижения максимально возможной точности определения деформаций по направлениям диагоналей четырехугольника целесообразно одновременно с линейными измерениями выполнять измерения всех восьми углов. Для определения смещений в вертикальных направлениях с высокой точностью используется обычно метод геометрического нивелирования.

Результаты повторных измерений линий, углов и превышений в геодезическом четырехугольнике позволяют сделать определенные выводы о том, в каком состоянии находятся литосферные блоки на данном участке разлома. Если в результате повторных измерений выяснится, что длина одной из диагоналей увеличилась, а второй уменьшилась, это будет означать, что блоки движутся относительно друг друга в противоположных направлениях, т.е. наблюдается крип. Скорость такого смещения также может быть вычислена по данным результатов измерений. Построение четырехугольника должно выполняться по всему протяжению разлома через каждые 5-10 км.

Второй случай, который может иметь место, это зацепление литосферных блоков по поверхности разлома. При этом прекратится или замедлится движение на некотором участке разлома длиной L , однако за его пределами и на расстоянии B в обе стороны от разлома движение будет продолжаться с прежней скоростью, что, как уже отмечалось, явится причиной накопления упругих деформаций в области $L \cdot B$ в каждом из литосферных блоков. Для определения длины L участка зацепления блоков плотность геодезических четырехугольников должна быть повышена (2).

С целью обнаружения и оценки величины упругих деформаций, имеющих место на площади $L \cdot B$, уже недостаточно иметь четырехугольники, расположенные вдоль линии разлома. Необходимы дополнительные построения, простирающиеся в обе стороны поперек разлома на участке длиной L на 15-20 км. На первом этапе такие построения можно будет осуществить на ширину до 10 км.

Таким образом, предварительные построения четырехугольников на всем протяжении разлома позволят выявить те участки, где будет необходимо создавать более дорогостоящие геодезические сети. Такие сети, нужные для изучения характера деформационного процесса, могут быть реализованы в зависимости от рельефа местности как в виде триангуляционно-трилатерационных треугольников или четырехугольников с короткими сторонами (1-2 км), так и в виде вытянутых поперек разлома полигонометрических ходов. Частным случаем таких ходов могут быть створные построения.

В отмеченных локальных сетях будут измеряться длины сторон треугольников, горизонтальные и вертикальные углы. На каждом поперечнике локальные сети будут опираться на стороны четырехугольников, построенных для выявления крипа. В таких локальных сетях накопление ошибок будет происходить в пределах тех четырехугольников или треугольников, из которых состоит данная сеть. Каждое локальное построение будет иметь свое начало координат и свои направления осей x и y .

Дополнительное контролирование стабильности хранителя направления стороны четырехугольника, на которую опирается сеть, может осуществляться путем измерений с помощью системы *GPS*, а также путем периодического измерения астрономических азимутов. Точность таких измерений должна быть возможно высокой, оцениваться средней квадратической ошибкой $\pm 0,5''$.

Линейные измерения, как уже отмечалось, могут быть выполнены при длине сторон сети около 1 км с относительной ошибкой, близкой к $1 \cdot 10^{-6}$, или абсолютной ошибкой ± 1 мм. При такой точности углы в треугольниках трилатерации будут получены с ошибкой $\pm 0,3''$.

Для линейных измерений горизонтальных деформаций разработан лазерный деформограф на базе высокоточных дальномеров ДВСД. В приборе использована СВЧ модуляция излучения газового ОКГ на

частоте 1200 МГц. Прибор отличается простотой и надежностью. Фазоизмерительным устройством служит радиоуправляемая марка, на которой крепится компактный отражатель. Таким образом, марка и деформограф работают в паре в комбинированном приборе деформографе-створофиксаторе. Подвижная марка с непрерывным сканированием позволит повысить точность угловых и створных измерений в 1,5-2 раза. Деформограф-створофиксатор с успехом может использоваться при построении как трилатерационно-триангуляционных сетей, так и вытянутых полигонометрических ходов и створов большой протяженности.

Приведенные выше рассуждения относились к деформациям в горизонтальном направлении. В вертикальных плоскостях, пересекающих разлом в поперечном направлении, также будут накапливаться упругие деформации. Для определения вертикальных деформаций на геодинамических полигонах широко используется высокоточное геометрическое нивелирование. Оно может применяться и для определения относительного положения вершин описанных выше геодезических четырехугольников, используемых для обнаружения крика. Однако представляется целесообразным использовать в определенных случаях, где это позволяет рельеф местности, стационарные системы гидродинамического нивелирования. Такие системы, будучи однажды смонтированы, в дальнейшем обслуживаются одним оператором, что исключает необходимость привлечения каждый раз бригады нивелировщиков высокой квалификации. Для определения высот точек, расположенных в вершинах четырехугольников, развиваемых поперек разлома на ширину 10-20 км в обе стороны от него, также должно использоваться геометрическое и тригонометрическое нивелирование.

Таким образом, в результате повторения с наперед заданной периодичностью указанного комплекса работ и математической обработки материалов наблюдений определяются плановые и вертикальные смещения пунктов сети, изменения длин базисных линий и конфигураций отдельных геодезических построений. К сожалению, вертикальные и горизонтальные составляющие смещений вследствие специфики геодезических построений, как правило, определяются отдельно и несинхронно.

Этого можно избежать, если при построении геодезических прогностических сетей воспользоваться опытом, приобретенным геодезистами при определении пространственных прогностических координат точек Земной поверхности методами и средствами космической геодезии. Этот путь развития пространственных прогностических сетей, который еще требует своей реализации в той схеме построения геодезических четырехугольников, которая описана выше, обеспечит синхронное определение всех трех составляющих векторов положения пунктов сети, являясь наиболее адекватным отражением физической сущности изучаемого процесса современных движений Земной коры.

Таким образом, предлагаемый путь выполнения геодезического мониторинга дает возможность определить: участки крипа, расположенные вдоль активного разлома; участки, где происходит зацепление литосферных блоков, т.е. возможные очаги будущих землетрясений, а также оценить путем изучения характера деформационных кривых и определения коэффициентов α возможную магнитуду M будущего землетрясения, длину L и ширину A зоны проникновения деформаций.

Следовательно, можно будет ответить на два из трех вопросов: где, какой силы и когда произойдет упругая отдача согласно Г.Ф.Рейду.

Для ответа на третий вопрос необходимо будет сосредоточить уже на конкретном участке, а не по всей длине разлома имеющиеся средства наблюдений за различными предвестниками, в том числе и геодезическими. Подход к решению проблемы прогнозирования землетрясения путем разделения ее на два этапа предложен в работе (6).

Ереванский архитектурно-строительный институт
Национальная служба сейсмической защиты

Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս Ռ. Հ. ՄՈՎՍԻՍՅԱՆ

Գեոդեզիական մոնիտորինգ՝ երկրաշարժ առաջացնող ակտիվ
խզվածքի երկայնքով ուժեղ երկրաշարժերի հնարավոր սֆախներ
հայտնաբերելու նպատակով

Հոդվածում դիտարկվում է գեոդեզիական մոնիտորինգի ծրագիր, որը հիմնված է

1) Գ. Ֆ. Ռեյդի վարկածի վրա, որը թույլ է տալիս որոշել երկրային կեղևի առաձգական լարված վիճակի հատկությունը,

2) սողունության ժամանակ գոյացող երկրաշարժերի նախանշանակների վարկածի վրա,

3) տեղային գեոդեզիական ցանցերի կառուցման սկզբունքների վրա, որոնք ուղղահայաց հատում են խզվածքները:

ЛИТЕРАТУРА – ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ H.F.Reid, Bull. Department Geology. Univ.Calif. Publ., v.6, №19, p.413-444 (1911). ² А.К.Певнев, Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли, №12, 1988. ³ Т.Рикитале, Предсказание землетрясений, М., Мир, 1979. ⁴ А.В.Друмя, Н.В.Шебалин, Землетрясение: где, когда, почему? Кишинев, Штиница, 1986. ⁵ Н.Чигарев, Перед землетрясением, газ. Коммунист, 02,04,1989. ⁶ С.С.Григорян, ДАН СССР, т.306, №5 (1989).

ЭКОЛОГИЯ

УДК 556.55 (479.25)

П. М. Капланян

Основные причины увеличения трофности озера Севан

(Представлено академиком НАН Армении В.В.Фанарджяном 30/X 1995)

Наблюдаемая в последние годы евтрофия оз. Севан справедливо связывается большинством исследователей с рядом процессов, протекающих как в самом озере, так и в бассейне в целом (1). При этом основными факторами, приводящими к заболачиванию, принято считать понижение уровня воды в озере и процессы антропогенного загрязнения водотоков, впадающих в озеро. Проведенные нами многолетние исследования позволили связать причину трофности с региональными процессами, протекающими во всем бассейне озера и приводящими к изменению всей экосистемы. Ряд положений по результатам этих исследований был ранее опубликован (2). Последующий дополнительный сбор фактического материала подтвердил справедливость приведенной аргументации.

Рассмотрим природную биоклиматическую обстановку, господствующую в пределах бассейна 60-70 лет назад. Для ландшафтов бассейна оз.Севан характерен сухой континентальный климат с прохладным летом и морозной зимой. Растительность — злаковая и разнотравная, характерная для умеренно-влажных степей, выше по склонам — для субальпийских и альпийских лугов. Преобладающими почвами являются горные черноземы, которые в своем целинном состоянии содержат следующие концентрации форм азота: аммиачная (NH_4^+) — 0,4-2,8 мг/кг; нитритная (NO_2^-) — не обнаружено — 0,2 мг/кг и, наконец, нитратная (NO_3^-) — не обнаружено — 0,31 мг/кг.

Несколько иные вариации концентраций отмечены в других почвенных типах: горно-луговых и лугово-степных. Однако все фиксированные содержания азотных форм не превышают величин 0,45-0,5 мг/кг. В результате природная биохимическая обстановка не способствует широкому сплосу материала, и, в частности, органических кислот, в акваторию озера, хотя и геолого-гидрогеологические условия большей части бассейна водосбора (трещиноватые андезиты-базальты, со слабым, обращенным к озеру, наклоном) весьма благоприятны для подобного механизма. В результате ионная составляющая процессов гипергенеза,

поступающая в акваторию озера, была небольшой и сбалансированной с составом ионного материала озерной воды.

Основным занятием местного населения являлось отгонное животноводство и рыболовство. Земледелие носило спорадический характер и ограничивалось культивацией на небольших склоновых участках, преимущественно злаковых культур.

Какая же биогеохимическая обстановка господствует в бассейне в наши дни?

Для повышения продуктивности почвенного слоя стала применяться интенсивная технология по созданию горизонта с высоким содержанием органики. В результате был сделан первый шаг по созданию почвенного покрова, не характерного для данной биоклиматической зоны. Стала возрастать мощность пахотного слоя с богатым перегноем и увеличивающейся концентрацией водородных ионов. Класс водной миграции в этом горизонте становится кислым, а мощность этого насыщенного органикой слоя постоянно увеличивается. Биологический круговорот обуславливает уже не свойственное данной биоклиматической зоне кислое выщелачивание, господствующее в верхней части почвенного покрова. В итоге сегодня мы наблюдаем увеличение влияния кислого класса миграции в пределах всего профиля почвенного горизонта. В значительной степени этому процессу содействует характер засеваемых здесь сельскохозяйственных культур — корнеплодов, обладающих способностью увеличивать концентрацию органики.

После понижения уровня озера на 18 м высвободилась полоса прибрежной зоны, достигающая местами из-за пологости рельефа ширины 4-5 км, которая также стала интенсивно культивироваться под сельскохозяйственные угодья.

В результате отмеченных процессов стали возрастать (особенно в горных черноземах) концентрации подвижных форм азота, легко транспортируемые в озеро, что и являлось причиной интенсивного заболачивания водоема.

Содержание подвижных форм азота в горных черноземах бассейна оз. Севая

Почвы	Интервалы содержаний, мг/кг		
	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-
Горные черноземы под культивированными злаковыми растениями	11,0-22,0	0,35-14,0	1,1-6,2
Горные черноземы под культивированными корнеплодами (картофель)	17,0-31,0	1,5-58,0	74,0-122,0
Горные черноземы целинные	0,4-2,8	Не обн.-0,2	Не обн.-0,31

Несложно подсчитать, что на одном гектаре такой пашни образуется до 350-400 кг только нитритов, что примерно в 1000 раз превосходит содержание этого компонента в целинных почвах. И это без учета концентраций нитритов и аммиачных форм. Не последнюю отрицательную роль играют и зеленые насаждения вдоль береговой полосы. Ежегодный опад и гниение стволов деревьев — источник дополнительной органики в озеро. И ко всему этому следует добавить, что намечается тенденция к еще более интенсивному сельскохозяйственному освоению бассейна (3).

Механизм поступления же всего этого материала в озеро, как отмечалось, весьма простой. Большая часть бассейна сложена трещиноватыми вулканическими породами. Поверхностный и подземный сток направлены в сторону озера, где происходит разгрузка вод со всем биогенным материалом. Следовательно, трофность озера находится в прямой зависимости от интенсивности сельскохозяйственного освоения территории, и при существующей нагрузке этот процесс не прекратится ни при каких уровнях воды в озере. Если даже допустить, что восстановится допустимый уровень (т.е. +18 м водного столба), все равно этот процесс будет протекать, и по берегам мы будем наблюдать то же заболачивание, правда, менее интенсивное. И это по той простой причине, что данная концентрация нитратов будет разбавлена в большем объеме воды. Однако направленность процесса останется та же.

Поэтому несостоятельны, на наш взгляд, категорические заявления о понижении уровня озера как единственной причине процесса евтрофирования. Об этом достаточно красноречиво свидетельствуют археологические данные (4). Так, Лчашенский некрополь или стелла Аргишти у Норадузского мыса, датируемые вторым тысячелетием до н.э., т.е. сооруженные примерно четыре тысячи лет назад и вскрытые сегодня после отступления озера, свидетельствуют о том, что уровень воды в то время был примерно такой же, как и сейчас, однако широких процессов перелома озерного режима в болотный не наблюдалось; имеющиеся же торфяники (как следы бывшего болотного режима в районе оз. Гилли) — результат более древнего процесса, датируемого, по данным Ю.В.Саядяна, десятью — двенадцатью тысячами лет (5).

В итоге снижение уровня безусловно имеет свое отрицательное воздействие, но не является основной причиной процессов заболачивания. Период интенсивного сельскохозяйственного освоения бассейна совпал по времени (конец 30-х, 40-е гг.) с началом гидроэнергетического использования вод, и возросшая в связи с этим интенсивность евтрофии была приписана исключительно спуску воды, в то время как истинная причина или иначе — первопричина — осталась в стороне. Следует отметить, что примером подобного антропогенного воздействия на пере-

ход существующего природного ландшафтного типа в иной может служить Араратская долина, характеризующаяся в естественных условиях как солонцовая и солончаковая пустыня, переведенная в результате орошения в поливной сухостепной тип. И здесь отмечается мощный процесс сельскохозяйственного освоения территории, не свойственный данной биоклиматической зоне. И если антропогенное воздействие на Араратскую долину не приводит уже сегодня к негативным процессам, то бассейн озера Севан оказался построенным на более тонком равновесии и более чутко отреагировал на эколобиогеохимические изменения.

Резюмируя вышеизложенное, мы приходим к выводу, что бассейн озера претерпевает интенсивно возделываемое культурное земледелие с большим количеством органики, что нарушает естественное состояние гипергенного цикла и влечет за собой нарушение природного баланса целого ряда элементов, в том числе и биогенных. Процесс этот усугубляется как понижением уровня воды, так и сбросом в озеро всевозможных отходов.

Естественно, рост населения в бассейне за последние 60-70 лет и приобретенная традиция земледелия не позволяют в одночасье провести директивные изменения по перепрофилированию эконимики этого региона. Наивно говорить и о приоритете рекреационного использования бассейна — слишком мало земли в республике. Единственно разумной альтернативой, по нашему мнению, является постепенный перевод эконимики всего бассейна на промышленную основу.

Этот вариант, по-видимому, — наименьшее из зол. Разумеется, такой переход должен осуществляться постепенно, с тем, чтобы земледельцы смогли бы переориентироваться. Стратегия же направленности процесса должна быть именно такой — приоритет промышленности с ограниченным земледелием, причем в последнем — уменьшение плантаций корнеплодов и увеличение площади посева злаковых культур.

Институт геологических наук НАН Армении

Պ. Մ. ՂԱՓԼԱՆՅԱՆ

Սևանա լճի տրոֆայնության մեծացման հիմնական պատճառները

Սևանա լճի ավազանում կատարված հետազոտությունների արդյունքում հեղինակը հզրակացնում է, որ լճի ջրերի էվտրոֆիայի հիմնական պատճառը գյուղատնտեսական ծանրաբեռնվածությունն է, ինչին ենթարկվում է լճի ավազանը վերջին տասնամյակների ընթացքում:

Նիտրատների պարունակության կտրուկ աճը, որոնք ձևավորվում են հողային հորիզոնների մշակվող շերտում և ապա տեղափոխվում լճի ակվատորիա, խախտում է ավազանի արդեն ձևավորված և դարերի ընթացքում կայունացած էկոհամակարգը: Լճի մակարդակի իջեցումը՝ կապված հիդրոտեխնիկական կառույցների շինարարության հետ (որոնց

միջև այժմ էլ հատկացվում է սոսաջնային դեր այն պրոցեսների շարքում, որոնք բերում են լճի սյուրֆայնացմանը), ըստ երևույթին ունի ենթակա նշանակություն:

Ինտենսիվ մշակովի հողագործության այլընտրանքը պետք է լինի ամբողջ ավազանի էկոնոմիկայի աստիճանական տեղափոխումը արդյունաբերական հիմքերի վրա:

ЛИТЕРАТУРА – ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ R.Hovanesian, H.Bronosian, Problem and Prospects Jom. lake and sevrois Managment, v.9, №1 (1994). ² П.М.Капелян, Изв. АН Арм.ССР. Науки о Земле, т.41. №3 (1988). ³ Р.С.Исаханян, Формирование социально-экономического комплекса бассейна оз. Севан. Изд. АН Арм.ССР, 1984. ⁴ А.А.Мартirosян, Армения в эпоху бронзы и раннего железа. Изд. АН Арм.ССР, Ереван, 1964. ⁵ Ю.В.Саядян, в кн.: Вопросы геологии голоцена. Изд. АН Арм.ССР, Ереван, 1985.

УДК 552.33 + 552.321

М. А. Сагян, А. В. Варданян, Ж. О. Степанян, Р. Н. Таян,
А. Х. Мнацаканян, М. А. Арутюнян

Рубиноносные диатремы Вединской офиолитовой зоны Малого Кавказа

(Представлено академиком НАН Армении А.А.Мантасьяном 13/IX 1995)

Обнаружение диатремы лампрофировых туфов среди офиолитов ядра Ерахской антиклинали (1) конкретизировало структурную обстановку и направление дальнейших поисков диатрем в выходах офиолитов верховья р.Веди. Среди последних выявлены восемь выходов туфов лампрофиров, в трех из которых обнаружены рубин и лейкосапфир. По результатам картирования выходы туфов группируются в три овала, располагающихся примерно вдоль оси Хосровской антиклинали: западный — црдутский, центральный — по левобережью среднего течения р.Манкук, и юго-восточный — по правобережью р.Веди, наиболее перспективный в отношении рубиноносности. Составляющие овалы мелкие выходы туфов мы рассматриваем в качестве апикальных частей более крупных диатрем, лишь частично вскрытых современным эрозийным срезом. Выходы туфов отчетливо контролируются разломами в вулканогенно-осадочной толще офиолитовой серии и представляют вытянутые до 100-170 м по длинной оси эллипсоиды. Туфы, несомненно, прорывают интенсивно дислоцированную вулканогенно-осадочную толщу поздней юры — раннего мела (2). К-Аг радиологический возраст туфов определен в 102-95 млн.лет. По находкам зерен сапфира в терригенной примеси известняков сеномана-турона низовья р.Хосров внедрение туфов происходило, вероятно, перед сеноманом, в апте-раннем альбе, т.е. к концу одной из главных фаз складчатости Вединской офиолитовой зоны (3).

Вулканисты, известняки и радиоляриты на контакте с диатремами интенсивно дислоцированы; падение их чаще вертикальное. Отмечаются крупные блоки будинированных кристаллических серых известняков, которые не типичны для вмещающей толщи; местами встречаются дайки пикробазальтов. Туфы и вмещающие породы практически не затронуты метасоматическими изменениями.

Выполняющие диатремы туфы на поверхности рыхлые, алеврито-псаммитовой размерности, голубовато-зеленого цвета. На 60-70% они состоят из витрокластике, скрепленной полнокристаллическим карбонатным цементом (10-30%). В туфах обычны ксенолиты миндалекаменных щелочных базальтов в количестве до 20%, реже карбонатитов, диабазов, известняков, крайне редки ксенолиты гарцбургитов. Под микроскопом витрокластик имеет изометричную форму, глобулярную текстуру и включает мелкие субфенокристаллы клинопироксена (2-4%), амфибола, реликты оливина.

Химический состав клинопироксенов отвечает титанистым разностям салита и фассаита и соответствует полю составов клинопроксена щелочных лампрофиров на диаграмме Рока (4) $mg - \frac{SiO_2}{Al_2O_3}$, занимая

промежуточное между мантийными и коровыми разностями положение на диаграмме $Mg-Ca-Fe$ (5). Редкие зерна хромдиопсида представляют ксенокристаллы, образовавшиеся, видимо, при дезинтеграции допоздне-меловых карбонатитов. Гиперстен ($Fe^* = 20,78$ мас.%) и биотит ($Fe^* = 19,40$ мас.%) относятся к железистым разностям. Амфиболы представлены базальтической и обыкновенной роговой обманкой; определяемые в иммерсии единичные зерна актинолита и тремолита являются, видимо, ксенокристаллами. Отмечаются, кроме того, единичные зерна мелилита.

Из акцессорных минералов наибольший интерес, безусловно, представляют рубины и лейкосапфир. Они выявлены в пробах весом 70-100 кг в количестве до нескольких карат на тонну; размеры зерен составляют 0,2-0,3 мм, изредка до 0,6 мм. Преобладают обломки кристаллов. Цвет рубина варьирует от лилово-розового, темно-розового до бледно-розового, почти бесцветного, прозрачного с включениями рудных минералов; красящей примесью является хром. Отмечены, кроме того, редкие зерна желтого (железистого) и бледно-синего сапфира.

Состав акцессорных хромшпинелидов (пикотита) высокоглиноземистый и железистый, с невысоким содержанием хрома ($Al_2O_3 = 20-35$ мас.%, $Cr_2O_3 = 25-29$ мас.%) Этим они существенно отличаются от хромшпинелидов лампроитов. Ильменит ($TiO_2 = 39,79$ мас.%, $FeO^* = 52,13$ мас.%) содержит MgO до 3,63 мас.% и примесь Al , Ca , K , Na . Гранат бесцветный или светло-желтый, принадлежит группе андрадита. Отмечаются также апатит и циркон.

Составы породообразующего вулканического стекла глобулярной текстуры варьируют широко. Как показали исследования на микрозонде, мелкие глобулы в вулканическом стекле туфов обнаруживают отчетливо K -щелочной состав и повышенные содержания Mg , Fe , Ti , а также Ni , Cr , Ba . Матрикс, обогащенный кальцием и обедненный калием, соответствует толеитовым базальтам. В стекле туфов центрального участка обычны мелкие оспинки, сложенные гематитом. При анализе на микро-

зонде выявляются сфен и апатит. Мелкие мицдалинки в стекле выполнены кальцитом, анальцимом, цеолитами. В измененных стеклах новообразованиями являются хлорит, септо-хлорит, неупорядоченный смектит-монтмориллонит и, возможно, каолин.

Нормированные к хондритам содержания редких земель в изученных стеклах соответствуют порядку распределения в щелочных лампрофирах (4). На дискриминационной диаграмме $SiO_2 - K_2O + Na_2O$ химические составы туфов размещаются в поле щелочных лампрофиров с переходом в смежную область ультрамафитовых лампрофиров (4). Карбонатный цемент туфов имеет полнокристаллическую структуру; тип цементации порово-пленочный, местами крустификационный с нарастанием сферокристаллов кальцита на обломки вулканического стекла. В поле цемента обозначаются реликты глобулярной текстуры. Для цемента характерны повышенные содержания циркония, редких земель и фосфора, что наряду с глобулярными обособлениями свойственно магматогенному карбонату. Высокая общая карбонатность туфов определяется также вторичными прожилками карбоната и ксенокристаллами кальцита, за счет, видимо, дезинтеграции карбонатов $J_3 - K_1$, и по этим признакам туфы отличаются от типовых составов лампрофиров (4,6).

Туфы верховья бассейна р.Веди, содержащие рубин и другие минералы группы корунда, определенно отличаются от туфов крайне бедной корундом Ерахской трубки. Эти отличия в первом приближении состоят в большей флюктуации содержаний глинозема, преобладании калия над натрием при несколько пониженной суммарной щелочности и титанистости. Кроме того составы вулканических стекол рубиноносных туфов верховья р.Веди более магниальные и менее кальциевые.

Мантийное происхождение исходных магматических расплавов, насыщенных летучими, подтверждается прежде всего наличием барофильных минералов группы корунда в парагенезе с гранатом. Однако по сумме выявленных признаков туфы щелочных лампрофиров представляют продукты менее глубоких магматических очагов, чем алмазоносные лампроиты ряда регионов мира, как например Зап.Австралия и др. (7,8).

Проведение данного исследования не было бы возможным без выполненных на микросондах "Camebax" и "EDAX" определений составов минералов Л.П.Плюсниной (Россия) и Г.Куратом (Австрия), за что авторы приносят им глубокую благодарность.

Институт геологических наук НАН Армении

Մ. Ա. ՍԱԹՅԱՆ, Ա. Վ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Ժ. Հ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ, Ռ. Ն. ՏԱՅԱՆ,

Ա. Խ. ՄՆԱՑԱԿԱՆՅԱՆ, Մ. Ն. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

Փոքր Կովկասի Վեդու օֆիոլիտային գոտու ռուբինատար դիատրեմաներ

Վեդու գետավազանի վերին հոսանքներում հայտնաբերված են միջին (?) – ուշ կավճի հասակի սուկալային լամպրոֆիրների տուֆերի ութ էլիպսաձև ելքեր, որոնք կտրում են ուշ յուրա – վաղ կավճի օֆիոլիտային սերիայի հրաբխային և նստվածքային ապառները: Տուֆերի կազմը վիտրիկ (ապակենման) է՝ 2-4% պիրոքսենների, ամֆիբոլների, բիոտիտի, օլիվինի, օրթոկլազի, ինչպես նաև ռուբինի, լեյկոսապֆիրի, խրոմչպինելների և այլ հազվագյուտ բյուրեղների խառնուրդով: Տուֆերի պետրոլոգիական-պետրոքիմիական և միներալոգիական-երկրաքիմիական բնութագիրը ցույց է տալիս մագմայի ենթակեղևային-պատյանային աղբյուրները: Քննարկված է ռուբինատարության չափանիշները: Ենթադրվում է, որ տուֆերի ելքերը ըստ խորության միավորվում են երեք խոշոր դիատրեմաների՝ ծրղուտի, Կենտրոնական և Հարավ-Արևելյան անվանումով:

ЛИТЕРАТУРА – ՓՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Մ.Ա.Сатиан, А.В.Варданян, ДНАН Армении, т.94, №5, с.294-298 (1993). ² А.А.Белов, Н.Ю.Брагин и др., ДАН СССР, т.321, №4, с.784-788 (1991). ³ М.А.Сатиан, А.В.Варданян, Б.В.Бойнагрян, Изв.АН Арм. ССР, Науки о Земле, №6, с.3-11 (1986). ⁴ N.M.S.Rock, Geol. Sp. Publ., №30, p.191-226 (1987). ⁵ К.Б.Кележипскас и др., ДАН СССР, т.319, №3, с.713-716 (1991). ⁶ N.M.S.Rock, Petrology, v.27, с. part 1, p.155-196 (1986). ⁷ Лампроиты, М., Наука, 1991. ⁸ В.А.Селявестров и др., Петрология, т.2, с.197-213 (1994).

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

УДК 612.017.4-006.6

М. Г. Геворкян, Р. А. Захарян, Н. Г. Азарян, А. Г. Агабалян,
академик НАН Армении Э. К. Африкян

К механизму интерферон индуцирующей активности
дельта-эндотоксина *Bacillus thuringiensis*

(Представлено 29/VI 1994)

Культуры *Bacillus thuringiensis* продуцируют белковой природы дельта-эндотоксин, обладающий выраженной энтомоцидной активностью (1-3). В некоторых сообщениях показана противоопухолевая активность этого токсина из разных штаммов данного вида (4,5).

Установлено также, что индуцированный противоопухолевый иммунитет может быть передан сингенным мышам через лимфоциты свободных от опухолей животных, обработанных таким токсином (6).

Одновременно нами показано, что дельта-эндотоксин, полученный из культур серотипов *kurstaki* и *thuringiensis*, является эффективным индуктором синтеза γ -интерферона и 2'-5' олигоаденилата (4,5).

Условия получения очищенного и активированного дельта-эндотоксина описаны ранее (7,8,3). Дельта-эндотоксин был адсорбирован на культуре моноклеарных клеток периферической крови человека. Лейкоциты были выделены из донорской крови в фикол-верографиковом градиенте. Определение активности 2-фосфодиэстеразы проводили по известному методу (9,10). Препарат дельта-эндотоксина гидролизировали трипсином до низкомолекулярных пептидных фрагментов, концентрацию цАМФ измеряли по ранее описанному способу (9).

В настоящей работе показано, что инкубация препаратов дельта-эндотоксина из штамма НД-1 серотипа *kurstaki* с лимфоцитами человека индуцирует в последних повышение уровня цАМФ с ингибированием активности 2-фосфодиэстеразы. Преинкубация дельта-эндотоксина с N-ацетил-D-галактозамином и N-ацетилнейраминовой кислотой контролирует активность эндотоксина, что позволяет предположить участие N-Ас-Гал и N-Ас-Нейр в рецепции дельта-эндотоксина на плазматической мембране лимфоцитов человека.

Установлено, что дельта-эндотоксин при взаимодействии с лимфоцитами индуцирует в них значительное повышение уровня цАМФ (табл.1).

Таблица 1

Влияние дельта-эндотоксина на уровень цАМФ в лимфоцитах человека

Доза эндотоксина, мкг/мл	Уровень цАМФ, пкмоль/10 ⁷ клеток	
	нативный дельта-эндотоксин	гидролизованный дельта-эндотоксин
10	6,7	3,2
20	8,8	3,6
30	12,5	5,8
40	16,9	10,3
50	18,9	12,1

В то же время гидролизат дельта-эндотоксина, содержащий низкомолекулярные пептиды, также проявляет высокую активность, индуцируя повышение уровня цАМФ и ингибирование активности 2-фосфодиэстеразы (табл.2).

Таблица 2

Влияние дельта-эндотоксина на активность 2-фосфодиэстеразы в лимфоцитах человека (средние данные 10 экспериментов)

Лимфоциты	Активность 2-фосфодиэстеразы, имп/мин
Интактные	1260
Обработанные эндотоксином (24 ч)	685
Обработанные гидролизованным эндотоксином (24 ч)	582

Полученные данные свидетельствуют о высвобождении в результате гидролиза эндотоксина полипептида, активного в индукции трансмембранного сигнала, аналогично действию интактного эндотоксина.

Наряду с этим показано, что продукты гидролиза эндотоксина активны также в стимуляции синтеза γ -интерферона лимфоцитами человека (табл.3).

В этих опытах токсин был испытан в условиях стационарного культивирования на лимфоцитах. Пробы культуральной жидкости отбирались через каждые 24 часа в течение всего срока наблюдения. О наличии интерферона судили по титрованию на культуре человеческих диплоидных клеток М-19, а также по защитному действию клеток от ЦПД вируса везикулярного стоматита. Активность интерферона выражали в МЕ/мл. Эта часть работы выполнена в Москве в лаборатории онтогенеза вирусов Института вирусологии им. Д.И.Ивановского.

Ранее было показано, что полипептиды с молекулярной массой 1000 дальтон, высвобождаемые из дельта-эндотоксина в результате расщепления, при определенных значениях pH в инкубационной среде сохраняли свою цитопатогенную активность для клеток гусениц шелкопряда (3).

Таблица 3

Продукция γ -интерферона мононуклеарами крови человека

Дельта-эндотоксин	Доза, мкг/мл	Титр интерферона в МЕ/мл спустя			
		24 ч	48 ч	72 ч	96 ч
B.thuringiensis subsp. kurstaki НД-I	10	40-80	320	40-80	160
	10	160-320	320	160	320
	25	320-640	640	80	320
	50	80	640	640	640
B.thuringiensis subsp. thuringiensis	1,0	20	80	80	80
	10	20	320	80	80
	25	160	320	80	40
	50	80	320-640	320	80
B.thuringiensis НД-I предварительно инкуб. с N-Ас-Гал (125 мМ)	25	20	20	20	20

Для многих физиологически активных веществ, в том числе и токсинов, показано, что при сорбции на поверхности плазматической мембраны клетки они специфически связываются с рецепторными молекулами гликопротеиновой или гликолипидной природы.

Предварительная инкубация дельта-эндотоксина и препаратов его расщепления трипсином с N-Ас-Гал и N-Ас-Нейр в течение 60 мин при 37°C выявила, что N-ацетил-Д-галактозамин и N-ацетил нейраминавая кислота ингибировали способность эндотоксина индуцировать трансмембранный сигнал, сопровождающийся повышением в клетке уровня цАМФ, понижением активности 2-фосфодиэстеразы цАМФ и повышением в клетке 2'-5' олигоаденилата (¹⁰), рассматриваемых как компоненты единой системы вторичных мессенджеров клетки (табл.4).

Таблица 4

Влияние N-Ас-Гал и N-Ас-Нейр на способность эндотоксина индуцировать трансмембранный сигнал (N-Ас-Гал и N-Ас-Нейр использовались в концентрации 125 мМ/мл)

Доза дельта-эндотоксина, мкг/мл	Уровень цАМФ, пкмоль/10 ⁷ клеток		
	Контроль	N-Ас-Гал	N-Ас-Нейр
10	5,1	2,6	2,4
20	7,9	3,0	2,5
30	12,3	3,2	2,5
40	15,1	4,7	2,5

Эти результаты позволяют предположить, что N-Ас-Гал и N-Ас-Нейр. возможно, являются составной частью рецепторной молекулы лимфоцитов, взаимодействие с которой является первым этапом в механизме индукции γ -интерферона дельта-эндотоксином.

Определенный интерес представляет также и то обстоятельство, что те же глюкоконъюгаты на поверхности плазматической мембраны клосток *S.fumiferana* CF-1 предопределяют связывание дельта-эндотоксина с клетками и последующее развитие цитопатического эффекта, выражающегося в лизисе этих клеток.

Институт молекулярной биологии НАН Армении

Институт микробиологии НАН Армении

Մ. Գ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ, Բ. Ա. ՉԱՔԱՐՅԱՆ, Ն. Դ. ԱԶԱՐՅԱՆ, Ա. Ս. ԱՂԱՔԱԼՅԱՆ.

Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս Է. Գ. ԱՅՐԻԿՅԱՆ

***Bacillus thuringiensis*-ի դելտա-էնդոտոքսինի ինտերֆերոն-խթանող ակտիվության մեխանիզմի վերաբերյալ**

Bacillus thuringiensis-ից ստացված դելտա-էնդոտոքսինը, օժտված լինելով ցայտուն էնտոմոցիդային հատկություններով, առաջացնում է հակառուտացային իմունիտետ և հանդիսանում է γ -ինտերֆերոնի և 2'-5' օլիգ. ադենիլատի արդյունավետ խթանիչ մարդու պերիֆերիկ արյան մոնոնուկլեար բջիջներում:

Դելտա-էնդոտոքսինը առաջացնում է «ԳԱՄՖ»-ի մակարդակի բարձրացում և ճնշում է 2-ֆոսֆոդիէսթերազային ակտիվությունը լիմֆոցիտներում: Նրա ֆերմենտային հիդրոլիզից ստացված պոլիպեպտիդները նույնպես էֆեկտիվ են γ -ի ինտերֆերոնի և երկրորդային մեսենջերների ակտիվացման պրոցեսում:

Դելտա-էնդոտոքսոնի փոխազդեցությունը լիմֆոցիտների հետ հավանաբար իրականացնում է ռեցեպտորային կառուցվածքներում պարունակող «N-ացետիլ-դ-գալակտոզամինը» և «N-ացետիլ-նեյրամինաթթուն»:

ЛИТЕРАТУРА – ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ P.J.Fast, W.J.Martin, FEBS Lets, v.95, №3, p.1314-1320 (1980). ² S.S.Prasad, J.J.Shethna, Indian Journal of Exper. biol., v.14, p.285-289 (1976). ³ D.P.Stahly, D.W.Dingman, L.A.Bulla, BBRC, v.84, p.581-588 (1978). ⁴ А.С.Агабабян, Р.А.Захарян и др., Журн. exper. и клин. медицины, т.85, №6, с.559-562 (1985). ⁵ Р.А.Захарян, А.С.Агабабян и др., Тр. Ереванского зоовет.ин-та, вып. 59 (1986). ⁶ S.S.Passad, J.J.Shethna, BBRC, v.62, №3, p.517-523 (1975). ⁷ S.S.Passad, J.J.Shethna, BBA, v.363, №4, p.558-566 (1974). ⁸ E.S.Sharpe, F.W.Nickorson, J.N.Aronson Appl. Microbiol., v.30, p.1052-1053 (1975). ⁹ A.V.Itkes, K.T.Turpaev, O.V.Kartacheva, Biochem. Int., v.5, №1, p.15-21 (1982). ¹⁰ B.H. Knowles, H.E. Thomas, D.Y.Ellar, FEBS Lets., v.168, №2, p.191-202 (1984).

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

УДК 577.352.335:579.842.14

А. М. Седракян, А. З. Пепоян, Ж. А. Кцоян,
академик НАН Армении К. Г. Карагезян

**Влияние белков и фосфолипидов мембран *Salmonella derby*
на характер межклеточных взаимодействий**

(Представлено 4/УІІ 1994)

Ранее нами было показано, что плазмидосодержащие и бесплазмидные клетки *Salmonella derby* отличаются как по форме, так и по характеру межмембранных, межклеточных взаимодействий, по уровню перекисного окисления (ПОЛ) липидов и содержанию в клетках витамина Е (1).

Установлено, что бесплазмидные клетки *Salmonella derby* достигают стационарной фазы роста значительно быстрее, чем плазмидные клетки *Salmonella derby* (2). По литературным данным, процессы, ведущие к ингибированию размножения в суспензионных культурах микроорганизмов при переходе клеток из лог фазы в стационарную, обусловлены критической частотой. Известно также, что межклеточные взаимодействия в культуре микроорганизмов обладают довольно высокой таксономической специфичностью, которая обусловлена, скорее всего, природой или топографией белков, расположенных на поверхности клеточной оболочки (3).

Белковые профили бактериальных мембран выявляют различия, часто наблюдаемые в штаммах того же вида, и даже в клетках одного штамма, выращенных при различных температурах или при ограничении питания, что свидетельствует о функциональном многообразии и кооперативности организации белкового компонента мембран.

Изменения в профилях внешнемембранных белков могут быть обусловлены и введением экзогенной ДНК (4). Известно, что R-факторы могут вызывать замещение существующих белков *E.coli* В рядом альтернативных поринов (4).

Все это побудило интерес к изучению белков клеточных мембран плазмидосодержащих и бесплазмидных штаммов *Salmonella derby*.

Использовали бактериальные штаммы: *Salmonella derby* K89 — дикий тип, изолированный из клинического материала (5), несущий конъюгативный R-фактор длиной около 100 т.п.н., обозначенный

pCK101, и *Salmonella derby* K82 — бесплазмидное производное от дикого типа клеток *Salmonella derby*.

Бактерии выращивали на 2%-ном мясопептонном агаре при температуре 37°C в течение 20 ч. Собранные 3-4 г влажных клеток дважды центрифугировали в 10 мм трис-буфере pH 7,4 при 5000 об/мин 30 мин.

Выделение клеточных мембран проводили по методу Айное (6). SDS-электрофорез белков в 10%-ном полиакриламидном геле проводили по методу Леммли (7), загружая гель белковыми препаратами в количестве 0,1 мг белка на трек. Электрофореграммы сканировали на приборе Ultrascan XI (LKB) при длине волны 633 нм. Концентрации отдельных белков определяли по площади соответствующих пиков на кривых сканирования электрофореграмм.

Образцы для дифракции рентгеновских лучей готовили согласно нижеприведенной методике: мембранную суспензию соответствующей концентрации вводили в капилляр или ячейку типа "сэндвич" и оставляли в герметически закрытом виде при комнатной температуре. Образцы имели цилиндрический или плоский вид с диаметром или толщиной 0,4-1 мм. Съёмки образцов проводили на рентгеновских аппаратах УРС-60, УРС-2 с камерами типа КРОН, РКСО, предназначенных для съёмки на плоскую плёнку: для исследования малоуглового рассеивания были модифицированы при расстояниях образец — плёнка 100 и 150 нм. Были использованы также трубки БСВ-23 и БСВ-24В, дающие излучение в области 1,54 Å длины волны с напряжением на аноде 40 мВ при анодном токе 20 мА. Время экспозиции в пределах 10-14 ч. Для приготовления образца использовались кварцевые тонкослойные капилляры 0,4-1 мм, а также ячейка "сэндвич" с плоскими окнами из бериллия (8).

При препаративном выделении мембранных белков клеток *Salmonella derby* K89 и *Salmonella derby* K82 особое внимание уделяли идентичности условий роста бактерий обоих штаммов и процессов препарации.

Сравнительное изучение спектров мембранных белков клеток *Salmonella derby* выявило различия как в качественном, так и количественном содержании белков, ассоциированных с R-плазмидой (9).

Разделение мембранных белков клеток *Salmonella derby* при SDS-электрофорезе в 10%-ном полиакриламидном геле привело к образованию белковых спектров, позволяющих различить 39 и 26 полос соответственно. Вместе с тем анализ полученных результатов свидетельствует об отсутствии статистически достоверных расхождений в суммарном количестве белков плазмидного и бесплазмидного штаммов.

Представляет интерес область от 33000 до 36000, в которой располагаются пориновые белки клеток *Salmonella*. Наблюдаемые четкие полосы, соответствующие белкам Omp C, Omp F и Omp D (33000, 34000 и 35000 соответственно), отличаются по концентрациям в двух сравниваемых штаммах. Суммарное содержание поринов в бесплазмидном штамме снижено в 1,7 раза. В 1,8 раза снижено содержание белка Omp C — основного поринового канала энтеробактерий в нормальных физио-

логических условиях. Концентрация белка Omp A (36000) в исследованных штаммах неизменна.

На основании проведенных наблюдений становится очевидным наличие интересных различий в качественном наборе и количественном содержании белков в мембранах указанных штаммов, что позволяет предположить, что они воздействуют на характер межклеточных взаимодействий.

Другие важные компоненты клеточных стенок бактерий, которые могут влиять на формирование межклеточных контактов, — фосфолипиды (ФЛ). Нами показано, что R-плазмида *Salmonella derby* способствует образованию упорядоченных участков мембран, обусловленных полярными головками фосфатидилхолинов (ФХ) и фосфатидилэтаноламинов (ФЭ), поэтому при дальнейшем изучении зависимости межклеточных взаимодействий от ФЛ использованы мембранные суспензии плазмидосодержащих клеток *Salmonella derby*. Так как известно, что параметры фосфолипидной мембраны (толщина, плотность и т.д., в том числе и d — суммарная толщина мембраны и межмембранного расстояния) в значительной степени определяются распределением зарядов на полярной части молекулы, нами с помощью рентгенографического метода исследовались 15%-ные мембранные суспензии плазмидных клеток *Salmonella derby* в широком интервале pH среды (2,5-10,9).

При этом предполагалось, что при переходе как в кислую, так и щелочную среду должно иметь место возникновение одноименных (положительных или отрицательных) зарядов в полярной группе молекул ФХ и ФЭ, что за счет возникновения сил электрического отталкивания должно приводить к разрушению предполагаемого порядка полярных групп молекул ФЛ на поверхности мембраны.

Результаты экспериментов свидетельствуют, что как при pH 2,5, так и при pH 10,9 рефлексы $8\text{ \AA}$ и $11\text{ \AA}$, обусловленные упорядоченностью мембран, исчезают.

Ранее нами показано, что оптимальный рост клеток *Salmonella derby* наблюдается при pH=7-7,5 (1), т.е. при более упорядоченном внутримембранном состоянии мембран указанных клеток.

Зависимость суммарной толщины мембраны и межмембранного расстояния (d) от pH среды 15%-ной мембранной суспензии плазмидосодержащих клеток *Salmonella derby*

pH среды	2,5	7,0	10,9
d -суммарное ($\text{\AA}$)	40,69	39,28	49,142

Как видно из таблицы, как в кислой (pH 2,5), так и щелочной (pH=10,9) среде имеет место увеличение межплоскостных расстояний малоугловых рефлексов, что, согласно литературным данным (10), непос-

редственно указывает на увеличение толщины межмембранной водной прослойки, т.е., по всей вероятности, при рН окружающей среды, сильно отличающихся от физиологического, изменяется характер межклеточных взаимодействий, что и приводит к нарушению роста и размножения.

Таким образом, нами показано, что в формировании межклеточных контактов важную роль играют гидрофильно-гидрофобные взаимодействия молекул ФЛ в мембранах клеток *Salmonella derby*.

Отсутствие R-плазмиды влияет на ФЛ и белковый спектр указанных клеток, приводит к усилению межмембранных взаимодействий, что свидетельствует о корреляции между R-плазмидой и структурой клеточных стенок *Salmonella derby*.

Институт молекулярной биологии НАН Армении

Ա. Մ. ՍԵԴՐԱՎՅԱՆ, Ա. Չ. ՓԵՓՈՅԱՆ, Ժ. Ա. ԿՇՈՅԱՆ,

Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս Կ. Գ. ՂԱՐԱԳՅՈՉՅԱՆ

***Salmonella derby* բջիջների թաղանթային սպիտակուցների և ֆոսֆոլիպիդների ազդեցությունը միջբջջային փոխազդեցությունների բնույթի վրա**

Ուսումնասիրվել է *S. derby* պլազմիդազուրկ և պլազմիդակիր բջիջների թաղանթակիր սպիտակուցների կազմը: Բացահայտվել է, որ R-պլազմիդի բացակայությունը *S. derby* բջիջներում բերում է սպիտակուցների (ներառյալ պորինների, որոնց քանակը պակասում է մոտավորապես 1,7 անգամ) որակական և քանակական կազմի խիստ փոփոխության:

Ուսումնասիրությունների հիման վրա արվել է ենթադրություն, որի համաձայն միջբջջային փոխազդեցությունների բնույթը *S. derby* բջիջներում կարող է պայմանավորված լինել ինչպես թաղանթային սպիտակուցների կազմով, այնպես էլ բջիջների թաղանթներում ֆոսֆոլիպիդների մոլեկուլների հիդրոֆիլ-հիդրոֆոբ փոխազդեցություններով:

ЛИТЕРАТУРА - ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ А.З.Песпоян, Г.Г.Бадалян, Ж.А.Кцоян и др, ДАН Арм ССР, т.91, №5, 219-226 (1990). ² А.З.Песпоян и др., Биохимия, т.58, №12, с.1881-1885 (1993). ³ С.В.Конев, В.М.Мажуль, Межклеточные контакты, М. Наука и техника, 1977. ⁴ M.Stephen Hammond (ed.) in: The Bacterial cell Surface, Croom Helm Ltd, London, Sydney, p.57-119, 1984. ⁵ М.К.Вартанян, Б.П.Карабсгов, Материалы II Науч. конф. ИЭБ АН Арм ССР, Ереван, с.97, 1970. ⁶ O.N.Inoue, J. Biol. Chem., v.243, p.5813 (1973). ⁷ U.K.Laemmli, Nature, v.227, p.680-685 (1970). ⁸ А.З.Песпоян, Автореф. дис., Ереван, 1990. ⁹ А.М.Седракан, Г.А.Мнацаканян, А.С.Калачян и др., ДАН Армении, т.94, №1, с.49-51 (1993). ¹⁰ В.А.Закарян, В.Г.Каралетян, Г.Г.Бадалян и др., Биофизика, т.31, с.37-42 (1986).

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

УДК 577.1:577.15:576.851

И. В. Вартересян, Ж. А. Кцоян, Г. К. Шахбазян,
академик НАН Армении К. Г. Карагезян

Физическая характеристика R-фактора в штамме
Salmonella derby K 89

(Представлено 1/IX 1994)

Согласно результатам ряда исследований (1-4) по изучению свойств внехромосомной ДНК штамма *S. derby* K 89, определяющей множественную лекарственную устойчивость к некоторым антибиотикам и сульфаниламидам, установлено присутствие диссоциированного R-фактора (100 т.п.н.), длина наиболее крупных фрагментов которого колеблется в пределах от 22 до 3,7 т.п.н. и менес. При электрофорезе в 0,8%-ном агарозном геле отмечается разделение этой внехромосомной ДНК на пять индивидуальных фракций. Исходя из вышеизложенного, мы задались целью проследить в настоящем исследовании за количеством детерминантов диссоциирующего R-фактора, их формой, а также их генетической родственностью.

Существуют три различные формы плазмидной ДНК — 1) ковалентно-замкнутая суперскрученная молекула ДНК; 2) открытая кольцевая молекула (может образоваться при релаксации суперскрученной или в результате разрыва одной из цепей ДНК); 3) линейная молекула ДНК (5). Сопоставление электрофоретических подвижностей отмеченных разновидностей плазмидных молекул в агарозных гелях различной концентрации позволяло установить, что кольцевая форма не только уступает по скорости своей миграции остальным, но при молекулярной массе начиная от $14 - 16 \cdot 10^6$ дальтон (20-24 т.п.н.) вообще не входит в гель даже при его минимальной концентрации — 0,8%. Скорость миграции линейных молекул ДНК уменьшается с увеличением их молекулярной массы, однако до определенного предела, превышение которого за $12 \cdot 10^6$ дальтон (18 т.п.н.) характеризуется однотипностью скорости миграции этих линейных молекул в 0,8%-ном агарозном геле. Касаясь относительной подвижности суперспирализованной ДНК и линейной молекулы, следует подчеркнуть ее зависимость от молекулярной массы, среднего размера пор геля и напряженности электрического поля.

В работе был использован дикий тип *S. derby* K 89, содержащий R-фактор, придающий клеткам устойчивость к ряду антибиотиков и сульфаниламидам. Выделение плазмидной ДНК осуществляли методом получения осветленных лизатов (6) с проведением ее электрофоретического анализа в 0,8%-ном агарозном геле (7). Для получения отдельных фракций использовали методику экстракции фрагментов из легкоплавкой агарозы, а обработку производили нуклеазой *SI* согласно существующим способам (8) при температурном режиме 37°C, с отбором аликвот каждые 10 мин. Рестрикцию проводили рестриктазами *Alu I* и *HinG I* в среднесолевым буфере.

При электрофорезе ДНК в 0,8%-ном агарозном геле помимо зоны в районе старта обнаруживаются еще четыре фракции, третья из которых как бы двойная. Использование экстракции из легкоплавкой агарозы позволило выделить индивидуальные фракции, каждую из которых обрабатывали нуклеазой *SI*. Полное расщепление фракции I без каких-либо дополнительных полос указывает на то, что она представлена линейными молекулами плазмидной ДНК или фрагментами хромосомной ДНК с молекулярной массой более $12 \cdot 10^6$ дальтон, двигаясь в 0,8%-ном агарозном геле с одинаковой скоростью. О присутствии во фракции I линейных молекул ДНК может свидетельствовать также наличие фракции 0 (на старте); не исключено, что она состоит из крупных плазмидных молекул ДНК в открытой кольцевой форме, не входящих в гель в наших условиях электрофореза (0,8%, 180 В, 2ч), что, по-видимому, может быть обусловлено молекулярной массой более $14-16 \cdot 10^6$ дальтон.

При обработке фракции II с помощью *SI* наблюдается образование одной новой полосы, что возможно, если фракция II представлена плазмидными ДНК в открытой кольцевой форме, переходящими в линейную форму.

При расщеплении с помощью *SI* фракции IV констатировалось образование двух новых полос, соответствующих, по всей вероятности, открытой кольцевой и линейной формам плазмидной ДНК. Следовательно, есть основание считать фракцию IV плазмидной ДНК в суперскрученной форме. Примечательно, что действие нуклеазы на двойную фракцию III сопровождается образованием трех новых полос, из которых верхние две соответствуют открытой кольцевой и линейной формам фракции II, а нижние две — открытой кольцевой и линейной формам плазмидной ДНК, образующимся при расщеплении фракции IV. Полученный нами фактический материал позволяет сделать вывод о строении двойных фракций III из открытых кольцевых молекул ДНК (верхняя полоса) и суперспирализованных молекул ДНК (нижняя полоса) двух различных плазмид. Использование маркера λ (*Eco RI*, *Hind III*) по линейным формам молекул позволило установить, что размер первой плазмидной ДНК колеблется в пределах 20-22, второй — 3,35 и третьей — 2,15 т.п.н. С целью установления генетической родственности изу-

ченных плазмид был предпринят рестрикционный анализ с применением различных рестриктаз: Eco RI, Hind III, Pst I, Sma I, Alu I, Hin GI, что позволило выделить лишь рестрикции Alu I и Hin GI, давшие четкую рестрикционную картину. При рестрикции фракций I, II, IV рестриктазой Alu I проявилась картина различных рестрикций, а фракция III рестрицировалась суммой полос, полученных при рестрикции фракций II и IV.

Аналогичные результаты были зарегистрированы при действии на фракции I, II, III, IV рестриктазы Hin GI. Примечательно, что рестрикция двойной фракции III также представляет собой сумму полос, полученных в результате рестрикций фракций II и IV.

Результаты проведенных исследований совпадают с эффектами нуклеазы SI и позволяют сделать следующее заключение:

1) Фракция I представлена линейными молекулами первой плазмидной ДНК, фракция II — второй плазмидной ДНК (в открытой кольцевой форме), двойная фракция III — открытыми кольцевыми молекулами третьей плазмидной ДНК (верхняя полоса) и ДНК второй плазмиды в суперспирализованной форме (нижняя полоса), фракция IV — суперспирализованной формой третьей плазмиды;

2) R-фактор в штамме *Salmonella derby* K 89 состоит из трех автономно реплицирующихся плазмид (вероятно, детерминанты RTF, r_1 и r_2) с различной генетической структурой и молекулярной массой.

Институт молекулярной биологии НАН Армении

Ի. Վ. ՎԱՐԴԵՐԵՍՅԱՆ. Ժ. Ա. ԿՇՈՅԱՆ, Գ. Կ. ՇԱՀՐԱՉՅԱՆ.

Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս Կ. Գ. ՂԱՐԱԳՅՈՉՅԱՆ

Salmonella derby K₈₉ բջիջների R-գործոնի ֆիզիկական բնութագիրը

S. derby K₈₉ շտամում հայտնաբերված է R-գործոնը, որը պայմանավորում է մի շարք հակաբիոտիկների և սուլֆանիլամիդների դեմ դեղորայքային կայունություն:

0,8% ազարոզային հելի արտաքրոմոսոմային ԴՆԹ-ի էլեկտրաֆորեզի ընթացքում R-գործոնը բաժանված է հինգ ֆրակցիայի: S_1 նուկլեազով մշակման արդյունքում պարզվեց, որ նշված ֆրակցիաներն իրենցից ներկայացնում են տարբեր ձևերում գտնվող պլազմիդներ:

Հետերոգեն այդ ԴՆԹ-ի մոլեկուլների գենետիկական ազգակցականությունը պարզելու համար Alu I և Hind III ռեստրիկտազների օգնությամբ կատարվել է ինչպես ընդհանուր արտաքրոմոսոմային ԴՆԹ-ի, այնպես էլ առանձին ֆրակցիաների ռեստրիկցիոն անալիզը:

Աշխատանքի արդյունքում կարելի է կատարել երկու ենթադրություն՝ 1) *S. derby* K₈₉ բջիջների R-գործոնը ներկայացված է երեք ավտոնոմ ռեպլիկացիայի ենթարկվող պլազմիդներով՝ հավանաբար RTF և E_1 և E_2 դետերմինանտներ, 2) ԴՆԹ-ի այդ մոլեկուլները ունեն տարբեր գենետիկական կառուցվածք:

ЛИТЕРАТУРА - ՉԲՇԿՆԵԼՆԵՐ

¹ Н.Н.Саркисян, Р.Г.Антонян, Ж.А.Кцоян, ДАН АрмССР, т.75, №1, с.45-48 (1982). ² Р.Г.Антонян, К.Г.Данагулян, Н.Н.Саркисян и др., ДАН АрмССР, т.77, №3, с.132-135 (1983). ³ Н.Н.Саркисян, Р.Г.Антонян, М.П.Светлова и др., Биохимия, т.50, вып. 4, с.673-679 (1985). ⁴ Ж.А.Кцоян, Л.М.Ханбекян, К.А.Аракслова и др., ДАН АрмССР, т.85, №3, с.125-128 (1987). ⁵ *Miscel c.a.*, Nuc1. Acids. Res., v.4, p.1465-1482 (1977). ⁶ P.Guetti, D.J.Zeblank, I.Falkow, J.Bactereol., v.116, p.1064-1066 (1973). ⁷ E.M.Santhenn, J.Mol.Biol., v.98, p.503-507 (1974). ⁸ K.Tuong, N.Panayotatos, Nature, v.289, p.466 (1981).

УДК 577.152.141'3'13

С. А. Агаджанян, А. Г. Аракелян, К. В. Даноян, Р. А. Казарян, Л. В. Карабашян

Иммобилизация глутаматдегидрогеназы митохондрий печени крысы на сефарозе. Изучение инактивации и диссоциации гексамера под влиянием мочевины.

(Представлено академиком НАН Армении К.Г.Карагезяном 15/У1995)

Каталитически активная молекула глутаматдегидрогеназы печени крысы, аналогично глутаматдегидрогеназе печени быка, представляет собой гексамер, сформированный из идентичных по аминокислотной последовательности субъединиц (1,2). Одним из наиболее информативных подходов, используемых для выяснения структурно-функциональных особенностей олигомерных ферментов, является подход, основанный на применении иммобилизованных форм этих ферментов.

Настоящая работа посвящена исследованию инактивации и диссоциации под влиянием мочевины иммобилизованного на сефарозе CL-4В производного глутаматдегидрогеназы печени крысы, имитирующего по каталитическим и регуляторным характеристикам растворимый фермент, с целью выяснения особенностей структурной организации этого фермента.

Глутаматдегидрогеназу выделяли из интактных митохондрий печени крысы, полученных методом Бронснана и соавторов (3). Интактные митохондрии в виде осадка, полученного из 20 г печеночной ткани, суспендировали в 20 мл буфера, содержащего 2 мМ Hepes, 220 мМ маннита, 70 мМ сахарозы и 10^{-4} М ЭДТА pH 7,2. Суспензию подвергали sonic-кации при частоте 22 кГц в течение 15 с в ледяной бане. Затем к суспензии добавляли два объема 2 мМ Hepes pH 7,2 и центрифугировали при 20000 g. Надосадочную фракцию, обладающую глутаматдегидрогеназной активностью, отделяли и подвергали очистке от балластных белков, с помощью последовательного фракционирования 30- и 45%-ным сульфатом аммония. Обладающий ферментативной активностью осадок растворяли в 3 мл 0,05 М калий-фосфатного буфера pH 7,2 и освобождали от остатка сульфата аммония на колонке сефадекса G-25 (2,5×30 см), уравновешенной тем же буфером. Дальнейшую очистку глутаматдегидрогеназы проводили, используя ионообменную хроматографию на ДЕАЕ сефадексе А-50. Полученный на предыдущей стадии препарат

фермента наносили на колонку (2,5×15 см) ДЕАЕ сефадекса А-50, уравновешенную 0,05 М КСI в 0,05 М калий-фосфатном буфере рН 7,2 и промывали 60 мл того же буфера. Элюцию глутаматдегидрогеназы проводили в линейном градиенте 0,05-0,4 М КСI (по 150 мл каждого раствора) в том же буфере. Скорость элюции 18 мл/ч. Фракции, обладающие глутаматдегидрогеназной активностью, объединяли. На данной стадии было получено 42 мг белка с концентрацией 5,6 мг/мл и удельной глутаматдегидрогеназной активностью 21 ед/мг белка.

Фракции, обладающие глутаматдегидрогеназной активностью, объединяли, диализовали против 100-кратного объема 0,05 М калий-фосфатного буфера и подвергали повторной хроматографии на колонке (2,5×15 см) ДЕАЕ сефадекса А-50, уравновешенной 0,1 М КСI в том же буфере. Элюцию глутаматдегидрогеназы проводили 200 мл линейного градиента 0,15-0,35 М КСI в 0,05 М калий-фосфатном буфере рН 7,2. Скорость элюции 12 мл/ч. В результате проведенных процедур было получено 12 мг электрофоретически гомогенного белка с удельной глутаматдегидрогеназной активностью 32 ед/мг на 1 мг белка. Гомогенность препарата определяли методом электрофореза в ПААГ, как это описано в работе (4). За единицу активности принято количество белка, катализирующее превращение 1 мкмоль NADH в 1 мин в реакции восстановительного аминирования 2-оксоглутарата. Активацию сефарозы BrCN и иммобилизацию на ней глутаматдегидрогеназы проводили по методу, описанному ранее (5). Концентрацию глутаматдегидрогеназы в растворе определяли спектрофотометрически, принимая коэффициент поглощения при 280 нм равным $0,97 \text{ (см} \cdot \text{мг/мин)}^{-1}$ (6). Содержание белка в иммобилизованных образцах определяли модифицированным методом Лоури (7). Активность растворимых и иммобилизованных препаратов глутаматдегидрогеназы определяли по скорости изменения экстинкции NADH при 340 нм в процессе реакции восстановительного аминирования 2-оксоглутарата, как это описано ранее (5). Число субъединиц гексамера глутаматдегидрогеназы, вовлекаемых в ковалентную связь с носителем, определяли исходя из содержания белка на сефарозе после ее обработки 8 М мочевиной, аналогично методу, описанному ранее (5).

В табл.1 приведены некоторые показатели свойств глутаматдегидрогеназы печени крысы, иммобилизованной на сефарозе, в зависимости от количества BrCN, используемого для активации геля.

Из приведенных данных видно, что при иммобилизации глутаматдегидрогеназы на сефарозе, активированной относительно малым количеством BrCN (5 мг на 1 мл геля), гексамер фермента ковалентно сшивается на сефарозе с помощью одной из субъединиц. При этом иммобилизация практически не отражается на каталитических свойствах фермента. Вместе с тем повышение количества BrCN, используемого при активации 1 мл геля, приводит к ковалентной сшивке гексамера посредством более чем одной единицы и сопровождается понижением V_{max} реакции. Одновременно с этим наблюдается понижение K_m 2-оксоглутарата. В то же время K_m NADH практически не зависит от числа субъединиц, ковалентно связанных с носителем.

Таблица 1

Свойства иммобилизованной на сефарозе CL-4В глутаматдегидрогеназы митохондрий печени крысы в зависимости от количества BrCN, используемого для активации 1 мл геля сефарозы

Кол-во BrCN, мг/мл геля	Кол-во иммобилизованного белка, мкг/мл геля	Кол-во субъединиц гексамера, ковалентно связанных с носителем	Активность иммобилизованного фермента, % от активности растворимого фермента	$V_{\max}$, мкмоль/мин.мг	$K_m \cdot 10^{-4}$	
					2-оксоглутарат	NADH
2,5	6	1	100	20(20)	1,8(1,7)	2,5(2,2)
5	14	1	100			
20	140	1,6	60	7	0,7	2,5
50	230	1,9	35			

Примечание. В скобках приведены данные для растворимого фермента.

Сравнение каталитических активностей растворимой и иммобилизованных глутаматдегидрогеназ при различных рН показало, что образец фермента, ковалентно связанный с носителем с помощью одной из субъединиц, по рН-зависимости не отличается от растворимой глутаматдегидрогеназы и проявляет максимальную активность в реакции восстановительного аминирования 2-оксоглутарата при рН 7,8. Вместе с тем при иммобилизации фермента на носителе посредством ковалентной сшивки более одной субъединицы наблюдается уширение области рН, в которой фермент проявляет максимальную каталитическую активность.

Согласно результатам изучения зависимостей активности иммобилизованных и растворимой глутаматдегидрогеназ от концентрации аллостерических эффекторов GTP и ADP, образец фермента, иммобилизованного на сефарозе посредством ковалентной сшивки одной из субъединиц, не отличается от растворимого фермента регуляцией со стороны этих эффекторов, в то время как при ковалентной фиксации фермента с помощью более чем одной субъединицы наблюдается понижение эффективности действия аллостерических регуляторов. Это, скорее всего, обусловлено многоточечной фиксацией фермента на носителе, приводящей к ограничению конформационных возможностей гексамера в целом. В частности, концентрация GTP, при которой происходит полунгибирование фермента, иммобилизованного посредством в среднем 1,9 субъединиц, достигает $3,5 \cdot 10^{-5}$ М по сравнению с $8 \cdot 10^{-6}$ М для растворимого фермента. При этом предельный уровень активности иммобилизованного фермента при насыщающих концентрациях GTP достигает 16% против 4% для растворимой глутаматдегидрогеназы. Предельный уровень активации ADP того же образца иммобилизованного фермента понижается до 115% против 210% для растворимого фермента.

Проведенные исследования позволяют заключить, что гексамер глутаматдегидрогеназы печени крысы, иммобилизованный на сефарозе CL-4B, активированной BrGN (5 мг на 1 мл набухшего геля), по каталитическим и регуляторным свойствам имитирует нативную глутаматдегидрогеназу и может служить удобной моделью для изучения структурно-функциональных особенностей этого фермента. В дальнейшем, используя этот образец иммобилизованной глутаматдегидрогеназы, было проведено исследование процессов инактивации фермента под действием мочевины при различных рН.

Согласно данным табл.2, иммобилизация, независимо от рН, приводит к повышению резистентности фермента к инактивирующему действию мочевины.

Анализ кинетических зависимостей инактивации иммобилизованной глутаматдегидрогеназы под действием мочевины при различных рН инкубационной среды, в частности под влиянием 4 М мочевины при рН 7,4 и 3 М мочевины при рН 5,6 и 8,9 соответственно, показали, что происходит практически полная инактивация фермента. При этом процессы инактивации, независимо от рН, подчиняются кинетике первого порядка. Константы скоростей первого порядка соответствующих процессов приведены в табл.3.

Таблица 2

Концентрации мочевины (М), при которых происходит полuinактивация растворимой и иммобилизованной глутаматдегидрогеназы при различных значениях pH инкубационной среды (время инкубации 30 мин, 25°C)

Образец фермента	pH		
	5,6	7,4	8,9
Растворимый	1,2	2,4	1,0
Иммобилизованный	2,2	3,6	2,0

Таблица 3

Константы скоростей (K_s , мин⁻¹) процессов инактивации иммобилизованной глутаматдегидрогеназы под влиянием мочевины при различных pH и в присутствии различных лигандов

pH	5,6		7,4		8,9	
Концентрация мочевины, М	3	2,5	4	3,5	3	2,5
При отсутствии лигандов	0,184	0,051	0,077	0,019	0,258	0,088
В присутствии:						
10 ⁻² М 2-оксоглутарата	0,184		0,077		0,258	
10 ⁻⁴ М NADH	0,263		0,411		0,433	
10 ⁻³ М 2-оксоглутарата	0,124	0,053	0,177		0,341	
+ 10 ⁻⁴ М NADH	0,051	0,007				

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при всех исследованных значениях pH инкубационной среды индуцируемые мочевиной процессы инактивации глутаматдегидрогеназы печени крысы являются одностадийными и не проходят через стадию образования конформационно устойчивых, каталитически активных олигомерных фрагментов гексамера, как это наблюдалось при инактивации иммобилизованной глутаматдегидрогеназы печени быка при pH 5,6 (8). Оценка количества белка, остающегося связанным с сефарозой после завершения процесса диссоциации, показала, что во всех исследованных случаях с носителя смывается более 80% белка. Эти данные свидетельствуют, что в результате обработки мочевиной иммобилизованный гексамер диссоциирует до субъединицы. Ранее (5,8,9), при аналогичных исследованиях иммобилизованной глутаматдегидрогеназы печени быка, было показано, что коферменты и субстраты влияют на характер диссоциации и инактивации иммобилизованного фермента. В частности, в присутствии NADH и 2-оксоглутарата под действием мочевины иммобилизованный гексамер диссоциирует до конформационно устойчивого каталитически активного иммобилизованного тримера.

Результаты исследований кинетических зависимостей иммобилизованной глутаматдегидрогеназы печени крысы под влиянием 4 М мочевины при pH 7,4 и 3 М мочевины при pH 5,6 и 8,9 в присутствии 10^{-2} М 2-оксоглутарата и 2×10^{-4} М NADH показали, что 2-оксоглутарат в концентрациях до 10^{-2} М практически не влияет на процесс инактивации иммобилизованной глутаматдегидрогеназы печени крысы. Напротив, NADH приводит к понижению устойчивости иммобилизованного фермента к инактивирующему действию мочевины, однако не влияет на характер процесса инактивации. Вместе с тем при одновременном присутствии в инкубационной среде NADH и 2-оксоглутарата при pH 5,6 кинетика инактивации иммобилизованного фермента имеет двустадийный характер. Скорее всего, первая, быстрая, стадия инактивации обусловлена диссоциацией гексамера до относительно устойчивого каталитически активного олигомерного фрагмента, который в дальнейшем, на второй стадии, инактивируется под влиянием присутствующей в инкубационной среде мочевины.

Зависимости инактивации иммобилизованного фермента, индуцируемой 2,5 М мочевины при pH 5,6 в присутствии NADH и 2-оксоглутарата, показали, что на первой стадии, которая практически завершается через 10-15 мин инкубации, ферментативная активность понижается примерно на 50%. Эта стадия характеризуется константой скорости реакции первого порядка $K_s = 0,053$. Вторая же, медленная, стадия протекает с крайне низкой скоростью ($K_s = 0,007$), и в последующие 30 мин фермент дополнительно теряет лишь 5-7% активности. Эти данные позволяют предположить, что при относительно низкой концентрации (2,5М) процесс инактивации фермента обусловлен в основном диссоциацией иммобилизованного гексамера до относительно устойчивого, при данной концентрации мочевины, иммобилизованного фрагмента.

Оценка количества белка, связанного с сефарозой, показала, что в результате инкубации иммобилизованного гексамера в данных условиях в течение 15, 30 и 45 мин на носителе остается 40-50% начального содержания белка. Принимая во внимание эти результаты и сопоставляя их с результатами аналогичных исследований иммобилизованных производных глутаматдегидрогеназы печени быка (5,8,9), следует заключить, что первая стадия инактивации иммобилизованного гексамера глутаматдегидрогеназы печени крысы обусловлена его диссоциацией до каталитически активного иммобилизованного тримера. На второй же, медленной, стадии, наблюдаемой в присутствии 3 М мочевины, происходит инактивация этого тримера, которая может быть следствием его изомеризации до неактивного конформера или диссоциации до конформационно неустойчивых субъединиц. Не исключена также возможность последовательной реализации обоих процессов, как это имеет место в случае глутаматдегидрогеназы печени быка (8,9).

Институт молекулярной биологии НАН Армении

Առնետի լյարդի միտոքոնդրիաններից անջատված գլուտամատդեհիդրոգենազի իմոբիլիզացումը սեֆառոզի վրա: Հեքսամերի ինակտիվացման և դիսոցման ուսումնասիրությունը միզանյութի առկայությամբ

Կատարվել է առնետի լյարդի միտոքոնդրիոմներից անջատված գլուտամատդեհիդրոգենազի (*L*-գլուտամատ-*NAD* (*P*) -օքսիդառեդուկտազ, Ֆ.Դ.1.4.1.3.) կոփալենտ միացում *BrCN*-ով տարբեր աստիճանի ակտիվացված *CL-4B* սեֆառոզի վրա: Ցույց է տրված, որ գլուտամատդեհիդրոգենազը, որը կապված է 5 մգ *BrCN*-ը 1 մլ ուռչած գելին, ակտիվացված սեֆառոզի հետ իր կատալիտիկ և կարգավորիչ հատկանիշներով նմանվում է բնական ֆերմենտին և կարող է ծառայել որպես մոդել գլուտամատդեհիդրոգենազի կառուցվածքա-ֆունկցիոնալ հատկանիշների ուսումնասիրման համար:

Ուսումնասիրված է կապված գլուտամատդեհիդրոգենազի ինակտիվացման պրոցեսը միզանյութի ազդեցությամբ միջավայրի տարբեր *pH*-ների (5,6, 7,7, 8,9) դեպքում և կոֆերմենտի (*NADH*) ու սուբստրատի (2-օքսոգլուտարատ) առկայությամբ: Ցույց է տրված, որ միզանյութի ազդեցությամբ պայմանավորված գլուտամատդեհիդրոգենազի ինակտիվացման պրոցեսը *NADH*-ի և 2-օքսոգլուտարատի միաժամանակյա առկայությամբ միջավայրի *pH* 5,6-ի դեպքում, իրենից ներկայացնում է երկաստիճան պրոցես, և ընթանում է հեքսամերի հարաբերականորեն կայուն կատալիտիկ ակտիվ ֆրագմենտի առաջացումով, որն, ամենայն հավանականությամբ, իրենից ներկայացնում է տրիմեր:

ЛИТЕРАТУРА-ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ K.S.King, G.Frieden, J.Biol.Chem., v.245, №17, p.4391-4396 (1970). ² E.L.Smith, B.M.Austen, K.M.Blumenthal e.a., The enzymes, ed: Boyer P.D.N.Y., Academic Press v.11, p.293-267 (1975). ³ John T.Bronsnan, Bozena Korec, Irving B.Pritt, The Journal of Biol. Chemistry., v.248, №11, p.4075-4082 (1973). ⁴ Л.В.Карабашян, Н.Г.Экнзян, В.М.Сафарян и др., Молекулярная биология, т.14, №4, с.773-778 (1980). ⁵ Л.В.Карабашян, С.А.Агаджанян, К.В.Даноян и др., Биологическая химия, т.14, №11, с.1495-1501 (1988). ⁶ J.A.Olson, C.B.Anfinsen, Biol.Chem., v.197, №1, p.67-69, 211-220 (1952). ⁷ T.O.Golovina, T.V.Cherednikova, A.T.Mevkh, Anal. Biochem., v.83, №2, p.778 (1977). ⁸ Л.В.Карабашян, С.А.Агаджанян, К.В.Даноян и др., Биологическая химия, т.14, №11, с.1502-1508 (1988). ⁹ Л.В.Карабашян, С.А.Агаджанян, К.В.Даноян и др., Биоорганическая химия, т.15, №1, с.32-39 (1989).

БИОХИМИЯ

УДК 547.963.32

Н. В. Худавердян, Д. В. Гарибян, И. С. Даниелян, Л. Г. Карапетян,
Г. М. Степанян, Б. Т. Гарибджанян

Влияние противоопухолевого антибиотика рубомицина
на ДНК опухолевой ткани

(Представлено академиком НАН Армении А.А.Галояном 11/ХП 1995)

Рубомицин широко применяется в химиотерапии злокачественных новообразований (^{1,2}). Однако являясь токсичным препаратом, он в то же время подавляет иммунный ответ и оказывает иммунодепрессивное действие на синтез антител (^{3,4}). Понятно желание устранить или ослабить указанное действие рубомицина, что и являлось одной из задач настоящего исследования. Многие исследователи связывают биологическую активность рубомицина с нарушением синтеза ДНК, однако работ, посвященных механизму действия этого препарата, сравнительно немного и выполнены они в основном *in vitro*.

Учитывая, что недавно была показана способность двуспиральной РНК (дс РНК) снижать токсичность цитостатиков при их совместном введении (^{5,6}), а также данные о безвредности и переносимости дс РНК в клинике, в данной работе мы изучили влияние как рубомицина, так и совместного введения половинной дозы рубомицина и дс РНК на рост, а также на первичную (метилирование) и вторичную структуру ДНК саркомы 45 (С-45). Повреждающее действие рубомицина на метилирование и вторичную структуру ДНК изучали в условиях *in vivo*. Метилирование ДНК — специфический механизм экспрессии генов и клеточной дифференцировки. Изменение уровня метилирования ДНК в онтогенезе, выраженные тканевые различия в содержании 5-метилцитозина (m^5c), резкое увеличение минорного основания при опухолеродной трансформации у животных (^{7,8}) указывают на участие метилирования в клеточной дифференцировке.

В работе использовали белых беспородных крыс-самцов, весом 100-120 г, интактных (без опухоли) и с перевивной саркомой 45. Животным перевивали С-45 в асептических условиях стандартными методами (⁹) путем подкожного введения взвеси измельченной опухолевой ткани в 0,85%-ном растворе хлорида натрия, содержащем 5×10^6 клеток. Скорость роста опухолей регистрировали путем ежедневного измерения их объе-

ма, а также взвешивания удаленных опухолей у забитых животных. Препараты вводили внутрибрюшинно в изотоническом растворе хлорида натрия начиная с пятого дня перевивки опухоли. При отдельном применении рубомицина вводили 8 раз. Суммарная доза составляла при этом 20 мг/кг. При совместном применении рубомицина и дс РНК рубомицин вводили через день (4 инъекции), суммарная доза 10 мг/кг, чередуя с дс РНК (4 инъекции), суммарная доза 400 мг/кг.

О противоопухолевой активности изучаемых препаратов судили по степени торможения роста опухоли. Противоопухолевая активность рубомицина 63,5%, рубомицина в сочетании с РНК 55,5%.

Через сутки после последней инъекции животных из подопытных и контрольных групп забивали декапитацией. Извлеченные после забоя животных ткани (печень у контрольных животных, опухоль у животных с С-45) замораживали, выделяя ДНК с последующей хлороформной обработкой и гидролизовали до оснований⁽¹⁰⁾. Основания разделяли с помощью двукратной одномерной восходящей хроматографии на бумаге. Разделенные основания определяли спектрофотометрически⁽¹⁰⁾.

Плавление ДНК проводили в водном растворе, содержащем 0,02 M NaCl, pH 7,3 по известной методике⁽¹¹⁾. Кривые плавления получали на спектрофотометре Unicam SP8-100 при непрерывном режиме нагрева растворов ДНК со скоростью 0,3 град/мин. Точность определения температур 0,05°C, оптической плотности $\pm 5 \times 10^{-4}$ единиц оптической плотности. Кривые плавления каждого образца записывали 10 раз. Из каждой кривой вычисляли характеристики ДНК, которые затем усредняли.

В таблице приведены данные по содержанию известных оснований (Г,Ц,А,Т) и m^5c в ДНК здоровой печени и опухоли С-45 до и после внутрибрюшного введения рубомицина отдельно и при применении с дс РНК. Содержание основных пар оснований в изученных ДНК практически одинаково. Выделенные ДНК принадлежат к АТ-типу, количество (Г+Ц+ m^5c) в них составляет 43,7-45,5%. Нуклеотидный состав ДНК соответствует правилам Чаргаффа. Четко выделяется разница в уровне метилирования между образцами ДНК, полученными из печени здоровых животных, и опухоли. Кроме того, обнаруживается разница по содержанию m^5c в ДНК из опухоли после введения изучаемых препаратов. Наши данные о разном содержании m^5c в нормальных и опухолевых клетках согласуются с данными других авторов о разной акцепторной способности ДНК при метилировании *in vivo* в этих клетках и повышении ДНК-метиلاзной активности в опухолевых клетках⁽¹²⁾. После нескольких инъекций рубомицина и рубомицина с РНК наблюдается резкое подавление уровня метилирования в ДНК опухолевой ткани. Это можно объяснить следующим образом: метилирование является исключительным и важным этапом синтеза ДНК, а рубомицин вызывает глубокое торможение синтеза ДНК во многих органах опухоленосящих животных⁽¹³⁾. Кроме того, за счет внедрения (интеркаляции) между основаниями двойной спирали ДНК рубомицин блокирует

Нуклеотидный состав ДНК и некоторые параметры плавления ДНК

Источник ДНК	Содержание оснований в ДНК, мол%						ΔT , град.	T_m , град.
	Г	Ц	А	$m^5c \pm \sigma$	Т	$Г+Ц+ m^5c$		
Печень (норма)	22,4	21,9	28,1	$1,02 \pm 0,02$	28,1	45,3	$6,5 \pm 0,1$	$71,9 \pm 0,2$
Опухоль	22,3	21,7	28,3	$1,57 \pm 0,03$	28,8	45,5	$7,4 \pm 0,1$	$70,8 \pm 0,1$
Опухоль + рубомицин	22,0	21,6	28,5	$0,50 \pm 0,02$	28,5	44,1	$6,7 \pm 0,1'$	$74,3 \pm 0,2$
Опухоль + рубомицин + РНК	22,1	21,4	28,0	$0,25 \pm 0,01$	28,1	43,7	$13,4 \pm 0,2$	$69,2 \pm 0,2$

Примечание. В каждой группе 15 животных. Число определений — 8. Приведенные изменения статистически достоверны ($P < 0,005$) по сравнению с контролем (печень, опухоль).

Г — гуанин, Ц — цитозин, А — аденин, Т — тимин.

ДНК-матрицу, приводя к нарушению матричной активности, а также препятствует нормальному функционированию ферментов, в частности ДНК-метилаз. Под влиянием препарата структура хроматина тоже может измениться таким образом, что не все потенциально метилируемые участки ДНК становятся доступными для ДНК-метилаз. Снижение метилирования ДНК в опухолевых клетках под действием препаратов обусловлено и выстриганием остатков m^5 ферментами репарации, так как метильные группы могут быть местами узнавания для соответствующих специфических эндонуклеаз.

Результаты опытов по воздействию рубомицина с РНК на уровень метилирования ДНК опухоли показали, что уровень метилирования подавлен почти в 2,5 раза больше, чем при введении только рубомицина, что коррелирует с противоопухолевым эффектом изучаемых препаратов. Комбинация рубомицина с РНК даже при использовании половинных доз антибиотика позволяет получить выраженное (почти такое же) противоопухолевое действие антибиотика, что указывает на значимый терапевтический эффект, поскольку препараты дс РНК стимулируют синтез интерферона, обладающего известной противоопухолевой активностью, и усиливают иммунный ответ организма (14). По всей вероятности, при использовании в комбинации с РНК антибиотика наблюдаются эффекты потенцирования противоопухолевого действия цитостатика без увеличения его токсичности. Не исключено, что ингибирование метилирования ДНК рубомицином с РНК в какой-то мере может быть ответственным за начало репарационных процессов в ДНК опухоли, поскольку деметилирование ДНК приводит, как правило, к экспрессии генной активности. Найденные корреляции не исключают возможности других механизмов защитного действия дс РНК.

Наблюдаемые изменения в уровне метилирования ДНК опухолевых клеток могут быть обусловлены повреждающим действием изучаемых препаратов (рубомицина и РНК) на вторичную структуру ДНК. Для характеристики состояния вторичной структуры ДНК С-45 под действием рубомицина были определены параметры плавления ДНК. В таблице приведены значения температуры (T_m) и интервала (ΔT) плавления исследуемых препаратов ДНК. Интеркаляционное связывание рубомицина с ДНК приводит к увеличению термостабильности ДНК (к увеличению T_m). Вполне возможно, что, проникая в клетку, внедряясь между парами оснований, рубомицин приводит к добавочной стабилизации ДНК, вследствие чего нарушаются многие процессы в клетке, связанные с репликацией ДНК (15). Как и следовало ожидать, под воздействием рубомицина увеличивается T_m ДНК С-45, при этом ΔT изменяется не сильно. Следовательно, под действием только рубомицина стабилизируется структура ДНК опухоли. Под действием рубомицина в сочетании с РНК параметры плавления ДНК резко отличаются от соответствующих параметров для ДНК опухоли под влияниями только рубомицина; уменьшается T_m и увеличивается ΔT (таблица).

Изменения в параметрах плавления указывают на наличие во вторичной структуре ДНК опухоли таких изменений, которые отсутствуют под действием одного рубомицина. Следовательно, не углубляясь в причину наблюдаемых различий между вторичной структурой ДНК опухоли под действием рубомицина и рубомицина в сочетании с РНК, можно сказать, что во втором случае в ДНК опухоли происходят более серьезные структурные изменения, причем рубомицин при совместном применении с РНК, по-видимому, избирательно связывается с определенными участками ДНК, уменьшая стабильность этих участков и облегчая некоторые биологические процессы в клетке, связанные с репликацией ДНК.

Таким образом, на основании представленных данных по плавлению, уровню метилирования и подавлению роста опухоли можно предположить, что одним из способов предупреждения развития нежелательных побочных явлений, развивающихся в процессе химиотерапии опухолей, может быть применение цитостатика с дс РНК.

Ереванский государственный университет
Институт тонкой органической химии НАН Армении

Ն. Վ. ԽՈՒԴԱՎԵՐԴՅԱՆ, Ջ. Վ. ՂԱՐԻՔՅԱՆ, Ի. Ս. ԴԱՆԻԵԼՅԱՆ, Լ. Գ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ,
Հ. Մ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ, Բ. Տ. ՂԱՐԻՔՉԱՆՅԱՆ

Հակաուռուցքային հակաբիոտիկ ուլտրամիցինի ազդեցությունը ուռուցքային հյուսվածքի ԴՆԹ-ի վրա

Ուռուցքային ԴՆԹ-ի վրա *in vivo* պայմաններում ուլտրամիցինի և երկու շղթա ունեցող դրոժսյին ՌՆԹ-ի ու ուլտրամիցինի ազդեցության ուսումնասիրության ժամանակ հստակ ձևով առանձնանում է ուռուցքի և առողջ կենդանիների լյարդի ԴՆԹ-ների մեթիլացման աստիճանի տարբերությունը՝ նշված պատրաստուկներով կենդանիներին բուժելուց առաջ և հետո:

Ծույց է տրված, որ ուլտրամիցինի և երկու շղթա ունեցող ՌՆԹ-ի համատեղ օգտագործման դեպքում ուռուցքի ԴՆԹ-ի մեթիլացման մակարդակը 2,5 անգամ ավելի է ճնշվում, քան միայն ուլտրամիցինի օգտագործման ժամանակ: Դրա հետ միասին ուլտրամիցինի հակաուռուցքային ակտիվությունը կազմում է 63,5%, իսկ երկու շղթա ունեցող ՌՆԹ-ի հետ համագործակցելու ժամանակ, որտեղ օգտագործվել է ուլտրամիցինի 1/2 դոզան, այն կազմում է 55,5%:

Հակաուռուցքային ակտիվության և 5-մեթիլցիտոզինի պարունակության տվյալները ամբողջությամբ համաձայնեցվում են սպեկտրաֆոտոմետրիկ տվյալների հետ: Ուլտրամիցինի և երկու շղթա ունեցող ՌՆԹ-ի համագործակցված ազդեցության պայմաններում T_m պսիլասիլու հետ ավելանում է ΔT , որը նույնպես ցույց է տալիս այդ համագործակցության գերադասելիությունը:

Նկատվում է ուլտրամիցինի հակաուռուցքային ազդեցության ուժեղացում, առանց նրա թունականության բարձրացման:

- ¹ Н.И.Переводчикова, в кн.: Клиническая химиотерапия опухолевых заболеваний, М., Медицина, 1976.
- ² С.М.Навашин, И.П.Фомина, Рациональная антибиотикотерапия, 4-ое изд., М., Медицина, 1982.
- ³ И.В.Малкова, Антибиотики, №2, с.140-144, 1980.
- ⁴ Г.М.Сухин, Е.В.Печерских, Л.Л.Стоцкая и др., Химиотерапия опухолей в СССР, т.58, с.113-119 (1992).
- ⁵ А.М.Земсков, Е.Б.Войтекунас, Вопросы онкологии, т.32, №6, с.98-101 (1986).
- ⁶ Г.Я.Федмане, Б.К.Килена, Б.А.Попена и др., в кн.: Изучение индуктора интерферона двуспиральной РНК в различных биологических системах, Рига, с.141-148, 1989.
- ⁷ B.F.Vanyushin, A.L.Masin, V.K.Vasiliev c.a., Biochim. et Biophys. acta, v.299, p.397 (1973).
- ⁸ Ю.С.Бабаян, Д.В.Гарибян, Биофизика т.35, вып.4, с.592-596 (1990).
- ⁹ В.А.Чернов, в кн.: Методы экспериментальной химиотерапии, М., Медицина, с.357-403, 1971.
- ¹⁰ В.К.Васильев, Д.В.Гарибян, Р.А.Захарян и др., ДАН СССР, т.205, №3, с.721-723 (1972).
- ¹¹ Ю.С.Бабаян, П.О.Вардеванян, Д.В.Гарибян и др., Биофизика, т.24, №2, с.313-314 (1984).
- ¹² Н.Н.Бурцева, Н.П.Демидкина, Ю.М.Азизов и др., Биохимия, т.43, с.2082-2091 (1978).
- ¹³ Л.Ю.Дедерер, О.М.Рогова, Химиотерапия опухолей в СССР, №30, с.73-77 (1987).
- ¹⁴ В.Д.Соловьев, Т.Бектемиров, в кн.: Интерферон в теории и практике медицины, М., с.321-341, 1981.
- ¹⁵ M.J.Waring, Annu. Rev. Biochem., v.50, p.159-192 (1981).

БИОХИМИЯ

УДК 577.15.024

Академик НАН Армении А. А. Галоян, Т. Д. Ли, С. С. Алексанян,
Б. Я. Гурвиц, С. Г. Чаилян, Ц. А. Егоров, К. А. Маркосян

**Новые полипептиды гипоталамуса:
выделение и первичная структура**

(Представлено 26/X 1996)

Открытие и расшифровка первичной структуры каждого нового соединения мозга является этапом фундаментальных исследований роли этих веществ в сложных регуляторных механизмах мозга. Выделение же пептидов из нейросекреторных гранул, вырабатываемых в магноцеллюлярных ядрах гипоталамуса, с большой вероятностью свидетельствует о гормональной природе этих соединений. Нами выделен ряд новых полипептидов не только из состава пептидно-белковой фракции гипоталамуса, но и из нейросекреторных гранул нейрогипофиза. После выделения вазопрессина и окситоцина в 50-х гг., а также коронароактивных нейрогормонов (К, С и G) из нейросекреторных гранул гипоталамуса и нейрогипофиза в 70-х гг. нам удалось выделить новые полипептиды и полностью расшифровать их первичную структуру.

Новые полипептиды гипоталамуса были изолированы из белково-пептидной фракции, полученной по ранее разработанной методике (1), а также из нейросекреторных гранул нейрогипофиза крупного рогатого скота (2).

Выделенные нейропептиды дочистили до получения индивидуальных форм с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии в градиенте ацетонитрила (0-40%) в течение 40-50 мин на реверз фазовых колонках (C_8 , C_{18}). Первичную структуру полипептидов определяли методом Эдмановской деградации и масс-спектрального анализа.

Из белково-пептидной фракции гипоталамуса с помощью ВЭЖХ в градиенте ацетонитрила изолирован ряд полипептидов и расшифрована их первичная структура масс-спектральным анализом и микросеквенированием.

В табл. 1, показана первичная структура выделенных полипептидов. Как видно из таблицы, они являются фрагментами альфа- и бета-цепи гемоглобина быка. Исследование первичной структуры некоторых этих полипептидов было проведено А.Галояном в лаборатории Т.Ли (США).

**Первичная структура новых полипептидов, фрагментов
альфа- и бета-цепи гемоглобина, выделенных из гипоталамуса**

Пептиды альфа-цепи гемоглобина

Val-Leu-Ser-Ala-Ala-Asp-Lys-Gly-Asn-Val-Lys-Ala-Ala-Trp-Gly- -Lys-Val-Gly-Gly-His-Ala	1-21
Ala-Ser-His-Leu-Pro-Ser-Ala-Phe-Thr-Pro-Ala-Val-His-Ala-Ser	110-124
Ser-His-Leu-Pro-Ser-Ala-Phe-Thr-Pro-Ala-Val	111-121
His-Leu-Pro-Ser-Ala-Phe-Thr-Pro-Ala-Val	112-121
His-Leu-Pro-Ser-Ala-Phe-Thr-Pro-Ala-Val-His-Ala-Ser-Leu-Asp	112-126

Пептиды бета-цепи гемоглобина

Phe-Gln-Lys-Val-Val-Ala-Gly-Val-Ala-Asn-Ala-Leu-Ala-His-Arg- -Tyr-His	129-145
Val-Val-Ala-Gly-Val-Ala-Asn-Ala-Leu-Ala-His-Arg-Tyr-His	133-145

В литературе нам не удалось обнаружить данных о наличии подобных полипептидов ни в крови, ни в мозге. Ранее (3-5) обнаруженные нами в гипоталамусе крупного рогатого скота кальмодулин связывающие пептиды — без участия ионов кальция — оказались фрагментами бета-цепи гемоглобина, активаторами Ca^{2+} -кальмодулин зависимых ферментов (путем активирования кальмодулина). В 1990 г. была расшифрована их структура. Они оказались 31-41 фрагментами β -цепи гемоглобина быка (6).

Огромный общебиологический интерес представляют результаты изучения полипептидного состава нейросекреторных гранул гипоталамо-нейрогипофизарной системы, так как они содержат не только вазопрессин и окситоцин, но и кардиоактивные нейрогормоны и еще неидентифицированные начала.

А.А.Галояном, К.Маркосян и Б.Гурвиц в индивидуальном виде получен ряд новых полипептидов и расшифрована их первичная структура (табл.2). Они оказались С-концевыми фрагментами нейрофизина II, которые образуются внутри нейросекреторных гранул частичным протеолизом, под влиянием протеолитических ферментов. В этих гранулах идентифицированы (микросеквенированием) также вазопрессин и окситоцин. Последние являются маркерами нейросекреторных гранул, вырабатываемых магноцеллюлярными ядрами гипоталамуса. В нейросекреторных гранулах обнаруживается также тимозин β_1 (убиквитин).

Таким образом, в этих гранулах имеются как нейрофизины (предшественники вазопрессина и окситоцина), вазопрессин, окситоцин, так и ряд других фрагментов нейрофизина II, а также кардиоактивные белок-гормональные комплексы. Можно полагать, что в нейросекреторных гранулах имеются каскадные системы протеолитических ферментов, ответственных за образование множественных фрагментов кардиоактивных белков и нейрофизинов по ходу транспорта гранул через аксоны.

Первичная структура полипептидов, изолированных
из нейросекреторных гранул нейрогипофиза быка

1. Ala-Gly-Ala-Pro-Glu-Pro-Ala-Glu-Pro-Ala-Gln-Pro-Gly-Val-Tyr
2. Ala-Gly-Ala-Pro-Glu-Pro-Ala-Glu-Pro-Ala-Gln-Pro-Gly-Val
3. Ala-Gly-Ala-Pro-Glu-Pro-Ala-Glu-Pro-Ala-Gln-Pro-Gly
4. Ala-Pro-Glu-Pro-Ala-Glu-Pro-Ala-Gln-Pro
5. H-Cys-Tyr-Phe-Gln-Asn-Cys-Pro-Lys-Gly-NH₂
6. H-Cys-Tyr-Ile-Gln-Asn-Cys-Pro-Leu-Gly-NH₂

По предварительным данным указанные новые полипептиды принимают участие в регуляции иммунного ответа, а также в образовании интерлейкинов мозга.

Институт биохимии НАН Армении

Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս Ա. Ա. ԳԱԼՈՅԱՆ, Տ. Դ. ԼԻ, Ս. Ս. ԱԼԵԿՍԱՆՅԱՆ,

Բ. Յ. ԳՈՒՐՎԻՅ, Ս. Գ. ՉԱՅԻԼՅԱՆ, Յ. Ա. ԵԳՈՐՈՎ, Կ. Ա. ՄԱՐԿՈՍՅԱՆ

Հիպոթալամուսի նոր պոլիպեպտիդները՝ անջատումը և առաջնային կառուցվածքը

Հիպոթալամուսի պեպտիդ-սպիտակուցային ֆրակցիայից, ինչպես նաև Հիպոթալամուսի և ներոհիպոֆիզի ներոսեկրետոր գրանուլներից անջատված է մի շարք նոր պոլիպեպտիդներ և պարզված նրանց առաջնային կառուցվածքները:

Ներոսեկրետոր գրանուլներում հայտնաբերված են 4 պոլիպեպտիդներ-ներոֆիզին II-ի C-ծայրային ֆրանգմենտները:

Հայտնաբերված են նաև հեմոգլոբինի α - և β -շղթաների 7 ֆրագմենտներ, որոնք չեն հայտնաբերված արյան մեջ, ինչպես նաև ուղեղում կամ այլ օրգաններում: Ուսումնասիրվում է վերջիններիս կենսաբանական ակտիվությունը և առաջացման մեխանիզմները:

ЛИТЕРАТУРА-ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ А.А.Галоян, Авторское свидетельство СССР №403214, 1968; Патенты: Швеции №721540-0 (1976) и Канады №97 3474, 1975. ² А.А.Галоян, Ф.М.Саакян, ДАН СССР, т.201, №2, с.483-485 (1970). ³ А.А.Галоян, Н.А.Бархударян, К.Валко и др., Нейрохимия, т.7, №2, с.120-131 (1988). ⁴ А.А.Галоян, ДАН АрмССР, т.92, №4, с.173-176 (1991). ⁵ Т.Ф.Закарян, Н.А.Бархударян, Л.А.Шувалова и др., Нейрохимия, т.9, №4, с.444-449 (1990).

УДК 611.13/16 612.824

Н.Н.Мелконян, И.Г.Саркисян, К.В.Казарян, А.М.Чилингарян

Реакция капилляров мозга крыс на разрушение голубого пятна

(Представлено академиком НАН Армении В.В.Фанарджяном 20/II 1996)

Моноаминэргические системы мозга стали объектом пристального внимания ученых всего мира, так как обнаружены практически у всех видов животных. Не составляет исключения и человек. Такая обширная распространенность уже говорит о чрезвычайной роли биогенных аминов в жизнедеятельности организмов. Выявлена медиаторная ⁽¹⁾ и пейрорегуляторная ⁽²⁾ функции биогенных аминов в ЦНС.

Стимуляция голубого пятна (ГП) приводит к увеличению проницаемости гематоэнцефалического барьера и уменьшению кровотока мозга. Согласно данным ряда авторов ⁽³⁾ норадренэргические терминали прилегают к стенкам капилляров и даже внедряются в его базальный слой. Были обнаружены адренэргические волокна, располагающиеся вдоль капилляров мезенцефалического ядра тройничного нерва ⁽⁴⁾.

В перидитах и клетках эндотелия капилляров и более крупных сосудов имеются сократительные белки. Это дает возможность полагать, что адренэргическая иннервация может осуществить непосредственную вазомоторную функцию и таким образом регулировать кровоснабжение и проницаемость сосудистой системы.

В этой связи большой интерес представляло исследование влияния ГП в норме и патологии, а также после одно- и двустороннего его разрушения на капилляры мозга по кальций-аденозинтрифосфатному методу ⁽⁵⁾. Эксперименты проведены на 30 белых крысах массой 220-250 г. Разрушение ГП проводили под нембуталовым наркозом из расчета 50 мг/кг веса, внутривентрикулярно. Координаты подбирали по атласу Фифковой-Маршал. Для разрушения ГП подавали постоянный ток (1,5 мА) с реле времени ТРВ-1 длительностью 20 с ⁽⁶⁾. После операции крысу декалтировали, извлекли мозг и фиксировали в 5%-ном формалине 24 ч. По истечении этого времени готовили замороженные срезы толщиной 150 мкм. После промывки срезы помещали на 2 ч в инкубационную смесь, приготовленную по кальций-аденозинтрифосфатному методу. После инкубации срезы заключали в глицерин-желатину и измеряли диаметры капилляров микроскопом "Биолам", ок15, об40.

Морфометрический анализ реакции капилляров мозга крысы показал, что одностороннее разрушение ГП приводит к незначительному сужению диаметра капилляров. Если в норме у контрольной группы диаметр капилляров составляет в среднем $6 \pm 0,2$ мкм, то после одностороннего разрушения он уменьшается и в среднем равен 5,4 мкм в наблюдаемых 100 полях зрения, или на 10% уже, чем в норме.

Капилляры после двустороннего разрушения ГП резко сужаются — их диаметр доходит до 3,2 мкм, что составляет 46% от нормы.

Исходя из вышеизложенного можно заключить, что одно- и двустороннее разрушение ГП оказывает значительное, но не однозначное влияние на капиллярное звено микроциркуляторного русла мозга крыс. Наши данные согласуются с данными ряда авторов (⁷), полученными с помощью электронномикроскопического анализа, и подтверждают, что ГП участвует в иннервации микрососудов мозга, регулируя барьерную и транспортную функцию капиллярной стенки.

Институт физиологии им. Л.А.Орбели НАН Армении

Ն. Ն. ՄԵԼԻՔՆՅԱՆ, Ի. Գ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Կ. Վ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Հ. Մ. ԶԻԼԻՆԳԱՐՅԱՆ

Առնետների ուղեղի մազանոթների ռեակցիան երկնագույն կետի քայքայման դեպքում

Առնետների մոտ հետազոտվել են ուղեղի մազանոթները՝ կալցիում-ադենոզիներգո-ֆատային մեթոդով երկնագույն կետը միակողմ կամ երկկողմ քայքայելուց հետո:

Հետազոտությունների արդյունքները ցույց են տվել, որ երկնագույն կետի միակողմ քայքայման դեպքում մազանոթները նեղանում են 10%, երկկողմանին՝ 46%:

Այսպիսով մեր տվյալները հաստատում են, որ երկնագույն կետը մասնակցում է ուղեղի մազանոթների ինտեգրացիայում, կարգավորում է մազանոթների պատերի արգելքային և փոխադրական ֆունկցիաները:

ЛИТЕРАТУРА-ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ V.Havlicek, A.Sklenovsky, *Activ.nerv. super.*, v.13, p.51-57 (1971). ² Т.И.Белова, Е.А.Голубева, К.М.Судаков, М., Наука, с.120, 1980. ³ Ch.Owman, L.Edvinson, Y.E.Nacardebo, *Acte phisiol. scand. suppl.*, v.452, p.69-71 (1977). ⁴ А.М.Чилингарян, Журн. экспериментальной и клинической медицины, №5, с.19-28 (1977). ⁵ И.Г.Саркисян, Биол.журн.Армении, т.38, №12, с.1035-1039 (1985). ⁶ Т.Е.Mansour, *Biogenic Amines as Phisiological Regulators*, New Jersey, p.119-138, 1970. ⁷ V.S.Euler, *Sciense*, v.174, p.202-206 (1971).

УДК 612.12:616.12|479.25

Г. М. Аветисян

Диагностическое значение пульса в медицине Армении прошлых веков

(Представлено академиком НАН Армении С.С.Оганесяном 6/ХШ 1995)

Интенсивное развитие науки и техники, особенно электронной, оснастило современную медицину точнейшими методами исследования, позволяющими оценивать функции сердечно-сосудистой и других систем организма. Наряду с этим совершенно не потеряло значения использование такого оперативного и информативного метода физиологического контроля за состоянием человека, как определение пульса, который в медицине древних цивилизаций Запада и Востока, будучи универсальным, относился к главным диагностическим методам, а по мнению армян, сочетавших его с другими клиническими методами (1-4), "говорил о больном все — как плохое, так и хорошее".

По рукописным памятникам Матенадарана, учение о пульсе, как и вся армянская медицина древних и средних веков, основывалось на положении о четырех стихиях (элементах): все в природе является смешением воздуха, воды, земли, огня, их свойств — сухости, влажности, холода, теплоты, которые придают миру свойства, необходимые для существования. Мир — единство четырех элементов, в природе смешанных и приспособляющихся друг к другу для существования живого. Недостаток либо избыток этих элементов, как и соответствующих им влаг — крови, слизи, черной и желтой желчи ведет к заболеванию.

Исходя из этой общефилософской основы самым первоочередным в диагностике и лечении больного являлось определение его "природы" по характеристике пульса. Увеличение крови характеризовалось сильным, высоким, полным, замедленным пульсом; слизи — мягким, низким, слабым, замедленным; желтой желчи — быстрым, острым; черной желчи — натянутым (напряженным), резким.

Известно, что термины отражают логику данной области науки, ее развития. Соответственно в языковых средствах естественнонаучных древних и средневековых армянских рукописей отразилась и система понятий армянских медиков о пульсе: его значение, принципы определения, особенности пульса в зависимости от возраста, пола, "природы"

большого, сезонная специфика, важнейшие параметры, прогностическое значение, характеристика пульса при различных патологиях с учетом стадии заболевания, острого либо хронического течения и др.

Поскольку в терминах всегда определенную группу составляют заимствования, связанные с культурным или иным влиянием других народов, они освещают и соответствующую ситуацию в данной области науки. В Армении хорошо знали учение о пульсе как Запада, так и Востока. Выдающиеся врачи (Мхитар Гераци, Амирдовлат Амасиаци и др.), давая характеристику пульса, касаясь какого-либо аспекта этого вопроса, приводят как свои данные, так и мнения известных авторитетов (Гален, Ибн Масуа, Сапит Кура и др.), с использованием соответствующих терминов иноязычного происхождения, обычно с параллельным армянским эквивалентом. Так, часто встречаются, например, термины *նախաճիւղի ւարժի* — учащенный, острый пульс, *նախաճիւղի ցաւաճիւղի* — медленный пульс, *նախաճիւղի* — здоровый пульс. Поскольку с X в. греческие заимствования все чаще вытеснялись арабскими и персидскими, а труды Гераци, Амасиаци, Григориса создавались в период выраженного влияния Востока, в их рукописях эта терминология используется очень широко.

Применение в качестве терминов фразеологизмов, наиболее характерное для Востока, оказалось специфичным и для армянской медицины. В тибетском трактате "Чжуд-ши" сезонная специфика пульса весны характеризуется "как голос жаворонка, он тонок и напряжен", пульс лета — "как голос кукушки", пульс болезней крови подобен "узелкам на туго скрученной веревке".

В армянской медицине качество пульса сравнивается с волной, ползанием муравьев, твердым движением пилы и др.

Основными характеристиками пульса являлись ритмичность, напряжение, скорость, наполнение, высота. Наиболее часто употреблялись такие определения его, как постоянный-изменчивый, медленный-частый, слабый-сильный, острый-широкий, твердый-мягкий (эластичный), беспорядочный, бурный и др.

Тщательно учитывалась специфика пульса (возрастная, половая, биоритмологическая и др.), не являющаяся патологическим отклонением в определенных условиях: ускоренный пульс у детей; большой, сильный пульс у молодых; слабый, более уреженный у старых; относительно частый у лиц женского пола. Аналогичен подход в традиционной восточной и современной медицине (5,6). Но особенно интересно здесь понимание древними врачами биоритмологической специфики пульса — циркадианной, цирканнуальной.

Биоритмы — значимый механизм приспособления к внешней среде — являются индикатором функционального состояния организма. На временную структуру организма человека отрицательно воздействуют и резкое увеличение стрессовых нагрузок в результате производственной деятельности, непривычно продолжительное напряжение, бодрствование и др.

Внепный десинхроноз, вызванный рассогласованием ритмов организма и датчиков времени, приводит к соответствующему внутреннему рассогласованию по фазе циркадианных ритмов организма. Проявлением, результатом такой внутренней десинхронизации являются ухудшение самочувствия, невротические расстройства, а главное — изменения пульса (табл. 1). При кратковременном воздействии причины эти явления обратимы, но длительное воздействие ведет к тяжелой затяжной болезни — асинхронозу. Это было тонко подмечено и древними армянскими врачами, объединившими такие состояния в группу так называемых однодневных лихорадок с возможным переходом в тяжелые "изнурительные" лихорадки.

Таблица 1

Изменения пульса при однодневных лихорадках

Вид лихорадки	Характеристика пульса
Однодневная от жары (жаркое время года, перегрев, "самум")	Слабый, частый
Однодневная от холода	Малый, постоянный
Однодневная от "печали, забот, умственной работы"	Тонкий, малый
Однодневная от бессонницы	Малый, замедленный
Однодневная от чрезмерного утомления	Слабый, тонкий
Однодневная от длительного недоедания, голода, несвоевременного приема пищи	Слабый, тонкий, почти не двигается; ощущается его твердость

Циркадианной спецификой пульса объяснялось урежение, ослабление его ночью, при восстановлении физиологических процессов. Цирканнуальные особенности должны были учитываться при определении пульса: зимой пульс спокойнее, летом — более учащенный и это не патологическое отклонение, а сезонная специфика. Известное и полностью используемое и ныне учение о пульсе Китая, Тибета одним из основных требований к пульсодиагносту считает отличное знание биоритмологических особенностей пульса.

Характеристика пульса была основной в установлении острого либо затяжного течения заболевания (при первом — большой, частый пульс постоянного биения, при втором — малый, медленный, ровный, постоянный), а также его стадии (в начальной стадии очень изменчивый, затем обостряющийся, учащающийся и т.д.).

На основании специфики пульса строилось важное учение армянской медицины о прогнозе — "совершенстве врачебного искусства": плохое прогностическое значение имело беспорядочное биение пульса, урежение и падение его наполнения; нормализация пульса предвещала выздоровление больного. Весьма образна характеристика пульса трагического прогноза: пульс как шевеление муравьев (слабый, тонкий) или

как бурный поток (беспорядочный). Слабость пульса трактовалась как свидетельство потери "силы тела", малый пульс — слабых, истощенных сил больного.

В тибетском трактате "Чжуд-ши" дается аналогичная характеристика пульса, предвещающего кончину: "Пульс... как лоскуток на ветру, как кончик ястребиного хвоста, как капли, стекающие в воду, как задыхающаяся рыба..."; если у истощенного болезнью больного вдруг пульс "станет широким, бурным" (5).

По теории древнеармянской медицины пульс отражает работу и состояние сердца, и, как логический вывод, он, его показатели являются основой прогноза.

Клиническая картина каждого заболевания в древнеармянских и средневековых рукописях включала описание характерного для патологии пульса (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика пульса при некоторых патологических состояниях

Патология	Параметры пульса	Примечание
Заболевания органов дыхания: бронхиальная астма ОРЗ, воспаление легких	Слабый, замедленный Тонкий, слабый, полный, напряженный, неровный, частый	Характеристика пульса и сопутствующих признаков аналогична таковым античной медицины и традиционной медицины Востока
Грыжа пищевода	Изменчивый, неровный	
Заболевания сердечно-сосудистой системы: повышение АД слипчивый перикардит, спазмы острый инфаркт миокарда острая недостаточность сердца	Полный, сильный Острый, чередование малого и острого пульса Беспорядочный, частый Слабый, тонкий, плохо прощупывается	
Инфекционные заболевания: 4-дневная малярия дизентерия скрытое лихорадочное состояние	Изменчивый, неровный Тонкий, слабый Пульс увеличен	

Многообразна характеристика пульса при поражениях сердца как функционального, так и органического характера. Уրիշմրմրմրմ — реакция сердца на психоэмоциональное состояние, обусловленное забо-

тами, горестями, переживанием, сопровождается пульсом малым, изменчивым. Тонко подмечено характерное для склеротически пораженных сосудов временное исчезновение пульса под пальцами врача. Такой пульс весьма образно сравнивается с волной, характеризуется как мягкий, свободный. Причем это явление особенно специфично при большем поражении мозговых сосудов.

Используемый в старинных армянских рукописях термин *brshq*, по сравнению с латинским *pulsus* (удар, толчок), перешедшим и в другие языки, включает более широкие понятия, причем морфологического характера: пути крови; сосуд тела, нерв, жила, сигарообразный сосуд, несущий кровь к сердцу; вена или артерия; *qshrcbrshq* — трубообразный сосуд, несущий кровь от сердца к различным частям (органам) тела и пульсирующий соответственно биению сердца. Аналогично более широко это понятие в китайском и тибетском — языках народов, и ныне использующих в традиционной медицине свою древнюю пульсодиагностику: в первом — это система кровеносных сосудов, во втором — пульс, артерии, вены; корни растений. Очевидно, что такому широкому значению этого термина соответствует и понимание всей пульсодиагностики.

Можно заключить, что существовавшее в Армении в прошлые века тщательно разработанное учение о пульсе сформировалось на основании собственного многовекового опыта, хотя в армянской медицине были хорошо известны взгляды на пульс врачей античности и Востока. Несмотря на очевидное совпадение ряда этих положений с установками современной академической медицины, многое требует углубленного изучения.

НИИ кардиологии им. Л. А. Оганесяна МЗ РА

Հ. Մ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ

Զարկերակի փխտորոշիչ նշանակությունը հին Հայաստանի բժշկությունում

Հին Հայաստանում զարկերակի որոշումը կարևորագույն փխտորոշիչ եղանակ էր: Նա հիմնավորված էր Հայ ժողովրդի բազմադարյա փորձի վրա. ինչպես նաև անտիկ և արևելքի բժիշկների զարկերակի մասին տեսությունների վրա:

ЛИТЕРАТУРА-ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Г.Г. Габриэлян, История армянской философии, Ереван, Айастан, 1972.
- ² Միրզաբեկյան Մանուկ, Օգուտ բժշկության, Երևան, 1940.
- ³ Գրիգորիս, Քննարկում բնութան մարդկայ և նորին ցանկ, Երևան, 1968.
- ⁴ Мхитар Гсраци, Утешение при лихорадках, Ереван, АН АрмССР, 1970.
- ⁵ Чжуд-ши, Памятник средневековой тибетской культуры, Новосибирск, Наука, 1988.
- ⁶ Гаваа Лувсан, Традиционные и современные аспекты восточной рефлексотерапии, М., Медицина, 1985.

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.825:612.827

Е. В. Папоян, академик НАН Армении В. В. Фанарджян

**Мозжечковый контроль активности медленных и быстрых
нейронов эфферентных систем теменной коры мозга кошки**

(Представлено 29/VI 1995)

На основании исследования ВПСП, возникающих в нейронах моторной коры в ответ на стимуляцию комплекса вентрального переднего и вентрального латерального ядер таламуса и центральных ядер мозжечка, была показана различная эффективность мозжечковой активации медленных и быстрых нейронов пирамидного тракта. Было отмечено, что в ответ на мозжечковые посылки возникают коротколатентные и быстровосходящие ВПСП в быстрых нейронах пирамидного тракта, а в ответ на стимуляцию тех же структур возникают длиннолатентные и медленновосходящие ВПСП у медленных нейронов пирамидного тракта (1-3). Этот факт менее изучен в отношении пирамидных нейронов ассоциативной теменной коры (4,5), где были обнаружены статистически незначительные различия в таламической и мозжечковой активации отмеченных двух типов нейронов (4).

В настоящей работе поставлена задача исследовать особенности мозжечковой активации медленных и быстрых эфферентных непиримидотрактовых нейронов теменной коры. Опыты были выполнены на 60 взрослых кошках, наркотизированных хлоралозой (45 мг/кг веса) и этаминалом натрия (15 мг/кг веса), обездвиженных флакседилом (1-2 мг/кг веса) и переведенных на искусственное дыхание. С целью идентификации эфферентных нейронов теменной коры по их антидромному потенциалу действия раздражающие электроды вводили в моторную область коры мозга, собственные ядра моста и красное ядро. Мозжечковые эффекты исследовались при стимуляции центральных ядер мозжечка: зубчатого (ЗЯ), промежуточного (ПЯ) и фастигиального (ФЯ). Использовалась техника отведения внутриклеточной активности с помощью стеклянных микропипеток, заполненных 2,5 М раствором хлористого калия с сопротивлением 10-20 МОм. Отводилась активность нейронов ипсилатеральной передней супрасильвиевой и передней латеральной извилин теменной ассоциативной коры. Использовался усилитель постоянного тока. Была зарегистрирована активность 481 нейрона

теменной коры, из которых на мозжечковые посылки отвечало 136 клеток. Ответы были представлены возбуждательными постсинаптическими потенциалами (ВПСП). Из всех зарегистрированных нейронов 77 были идентифицированы как эфферентные нейроны теменной коры. На основании их антидромной активации было установлено, что 32 нейрона (41,5%) проецируются в моторную область коры мозга, 23 нейрона (29,9%) — в красное ядро и 22 клетки (28,0%) — в собственные ядра моста (рис. 1). На стимуляцию ЗЯ ВПСП имели скрытые периоды в среднем $3,14 \pm 0,76$ мс ($n=33$) и время нарастания деполяризации — в среднем $7,7 \pm 3,5$ мс ($n=21$). Указанные показатели ВПСП на стимуляцию ПЯ составляли $3,42 \pm 0,75$ мс ($n=30$) и $9,0 \pm 2,9$ мс ($n=20$); на раздражение ФЯ — $4,3 \pm 0,95$ мс ($n=27$) и $9,8 \pm 4,6$ мс ($n=20$).

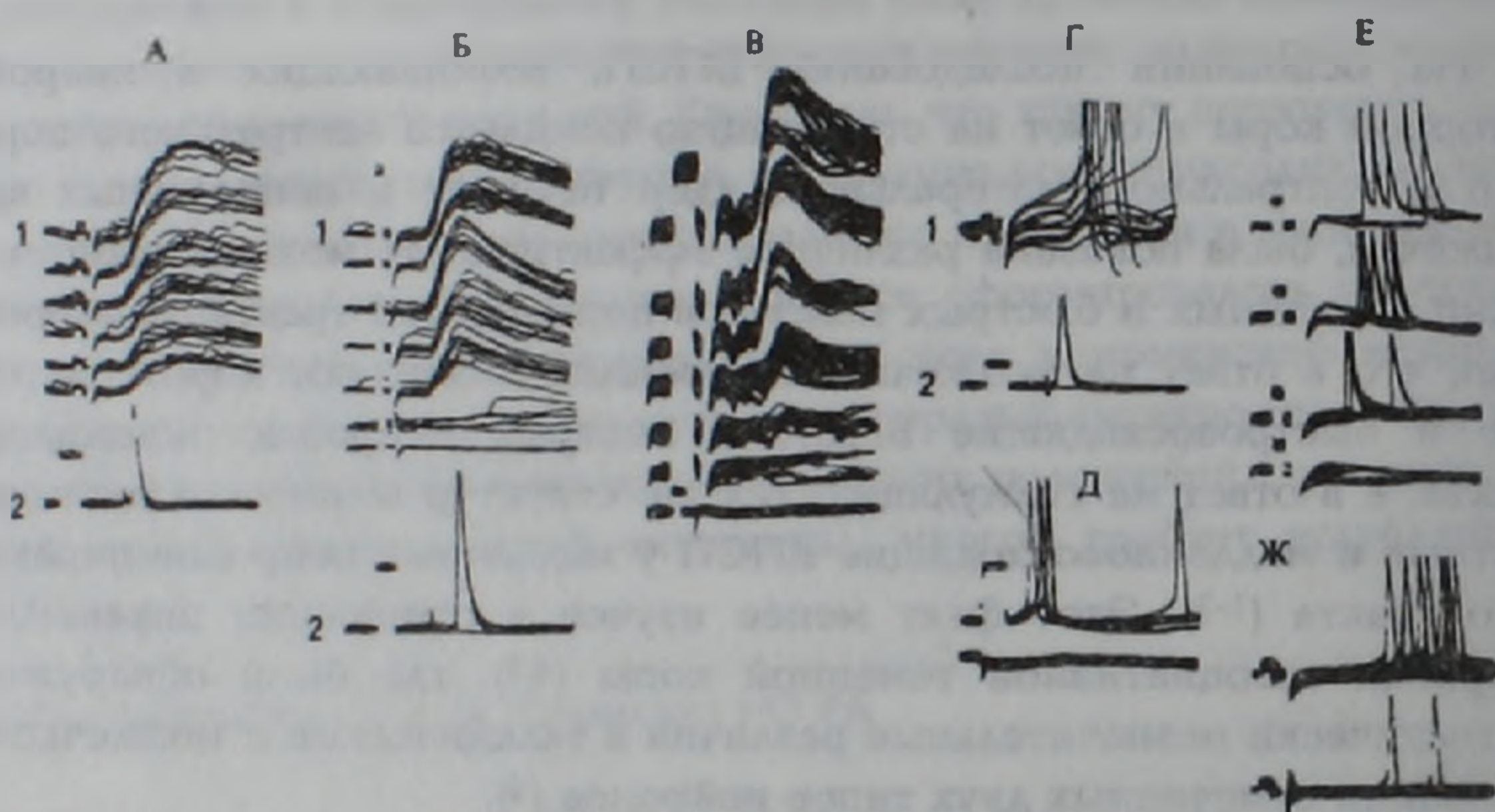


Рис. 1. Разнообразие синаптических ответов эфферентных и неидентифицированных нейронов теменной коры на раздражение центральных ядер мозжечка. Ответы семи нейронов на раздражение фастигиального (А, В, Ж), промежуточного (Б, Е) и зубчатого (Г, Д) ядер мозжечка из передней супрасильвиевой (А, В, Е, Ж) и передней латеральной (Б, Г, Д) извилин. А, В, Е, Ж — снизу вверх повышение интенсивности раздражения: показано укорочение скрытого периода реакции (А, Б), а также уменьшение межстимульного интервала и увеличение количества импульсов в пачке (Е, Ж). Г,1; Д — олиго-полисинаптические реакции, не отличающиеся по порогу выявления при одинаковой интенсивности раздражения. На В зарегистрирован пресинаптический потенциал действия, в данном случае при точном измерении синаптической задержки (реакция от пресинаптического спайка до подножья ПСП равна 2 мс), свидетельствующий о полисинаптической природе ВПСП. А,2; Б,2; Г,2 — антидромные потенциалы действия, вызванные раздражением передней ритмовидной извилины (А,2), красного ядра (Б,2) и латеральной группы собственных ядер моста (Г,2). Нижние кадры на Б,1; В,1; Д,1 — потенциалы полей после вывода микроэлектрода из клетки. Калибровка амплитуды: 0,5 мВ (А,1; В); 5 мВ (Б,1; Г,1; Е; Ж); 25 мВ (А,2; Б,2; Г,2; Д). Отметка времени — 1 мс (А,1; Б; Е; Ж); 2 мс (А,2; В; Г; Д).

Была выявлена положительная корреляция между скрытыми периодами ВПСП, вызванная раздражением мозжечка, и скрытыми периодами антидромной активации исследованных эфферентных нейронов (рис. 2). Корреляция была установлена между скрытыми периодами ВПСП нейронов в ответ на стимуляцию всех центральных ядер мозжечка и латенцией их антидромной активации из определенных эфферентных проекций — корково-корковой, корково-мостовой и корково-рубральной.

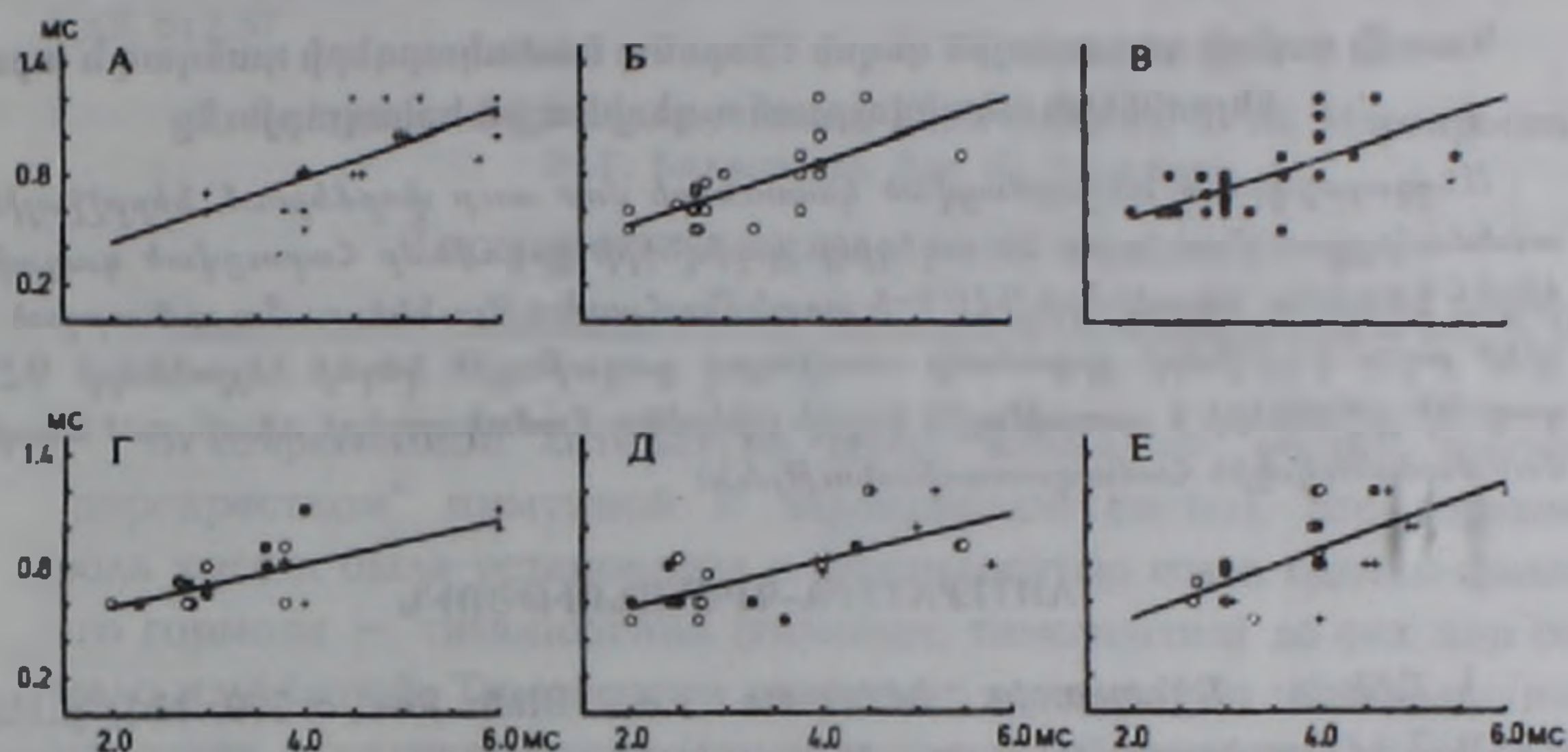


Рис. 2. Корреляционные диаграммы между скрытыми периодами антидромной активации и скрытыми периодами ВПСП, вызванных раздражением центральных ядер мозжечка в эфферентных нейронах теменной коры. А—В — корреляционные диаграммы между скрытыми периодами антидромных ответов на раздражение моторной коры, собственных ядер моста, красного ядра (ось ординат) и скрытыми периодами ВПСП, вызванных раздражением фастигиального (А) ядра мозжечка ($n=21$; $r=0,72$). Линия регрессии — $Y=0,17X+0,07$, промежуточного (Б) ядра ($n=22$; $r=0,71$). Линия регрессии — $Y=0,17X+0,18$ и зубчатого (В) ядра ($n=22$; $r=0,67$). Линия регрессии — $Y=0,16X+0,25$ (ось абсцисс). Г—Е — корреляционные диаграммы между антидромной активацией эфферентных нейронов теменной коры на раздражение моторной коры (Г), собственных ядер моста (Д) красного ядра (Е) (ось ординат) и скрытыми периодами ВПСП, вызванных раздражением фастигиального (крестики), промежуточного (светлые кружочки) и зубчатого (темные кружочки) ядер мозжечка (ось абсцисс). На Г — $n=21$; $r=0,71$. Линия регрессии — $Y=0,12X+0,33$; на Е — $n=22$; $r=0,67$. Линия регрессии — $Y=0,18X+0,14$ (ось абсцисс).

При таком анализе коэффициенты корреляции (r) были равны соответственно 0,71; 0,69; 0,67. Подобная корреляция была установлена между скрытыми периодами ВПСП нейронов теменной коры, возникающих в ответ на стимуляцию ядер мозжечка, и латенцией их антидромной инвазии, возникающей при активации всех исследованных проекционных систем (коэффициенты корреляции были соответственно для стимуляции ЗЯ — $r=0,67$; ПЯ — $r=0,71$; ФЯ — $r=0,72$). Активируемые мозжеч-

ком нейроны эфферентных систем теменной коры должны играть важную роль в корковых нисходящих эффектах на спинной мозг и ствол мозга (6,7). Установлено изменение ответов теменной коры на мозжечковые послышки после удаления моторной коры (8). Не исключено, что они играют важную роль в компенсации двигательного дефицита (4).

Институт физиологии им. Л. А. Орбели НАН Армении

Ե. Վ. ՊԱՊՈՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս Վ. Բ. ՖԱՆԱԲԶՅԱՆ

Կատվի ուղեղի գազաթային կեղևի էֆերենտ համակարգերի դանդաղ և արագ նեյրոնների ակտիվության ուղեղիկային հսկողությունը

Անգգայացված և անշարժացված կատուների մոտ սուր փորձերում, ներբջջային արտածմամբ ուսումնասիրվել են ուղեղիկի կորիզների զրգամամբ հարուցված գազաթային կեղևի էֆերենտ նեյրոնների ԴՀՄՊ-ի առանձնահատկությունները: Ցույց է տրված ուղեղիկի բոլոր կորիզների զրգամամբ առաջացող գազաթային կեղևի նեյրոնների ԴՀԴՊ-ի գաղտնի շրջանների և գազաթային կեղևի էֆերենտ համակարգերի անտիդրոմ ակտիվացման ժամանակային համապատասխանությունը:

ЛИТЕРАТУРА-ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ T.Noda, T.Yamamoto, M.Miyata e.a., Brain Res., v.269, №1, p.153-157 (1983). ² M.Deschenes, P.Landry, M.Clerco, Neuroscience, v.7, №9, p.2149-2153 (1982). ³ T.Noda, T.Yamamoto, Brain Res., v.306, №1/2, p.197-206 (1984). ⁴ T.Yamamoto, H.Oka, Neurosci. Res., v.18, №2, p.129-142 (1993). ⁵ E.В.Папоян, В.В.Фадарджян, Физiol. журн. СССР, т.69, №11, с.1401-1408 (1983). ⁶ G.J.Allen, N.Tsukahara, Physiol. Rev., v.54, №4, p.959-1008 (1974). ⁷ M.A.Beidenbach, J.L.DeVito, Brain Res., v.193, №1, p.1-17 (1980). ⁸ B.Okuda, S.Kawaguchi, T.Yamamoto e.a., Neurosci. Res., v.8, №1, p.1-11 (1990).

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.57

К. Р. Арутюнян, Р. А. Арутюнян, Л. А. Саакова, С. Ш. Мартиросян,
Р. Г. Баласанян, Дж. К. Хачатрян

Терморегуляторная роль тимопозтина

(Представлено академиком НАН Армении В. В. Фанарджяном 14/IX 1995)

В современной литературе тимус называют "общим звеном" или "перекрестком" иммунной и эндокринной систем. Его гормональная роль хотя и была установлена в шестидесятые годы, однако физиология его гормона — тимопозтина (тимозин, тимопентин) до сих пор остается мало изученной. Тимопозтин участвует в регуляции минерального обмена, роста и развития молодого организма, образования специфического иммунитета, стимулирует развитие лимфоидных клеток, созревание Т-лимфоцитов.

Доказано, что длительное введение экстракта тимуса сначала усиливает выделение тиреотропного гормона передней доли гипофиза, затем оказывает угнетающее действие на этот процесс (1-3). Предполагается, что механизм действия гормонов тимуса связан с влиянием на цАМФ и цГМФ через специфические рецепторы (4-5).

Нами изучалась роль тимусного гормона — тимопозтина в регуляции температурного гомеостаза организма, так как он представляет не только теоретический интерес, но и имеет практическое значение в поддержании специфической и неспецифической иммунной системы организма.

В наших опытах методом многочасового термограммирования у белых крыс в хронических условиях регистрировали динамику изменения температуры "ядра" организма в области ободочной кишки, бедренных мышц и "оболочки" организма в области хвостовой артерии. Температуру ободочной кишки регистрировали на глубине 4-5 см. "Рабочие" спай медно-константановых термопар, регистрирующих мышечную температуру с помощью инъекционной иглы, вводили в мышцы бедра перед каждым опытом на глубину 1,5-2 см. Термопару, измеряющую артериальную температуру, прикрепляли к хвостовой артерии. Запись температуры исследуемых точек производили 12-канальным самопишущим потенциометром типа ЭПП-09-МЗ, который подключался к выходу фотозлектрического усилителя типа Ф-116/2 с чувствительностью изме-

рения $0,013^{\circ}\text{C}$ для кишечной и мышечной температуры и $0,13^{\circ}\text{C}$ для сосудистой температуры.

Порядок ведения опыта был следующим: крыс помещали в специальные клетки, в которых они сохраняли естественную позу и где исключалось стрессорное влияние на физиологическое состояние их организма. Каждый опыт проводился на трех крысах в двух этапах. В первые 30 мин проводили контрольную регистрацию с целью установления плато исследуемых температурных показателей, затем двум экспериментальным крысам внутривенно вводили тимопозтин пентапептид, а третьей крысе — физиологический раствор. Опыты проводили в двух сериях. В первой серии изучали влияние тимопозтина на динамику изменения температурных показателей организма на фоне высокой температуры его "ядра" при температуре среды 29° , во второй — на фоне низкой температуры "ядра" при температуре среды 15° . Под опытом находились 39 крыс, из коих 26 получали тимопозтин в дозе $18,0 \text{ мкг/кг}$ на 100 г массы в объеме $0,08 \text{ мл}$ на 100 г массы, а остальные 13 — физиологический раствор в дозе $0,08 \text{ мл/100 г}$ массы.

Результаты первой серии экспериментов показали, что внутривенное введение тимопозтина в организм на фоне высокой температуры его "ядра" (температура ободочной кишки $38,64^{\circ}$, скелетных мышц $38,08^{\circ}$) вызывало гипотермический эффект и температура ободочной кишки в течение часа снижалась на $0,49^{\circ}$ или в 3,5 раза больше, чем у контрольных крыс, у которых она снижалась всего на $0,14^{\circ}$. Температура скелетных мышц в первом случае снижалась на $0,58^{\circ}$, а во втором — на $0,28^{\circ}$, или в 2 раза меньше ($P < 0,05$). Температура артериальных сосудов достоверно ($P < 0,001$) снижалась соответственно на $4,02$ и $3,0^{\circ}$ (таблица).

Введение тимопозтина в организм на низком фоне температуры его "ядра" (температура ободочной кишки $38,50^{\circ}$, скелетных мышц $37,80^{\circ}$) снижало температуру ободочной кишки на $0,42^{\circ}$, или по сравнению с контролем в 1,2 раза больше ($P < 0,05$). Температура скелетных мышц после введения тимопозтина в условиях низкой температуры среды снижалась значительно меньше, чем у контрольных животных (соответственно $0,3$ и $0,8^{\circ}$), а температура кожи артериальных сосудов после введения тимопозтина повышалась в среднем на $6,86^{\circ}$ против ее снижения у контрольных на $0,21^{\circ}$ ($P < 0,01$).

Механизм гипотермического действия тимопозтина сложен и неясен. Литературные данные ^(5,6) показывают, что физиологическое действие тимопозтина связано с тиреотропным и соматотропным гормонами, которые являются "тимотропными" и повышают активность тимуса и его гормонов в организме. Надо предполагать, что гипотермический эффект тимопозтина, наблюдаемый при повышении его концентрации в крови, связан с ингибцией секреторной функции щитовидной железы и передней доли гипофиза, а также уменьшением количества тиреоидных гормонов и соматотропина в крови подопытных животных. Снижение количества этих гормонов в крови приводит к ослаблению обмена веществ и энергии организма и уменьшению теплообразования в нем.

Влияние тимопозтина на динамику изменения температурных показателей организма в условиях разного температурного фона его "ядра" и окружающей среды, °С

Параметры	Характер опыта			
	Контроль	Через 60' после введения физиологического раствора	Через 60' после введения тимопозтина	Значение
Температура ободочной кишки	38,64 ± 0,15	38,50 ± 0,44	38,15 ± 0,19	0,05
Температура бедренных мышц	38,08 ± 0,15	37,80 ± 0,33	37,50 ± 0,23	0,05
Температура артериальных сосудов	33,4 ± 0,47	30,4 ± 0,93	29,38 ± 0,58	0,001
Температура ободочной кишки	38,50 ± 0,14	38,16 ± 0,14	38,08 ± 0,13	0,05
Температура бедренных мышц	37,80 ± 0,18	37,0 ± 0,35	37,50 ± 0,19	0,4
Температура артериальных сосудов	19,17 ± 1,06	18,96 ± 4,2	26,03 ± 1,36	0,01

Тимопозитин в условиях высокого фона температуры "ядра" организма и окружающей среды больше действует на механизмы несократительного термогенеза, чем на сократительный. В условиях низкого фона температуры "ядра" организма и окружающей среды тимопозитин действует на физические механизмы терморегуляции, вызывает вазодилатацию и увеличивает теплоотдачу организма.

Институт физиологии им. Л. А. Орбели НАН Армении

Ք. Ռ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ռ. Ա. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Լ. Ա. ՍԱՀԱԿՈՎԱ.

Ս. Շ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Հ. Գ. ԲԱԼԱՍԱՆՅԱՆ, Զ. Կ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

Թիմոպոեոտինի ջերմակարգավորիչ դերը

Ապացուցված է, որ թիմոպոեոտինի ջերմակարգավորիչ դերը պայմանավորված է օրգանիզմի «կորիզի» և միջավայրի ջերմության ֆոնով: Նրա բարձր ֆոնի դեպքում թիմոպոեոտինի ներերակային ներարկումը հարուցում է ավելի խորը հիպոթերմիկ արդյունք. քան ցածր ֆոնի դեպքում: Ենթադրվում է, որ բարձր ֆոնի դեպքում թիմոպոեոտինը ազդում է օրգանիզմի ոչ կծկողական ջերմարտադրության վրա, իսկ ցածր ֆոնի դեպքում ակտիվացնում են ջերմարձակման ֆիզիկական մեխանիզմները:

ЛИТЕРАТУРА-ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ А.Н.Голякова, Физиология с.-х. животных, М., 1980. ² В.Е.Клуша, Р.К.Муценце, И.Р.Лиспа, в кн.: Симпозиум "Физиология пептидов", Л., с.91-92, 1988. ³ И.Ю.Орбачевская, А.М.Болдырев, там же, с.148-149. ⁴ В.В.Серов, О.В.Зайратьянц, Акушерство и гинекология, №5, с.8-12, 1987. ⁵ В.Ф.Чеботарев, Эндокринная регуляция иммуногенеза, Киев, 1979. ⁶ De Groot e.a., Endocrinology, N. Y., v I, №3 [1979].

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.826:612.819

А. Р. Манвелян, М. Н. Середа, академик НАН Армении В. В. Фанарджян

**Синаптические ответы мотонейронов ядра лицевого нерва
кошки на центральные послылки**

(Представлено 20/IV 1995)

Ранее ⁽¹⁾ было показано, что стимуляция наружного сегмента бледного шара приводит к полисинаптической активации мотонейронов ядра лицевого нерва (ЯЛН), тогда как на раздражение интерстициально-ю ядра Кахаля и ядра Даркшевича возникают в мотонейронах ЯЛН моносинаптические ВПСР ⁽²⁾. Представляло интерес дальнейшее исследование действия на фациальные нейроны других компонентов этих двух групп образований. В первую группу входят внутренний сегмент бледного шара — энтопедункулярное ядро и связанное с ним крупное ядро среднего мозга — черная субстанция. Вместе они составляют основной эфферентный компонент базальных ганглиев, важную дофаминергическую систему и принимают широкое участие в моторной координации ⁽³⁾. Вторая группа представлена ядрами Кахаля и Даркшевича, относящимися к премоторным образованиям глазодвигательной системы, и дополняется ядром глазодвигательного нерва (чисто моторным, иннервирующим внешние глазные мышцы) и ядром Эдингера-Вестфала — парасимпатическим образованием, аксоны которого идут в составе глазодвигательного нерва и иннервируют цилиарные мышцы и сфинктер зрачка ⁽⁴⁾.

Целью настоящей работы явилось исследование влияния стимуляции энтопедункулярного ядра, черной субстанции, ядра глазодвигательного нерва и ядра Эдингера-Вестфала на синаптическую активность мотонейронов ЯЛН.

Эксперименты выполнены на 19 взрослых кошках, наркотизированных нембуталом (45 мг/кг) и обездвиженных дитилином (1 мг/кг) под искусственным дыханием. Раздражающие биполярные (0,5 мм) вольфрамовые электроды вводили стереотаксически ⁽⁵⁾ в ипси- и контралатеральную черную субстанцию (в ее компактный и ретикулярный отделы), ипсилатеральные энтопедункулярное, глазодвигательное ядра и ядро Эдингера-Вестфала. Использовались одиночные и серии прямоугольных толчков тока в 1-3 В, 0,08-0,15 мА, 0,05-0,5 мс.

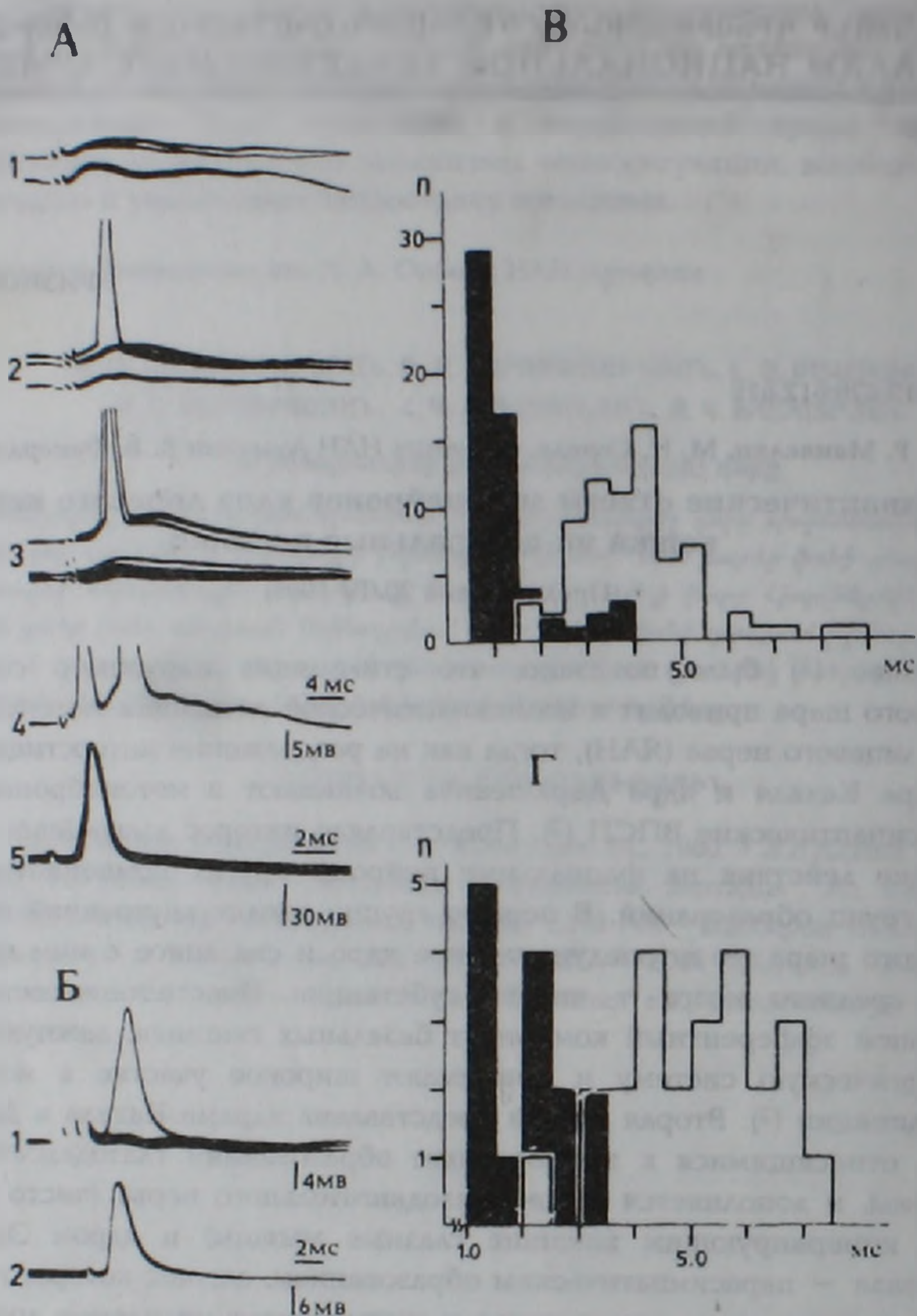


Рис. 1. Синаптическая активация мотонейронов ядра лицевого нерва при стимуляции черной субстанции. А, Б — ответы двух мотонейронов. А,1-4, Б,1 — ВПСП и потенциалы действия при возрастающей интенсивности стимуляции (сверху вниз) ипси- и контралатеральной черной субстанции, соответственно. Антисдромные потенциалы действия при раздражении дорсальной (А,5) и заднеушной (Б,2) ветвей лицевого нерва. Гистограммы распределения скрытых периодов ВПСП (темные столбики) и потенциалов действия (белые столбики) мотонейронов ядра лицевого нерва, вызванные раздражением ипси- (В) и контралатеральной (Г) черной субстанции. По оси абсцисс — время, мс; по оси ординат — количество нейронов, n. Здесь и на следующем рисунке потенциалы зарегистрированы при наложении 5-20 пробегов луча; частота повторения — около 1/с. Использовался усилитель постоянного тока.

Характеристики ВПСП и ПД, вызванных в мотонейронах ЯЛН на стимуляцию исследуемых образований

РО	ВПСП			ПД	
	Скрытые периоды, мс	Длительность фазы возрастания, мс	Общая длительность, мс	Критическая деполя- ризация генерации ПД, мВ	Скрытые периоды, мс
ИЧ	0,56 – 1,96 (в ср. $1,1 \pm 0,19$; n = 44) 2,33 – 3,9 (в ср. $2,67 \pm 0,17$; n = 9)	2,0 – 7,41 (в ср. $3,6 \pm 0,58$; n = 20) 2,68 – 6,34	5,33 – 27,08 (в ср. $12,26 \pm 1,93$; n = 19) 7,44 – 17,56	1,41 – 4,5 (в ср. $2,72 \pm 0,46$; n = 17) 1,5 – 2,5	1,7 – 8,24 (в ср. $3,87 \pm 0,42$; n = 63) 4,12 – 8,88 (в ср. $6,4 \pm 0,75$; n = 9)
КЧ	1,0 – 2,0 (в ср. $1,47 \pm 0,36$; n = 8) 2,2 – 3,18 (в ср. $2,31 \pm 0,42$; n = 6)	2,0 – 6,34 (в ср. $3,58 \pm 0,81$; n = 7) 1,66 – 4,67	8,0 – 18,04 (в ср. $12,22 \pm 2,15$; n = 6) 7,32 – 13,42	1,0 – 3,5 (в ср. $2,27 \pm 0,44$; n = 6)	2,2 – 5,92 (в ср. $4,57 \pm 0,5$; n = 18) 3,9 – 6,58 (в ср. $5,97 \pm 0,48$; n = 6)
ЭВ	0,93 – 2,0 (в ср. $1,05 \pm 0,13$; n = 10)	2,67 – 4,65 (в ср. $3,74 \pm 0,35$; n = 6)	7,0 – 17,04 (в ср. $11,56 \pm 1,6$; n = 6)	1,5 – 2,7	2,09 – 5,36 (в ср. $3,93 \pm 0,37$; n = 13)
Г	0,67 – 1,4 (в ср. $0,98 \pm 0,03$; n = 32)	1,7 – 6,3 (в ср. $3,18 \pm 0,62$; n = 24)	6,22 – 18,9 (в ср. $11,02 \pm 2,8$; n = 22)	1,13 – 4,38 (в ср. $2,07 \pm 0,5$; n = 15)	1,96 – 6,34 (в ср. $3,78 \pm 1,05$; n = 46)
ЭН	1,86 – 4,19	4,65 – 11,25	11,63 – 30,0		9,77 – 10,71

Условные обозначения: РО – раздражаемые образования; ИЧ – ипсилатеральная черная субстанция;
 КЧ – контралатеральная черная субстанция; ЭВ – ядро Эдингера-Вестфала;
 Г – ядра глазодвигательного нерва; ЭН – энтопедункулярное ядро.
 Остальные сокращения см. в тексте.

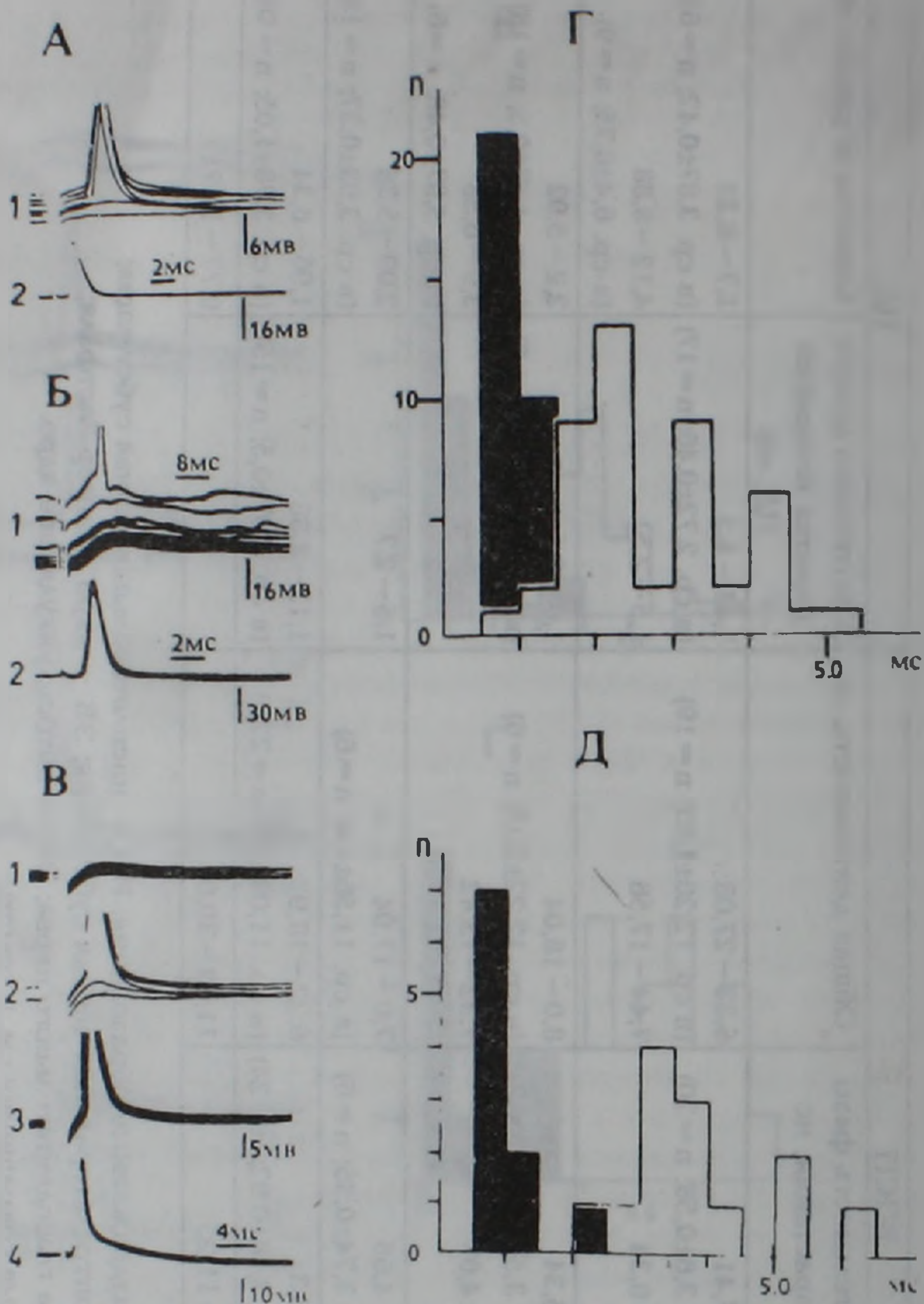


Рис. 2. Активация мотонейронов ядра лицевого нерва при раздражении глазодвигательного и энтопедункулярного ядер и ядра Эдингера-Вестфала. А-В — ответы трех мотонейронов. ВПСП и потенциалы действия при градуальном увеличении интенсивности стимуляции глазодвигательного (А, 1) и энтопедункулярного (Б, 1) ядер и ядра Эдингера-Вестфала (В, 1-3). А, 2, Б, 2, В, 4 — антидромные потенциалы действия при раздражении дорсальной ветви лицевого нерва. Г, Д — гистограммы распределения скрытых периодов ВПСП (темные столбики) и потенциалов действия (белые столбики) мотонейронов ядра лицевого нерва при раздражении глазодвигательного ядра и ядра Эдингера-Вестфала, соответственно. По оси абсцисс — время, мс; по оси ординат — количество нейронов, n.

Мотонейроны ЯЛН идентифицировали по их антидромному потенциалу действия (ПД), возникающему на стимуляцию различных веточек лицевого нерва. Электрическую активность нейронов отводили внутриклеточно стеклянными микроэлектродами, заполненными 3 М раствором хлористого калия с сопротивлением 10-20 МОм.

Были исследованы 144 клетки ЯЛН. Среди них 138 мотонейронов идентифицированы по их антидромной активации. Зарегистрированные реакции были представлены возбуждающими постсинаптическими потенциалами (ВПСП), на основе которых в большинстве случаев генерировались одиночные ПД, реже — групповые спайки.

Характеристики ВПСП, вызванных на раздражение ипси- и контралатеральной черной субстанции (рис.1), ядра глазодвигательного нерва (рис.2, А, Г) и ядра Эдингера-Вестфала (рис.2, В, Д) (таблица), дали основание полагать их моно-олиго- и полисинаптическое происхождение.

Моносинаптические ВПСП обладали коротким скрытым периодом. В ответ на градуальное увеличение интенсивности раздражения или числа стимулов не наблюдалось изменений в длительности скрытых периодов ВПСП, времени нарастания деполяризации и общей продолжительности потенциалов. При достижении критического уровня деполяризации, как правило, генерировались ПД. На раздражение энтопедунккулярного ядра в мотонейронах ЯЛН возникали только полисинаптические ВПСП (таблица), характеризующиеся более длительными, нестабильными скрытыми периодами, укорачивающимися при увеличении интенсивности раздражения (рис.2, В).

Отмечалась конвергенция влияний из исследованных образований на одни и те же мотонейроны ЯЛН. Наиболее часто конвергирующие послышки наблюдались из ядра глазодвигательного нерва и ипсилатеральной черной субстанции. У 26,6% исследованных мотонейронов ЯЛН отмечалась конвергенция из всех пяти испытанных источников. При исследовании влияния ипси- и контралатеральной черной субстанции конвергенция наблюдалась у 30% клеток.

Таким образом, в настоящем исследовании, как и в предыдущих работах (6-9), показано широкое участие образований головного мозга в контроле деятельности ЯЛН. Ядра ствола мозга имеют прямые проекции в ЯЛН, тогда как кора мозга и подкорковые структуры связаны с ЯЛН полисинаптически (2). Отмеченное представляет механизмы, обеспечивающие участие мотонейронов ЯЛН в самых разнообразных реакциях организма и определяющие большую подвижность мимической мускулатуры. Динамически протекающие физиогномические проявления поведения (10) переходят в статически закрепленные особенности распределения тонуса мышц лица, специфические для каждого индивидуума.

Институт физиологии им. Л. А. Орбели НАН Армении

**Կատվի դիմանյարդի կորիզի շարժանյրոնների սինապսային և ստատախանները
կենտրոնական ազդեցությունների դեպքում**

Անզգայացման և անշարժացման ենթարկված կատունների մոտ, սուր փորձի պայմաններում, ներթղջային արտածմամբ ուսումնասիրվել են դիմանյարդի կորիզի շարժանյրոնների ռեակցիաները կենտրոնական ազդեցությունների նկատմամբ: Շարժանյրոններն իդենտիֆիկացվել են ըստ դիմանյարդի ճյուղերի գրգռման անտիդրոմ պոտենցիալների: Գրանցվել են միա- և բազմասինապսային դրդող հետսինապսային պոտենցիալներ, որոնք հրահրվում են ակնաշարժ նյարդի կորիզի, էդինգեր-Վեստֆալի կորիզի, սև նյութի համա- և տարակողմ գրգռման դեպքում: Էնդոպեդունկուլյար կորիզի գրգռման դեպքում շարժանյրոններում առաջանում են միմիայն դրդող հետսինապսային բազմասինապսային պոտենցիալներ: Տույց է տրված դիմանյարդի կորիզի միևնույն շարժանյրոններում գլխուղեղի նշված գոյացություններից մոտեքերի համամիտումը:

ЛИТЕРАТУРА-ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ *Л.Р.Манвелян, В.В.Фанарджян, Нейрофизиология, т.17, №6, с.800-809 (1985).*
² *В.В.Фанарджян, Л.Р.Манвелян, Нейронная организация ядра лицевого нерва. Физиологические аспекты, С.-Пб., Наука, 1992.* ³ *T.Hatton, Neurosci. Res., v.16, №4, p.239-262 (1993).* ⁴ *J.P.Kelly, in: Principles of Neuronal Science, N. Y., Elsevier, p. 539-561 (1985).* ⁵ *R.S.Snider, W.T.Niemer, A stereotaxic atlas of the cat brain. The University of Chicago Press, 1961.* ⁶ *V.V.Fanardjian, S.A.Kasabyan, L.R.Manvelyan, Neuroscience, v.9, №4, p.823-835 (1983).* ⁷ *V.V.Fanardjian, L.R.Manvelyan, Neurosci. Letters., v.49, №3, p.265-270 (1984).* ⁸ *V.V.Fanardjian, L.R.Manvelyan, Neuroscience, v.20, №3, p.835-843 (1987).* ⁹ *V.V.Fanardjian, L.R.Manvelyan, Neuroscience, v.20, №3, p.845-853 (1987).* ¹⁰ *И.А.Сикорский, в кн.: Всеобщая психология с физиогномикой, Киев, с.517-753 (1912).*

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.825+612.826.8

Е. В. Папоян

Электрофизиологический анализ понто-корковых связей

(Представлено академиком НАН Армении В. В. Фанарджяном 31/V 1995)

В литературе имеются разногласия по вопросам электрофизиологической интерпретации структурной организации собственных ядер моста, обусловленные следующими факторами: 1) наличием промежуточных нейронов в собственных ядрах моста, передающих информацию (1,2); 2) наличием возвратных коллатералей аксонов нейронов собственных ядер моста, которые могут проецироваться на нейроны соседних звеньев (3); 3) перекрытием дендритных полей нейронов собственных ядер моста (4). Одновременно с этим имеются факты, утверждающие, что каждая клеточная группа имеет отдельный доминантный вход (5). Кортиковая импульсация, поступающая в собственные ядра моста, может осуществляться за счет различных кортикофугальных путей (6,7), где преобладающими являются коллатерали пирамидного тракта (8). Подавляющую часть своих эфферентов собственные ядра моста направляют в мозжечок. За последние годы в электрофизиологических исследованиях показаны проекции из собственных ядер моста в кору мозга (9-11). Эти данные подтверждены морфологически (12). Однако четкого представления о восходящих проекциях собственных ядер моста не имеется. В настоящей работе на основании полученных результатов обсуждаются возможные пути, по которым осуществляется влияние собственных ядер моста на кору мозга.

Опыты проводили на 50 кошках, наркотизированных хлоралозой (45 мг/кг) и пентобарбиталом (15 мг/кг), обездвиженных флакседилом и переведенных на искусственное дыхание. Раздражающие биполярные электроды согласно стереотаксическим координатам вводили в собственные ядра моста для исследования антидромной и синаптической активации, а также в красное ядро и моторную область коры для идентификации нейронов ассоциативной теменной коры. Раздражение производили стимулами длительностью 0,1 мс, с силой тока 0,4 мА. Внутриклеточное отведение активности из передней и средней супрасильвиевой и передней латеральной извилины, расположенных ипсилатерально к раздражаемой стороне, осуществляли микропипетками, заполненными

2,5 М раствором хлористого калия с сопротивлением 10-20 МОм. В конце эксперимента проводили гистологический контроль локализации электродов.

В ассоциативной теменной коре внутриклеточно зарегистрирован 481 нейрон. На раздражение медиальной и латеральной группы собственных ядер моста отвечали 137 нейронов; синаптически возбуждались 83 нейрона, антидромно — 54. Из всех нейронов, зарегистрированных на раздражение собственных ядер моста, 51 клетка (37%) идентифицирована. Это были клетки, посылающие аксоны в моторную кору (37 клеток, или 72%), и клетки, посылающие аксоны в красное ядро (14 клеток, или 28%). Антидромные потенциалы действия (ПД) испытывались с учетом феномена "все или ничего" (рис.1,А); частотным раздражением для выявления предела трансформации ритма; парными стимулами для обнаружения абсолютного рефрактерного периода по типу 50% выявления ответа на тестирующий стимул (рис.1,Б). У части нейронов на восходящей фазе ПД наблюдалась выемка, отражающая задержку антидромной инвазии между начальным сегментом (НС) и соматодендритной (СД) мембраной. Скрытый период антидромных ПД на раздражение собственных ядер моста в ассоциативной теменной коре составлял 0,62-1,51 ($1,07 \pm 0,20$) мс, $n = 38$. При определении рефрактерности нейрона иногда удавалось зарегистрировать трехступенчатый характер антидромного воздействия с выделением ПД миеленизированной части аксона (М). Среднее значение рефрактерности нейрона было 0,89 мс. Наблюдалась регистрация антидромных и ортодромных ответов в одном и том же нейроне, что не исключало возбуждение этих нейронов через возвратные коллатерали их аксонов, предполагая реципрокные взаимоотношения на корково-мостовом уровне (рис.1,В). Наряду с антидромными регистрировались также и возбуждающие постсинаптические потенциалы (ВПСП). Скрытый период ВПСП равен 2,0-6,0 ($3,79 \pm 1,09$) мс, $n = 41$. Фаза восхождения ВПСП до максимума равна 3,0-9,5 ($5,13 \pm 1,47$) мс, $n = 35$ (рис.2). Длительность ВПСП колебалась в пределах 6,21-18,7 ($12,08 \pm 1,61$) мс, $n = 16$. На рис.1,Г,Д показаны наиболее редко регистрируемые ВПСП, у которых при увеличении интенсивности раздражения нарастание амплитуды ВПСП до максимума выявлялось без отчетливого изменения времени нарастания, что, вероятно, свидетельствует о стабильном протекании импульса через одно и то же количество синапсов. У подавляющего большинства нейронов при достижении критического уровня деполяризации, равного 5,5-12,8 ($8,04 \pm 2,26$) мВ, $n = 22$, генерировались ПД (рис.1,Ж). Нередко при изменении интенсивности раздражения наблюдались олигосинаптические ВПСП наряду с полисинаптическими (рис.1,Е).

Для интерпретации полученных нами фактов, привлекая данные морфологии, целесообразно обсудить возможные пути мосто-корковых влияний. Следует учесть единичные указания, имеющиеся в литературе по ретроградной окраске нейронов собственных ядер моста при введении красителя в неокортекс (¹²). Во многих работах показано, что восхо-

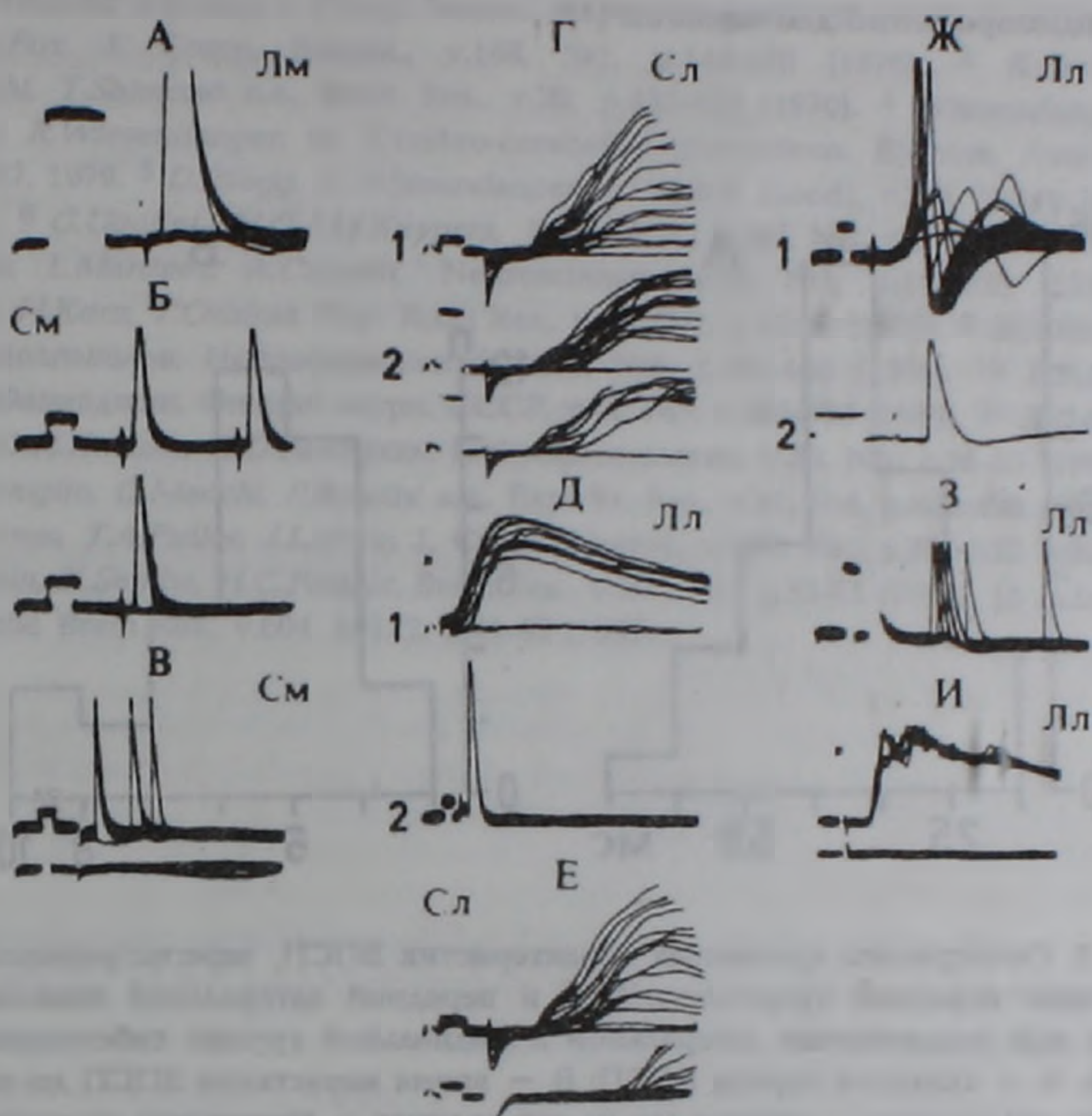


Рис. 1. Антидромная и синаптическая активация нейронов ассоциативной теменной коры на раздражение собственных ядер моста. А—И — ответы 9 нейронов передней супрасильвиевой (Б, В, Г, Е) и передней латеральной (А, Д, Ж, З, И) извилин на раздражение медиальной (А, Б, В) и латеральной (Г—И) групп собственных ядер моста. А — феномен "все или ничего" антидромного ПД. Б — выявление абсолютной рефрактерности при парном испытании антидромных ПД. Г, Е, — снизу вверх повышение интенсивности раздражения. Ж — то же при многократном наложении луча. Д,2; Ж,2 — антидромные ПД, вызванные раздражением красного ядра и переднего края задней сигмовидной извилины соответственно. Калибровка амплитуды: 0,5 мВ (Г,1; Е); 5 мВ (Б; В; Г,2; Д; Ж,1; И); 25 мВ (А; Ж,2; З). Отметка времени — 1 мс (Б; В; Г; Д,2; Е; Ж; З); 2 мс (А; Д,1; И).

дующие волокна ствола мозга, в частности, и волокна из собственных ядер моста, в подавляющем большинстве проецируются в таламус ⁽¹³⁾ как в релейную структуру на пути к неокортексу. В части работ показано, что восходящие волокна из ядер моста представляют важный компонент центрального тегментального пути, формирующего экстра-таламическое реле ⁽¹⁴⁾. И, наконец, представляют интерес работы, согласно

которым информация из структур ствола мозга может передаваться в восходящем направлении через коллатерализованный аксон, иннервируя одновременно две мишени (15).

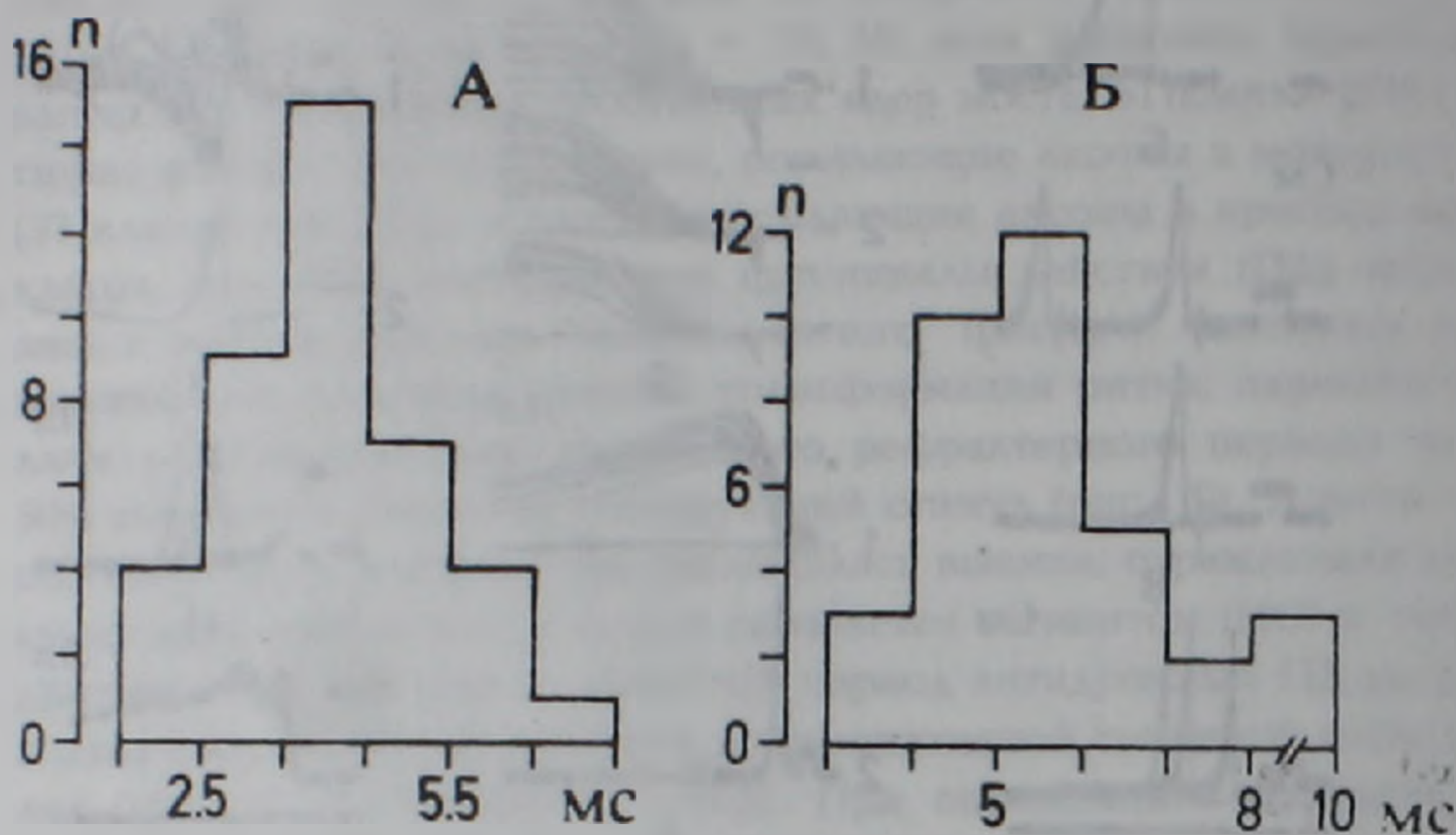


Рис. 2. Гистограммы временных характеристик ВПСР, зарегистрированных из нейронов передней супрасильвисвой и передней латеральной извилины коры мозга при раздражении латеральной и медиальной группы собственных ядер моста. А — скрытый период ВПСР; Б — время нарастания ВПСР до максимума. По оси абсцисс — время в мс; по оси ординат — количество измерений (n).

Таким образом, влияние собственных ядер моста на кору мозга может осуществляться посредством участия одного из вышеописанных путей, вовлекая собственные ядра моста и теменную кору в общую систему организации моторного акта.

Институт физиологии им. Л. А. Орбели НАН Армении

Ե. Վ. ՊԱՊՈՅԱՆ

Կամուրջ-կեղևային կապերի էլեկտրաֆիզիոլոգիական վերլուծությունը

Կասուլների մոտ սուր փորձի պայմաններում ներբջջային արտածման մեթոդով ուսումնասիրվել է գազաթային ասոցիատիվ կեղևի կենտրոնախույս և ոչ ճշգրտված նեյրոնների հակընթաց և սինապսային սլաուասխանները վարոյան կամրջի կողմնային և միջային սեփական կորիզների զրգուման դեպքում: Գրանցվել են բարդ օլիգո- և բազմասինապսային բազմաբաղադրիչ դրդման հետսինապսային պոտենցիալներ: Հաստատված է և հակընթաց և սինապսային պատասխանների առկայությունը միեւնույն նեյրոնների մոտ, որը վկայում է վարոյան կամրջի միջային սեփական կորիզի և գազաթային կեղևի միջև գոյություն ունեցող երկկողմանի կապերի մասին: Քննարկվում են հնարավոր ուղիները, ստացված փաստերի յուրահատկություններն ու կամուրջ կեղևային կապերի գործառնություն համար նրանց նշանակությունը:

ЛИТЕРАТУРА-ՊՐԱՎԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ *G.A.Mihailoff, J.S.King, J. Comp. Neurol., v.159, №4, p.521-552 (1975).*
- ² *M.N.Cooper, C.A.Fox, J. Comp. Neurol., v.168, №1, p.145-176 (1976).*
- ³ *K.Sasaki, S.Kawaguchi, T.Shimono e.a., Brain Res., v.20, p.435-438 (1970).*
- ⁴ *Wiesendanger, D.G.Ruegg, R.Wiesendanger, in: Cerebro-cerebellar interactions. Elsevier, Amsterdam, p.45-67, 1979.*
- ⁵ *D.Ruegg, M.Wiesendanger, J. Physiol. (Lond), v.247, №3, p.745-757 (1975).*
- ⁶ *G.Ugolini, H.G.J.M.Kuypers, Brain Res., v.365, №2, p.211-227 (1986).*
- ⁷ *J.A.Lamas, L.Martinez, A.Canedo, Neuroscience, v.62, №1, p.115-128 (1994).*
- ⁸ *G.I.Allen, H.Korn, T.Oshima, Exp. Brain Res., v.24, №1, p.15-36 (1975).*
- ⁹ *В.Н.Казанков, А.М.Долгополов, Нейрофизиология, т.12, №5, с.472-480 (1980).*
- ¹⁰ *Е.В.Папоян, В.В.Фанарджян, Физиол. журн. СССР, т.72, №7, с.865-873 (1986).*
- ¹¹ *В.В.Фанарджян, О.П.Косоян, А.О.Балтикян, Нейрофизиология, т.20, №1, с.38-48 (1988).*
- ¹² *M.Bentivoglio, G.Macchi, P.Rossini e.a., Exp. Br. Res., v.31, №4, p.489-498 (1973).*
- ¹³ *K.M.Cornes, T.A.Fuller, J.L.Price, J. Comp. Neurol., v.302, №4, p.824-852 (1990).*
- ¹⁴ *A.Jourdain, K.Semba, H.C.Fibiger, Brain Res., v.505, №1, p.55-65 (1989).*
- ¹⁵ *B.J.Lossier, K.Semba, Brain Res., v.604, №1/2, p.41-52 (1993).*

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

Վ.Ի.Գավրիլով, Վ.Ս.Ջաքարյան – Նորմալ հոլոմորֆ ֆունկցիաների ոչ շոշափող աճը և սահմանափակությունը	3
Ռ.Ա.Բադիյան – Վորոնովսկայաի թեորեմի ընդհանրացումը Բեռնշտեյն-Հաուսդորֆի տիպի ֆվագիրազմանդամների համար	15
Գ.Վ.Հարությունյան – Տրված քազմությունից գործակիցներով ֆվագիրազմանդամներով հավասարաչափ մոտարկման մասին	20
Մ.Լ.Աղալովյան – Սեփական արժեքների որոշման մի խնդրի մասին սեյսմոլոգիայում	23
Հ.Գ.Սարուխանյան – Պարամետրական քլոկային լրացուցիչ հաջորդականություններ	29
Ս.Ա.Նիզիյան, Լ.Օ.Խաչոյան – Տրամաքանական ծրագրերի ինտերպրետացիա և ձևափոխություն	32

ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

Վ.Ա.Վարդանյան – Տրամաքանական ֆունկցիաների իրականացման մասին՝ ճանապարհային հապաղումների անսարքությունների նկատմամբ ստուգելի կոմբինացիոն սխեմաների տեսքով	38
---	----

ԱՌԱՉԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

Վ.Ս.Տոնոյան, Ս.Ա.Մելքունյան – Ներքին ուղղահայաց վերջավոր ճեղքով օրթոտրոպ կիսահարթության համար համաչափ կոնտակտային խնդիրը	43
--	----

ԷԼԷԿՏՐԱՌԱՉԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

Վ.Ս.Տոնոյան, Վ.Ա.Բեժանյան – Երկու եզրային էլեկտրոդներով պլեզոկերամիկ կիսահարթության համար էլեկտրաառաձգական խնդիրը	50
---	----

ՖԻԶԻԿԱ

Ֆ.Վ.Գասպարյան, Կ.Բ.Մաթևոսյան – Անհամասեռ լեգիրացված կիսահաղորդիչներից պատրաստված արեգակնային էլեմենտներ	55
Վ.Հ.Ջրբաշյան – Ատոմում էլեկտրոնների քաշխման և տարրերի պարբերական համակարգի մասին	61
Ր.Ա.Բադիյան – Վավիլով-Ջերենկովի ճառագայթման պայմանի դեպքում անցումային ճառագայթման տեսության վերաբերյալ	64

ԱՎՏՈՄԱՏԻԿԱ ԵՎ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՍԻՍՏԵՄՆԵՐ

Ռ.Ե.Սարգսյան – Ըստ ուղղությունների ածանցյալների մեթոդի վրա հիմնված մարդ-մեքենայական ընթացակարգերի զուգամիտությունը	68
--	----

ԻՆԺԵՆԵՐԱԿԱՆ ՍԵՅՍՄՈԼՈԳԻԱ

Բ.Կ.Կարապետյան, Կ.Բ.Կարապետյան – Ինժեներային սեյսմոլոգիայի խնդիրների լուծման ընթացքում ստացված Ֆուրյեի ինտեգրալի հատկության վերաբերյալ	73
--	----

ՍԵՅՍՄՈԼՈԳԻԱ

Ռ.Հ.Մովսիսյան – Գեոդեզիական մոնիտորինգ՝ երկրաշարժ առաջացնող ակտիվ խզվածքի երկայնքով ուժեղ երկրաշարժերի հնարավոր օջախներ հայտնաբերելու նպատակով	76
--	----

ԷԿՈԼՈԳԻԱ

ՊՄՂափլանյան – Սևանա լճի տրոֆայնության մեծացման հիմնական
պատճառները 83

ԵՐԿՐԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

ՄԱՍաթյան, ԱՎՎարդանյան, ԺՀՍտեփանյան, ՌՆՏայան, ԱԽՄնացա-
կանյան, ՄՆՀարությունյան – Փոփր Կովկասի Վեդու օֆիոլիտային գոտու ոռ-
բինատար դիատրեմաներ 88

ՍՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ԿԵՆՍԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

ՄԳԳևորգյան, ՌԱԶաքարյան, ՆԴԱզարյան, ԱՍԱղաբալյան, ԷԳԱֆրիկ-
յան – *Bacillus thuringiensis*-ի դելտա-էնդոտոֆսինի ինտերֆերոն-խթանող ալ-
տիվության մեխանիզմի վերաբերյալ 92

ԱՄՍեդրակյան, ԱԶՓեփոյան, ԺԱԿծոյան, ԿԳՂարագյուզյան – *Salmo-*
nella derby բջիջների թաղանթային սպիտակուցների և ֆոսֆոլիպիդների ազ-
դեցությունը միջբջջային փոխազդեցությունների բնույթի վրա 96

ԻՎՎարդերեսյան, ԺԱԿծոյան, ԳԿՇաիրազյան, ԿԳՂարագյուզյան –
Salmonella derby K₈₉ բջիջների R-գործոնի ֆիզիկական բնութագիրը 100

ԲԻՈՋԻՄԻԱ

ՍԱԱղսջանյան, ԱՀԱռաքելյան, ԿՎԴանոյան, ՌԱՂազարյան, ԼՎԿա-
րաբալյան – Առնետի լյարդի միտոֆոնդրիաններից անջատված գլուտամատդե-
հիդրոգենազի իմոբիլիզացումը սեֆառոզի վրա: Հեֆումների ինակտիվացման
և դիսոցման ուսումնասիրությունը միզանյութի առկայությամբ 104

ՆՎԽուդավերդյան, ԶՎՂարիբյան, ԻՍԴանիելյան, ԼԳԿարապետյան,
ՀՄՍտեփանյան, ԲՏՂարիբջանյան – Հակաուռուցքային հակաբիոտիկ ուրո-
միցինի ազդեցությունը ուռուցքային հյուսվածքի ԴՆԽ-ի վրա 111

ԱԱԳալոյան, ՏԴԼի, ՍՍԱլեքսանյան, ԲՅԳուրվից, ՍԳՉայիսյան, ՅԱԵգո-
րով, ԿԱՄարկոսյան – Հիպոթալամուսի նոր պոլիպեպտիդները՝ անջատումը և
առաջնային կառուցվածք 117

ՍՈՐՖՈԼՈԳԻԱ

ՆՆՄելքոնյան, ԻԳՍարգսյան, ԿՎՂազարյան, ՀՄՉիլինգարյան – Առ-
նետների ուղեղի մազանոթների ռեակցիան երկնագույն կետի բայթայման
դեպոզիտ 120

ԲԺՇԿԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

ՀՄԱվետիսյան – Զարկերակի ախտորոշիչ նշանակությունը հին Հայաս-
տանի բժշկությունում 122

ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ

ԵՎՊապոյան, ՎԲՖանարջյան – Կատվի ուղեղի գազաթային կեղևի է-
ֆերենտ համակարգերի դանդաղ և արագ նեյրոնների ակտիվության ուղեղի-
կային հսկողությունը 127

ԶՌՀարությունյան, ՌԱՀարությունյան, ԼԱՍահակովա, ՍՇՄարտիրոսյան,
ՀԳԲալասանյան, ԶԿԽաչատրյան – Թիմուդոետինի ջերմակարգավորիչ դերը . . 131

ԼՌՄանվելյան, ՄՆՍերեդա, ՎԲՖանարջյան – Կատվի դիմանյարդի կո-
րիզի շարժանեյրոնների սինապսային պատասխանները կենտրոնական ազդե-
ցությունների դեպոզիտ 135

ԵՎՊապոյան – Կամուրջ-կեղևային կապերի էլեկտրաֆիզիոլոգիական
վերլուծությունը 141

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

- В.И.Гаврилов, В.С.Захарян* — Некасательный рост и ограниченность нормальных голоморфных функций 3
- Р.А.Багиян* — Обобщение теоремы Вороновской на случай квазиполиномов типа Бернштейна — Хаусдорфа 15
- Г.В.Арутюнян* — О равномерном приближении квазиполиномами с коэффициентами из заданного множества 20
- М.Л.Агаловян* — Об одной задаче на собственные значения, возникающей в сейсмологии 23
- А.Г.Саруханян* — Дополнительные параметрические блочные последовательности 29
- С.А.Нигияц, Л.А.Хачоян* — Интерпретация и преобразование логических программ 32

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

- В.А.Вардадян* — О реализации логических функций комбинационными схемами, тестируемыми относительно неисправностей задержек путей. . 38

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

- В.С.Тоноян, С.А.Мелкумян* — Симметричная контактная задача для ортотропной полуплоскости с внутренним вертикальным конечным разрезом 43

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОУПРУГОСТИ

- В.С.Тоноян, В.А.Бежанян* — Задача электроупругости для пьезокерамической полуплоскости с двумя граничными электродами 50

ФИЗИКА

- Ф.В.Гаспарян, К.Б.Матевосян* — Солнечные элементы на основе неоднородного легированного полупроводника 55
- В.А.Джрбашян* — О распределении электронов в атоме и о периодической системе элементов 61
- Р.А.Багиян* — К теории переходного излучения при условии излучения Вавилова — Черенкова 64

АВТОМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

- Р.Е.Саркисян* — К сходимости адаптивных интерактивных процедур, основанных на методах производных по направлению 68

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

- Б.К.Каралетян, К.Б.Каралетян* — О свойстве интеграла Фурье, установленном при решении задач инженерной сейсмологии. 73

СЕЙСМОЛОГИЯ

- Р.А.Мовсесян* — Геодезический мониторинг вдоль активного разлома с целью обнаружения возможных очагов сильных землетрясений и оценки их магнитуды 76

ЭКОЛОГИЯ

- П.М.Капелян* — Основные причины увеличения трофности озера Севан 83

ГЕОЛОГИЯ

- М.А.Сатян, А.В.Варданян, Ж.О.Степанян, Р.Н.Таян, А.Х.Мнацаканян, М.А.Арутюнян* — Рубиноносные дитремы Вединской офиолитовой зоны Малого Кавказа 88

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

- М.Г.Геворкян, Р.А.Захарян, Н.Г.Азарян, А.Г.Агабалян, Э.К.Африкян* — К механизму интерферон индуцирующей активности дельта-эндотоксина *Bacillus thuringiensis* 92

- А.М.Седракян, А.З.Пепоян, Ж.А.Кцоян, К.Г.Карагезян* — Влияние белков и фосфолипидов мембран *Salmonella derby* на характер межклеточных взаимодействий 96

- И.В.Вартересян, Ж.А.Кцоян, Г.К.Шахбазян, К.Г.Карагезян* — Физическая характеристика R-фактора в штамме *Salmonella derby* K89 100

БИОХИМИЯ

- С.А.Агаджанян, А.Г.Аракелян, К.В.Даноян, Р.А.Казарян, Л.В.Карабашян* — Иммобилизация глутаматдегидрогеназы митохондрий печени крысы на сефарозе. Изучение инактивации и диссоциации гексамера под влиянием мочевины 104

- Н.В.Худавердян, Д.В.Гарибян, И.С.Даниелян, Л.Г.Карапетян, Г.М.Степанян, Б.Т.Гарибджанян* — Влияние противоопухолевого антибиотика рубомицина на ДНК опухолевой ткани 111

- А.А.Галоян, Т.Д.Ли, С.С.Алексанян, Б.Я.Гурвиц, С.Г.Чаилян, Ц.А.Егоров, К.А.Маркосян* — Новые полипептиды гипоталамуса: выделение и первичная структура 117

МОРФОЛОГИЯ

- Н.Н.Мелконян, И.Г.Саркисян, К.В.Казарян, А.М.Чилингарян* — Реакция капилляров мозга крыс на разрушение голубого пятна 120

МЕДИЦИНА

- Г.М.Аветисян* — Диагностическое значение пульса в медицине Армении прошлых веков 122

ФИЗИОЛОГИЯ

- Е.В.Папоян, В.В.Фанарджян* — Мозжечковый контроль активности медленных и быстрых нейронов эфферентных систем темной коры мозга кошки 127

- К.Р.Арутюнян, Р.А.Арутюнян, Л.А.Саакова, С.Ш.Мартirosян, Р.Г.Баласанян, Дж.К.Хачатрян* — Терморегуляторная роль тимопэтина 131

- Л.Р.Манвелян, М.Н.Середа, В.В.Фанарджян* — Сигнальные ответы мотонейронов ядра лицевого нерва кошки на центральные послышки 135

- Е.В.Папоян* — Электрофизиологический анализ понто-корковых связей 141

CONTENTS

MATHEMATICS

<i>V.I.Gavrilov, V.S.Zakarian</i> – Nontangent growth and boundedness of normal holomorphic functions	3
<i>R.A.Baghian</i> – Generalization of Voronovskaya theorems for quasipolynomials of Bernstein–Hausdorff type	15
<i>G.V.Haroutunian</i> – On uniform approximation by quasipolynomials with coefficients from the given set	20
<i>M.L.Aghalovian</i> – On a problem of own values, arising in seismology	23
<i>A.G.Sarukhanian</i> – Complementary parametric block sequences	29
<i>S.A.Nigryan, L.O.Khatchoyan</i> – Logic programs interpretation and transformation	32

APPLIED MATHEMATICS

<i>V.A.Vardanian</i> – On realization of logic functions by combinational circuits testable with respect to path delay faults	38
---	----

THEORY OF ELASTICITY

<i>V.S.Tonoyan, S.A.Melkumian</i> – A symmetrical contact problem for orthotropic half-plane with inner vertical finite cut	43
---	----

THEORY OF ELECTROELASTICITY

<i>V.S.Tonoyan, V.A.Bejanian</i> – The problem of electroelasticity for the piezoceramic semi-plane with two boundary electrodes	50
--	----

PHYSICS

<i>F.S.Gasparian, K.B.Matevossian</i> – Solar cells made on nonhomogeneous doped semiconductors	55
<i>V.A.Djrbashian</i> – On the distribution of electrons in atom and on the periodic system	61
<i>R.A.Baghian</i> – About the theory of transition radiation on condition of Vavilov–Cherenkov radiation	64

AUTOMOTISATION AND CONTROL SYSTEMS

<i>R.Y.Sarkissian</i> – To the convergence of adaptive interactive procedures, founded on the methods of executives by the direction	68
--	----

ENGINEERING SEISMOLOGY

<i>B.K.Karapetian, K.B.Karapetian</i> – The integral Fourier property, obtained in the time of engineering seismology problems solution	73
---	----

SEISMOLOGY

<i>R.A.Movsisian</i> – Geodesic monitoring along the active break for the purpose detection of the possible centres of heavy earthquakes and estimate of their magnitudes ..	76
--	----

ECOLOGY

- P. M. Kaplanian* – The main reasons of the lake Sevan increasing trophness 83

GEOLOGY

- M. A. Satian, A. V. Vardanian, J. O. Stepanian, R. N. Tajian, A. Kh. Mnatsakanian, M. A. Arutjunian* – Rubybearing diatremes of the Vedi ophiolite zone of Lesser Caucasus 88

MOLECULAR BIOLOGY

- M. G. Gevorkian, R. A. Zakharian, N. G. Azarian, A. S. Agabalian, E. G. Afrikian* – On the mechanism of interferon inducing activity of *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxin. 92

- A. M. Sedrakian, A. Z. Pepoyan, Zh. A. Ktsoyan, K. G. Karageusian* – The *Salmonella derby* membrans' proteins and phospholipids influence on the character of interactions 96

- I. V. Varteresian, Zh. A. Ktsoyan, G. K. Shachbasian, K. G. Karageusian* – Physical characteristics of R-factor of *Salmonella derby* K89 100

BIOCHEMISTRY

- C. A. Agudjanian, A. G. Arakelian, K. V. Danoyan, R. A. Kazarian, L. V. Karabashian* – Immobilization of mitochondrial rat liver glutamate dehydrogenase on sepharose. Investigation of urea-induced inactivation and dissociation of hexamer 104

- N. V. Khudaverdian, D. V. Gharibian, I. S. Danielian, L. G. Karapetian, H. M. Stepanian, B. T. Gharibjanian* – Influence of antitumor antibiotic rubomicin on tumor DNA 111

- A. A. Galoyan, T. D. Lee, S. S. Alexanian, B. Ya. Gurvits, S. G. Chailian, Ts. A. Egorov, K. A. Markossian* – New polypeptides of hypothalamus. Isolation and primary structure. 117

MORPHOLOGY

- N. N. Melkonian, I. G. Sarkisian, K. V. Kazarian, A. M. Chilingarian* – The reaction of rat's cerebellum on Locus Coeruleus 120

MEDICINE

- G. M. Avelissian* – Diagnostic significance of the pulse in medicine Armenia the past centuries 122

PHYSIOLOGY

- E. V. Papoyan, V. V. Fanardjian* – Cerebellar control of slow and fast neurons activity of the cat parietal cortex efferent systems 127

- K. R. Harutunian, R. A. Harutunian, L. A. Saakova, S. Sh. Martirosian, R. G. Balasanian, G. K. Khachatrian* – The thermoregulatory role of thymopoethyn 131

- L. R. Manvelian, M. N. Sereda, V. V. Fanardjian* – Synaptic responses of the cat facial nucleus motoneurons to central sending 135

- E. V. Papoyan* – Electrophysiological analysis of ponto-cortical connections 141