

ԵՐԵՎԱՆԻ
ՊԵՏԱԿԱՆ
ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ



ЕРЕВАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Գ Ի Տ Ա Կ Ա Ն
Տ Ե Ղ Ե Կ Ա Գ Ի Ր

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

2.2004

ԵՐԵՎԱՆ ♦ ЕРЕВАН

ISSN 0132-0173

Հրատարակվում է 1925 թ.-ից (1967 թ.-ից՝ անընդմեջ):

Издаётся с 1925 г. (с 1967 г. — периодически).

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Ռ.Մ. (գլխ. խմբագիր), ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Ս.Գ. (գլխ. խմբագրի տեղակալ),
ՇԱՐԱՄԲԵՅԱՆ Լ.Թ. (պատ. քարտուղար)

ՔՈՅՆԱԳՐՅԱՆ Վ.Ռ., ԴԱՆԻԵԼՅԱՆ Է.Ա., ԽԱՇԱՏՐՅԱՆ Ի.Գ., ԽԱՇԱՏՐՅԱՆ Հ.Գ.,
ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ Լ.Լ., ՍԱՐԳՍՅԱՆ Շ.Ա., ՍԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Ռ.Մ., ՇՈՒԹՈՒՐՅԱՆ Ս.Վ.,
ՉՈՒԲԱՐՅԱՆ Է.Վ., ՍԱՐԳՍՅԱՆ Հ.Հ., ՍԱՐԳՍՅԱՆ Ս.Վ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ԱՐՄՈՒԹՅԱՆ Ր.Մ. (գլ. редактор), ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Ս.Գ. (զամ. գլ. редактора),
ՇԱՐԱՄԲԵՅԱՆ Լ.Թ. (պատ. секретарь)

ԲՈՅՆԱԳՐՅԱՆ Վ.Ր., ԴԱՆԻԵԼՅԱՆ Է.Ա., ՄԱՐԿԱՐՅԱՆ Ս.Ա., ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Ր.Մ.,
ՕՏԻՍՅԱՆ Լ.Լ., ՏԱՐԿԻՍՅԱՆ Օ.Ա., ՏԱՐԿԻՍՅԱՆ Տ.Վ., ԽԱՇԱՏՐՅԱՆ Ա.Գ.,
ԽԱՇԱՏՐՅԱՆ Ի.Գ., ՉՈՒԲԱՐՅԱՆ Է.Վ., ՇՈՒԿՐՅԱՆ Տ.Կ.

Издательство Ереванского университета
© "Ученые записки" ЕГУ, естественные науки. 2004 *

Подписано к печати 30.04.2004 г.

Формат 70x108 1/16. 9,75 печ. л. = 13,65 усл. п. л. Заказ 69. Тираж 150.
Регистрационный номер 258

Издательство Ереванского государственного университета. Ереван, Ал. Манукяна, 1.
Цех Ротапринт Ереванского государственного университета, Ереван, Ал. Манукяна, 1.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

Ի. Գ. Խաչատրյան – Ֆորյեի տիպի որոշ ինտեգրալ օպերատորների հակադարձալիության մասին	3
Ի. Ռ. Մինոնյան – Բաշխական և գերբաշխական կիսախմբերի բազմաձևությունների կավարներ	7
Տ. Պ. Ղազանչյան – Չուգամիտության արագության գնահատականը Էրդշի-Կացի սահմանային թեորեմում կախյալ պատահական մեծությունների համար	20
Ա. Հ. Ափինյան – Դինամիկ օպտիմալացման մի խնդրի լուծման թվային մեթոդ	27

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

Լ. Ա. Մազմանյան – Առածգական սալի տատանողական շարժման օպտիմալ ղեկավարման մասին հակամետ իրավիճակներում	33
Կ. Հ. Սարգսյան – Խնդիր պլեզոլեկտրիկ կիսատարածության սահքային տատանումների վերաբերյալ, երբ նրա եզրային մակերևույթին ամրացված է դիէլեկտրիկ առածգական շերտ	39

ՖԻԶԻԿԱ

Ա. Վ. Գալստյան – Պոլիմերային դիսպերսված հեղուկ բյուրեղական միջավայրերում գրանցված հաստ անիզոտրոպ հոլոգրամների առաջացման դինամիկան և դրանց հետազոտությունը	47
Կ. Վ. Ալումյան, Թ. Ս. Մնացականյան, Տ. Հ. Էյրամջյան, Ֆ. Հ. Էյրամջյան – Մեխանիկական իզոլարման գծերի և ռենտգենյան ճառագայթների ճոճանակային շերտերի համադրումը	53

ԶԻՄԻԱ

Հ. Հ. Ղազոյան, Ա. Մ. Ասատրյան, Է. Ռ. Սարուխանյան – Միջմոլեկուլային փոխազդեցությունները և իոնների սովատացիան ակրիլամիտրիլի դիմեթիլսուլֆօքսիդային լուծույթներում	58
Լ. Գ. Մելիք-Օհանջանյան, Ջ. Հ. Ճշմարիտյան – Ակրիլամիդի հետ որոշ մետաղների աղերի կատիոնների փոխազդեցության ուսումնասիրությունը ԻԿ-սպեկտրոսկոպիայի մեթոդով	67
Դ. Ս. Գալստյան, Յասին Մալա, Լ. Ս. Սարգսյան, Հ. Պ. Գալումջյան, Հ. Գ. Խաչատրյան – Հազվագյուտ տարրերի նրբաշերտ քրոմատոգրաֆիայում արգիլիզիտի կիրառության հնարավորության մասին	72
Ս. Մ. Հակոբյան – 1,4-Դիօքսանոնների նոր ածանցյալների ֆոտոսինթեզ	79

ԿԵՆՍԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Լ.Է. Ներսիսյան, Ջ.Վ. Ղարիբյան, Գ.Մ. Ստեփանյան, Ա.Գ. Մարկարյան, Ա.Ա. Հովհաննիսյան, Ա.Պ. Անտոնյան, Մ.Ա. Փարսադանյան, Յու.Ս. Բաբայան – Մարկոմա 45-ի ԴՆԹ-ի կառուցվածքի վրա հակաուռուցքային հակաբիոտիկ դոքսոտրիբցինի ազդեցությունը հակասբրեսային միացությունների հետ համատեղ.....	84
Մ.Ա. Դավթյան, Ս.Ա. Կարապետյան, Ա.Հ. Թամրազյան, Լ.Հ. Պետրոսյան – <i>Paramecium multimicronucleatum</i> ինֆուզորիաների և <i>Candida guilliermondii</i> НП-4 խմորասնկերի միտոքոնդրիումային ֆրակցիայի գլյուտամինազի ակտիվության կարգավորումը.....	89
Ն.Ն. Զաաչիկյան – Միջին դպրոցում սովորող դեռահասների սրտի դիքմի փոփոխությունները քննության պայմաններում.....	96
Մ.Ս. Մանվելյան – Նախածննդյան և հետծննդյան շրջանում քրոմոսոմային խաթարումների ախտորոշումը Fish (Fluorescence <i>in situ</i> hybridization) եղանակի կիրառմամբ.....	103
Լ.Ա. Մաթևոսյան – Հայկական պոպուլյացիայում ԴՆԹ-տիպավորման հիման վրա հյուսվածքների համատեղելիության ուսումնասիրության գենետիկական ասպեկտները.....	109

ԵՐԿՐԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Մ.Ա. Գրիգորյան, Ա.Ս. Սարգսարյան, Գ.Վ. Մարկոսյան, Վ.Պ. Վարդանյան – «Հանքային ջուր» սողանքի ուսումնասիրման երկրաֆիզիկական մեթոդների կիրառման առանձնահատկությունները.....	116
Ջ.Ա. Բաղդասարյան – Շահումյանի ոսկի-բազմամետաղային հանքավայրի մուշարկման օպտիմալ ցանցը.....	123

ՀԱՂՈՐԴՈՒՄՆԵՐ

Ս.Մ. Նարինյան, Տ.Զ. Խաչիկյան – Լիի խմբի ենթախմբերի Առնոլդի-Կոիլովի իմաստով հավասարաչափ բաշխվածության մասին.....	128
Յասին Մալա – Վանադիումի միկրոքանակների որոշումը նրբաշերտ քրոմատոգրաֆիայի եղանակով.....	132
Ն.Ս. Վարդազարյան – Տարիքի և սեռի ազդեցությունը հայկական պոպուլյացիայի առողջ անձանց բերանի խոռոչի էքսֆոլիատիվ բջիջներում միկրոկորիզների սպորնտան մակարդակի վրա.....	136

ԲԱՆԱՎԵՃ ԵՎ ԶՆՆԱՐԿՈՒՄ

Ս.Ե. Գոգինյան – Երկաթի մետալուրգիան պատմական Հայաստանում.....	141
Միքայել Լևոնի Տեր-Միքայելյանի հիշատակին.....	150

Математика

УДК 517.53

И. Г. ХАЧАТРЯН

ОБ ОБРАТИМОСТИ НЕКОТОРЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ ТИПА ФУРЬЕ

Рассматривается в пространстве $L^2(0, \infty)$ интегральный оператор U типа Фурье, который возникает в обратной задаче квантовой теории рассеяния. Доказывается, что либо U , либо сопряженный оператор U^* имеет обратный.

Пусть $S(\lambda)$ – ограниченная и измеримая комплекснозначная функция, определенная на полуоси $\lambda > 0$. Обозначим

$$u(x, \lambda) = e^{-ix\lambda} + S(\lambda)e^{ix\lambda}, \quad x > 0, \quad \lambda > 0.$$

При помощи функции $u(x, \lambda)$ определим в пространстве $L^2(0, \infty)$ ограниченный оператор U по формуле

$$(Uf)(\lambda) = \int_0^{\infty} \overline{u(x, \lambda)} f(x) dx, \quad \lambda > 0, \quad f \in L^2(0, \infty),$$

где интеграл сходится по норме $L^2(0, \infty)$. Сопряженный оператор U^* задается по формуле

$$(U^*\varphi)(x) = \int_0^{\infty} u(x, \lambda) \varphi(\lambda) d\lambda, \quad x > 0, \quad \varphi \in L^2(0, \infty),$$

где интеграл сходится опять по норме $L^2(0, \infty)$. Для $x > 0$ и $\lambda > 0$ рассмотрим также функции

$$v(x, \lambda) = e^{-ix\lambda} - \overline{S(\lambda)}e^{ix\lambda}, \quad w(x, \lambda) = e^{-ix\lambda} + \overline{S(\lambda)}e^{ix\lambda}$$

и при их помощи по аналогии с U определим в $L^2(0, \infty)$ операторы V и W . Операторы U , V и вопрос их обратимости возникают в обратной задаче квантовой теории рассеяния (см. [1–3]).

Лемма 1. Если для функций f и g из $L^2(0, \infty)$ почти при всех $\lambda > 0$ выполняется равенство

$$\int_0^{\infty} e^{ix\lambda} f(x) dx \int_0^{\infty} e^{ix\lambda} g(x) dx + a \int_0^{\infty} e^{-ix\lambda} f(x) dx \int_0^{\infty} e^{-ix\lambda} g(x) dx = 0, \quad (1)$$

где $a^2 = 1$, то либо $f = 0$, либо $g = 0$.

Доказательство. С учетом $a^2 = 1$, очевидно, равенство (1) выполняется почти при всех $\lambda \in (-\infty, \infty)$. Продолжим функции f и g на отрицательную полуось, положив $f(x) = 0$ и $g(x) = 0$ при $x < 0$. Для $\lambda \in (-\infty, \infty)$ равенство (1) напомним в виде

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-ix\lambda} f(-x) dx \int_{-\infty}^{\infty} e^{ix\lambda} g(x) dx + a \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ix\lambda} f(x) dx \int_{-\infty}^{\infty} e^{ix\lambda} g(-x) dx = 0.$$

Отсюда следует, что для каждого $t > 0$

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-ix\lambda} f(t-x) dx \int_{-\infty}^{\infty} e^{ix\lambda} g(x) dx + a \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ix\lambda} f(x-t) dx \int_{-\infty}^{\infty} e^{ix\lambda} g(-x) dx = 0.$$

Интегрируя обе части этого равенства по $\lambda \in (-\infty, \infty)$, в силу равенства Парсеваля (см. [4]) получим

$$\int_0^t f(t-x)g(x) dx = 0, \quad t > 0.$$

Обе части последнего равенства умножим на $e^{it\lambda}$ и проинтегрируем по $t \in (0, \infty)$. Тогда после простых преобразований получим

$$\int_0^{\infty} e^{ix\lambda} f(x) dx \int_0^{\infty} e^{ix\lambda} g(x) dx = 0, \quad -\infty < \lambda < \infty.$$

Очевидно, в этом равенстве один из множителей равен нулю для всех значений λ из множества положительной меры. Отсюда вытекает (см. [5], с. 413; [6], с. 183–189), что либо $f = 0$, либо $g = 0$.

Лемма 2. Если функция $\varphi \in L^2(0, \infty)$ такая, что $U^* \varphi = 0$, а функция $g \in L^2(0, \infty)$ определена равенством

$$g(x) = \int_0^{\infty} e^{ix\lambda} \varphi(\lambda) d\lambda + \int_0^{\infty} e^{-ix\lambda} S(\lambda) \varphi(\lambda) d\lambda, \quad x > 0, \quad (2)$$

то

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} e^{-ix\lambda} g(x) dx = \varphi(\lambda), \quad \lambda > 0, \quad (3)$$

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} e^{ix\lambda} g(x) dx = S(\lambda) \varphi(\lambda), \quad \lambda > 0, \quad (4)$$

и, значит, $Vg = 0$. Обратно, если функция $g \in L^2(0, \infty)$ такая, что $Vg = 0$, а функция $\varphi \in L^2(0, \infty)$ определена равенством (3), то выполняются также равенства (4), (2) и $U^* \varphi = 0$. Следовательно, операторы U^* и V могут быть обратимыми лишь одновременно.

Доказательство. Равенство $U^* \varphi = 0$ напомним в виде

$$0 = \int_0^{\infty} e^{ix\lambda} \varphi(\lambda) d\lambda + \int_0^{\infty} e^{-ix\lambda} S(\lambda) \varphi(\lambda) d\lambda, \quad x < 0. \quad (5)$$

Продолжим функции $\varphi(\lambda)$ и $S(\lambda)$ на отрицательную полуось, положив $\varphi(\lambda) = 0$ и $S(\lambda) = 0$ при $\lambda < 0$. Тогда из (2) и (5) при помощи преобразования Фурье получим

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} e^{ix\lambda} g(x) dx = \varphi(-\lambda) + S(\lambda) \varphi(\lambda), \quad -\infty < \lambda < \infty. \quad (6)$$

Это равенство эквивалентно равенствам (3) и (4), из которых вытекает также

$$\int_0^{\infty} e^{ix\lambda} g(x) dx - S(\lambda) \int_0^{\infty} e^{-ix\lambda} g(x) dx = 0, \quad \lambda > 0, \quad (7)$$

или, что то же самое, $Vg = 0$.

Обратное утверждение доказывается следующим образом. Из условия $Vg = 0$, эквивалентного равенству (7), с учетом (3) вытекает (4), а значит, и (6). Из (6) при помощи преобразования Фурье получаем (2) и (5), а (5) эквивалентно равенству $U^* \varphi = 0$.

Теорема. В каждой паре (U, V) , (U, W) , (U, U^*) , (U^*U, UU^*) один из операторов имеет обратный. Следовательно, если одна из функций $S(\lambda)$ и $iS(\lambda)$ вещественнозначна, то все указанные операторы имеют обратные.

Доказательство. Пусть функции f и g из $L^2(0, \infty)$ такие, что $Uf = 0$ и $Vg = 0$, т. е. выполняются равенства (6) и

$$\int_0^{\infty} e^{ix\lambda} f(x) dx + \overline{S(\lambda)} \int_0^{\infty} e^{-ix\lambda} f(x) dx = 0, \quad \lambda > 0. \quad (8)$$

Из (7) и (8) получаем

$$\int_0^{\infty} e^{ix\lambda} \overline{f(x)} dx \int_0^{\infty} e^{ix\lambda} g(x) dx + \int_0^{\infty} e^{-ix\lambda} \overline{f(x)} dx \int_0^{\infty} e^{-ix\lambda} g(x) dx = 0, \quad \lambda > 0.$$

Но тогда в силу леммы 1 либо $f = 0$, либо $g = 0$, т. е. один из операторов U и V имеет обратный.

Если же $Uf = 0$ и $Wg = 0$, то

$$\int_0^{\infty} e^{ix\lambda} \overline{f(x)} dx \int_0^{\infty} e^{ix\lambda} g(x) dx - \int_0^{\infty} e^{-ix\lambda} \overline{f(x)} dx \int_0^{\infty} e^{-ix\lambda} g(x) dx = 0, \quad \lambda > 0.$$

Отсюда в силу леммы 1 получаем обратимость одного из операторов U и V .

В силу леммы 2 и обратимости одного из операторов U и V один из операторов U и U^* имеет обратный.

Рассмотрим теперь такие функции f и φ из $L^2(0, \infty)$, для кото-

рых $U^*Uf = 0$ и $UU^*\varphi = 0$. Тогда имеем $\langle Uf, Uf \rangle = \langle U^*Uf, f \rangle = 0$ и $\langle U^*\varphi, U^*\varphi \rangle = \langle UU^*\varphi, \varphi \rangle = 0$. Поэтому $Uf = 0$ и $U^*\varphi = 0$. Отсюда, как уже доказано, следует, что либо $f = 0$, либо $\varphi = 0$, т. е. один из операторов U^*U и UU^* имеет обратный.

Кафедра дифференциальных уравнений

Поступила 11.06.2003

ЛИТЕРАТУРА

1. Марченко В.А. Операторы Штурма–Лиувилля и их приложения. Киев: Наукова думка, 1977.
2. Хачатрян И.Г. – Докл. АН Арм. ССР, 1983, т. 77, № 2, с. 55–58.
3. Хачатрян И.Г. – Изв. АН Арм. ССР, Математика, 1985, т. 20, № 1, с. 41–52.
4. Джрбашян М.М. Интегральные преобразования и представление функций в комплексной области. М.: Наука, 1966.
5. Голузин Г.М. Геометрическая теория функций комплексного переменного. М.: Наука, 1966.
6. Гофман К. Банаховы пространства аналитических функций. М.: ИЛ, 1975.

Ի. Գ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

ՖՈՒՐՅԵԻ ՏԻՊԻ ՈՐՈՇ ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՕՊԵՐԱՏՈՐՆԵՐԻ
ՀԱԿԱԴԱՐՁԵԼԻՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ամփոփում

Դիտարկվում է $L^2(0, \infty)$ տարածությունում Ֆուրյեի տիպի ինտեգրալ U օպերատոր, որն առաջանում է ցրման քվանտային տեսության հակադարձ խնդրում: Ապացուցվում է, որ կամ U օպերատորը, կամ նրա U^* համալուծմանի հակադարձ:

I. G. KHACHATRYAN

ON THE INVERSIBILITY OF SOME FOURIER TYPE
INTEGRAL OPERATORS

Summary

The paper considers in the space $L^2(0, \infty)$ a Fourier type integral operator U , which arise in the inverse problem of the quantum scattering theory. It is proved, that either operator U or its conjugate U^* is invertible.

Математика

УДК 512.57

И. Р. СИМОНЯН

РЕШЕТКИ ДИСТРИБУТИВНЫХ И СВЕРХДИСТРИБУТИВНЫХ
 МНОГООБРАЗИЙ ПОЛУГРУПП

В данной работе найдены все многообразия дистрибутивных и сверхдистрибутивных полугрупп, а также описываются решетки их подмногообразий.

Введем некоторые обозначения. Пусть дано слово $s = x_1^{k_1} \dots x_l^{k_l}$. Тогда

$$h(s) = \begin{cases} x_i, & \text{если } k_i = 1 \\ X_i, & \text{если } k_i > 1 \end{cases}; \quad t(s) = \begin{cases} x_i, & \text{если } k_i = 1 \\ X_i, & \text{если } k_i > 1 \end{cases};$$

$n_i(s) = k_i, i = \overline{1, l}; n(s) = \sum_1^l n_i(s)$, а $c(s) = \{x_1^{k_1}, \dots, x_m^{k_m}\}$ – множество всех различных переменных, входящих в s .

$l(s)$ выписывает различные переменные s в том порядке, в котором они встречаются в s слева направо, т.е. $l(s) = x_{i_1} x_{i_2} \dots x_{i_m}$.

Через $ModV$ обозначим многообразие полугрупп V , в котором выполняется тождество левой дистрибутивности $xyz = xuxz$.

§ 1. Идемпотентные дистрибутивные многообразия полугрупп.

Предложение 1. Многообразия полугрупп $I_0 = Mod\{x = y\}, I_1 = Mod\{x = xy\}, I_2 = Mod\{x = x^2, xy = yx\}, I_3 = Mod\{x = yx\}, I_4 = Mod\{x = x^2, xyz = xzy\}, I_5 = Mod\{x = x^2, x = xux\}, I_6 = Mod\{x = x^2, xyz = yxz\}, I_8 = Mod\{x = x^2, xyzx = xzyx\}$ являются единственными подмногообразиями многообразия

$$I' = \{x = x^2, xyz = xuxz, xyz = xzyz\} = I_8.$$

Доказательство. В [1] доказано, что единственными подмногообразиями $I = \{x = x^2, xyz = xuxz\}$ являются многообразия $I_0 - I_6, I_7 = Mod\{x = x^2, xux = xy\}, Mod\{x = x^2, xux = xy\}, I_8, I_9 = I$. Покажем, что в $I_0 - I_6, I_8$ выполняется тождество правой дистрибутивности $xyz = xzxy$ (*).

Для I_0, I_2, I_4, I_6 это очевидно.

В I_1 выполняются любые тождества $u = v$, для которых $h(u) = h(v)$. Имеем $h(xyz) = x$, $h(xzyz) = x$, значит, из I_1 выводимо $xyz = xzxy$. Для I_3 доказательство аналогично – с той лишь разницей, что здесь используется $t(s)$.

В I_7 тождество (*) не выполняется, так как если в I_7 выводимо $u = v$, то $l(u) = l(v)$, а $l(xyz) = xyz \neq l(xzyz) = xzy$. Если в I_7 добавить тождество (*), то получим, что из $xu = xux$ следует $xzyz = xzy = xyz$, т.е. $I_7 \cap \{xyz = xzyz\} \subseteq I_4$. Обратное, из $xyz = xzy, x = x^2$ легко получается $xux = x * xu = x^2 y = xy$, а значит, $I_4 \subseteq I_7$, откуда следует, что $I_7 \cap \{xyz = xzyz\} = I_4$.

Рассмотрим $I_9 \cap \{xyz = xzyz\}$. Очевидно, что из $xyz = xyxz, xyz = xzyz$ следует $xzyx = x(yx)zx = xz yxzx = xzyzx = xzyx$. Тогда $I_9 \cap \{xyz = xzyz\} \subseteq I_8$. Обратное, из $x = x^2, xzyx = xzyx$ и $xyz = xyxz$ получим, что $xyz = xyz^2 = x(yz)z = x(yz)xz = x(zx)zx = xzyz$. Таким образом, $I_8 \subseteq I_9 \cap \{xyz = xzyz\}$, откуда следует, что $I_8 = I_9 \cap \{xyz = xzyz\}$.

Следствие 1 ([1], предложение 4.1). $I_0 \subseteq I_1 \subseteq I_4, I_1 \subseteq I_5 \subseteq I_8, I_2 \subseteq I_6 \subseteq I_8, I_0 \subseteq I_2 \subseteq I_4 \subseteq I_8, I_0 \subseteq I_3 \subseteq I_5, I_3 \subseteq I_6$.

§ 2. A_i -полугруппы. Рассмотрим многообразия A_i -полугрупп:

$$A_0 = \text{Mod}\{x = y\}, A_1 = \text{Mod}\{xy = zx\}, A_2 = \text{Mod}\{xyz = u^2, xy = yx\}, \\ A_3 = \text{Mod}\{xyz = u^3, xy = yx\}, A_4 = \text{Mod}\{xyz = u^2\}, A_5 = \text{Mod}\{xyz = u^3\}.$$

Предложение 2. Все многообразия A_i -полугрупп праводистрибутивны, т.е. в них выполняется (*).

Доказательство. A_1 : $xzy = xz(yz)$ (используем $xu = zx$, где положим $x = z, y = yz, z = y$). Для остальных A_i -полугрупп доказательство очевидно.

§ 3. $P_{i,j}$ -полугруппы. В [1] $P_{i,j}$ были определены следующим образом: $P_{i,j} = A_i + I_j$.

Предложение 3. В $P_{i,j}, j \neq 7, 9$, выполняется тождество правой дистрибутивности $xyz = xzyz$.

Доказательство. По определению, $P_{i,j}$ – наименьшее многообразие полугрупп, которое содержит A_i и I_j , а так как в A_i и в $I_j, j \neq 7, 9$, выполняется (*), то и в $P_{i,j}, j \neq 7, 9$, оно также выполняется.

Рассмотрим остальные многообразия полугрупп, определенные в [1]. В многообразиях полугрупп $S_1 = \text{Mod}\{x^2 = x^3, xy^2 = xyx\}, S_2 = \text{Mod}\{x^2 = x^3\}$,

$S_3 = \text{Mod}\{xy^2 = yxy\}, R_1 = \text{Mod}\{xy = yxx\}, R_2 = \text{Mod}\{xy = xy^2\}, R_3 = R \cap S_1 =$
 $= \text{Mod}\{x^2 = x^3, xy^2 = yxy, x^2y = x^2y^2\}, R_4 = R \cap S_2 = \text{Mod}\{x^2 = x^3, x^2y = x^2y^2\},$
 $R_5 = R \cap S_3 = \text{Mod}\{x^2y = x^2y, xy^2 = yxy\}, R_6 = R = \text{Mod}\{x^2y = x^2y^2\}, T_1 =$
 $= \text{Mod}\{xy = x^2y\}, T_2 = T \cap S_2 = \text{Mod}\{x^2 = x^3, xy^2 = x^2y^2\}, T_3 = T = \text{Mod}\{xy^2 = x^2y\}$
 не выполняется $xyz = xzyz$, так как для любого тождества $u = v$ каждого
 из этих многообразий полугрупп необходимо $l(u) = l(v)$, а
 $l(xyz) = xyz, l(xzyz) = xzy$, т.е. $l(xyz) \neq l(xzyz)$.

Предложение 4. Если хотя бы в одно из вышеперечисленных многообразий полугрупп добавить тождество (*), то оно будет подмногообразием $T \cap R$, а значит, равно $P_{i,j}$ для подходящих i, j .

Доказательство. Обозначим через $S'_3 = S_3 \cap \{xyz = xzyz\} =$
 $= \text{Mod}\{xy^2 = yxy, xyz = xzyz\}$, тогда $x^2y^2 = xxyu = x * yxy = yxy = xy^2$, следова-
 тельно, $S'_3 \subseteq T$. Далее, $x^2y = xxy = xyxy = xy^2 = x^2y^2$, откуда $S'_3 \subseteq R$, а
 это означает, что $S'_3 \subseteq T \cap R$, следовательно, $S'_3 = P_{i,j}$ для подходящих i, j .

$S'_2 = S_2 \cap \{xyz = xzyz\} = \text{Mod}\{x^2 = x^3, xyz = xzyz\}$. Здесь $x^2y = xxy =$
 $= xyxy = (xy)^2 = (xy)^3 = xyxyxy = xy^2xy = xyxy = xy^2$, следовательно, $S'_2 \subseteq T$.
 Далее, $x^2y = x^3y = x * x^2y = x * xy^2 = x^2y^2$, откуда следует, что $S'_2 \subseteq R$.
 Таким образом, $S'_2 \subseteq T \cap R$.

Очевидно, что

$$S'_1 = S_1 \cap \{xyz = xzyz\} = \text{Mod}\{x^2 = x^3, xy^2 = yxy, xyz = xzyz\} \subseteq T \cap R.$$

Из вышеизложенного ясно, что если в T добавить $xyz = xzyz$, то
 $T' = T \cap \{xyz = xzyz\} \subseteq R$, откуда следует, что $T' \subseteq T \cap R$. Аналогично и
 для R .

Таким образом, все перечисленные в [1] многообразия полугрупп,
 построенные посредством подмногообразий S, T и R , совпадут с каким-
 либо из $P_{i,j}$.

В [1] показано, что $P_{0,j} = I_j, j = \overline{0,9}, P_{i,0} = A_i, i = \overline{0,5}, P_{2,j} = P_{4,j}, P_{3,j} = P_{5,j},$
 $j \neq 0,2$. Таким образом, учитывая, что по [1] любое подмногообразие
 $T \cap R$, где $T = \text{Mod}\{xy^2 = x^2y\}, R = \text{Mod}\{x^2y = x^2y^2\}$ эквивалентно $P_{i,j}$
 при соответствующих i и j , получим

Следствие 2. Каждое леводистрибутивное подмногообразие полу-
 групп, в котором выполняется (*), эквивалентно одному из следующих
 многообразий:

$$D_0 = P_{0,0} = A_0 = I_0, D_1 = P_{0,1} = I_1, \dots, D_6 = P_{0,6} = I_6, D_7 = P_{0,8} = I_8, D_8 = P_{1,0} = A_1, \dots,$$

$D_{12} = P_{5,0} = A_5, D_{13} = P_{1,1}, \dots, D_{18} = P_{1,6}, D_{19} = P_{1,8}, D_{20} = P_{2,2}, D_{21} = P_{2,1} = P_{4,1},$
 $D_{22} = P_{4,2}, D_{23} = P_{2,3}, D_{24} = P_{2,4} = P_{4,4}, D_{25} = P_{2,5} = P_{4,5}, D_{26} = P_{2,6} = P_{4,6},$
 $D_{27} = P_{2,8} = P_{4,8}, D_{29} = P_{3,1} = P_{5,1}, D_{30} = P_{3,2} = P_{5,2}, D_{31} = P_{3,3} = P_{5,3}, D_{32} = P_{3,4} = P_{5,4},$
 $D_{33} = P_{3,5} = P_{5,5}, D_{34} = P_{3,6} = P_{5,6}, D_{35} = P_{3,8} = P_{5,8}.$ Таким образом, единственными дистрибутивными многообразиями полугрупп являются многообразия $D_0 - D_{35}$.

§ 4. Вид многообразий $D_0 - D_{35}$.

Лемма 1. Если в многообразии полугрупп V выполняется тождество правой и левой дистрибутивности, то

(i) в V выполняются тождества

$$xux = x^2 ux, xux = xy^2 x, xux = xux^2, x^2 y = xy^2;$$

(ii) в V выполняется импликация

$$xux = xy \Rightarrow x^2 y = xux, xy^2 = xux, x^2 y = xy;$$

(iii) в V выполняется импликация

$$xux = ux \Rightarrow x^2 y = ux, xux = ux^2, xux = y^2 x.$$

Доказательство.

(i) $xux = xxux = x^2 ux, xux = xuxx = xux^2, xux = xxux = xuxux = xy^2 x,$

$$x^2 y = xxy = xuxy = xy^2;$$

(ii) $x^2 y = xxy = xuxy = xux = xy, xux = xy^2$ (следует из предыдущего);

(iii) $xux = ux^2, xux = y^2 x$ (аналогично (i)), $x^2 y = xxy = xuxy = xux = ux.$

Теперь найдем общий вид многообразий $D_{13} - D_{35}$. Через $x_1 x_2 \dots x_n = y_1 y_2 \dots y_m (1)^k, n, m \in N, k = \overline{13, 35}$, обозначим те тождества, посредством которых определяется $D_k, k = \overline{13, 35}$. Найдем конкретный вид этих тождеств. Начнем с $D_{13} = P_{1,1}$.

Так как $P_{1,1} = A_1 + I_1$, следовательно, $A_1 \subseteq P_{1,1}, I_1 \subseteq P_{1,1}$, то $(1)^{13}$ должно следовать из тождеств, которыми определяются A_1 и I_1 .

$I_1 = \text{Mod}\{x = xy\}$, следовательно, в $(1)^{13} x_1 = y_1$;

$A_1 = \text{Mod}\{xy = zx\}$, следовательно, в $(1)^{13} x_1 = y_m, n, m \geq 2$.

Таким образом, получим $xx_2 \dots x_n = xy_2 \dots y_{m-1} x (1)^{13}, n, m \geq 2$, следовательно, $P_{1,1} \subseteq \text{Mod}\{xx_2 \dots x_n = xy_2 \dots y_{m-1} x, n, m \geq 2\} = D_{13}^{n,m}$. Найдем наименьшее из этих многообразий. Легко видеть, что $xy = xzx$ следует из $xx_2 \dots x_n = xy_2 \dots y_{m-1} x, n \geq 2, m \geq 3$, достаточно положить $y = x_2 \dots x_n, z = y_2 \dots y_{m-1}$. При $m = 2$ получим $xy = x^2$. Из $xy = x^2$ следует $xy = xzx$ (из $xzx = x^2$ следует $xy = xzx$). Таким образом, $\text{Mod}\{xy = x^2\} \subseteq D_{13}^{n,m}$,

$\forall n, m \geq 2$, откуда следует, что $Mod\{xy = x^2\} \bigcap_{n, m \geq 2} D_{13}^{n, m} = D_{13}$. С другой

стороны, $D_{13} \subseteq Mod\{xy = x^2\}$. Отсюда следует, что $D_{13} = Mod\{xy = x^2\}$.

Рассуждая подобным образом, найдем вид остальных многообразий.

Итак, $D_{14} = P_{1,2} = A_1 + I_2$.

$I_2 = Mod\{x = x^2, xy = yx\}$, следовательно, в $(1)^{14} c(x_1 x_2 \dots x_n) = c(y_1 y_2 \dots y_m)$;

$A_1 = Mod\{xy = zx\}$, следовательно, в $(1)^{14} x_1 = y_m, n, m \geq 2$.

Таким образом, $xx_2 \dots x_n = x_{i_1} \dots x_{i_{m-1}} x (1)^{14}$, $n, m \geq 2$. Пусть x'_1, x'_2, \dots, x'_k — все отличные друг от друга переменные из $c(x_1 x_2 \dots x_n)$. Если $n_i(x_2 \dots x_n) = n_j(x_{i_1} \dots x_{i_{m-1}}, x), j = \overline{1, k}$, то $(1)^{14}$ легко получить из $xy = yx$. В обратном случае наше тождество легко получается из $xy = yx, xy = y^2 x, xy = yx^2$. Отсюда следует, что

$Mod\{xy = yx, xy = y^2 x, xy = yx^2\} \subseteq D_{14}^{n, m} = Mod\{xx_2 \dots x_n = x_{i_1} \dots x_{i_{m-1}} x, n, m \geq 2\}$,

т.е. $Mod\{xy = yx, xy = y^2 x, xy = yx^2\} \subseteq \bigcap_{n, m \geq 2} D_{14}^{n, m} = D_{14}$. С другой стороны,

$D_{14} \subseteq Mod\{xy = yx, xy = y^2 x, xy = yx^2\}$, откуда следует, что

$D_{14} = Mod\{xy = yx, xy = y^2 x, xy = yx^2\}$.

$D_{15} = P_{1,3} = A_1 + I_3$.

$I_3 = Mod\{x = yx\}$, следовательно, в $(1)^{15} x_n = y_m$;

$A_1 = Mod\{xy = zx\}$, следовательно, в $(1)^{15} x_1 = x_m, n, m \geq 2$.

Таким образом, $xx_2 \dots x_{n-1} x = y_1 \dots y_{m-1} x (1)^{15}$. Ясно, что из $xyz = zx$ следует $(1)^{15}$ при $n \geq 3, m \geq 2$ (достаточно взять $x_2 \dots x_{n-1} = y, y_1 \dots y_{m-1} = z$).

При $n = 2$ имеем $x^2 = yx$. Из $x^2 = yx$ следует $xyx = zx (x^2 = zx, (xy)x = x^2)$.

Таким образом, $Mod\{x^2 = yx\} \subseteq D_{15}^{n, m}, n, m \geq 2$, откуда следует, что

$Mod\{x^2 = yx\} \subseteq \bigcap_{n, m \geq 2} D_{15}^{n, m} = D_{15}$. $D_{15} \subseteq Mod\{x^2 = yx\}$, следовательно,

$D_{15} = Mod\{x^2 = yx\}$.

$D_{16} = P_{1,4} = A_1 + I_4$.

$I_4 = Mod\{x = x^2, xyz = xzy\}$, тогда в $(1)^{16} c(x_1 x_2 \dots x_n) = c(y_1 y_2 \dots y_m), x_1 = y_1$;

$A_1 = Mod\{xy = zx\}$, следовательно, в $(1)^{16} x_1 = y_m, n, m \geq 2$.

Отсюда получим $xx_2 \dots x_n = xx_{i_2} \dots x_{i_{m-1}} x (1)^{16}$, $n, m \geq 2$. Если $n \geq 3, m \geq 4$, то из тождеств $xyz = xzy, xyz = xzyx$ следуют все тождества вида $(1)^{16}$, где $n \geq 3, m \geq 4$. Рассмотрим остальные случаи.

1. $n = 2, m = 2$, получим тривиальное тождество $x^2 = x^3$.

2. $n = 3, m = 3$, получим $x^2y = хух, ху^2 = хух$.

3. $n = 2, m = 3$, получим $ху = хух$.

По лемме 1, $x^2y = хух, ху^2 = хух$ следуют из $ху = хух$. Очевидно, что из $хуз = хуzx$ следует $ху = хух$. Таким образом,

$$\text{Mod}\{ху = хух, хуз = хуzx\} \subseteq \bigcap_{n, m \geq 2} D_{16}^{n, m} = D_{16}.$$

Обратное, $D_{16} \subseteq \text{Mod}\{ху = хух, хуз = хуzx\}$, таким образом,
 $D_{16} = \text{Mod}\{ху = хух, хуз = хуzx\}$.

$$D_{17} = P_{1,5} = A_1 + I_5.$$

$I_5 = \text{Mod}\{x = x^2, x = хух\}$, тогда в $(1)^{17} x_n = x_m = y_1 = y_m, n \geq 1, m \geq 3$;

$A_1 = \text{Mod}\{ху = zx\}$, следовательно, в $(1)^{17} x_n = y_m, n, m \geq 2$.

Таким образом, $xx_2 \dots x_{n-1}x = ху_2 \dots y_{m-1}x (1)^{17}, n \geq 2, m \geq 3$. Заметим также, что и в I_5 , и в A_1 выполняются тождества $ху = x^2y, ху = ху^2$. Выполнимость этих тождеств в I_5 следует из $x = x^2$. Покажем выполнимость $ху = x^2y$ из $ху = zx$ (в частности из $ху = уx$): $ху = уx = x^2y$ ($y = x, x = y, z = x^2$). Отсюда и из леммы 1 следует выполнимость $ху = ху^2$. Теперь перейдем к $(1)^{17}$. Из $хух = хzx$ следует $(1)^{17}$, где $n, m \geq 3$. При $n = 2, m = 3$ имеем $x^2 = хух$. Легко заметить, что из $x^2 = хух$ вытекает $хух = хzx$. Таким образом, $\text{Mod}\{x^2 = хух, ху = x^2y\} \subseteq \bigcap_{n, m \geq 2} D_{17}^{n, m} = D_{17}$.

$D_{17} \subseteq \text{Mod}\{x^2 = хух, ху = x^2y\}$, откуда следует, что

$$D_{17} = \text{Mod}\{x^2 = хух, ху = x^2y\}.$$

$$D_{18} = P_{1,6} = A_1 + I_6.$$

$I_6 = \text{Mod}\{x = x^2, хуз = уxz\}$, тогда в $(1)^{18} c(x_1x_2 \dots x_n) = c(y_1y_2 \dots y_m), x_n = y_m$;

$A_1 = \text{Mod}\{ху = zx\}$, следовательно, в $(1)^{18} x_1 = y_m, n, m \geq 2$.

Таким образом, $xx_2 \dots x_{n-1}x = x_{i_1} \dots x_{i_{m-1}}x (1)^{18}, n, m \geq 2$. Заметим, что из тождеств $хуzx = уzx, хуzx = зуx$ следуют все тождества вида $(1)^{18}$, где $n \geq 4, m \geq 3$. Рассмотрим оставшиеся случаи.

При $n = 3, m = 3$ получим тождества $хух = y^2x, хух = уx^2$; при $n = 3, m = 2$ – тождество $хух = уx$; при $n = 2, m = 3$ – $x^2 = x^3$; при $n = 2, m = 2$ – тривиальное тождество $x^2 = x^2$.

Следуя лемме 1, получим, что из $хух = уx$ вытекают $хух = y^2x, хух = уx^2$. Очевидно, что из $хух = уx$ следуют $хуzx = уzx$ ($хуzx = x(zу)zx =$

$$= \underline{xyxzx} = \underline{zyxzx} \underset{(yx=yx)}{=} \underline{zyxz} = \underline{zyx}, x^3 = x^2.$$

Таким образом, $Mod\{xyx = xy\} \subseteq \bigcap_{n,m \geq 2} D_{18}^{n,m} = D_{18}$. $D_{18} \subseteq Mod\{xyx = xy\}$,

следовательно, $D_{18} = Mod\{xyx = xy\}$.

$$D_{19} = P_{1,8} = A_1 + I_8.$$

$I_8 = Mod\{x = x^2, xyxz = xzyx\}$, тогда в $(1)^{19} c(x_1 x_2 \dots x_n) = c(y_1 y_2 \dots y_m)$, $x_1 = x_n = y_1 = y_m$.

$A_1 = Mod\{xy = zx\}$, следовательно, в $(1)^{19} x_1 = y_m, n, m \geq 2$.

Получим $xx_2 \dots x_{n-1} x = xx_{i_2} \dots x_{i_{m-1}} x (1)^{19}$, $n, m \geq 2$. Если $n, m \geq 4$, то $(1)^{19}$ следует из $xyxz = xzyx$. Теперь рассмотрим остальные случаи.

При $n = 3, m = 4$ получим тождества $xyx = x^2 yx, xyx = xy^2 x, xyx = xuy^2$ (по лемме 1 они выполняются в этом многообразии); при $n = 3, m = 3$ — тривиальное тождество $xyx = xuy$; при $n = 2, m = 3$ — $x^2 = x^3$ (при $n = 3, m = 2$ — аналогично).

Здесь также выполняется тождество $xy = x^2 y$, которое невыводимо из $xyxz = xzyx$. Отсюда следует, что $Mod\{xyxz = xzyx, xy = x^2 y\} \subseteq \bigcap_{n,m \geq 2} D_{19}^{n,m} = D_{19}$.

С другой стороны, $D_{19} \subseteq Mod\{xyxz = xzyx, xy = x^2 y\}$, откуда получим, что $D_{19} = Mod\{xyxz = xzyx, xy = x^2 y\}$.

$$D_{20} = P_{2,2} = A_2 + I_2.$$

$I_2 = Mod\{x = x^2, xy = yx\}$, следовательно, в $(1)^{20} c(x_1 x_2 \dots x_n) = c(y_1 y_2 \dots y_m)$;

$A_2 = Mod\{xyz = u^2, xy = yx\}$, следовательно, в $(1)^{20} n \geq 3, m \geq 2$.

Ясно, что $xy = yx$ выполняется в D_{20} . Так как $c(x_1 x_2 \dots x_n) = c(y_1 y_2 \dots y_m)$, то из $xy = yx, x^2 y = yx$ выводятся все тождества вида $x_1 x_2 \dots x_n = x_{i_1} \dots x_{i_{m-1}} x_m (1)^{20}$, $n \geq 3, m \geq 2$. Таким образом,

$Mod\{xy = yx, x^2 y = yx\} \subseteq \bigcap_{n \geq 3, m \geq 2} D_{20}^{n,m} = D_{20}$. Обратное,

$D_{20} \subseteq Mod\{xy = yx, x^2 y = yx\}$, откуда $D_{20} = Mod\{xy = yx, x^2 y = yx\}$.

$$D_{21} = P_{2,1} = A_2 + I_1.$$

$I_1 = Mod\{x = xy\}$, следовательно, в $(1)^{21} x_1 = y_1$;

$A_2 = Mod\{xyz = u^2, xy = yx\}$, следовательно, в $(1)^{21} n \geq 3, m \geq 2$.

Получим $xx_2 \dots x_n = xy_2 \dots y_m (1)^{21}$, $n \geq 3, m \geq 2$. Легко заметить, что из $xyx = xiv$ следует любое тождество вида $(1)^{21}$, где $n, m \geq 3$. При $n = 3, m = 2$ получим тождество $xyx = xiv$, из которого очевидно следует

$xyz = xuv$. В итоге получим, что $Mod\{xyz = xu\} \subseteq \bigcap_{n \geq 3, m \geq 2} D_{21}^{n,m} = D_{21}$. Обратное,

$D_{21} \subseteq Mod\{xyz = xu\}$, а это означает, что $D_{21} = Mod\{xyz = xu\}$.

$$D_{22} = P_{4,1} = A_4 + I_1.$$

$I_2 = Mod\{x = x^2, xy = yx\}$, следовательно в $(1)^{22} c(x_1 x_2 \dots x_n) = c(y_1 y_2 \dots y_m)$;

$A_4 = Mod\{xyz = u^2\}$, следовательно, в $(1)^{22} n \geq 3, m \geq 2$.

Получим $x_1 x_2 \dots x_n = x_{i_1} \dots x_{i_{n-1}} x_m (1)^{22}$, $n \geq 3, m \geq 2$. Ясно, что из тождеств $xyz = xzy$, $xyz = yxz$ следуют все тождества $(1)^{22}$, где $n, m \geq 3$. При $n = 3, m = 2$ получим тождества $xux = xy, xux = yx$. По лемме 1, тождества $x^2 x = yx, xy^2 = yx$ выводимы из тождеств $xux = xy, xux = yx$. Далее, из $xux = xy, xux = yx, x^2 x = yx, xy^2 = yx$ получаем $xyz = xzyz = xzy, xyz = xzyz = xzy$. Тогда $Mod\{xux = xy, xux = yx\} \subseteq \bigcap_{n \geq 3, m \geq 2} D_{22}^{n,m} = D_{22}$.

Обратное, $D_{22} \subseteq Mod\{xux = xy, xux = yx\}$, откуда следует, что

$$D_{22} = Mod\{xux = xy, xux = yx\}.$$

$$D_{23} = P_{2,3} = A_2 + I_3.$$

$I_3 = Mod\{x = yx\}$, следовательно, в $(1)^{23} x_n = y_m$;

$A_2 = Mod\{xyz = u^2, xy = yx\}$, следовательно, в $(1)^{23} n \geq 3, m \geq 2$.

Получим $x_1 \dots x_{n-1} x = y_1 \dots y_{m-1} x (1)^{23}$, $n \geq 3, m \geq 2$. Легко видеть, что из тождества $xyz = uz$ следуют все тождества вида $(1)^{23}$, а это означает, что $Mod\{xyz = uz\} \subseteq \bigcap_{n \geq 3, m \geq 2} D_{23}^{n,m} = D_{23}$. С другой стороны, $D_{23} \subseteq Mod\{xyz = uz\}$,

откуда следует, что $D_{23} = Mod\{xyz = uz\}$.

$$D_{24} = P_{2,4} = A_2 + I_4.$$

$I_4 = Mod\{x = x^2, xyz = xzy\}$, тогда в $(1)^{24} c(x_1 x_2 \dots x_n) = c(y_1 y_2 \dots y_m), x_1 = y_1$;

$A_2 = Mod\{xyz = u^2, xy = yx\}$, следовательно, в $(1)^{24} n \geq 3, m \geq 2$.

Получим $x_1 x_2 \dots x_n = x x_{i_2} \dots x_m (1)^{24}$, $n \geq 3, m \geq 2$. При $n, m \geq 3$ получим тождество $xyz = xzy$, из которого следуют $(1)^{24}$, для которых $n, m \geq 3$. При $n = 3, m = 2$ получим тождество $x^2 = x^3$. Таким образом, $Mod\{x^2 = x^3, xyz = xzy\} \subseteq \bigcap_{n \geq 3, m \geq 2} D_{24}^{n,m} = D_{24}$, откуда следует, что

$D_{24} \subseteq Mod\{x^2 = x^3, xyz = xzy\}$, а это значит, что $D_{24} = Mod\{x^2 = x^3, xyz = xzy\}$.

$$D_{25} = P_{2,5} = A_2 + I_5.$$

$I_5 = Mod\{x = x^2, x = xux\}$, тогда в $(1)^{25} x_1 = x_n = y_1 = y_m, n \geq 1, m \geq 3$;

$A_2 = \text{Mod}\{xyz = u^2, xy = yx\}$, следовательно, в $(1)^{25}$ $n \geq 3, m \geq 2$.

Здесь $x x_2 \dots x_{n-1} x = x x_{i_2} \dots x_{i_{m-1}} x (1)^{25}$, $n \geq 3, m \geq 2$. Ясно, что из $xyx = xzx$ следуют все тождества вида $(1)^{25}$, где $(1)^{25}$ $n, m \geq 3$. При $m = 2$ получим $xyx = x^2$, однако $xyx = xzx$ следует из $xyx = x^2$. Таким образом, $\text{Mod}\{xyx = x^2\} \subseteq \bigcap_{n \geq 3, m \geq 2} D_{25}^{n,m} = D_{25}$. Обратное, $D_{25} \subseteq \text{Mod}\{xyx = x^2\}$, а это

означает, что $D_{25} = \text{Mod}\{xyx = x^2\}$.

$$D_{26} = P_{2,6} = A_2 + I_6.$$

$I_6 = \text{Mod}\{x = x^2, xyz = yxz\}$, тогда в $(1)^{26}$ $c(x_1 x_2 \dots x_n) = c(y_1 y_2 \dots y_m)$, $x_n = y_m$;

$A_2 = \text{Mod}\{xyz = u^2, xy = yx\}$, следовательно, в $(1)^{26}$ $n \geq 3, m \geq 2$.

Здесь $x_1 x_2 \dots x_{n-1} x = x_{i_1} \dots x_{i_{m-1}} x (1)^{26}$, $n \geq 3, m \geq 2$. Для $n, m \geq 3 (1)^{26}$ следует из $xyz = yxz$. При $n = 3, m = 2$ получим $x^2 = x^3$. Таким образом, $\text{Mod}\{xyz = yxz, x^2 = x^3\} \subseteq \bigcap_{n \geq 3, m \geq 2} D_{26}^{n,m} = D_{26}$. С другой стороны,

$D_{26} \subseteq \text{Mod}\{xyz = yxz, x^2 = x^3\}$, откуда следует, что

$$D_{26} = \text{Mod}\{xyz = yxz, x^2 = x^3\}.$$

$$D_{27} = P_{2,8} = A_2 + I_8.$$

$I_8 = \text{Mod}\{x = x^2, xyzx = xzyx\}$, тогда в $(1)^{27}$ $c(x_1 x_2 \dots x_n) = c(y_1 y_2 \dots y_m)$, $x_1 = x_n = y_1 = y_m$;

$A_2 = \text{Mod}\{xyz = u^2, xy = yx\}$, следовательно, в $(1)^{27}$ $n \geq 3, m \geq 2$.

Здесь $xx_2 \dots x_{n-1} x = xx_{i_2} \dots x_{i_{m-1}} x (1)^{27}$, $n \geq 3, m \geq 2$. При $n, m \geq 4 (1)^{27}$ легко выводится из $xyzx = xzyx$. Рассмотрим остальные случаи.

1. $n = 3, m = 4$ (случай $n = 4, m = 3$ аналогичен), получим тождества $xyx = x^2 yx, xyx = xy^2 x, xyx = xyx^2$. По лемме 1, эти тождества выполняются в многообразии D_{27} .

2. $n = 3, m = 3$, получим $xyx = xyx$ (тривиальное тождество).

3. $n = 3, m = 2$, получим $x^2 = x^3$.

Отсюда следует, что $\text{Mod}\{xyzx = xzyx, x^2 = x^3\} \subseteq \bigcap_{n \geq 3, m \geq 2} D_{27}^{n,m} = D_{27}$.

С другой стороны, $D_{27} \subseteq \text{Mod}\{xyzx = xzyx, x^2 = x^3\}$, следовательно, $D_{27} = \text{Mod}\{xyzx = xzyx, x^2 = x^3\}$.

$$D_{28} = P_{3,2} = A_3 + I_2.$$

$I_2 = \text{Mod}\{x = x^2, xy = yx\}$, следовательно, в $(1)^{28}$ $c(x_1 x_2 \dots x_n) = c(y_1 y_2 \dots y_m)$;

$A_3 = \text{Mod}\{xyz = u^3, xy = yx\}$, следовательно, в $(1)^{28}$ $n, m \geq 3$.

Ясно, что в D_{28} выполняется $xy = yx$, а также тождества вида $x_1 x_2 \dots x_n = x_{i_1} x_{i_2} \dots x_{i_m} (1)^{28}$, где $n, m \geq 3$. Из $xyz = yxz, xyz = xzy$ и тождеств дистрибутивности следуют $(1)^{28}$. Но из $xy = yx$ вытекают тождества $xyz = yxz, xyz = xzy$, а следовательно, и $(1)^{28}$. Итак, мы получили, что $Mod\{xy = yx\} \subseteq \bigcap_{n, m \geq 3} D_{28}^{n, m} = D_{28}$. Обратное, $D_{28} \subseteq Mod\{xy = yx\}$, откуда следует, что $D_{28} = Mod\{xy = yx\}$.

$$D_{29} = P_{3,1} = A_3 + I_1.$$

$I_1 = Mod\{x = xy\}$, следовательно, в $(1)^{29} x_1 = y_1$;

$A_3 = Mod\{xyz = u^3, xy = yx\}$, следовательно, в $(1)^{29} n, m \geq 3$.

Таким образом, $xx_2 \dots x_n = xy_2 \dots y_m (1)^{29}$, $n, m \geq 3$. Ясно, что из тождеств $xyz = xiv$ следуют все тождества вида $(1)^{29}$, а следовательно, $Mod\{xyz = xiv\} \subseteq \bigcap_{n, m \geq 3} D_{29}^{n, m} = D_{29}$. С другой стороны, $D_{29} \subseteq Mod\{xyz = xiv\}$, откуда следует, что $D_{29} = Mod\{xyz = xiv\}$.

$$D_{30} = P_{5,2} = A_5 + I_2.$$

$I_2 = Mod\{x = x^2, xy = yx\}$, следовательно, в $(1)^{30} c(x_1 x_2 \dots x_n) = c(y_1 y_2 \dots y_m)$;

$A_5 = Mod\{xyz = u^3\}$, следовательно, в $(1)^{30} n, m \geq 3$.

Таким образом, $x_1 x_2 \dots x_n = x_{i_1} x_{i_2} \dots x_{i_m} (1)^{30}$, $n, m \geq 3$. Из тождеств $xyz = yxz, xyz = xzy$ следуют все тождества вида $(1)^{30}$.

Таким образом, $Mod\{xyz = yxz, xyz = xzy\} \subseteq \bigcap_{n, m \geq 3} D_{30}^{n, m} = D_{30}$. С другой стороны, $D_{30} \subseteq Mod\{xyz = yxz, xyz = xzy\}$, а это значит, что $D_{30} = Mod\{xyz = yxz, xyz = xzy\}$.

$$D_{31} = P_{3,3} = A_3 + I_3.$$

$I_3 = Mod\{x = yx\}$, следовательно, в $(1)^{31} x_n = y_m$;

$A_3 = Mod\{xyz = u^3, xy = yx\}$, следовательно, в $(1)^{31} n, m \geq 3$.

Таким образом, $x_1 x_2 \dots x_n = y_1 \dots y_{m-1} x (1)^{31}$, $n, m \geq 3$. Легко видеть, что из $xyz = uvz$ следуют все тождества вида $(1)^{31}$, тогда $Mod\{xyz = uvz\} \subseteq \bigcap_{n, m \geq 3} D_{31}^{n, m} = D_{31}$. С другой стороны, $D_{31} \subseteq Mod\{xyz = uvz\}$,

откуда следует, что $D_{31} = Mod\{xyz = uvz\}$.

$$D_{32} = P_{3,4} = A_3 + I_4.$$

$I_4 = Mod\{x = x^2, xyz = xzy\}$, тогда в $(1)^{32} c(x_1 x_2 \dots x_n) = c(y_1 y_2 \dots y_m), x_1 = y_1$;

$A_3 = \text{Mod}\{xyz = u^3, xy = yx\}$, следовательно, в $(1)^{32}$ $n, m \geq 3$.

Таким образом, $xx_2 \dots x_n = xx_{i_2} \dots x_{i_m}$ $(1)^{32}$, $n, m \geq 3$. Ясно, что из тождества $xyz = xzy$ следуют все тождества вида $(1)^{32}$, следовательно, $\text{Mod}\{xyz = xzy\} \subseteq \bigcap_{n, m \geq 3} D_{32}^{n, m} = D_{32}$. Обратное, $D_{32} \subseteq \text{Mod}\{xyz = xzy\}$, откуда следует, что $D_{32} = \text{Mod}\{xyz = xzy\}$.

$$D_{33} = P_{3,5} = A_3 + I_5.$$

$I_5 = \text{Mod}\{x = x^2, x = xux\}$, тогда в $(1)^{33}$ $x_n = x_m = y_1 = y_m$, $n \geq 1$, $m \geq 3$;

$A_3 = \text{Mod}\{xyz = u^3, xy = yx\}$, следовательно, в $(1)^{33}$ $n, m \geq 3$.

Таким образом, $x_1 x_2 \dots x_{n-1} x = x y_2 \dots y_{m-1} x$ $(1)^{33}$, $n, m \geq 3$. Из тождества $xux = xzx$ легко выводятся все тождества вида $(1)^{33}$. Это означает, что $\text{Mod}\{xux = xzx\} \subseteq \bigcap_{n, m \geq 3} D_{33}^{n, m} = D_{33}$. С другой стороны, $D_{33} \subseteq \text{Mod}\{xux = xzx\}$,

таким образом, $D_{33} = \text{Mod}\{xux = xzx\}$.

$$D_{34} = P_{3,6} = A_3 + I_6.$$

$I_6 = \text{Mod}\{x = x^2, xyz = yxz\}$, тогда в $(1)^{34}$ $c(x_1 x_2 \dots x_n) = c(y_1 y_2 \dots y_m)$, $x_n = y_m$;

$A_3 = \text{Mod}\{xyz = u^3, xy = yx\}$, следовательно, в $(1)^{34}$ $n, m \geq 3$.

Таким образом, $x_1 \dots x_{n-1} x = x_{i_1} \dots x_{i_{m-1}} x$ $(1)^{34}$, $n, m \geq 3$. Ясно, что из $xyz = yxz$ следуют все тождества вида $(1)^{34}$, следовательно, $\text{Mod}\{xyz = yxz\} \subseteq \bigcap_{n, m \geq 3} D_{34}^{n, m} = D_{34}$. С другой стороны, $D_{34} \subseteq \text{Mod}\{xyz = yxz\}$,

откуда следует, что $D_{34} = \text{Mod}\{xyz = yxz\}$.

$$D_{35} = P_{3,8} = A_3 + I_8.$$

$I_8 = \text{Mod}\{x = x^2, xuzx = xzux\}$, тогда в $(1)^{35}$ $c(x_1 x_2 \dots x_n) = c(y_1 y_2 \dots y_m)$, $x_1 = x_n = y_1 = y_m$;

$A_3 = \text{Mod}\{xyz = u^3, xy = yx\}$, следовательно, в $(1)^{35}$ $n, m \geq 3$.

Таким образом, $xx_2 \dots x_{n-1} x = xx_{i_2} \dots x_{i_{m-1}} x$ $(1)^{35}$, $n, m \geq 3$. Из $xuzx = xzux$ следуют все тождества вида $(1)^{35}$, $n, m \geq 4$. Рассмотрим остальные случаи.

1. $n = 3$, $m = 4$ (случай $n = 4$, $m = 3$ аналогичен), получим тождества $xux = x^2 ux$, $xux = x u^2 x$, $xux = x u x^2$. По лемме 1, все эти тождества выполняются в D_{35} .

2. $n = 3$, $m = 3$, получим тривиальное тождество $xux = xux$.

Отсюда получим, что $Mod\{xyzx = xzyx\} \subseteq \bigcap_{n,m \geq 3} D_{35}^{n,m} = D_{35}$. Обратное,

$D_{35} \subseteq Mod\{xyzx = xzyx\}$, откуда следует, что $D_{35} = Mod\{xyzx = xzyx\}$.

§ 5. Решетка сверхдистрибутивных многообразий полугрупп. Среди многообразий полугрупп $D_0 - D_{35}$ выделим сверхдистрибутивные многообразия, т.е. те многообразия, в которых выполняются сверхтождества дистрибутивности $F(x, F(y, z)) = F(F(x, y), F(x, z))$ (d_1) и $F(F(x, y), z) = F(F(x, z), F(y, z))$ (d_2).

Теорема 1. Многообразия полугрупп $D_0 - D_9, D_{11}, D_{13} - D_{28}$ сверхдистрибутивны, в остальных многообразиях полугрупп сверхтождества d_1, d_2 не выполняются.

Доказательство. Критериями выполнимости сверхтождеств левой и правой дистрибутивности являются выполнимость тождеств $x^2 = x^3$, $xuz = xuxz$, $xuz = xzyz$ [2]. Последние два тождества выполняются в каждом многообразии $D_i, i = \overline{0,35}$. В $D_0 - D_7$ выполняется $x^2 = x^3$ (следует из $x = x^2$). Легко видеть, что в A_1, A_2, A_4 также выполняется тождество $x^2 = x^3$, если в $xu = zx$ взять $y = x, z = x^2$, а в тождестве $xuz = u^2 - y = z = u = x$.

Таким образом, в $D_0 - D_9, D_{11}$, а также в $D_{13} - D_{28}$ выполняется $x^2 = x^3$, а следовательно, и сверхтождества левой и правой дистрибутивности.

В A_3, A_5 тождество $x^2 = x^3$ не выполняется, так как для любого $u = v$, которое выполняется в A_3 или в A_5 , $n(u), n(v) \geq 3$ (следует из тождества $xuz = u^3$), а $n(x^2) = 2 < 3$.

Предложение 5. Решетка сверхдистрибутивных многообразий полугрупп не модулярна, а следовательно, и решетка дистрибутивных многообразий полугрупп тоже не модулярна.

Доказательство. Решетка сверхдистрибутивных многообразий полугрупп содержит немодулярную 5-элементную подрешетку, состоящую из элементов $D_0, D_8, D_9, D_{20}, D_1$, где $D_0 \subseteq D_8 \subseteq D_9 \subseteq D_{20}, D_0 \subseteq D_1 \subseteq D_{20}$, а значит, эта решетка не модулярна [3]. Так как решетка сверхдистрибутивных многообразий полугрупп является подрешеткой решетки дистрибутивных многообразий полугрупп, то и решетка дистрибутивных многообразий полугрупп также не модулярна.

Кафедра алгебры и геометрии

Поступила 13.05.2003

ЛИТЕРАТУРА

1. Керка Т. – Acta universitatis carolinat – mathematica et phisica, 1983, v. 25, № 1.

2. Мовсисян Ю.М., Симонян И.Р. – Ученые записки ЕГУ, 2000, № 1.
3. Биркгоф Г. Теория решеток. М.: Наука, 1984.

Ի. Ռ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ

ԲԱՇԽԱԿԱՆ ԵՎ ԳԵՐԲԱՇԽԱԿԱՆ ԿԻՍԱԽՍԲԵՐԻ
ԲԱԶՍԱԶԵՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԿԱՎԱՐՆԵՐ

Ամփոփում

Այս աշխանքում տրվում են բոլոր բաշխական և գերբաշխական կիսախմբերի բազմաձևությունները և նկարագրվում են նրանց ենթաբազմաձևությունների կավարները:

I. R. SIMONYAN

LATICES OF DISTRIBUTIVE AND HYPERDISTRIBUTIVE VARIETIES
OF SEMIGROUPS

Summary

In this work has been found all distributive and hyperdistributive varieties of semigroups and also are described lattices of subvarieties of them.

Математика

УДК 519.214

Т. П. КАЗАНЧЯН

ОЦЕНКА СКОРОСТИ СХОДИМОСТИ В ПРЕДЕЛЬНОЙ ТЕОРЕМЕ ЭРДЕША–КАЦА ДЛЯ ЗАВИСИМЫХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

Получена степенная оценка скорости сходимости в предельной теореме Эрдеша–Каца для стационарных случайных последовательностей, удовлетворяющих условию равномерно сильного перемешивания.

1. Введение. Предельные теоремы для последовательностей независимых случайных величин представляют собой один из важнейших разделов теории вероятностей. Классическими примерами здесь являются законы больших чисел, различные формы закона повторного логарифма, центральная и локальная предельные теоремы. В то же время многочисленные практические применения теории вероятностей, а также логика ее внутреннего развития ясно указывают на то, что в предельных теоремах условие независимости компонент случайной последовательности является излишне ограничительным. По этим причинам задача распространения предельных законов теории вероятностей на зависимые случайные последовательности уже достаточно давно является одной из самых актуальных. Тема настоящей работы лежит в русле указанной проблематики и касается задачи оценки скорости сходимости в предельной теореме Эрдеша–Каца для слабо зависимых случайных последовательностей.

2. Необходимые сведения и предварительные определения. В работе [1] Эрдеш и Кац предложили новый метод доказательства предельных теорем для независимых случайных величин, названный ими «принципом инвариантности», и, в частности, доказали следующую теорему.

Теорема. Пусть ξ_n , $n=1,2,\dots$, последовательность независимых случайных величин, для которых имеет место центральная предельная теорема (ц.п.т.). Тогда

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\left(\max_{1 \leq k \leq n} |S_k| < \sigma_n x\right) = P\left(\sup_{0 \leq s \leq 1} B(s) < x\right) = T(x), \quad x > 0,$$

где $S_k = \sum_{i=1}^k \xi_i$, $\sigma_n^2 = \sum_{i=1}^n D\xi_i$, $B(s)$, $s \geq 0$, – стандартное броуновское движение

$$\text{и } T(x) = \frac{4}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{2k+1} \exp\left(-\frac{(2k+1)^2 \pi^2}{8x^2}\right), x \in R^1.$$

Данная теорема и метод ее доказательства послужили отправной точкой для многих обобщений и новых направлений исследования. В дальнейшем идеи Эрдеша и Каца были развиты Донскером [2] и свой завершённый вид получили в известной работе Прохорова [3] (см. также [4]). В контексте настоящей статьи отметим полученные Чжуном [5] и Пакширайаном [6] слабые оценки скорости сходимости в теореме Эрдеша–Каца, достаточные для установления закона повторного логарифма, а также универсальные оценки скорости сходимости в принципе инвариантности для схемы серий независимых случайных величин, полученные Боровковым [7] (в метрике Леви–Прохорова) и Саханенко [8] (в равномерной метрике). Для слабо зависимых случайных величин наиболее продвинутые результаты о скорости сходимости в ц.п.т. были получены Тихомировым [9]. Слабые оценки скорости сходимости в теореме Эрдеша–Каца, достаточные для выполнения закона повторного логарифма в форме Чжуна, были получены автором [10, 11], а также Кагановой [12].

В настоящей работе мы интересуемся стационарными случайными последовательностями. В рамках исследований по предельным теоремам для таких последовательностей определяются различные условия слабой зависимости (условия перемешивания). Классическая теория предельных теорем для таких последовательностей изложена в монографии [13]. Мы будем рассматривать стационарные последовательности, удовлетворяющие условию равномерно сильного перемешивания (φ -перемешивания). Говорят, что стационарная последовательность ξ_t , $t \in Z^1$ (Z^1 – совокупность целых чисел), удовлетворяет условию φ -перемешивания, если

$$|P(AB) - P(A)P(B)| \leq \varphi(n)P(B)$$

при всех $B \in m_{-\infty}^0$, $A \in m_n^{+\infty}$ и $\varphi(n) \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$. Здесь $m_{-\infty}^0$ – σ -алгебра, порожденная случайными величинами ξ_t , $t \leq 0$, $m_n^{+\infty}$ – σ -алгебра, порожденная случайными величинами ξ_t , $t \geq n$.

При оценке близости случайных величин мы будем пользоваться равномерной метрикой и метрикой Леви–Прохорова. Равномерная метрика для случайных величин X и Y с функциями распределения F_X и F_Y определяется следующим образом:

$$\rho(X, Y) = \rho(F_X, F_Y) = \sup\{F_X(z) - F_Y(z), z \in R^1\}.$$

Метрика Леви–Прохорова определяется так:

$$\pi(X, Y) = \pi(F_X, F_Y) = \inf\{\varepsilon : F_X(z) \leq F_Y(z + \varepsilon) + \varepsilon, F_Y(z) \leq F_X(z + \varepsilon) + \varepsilon, z \in R^1\}.$$

Известно (см. [14]), что между этими метриками имеет место соотношение

$$\pi(X, Y) \leq \rho(X, Y). \quad (1)$$

3. Основные результаты. Пусть $S_k = \sum_{i=1}^k \xi_i$, $\sigma_k^2 = DS_k$ — дисперсия суммы S_k , $k=1,2,\dots,n,\dots$, $F_n(x) = P(\max_{1 \leq k \leq n} |S_k| < x\sigma_n)$. Следующие две теоремы представляют основные результаты настоящей работы.

Теорема 1. Пусть ξ_t , $t \in Z^1$, — стационарная, центрированная ($M\xi_0 = 0$) случайная последовательность, удовлетворяющая условию φ -перемешивания, и, кроме того, выполнены следующие условия:

- 1) $M|\xi_0|^s < \infty$, $2 < s < 3$;
- 2) для любого подмножества целых чисел $I \subset [0, n]$ $\sigma_0^2 |I| < DS_I < \sigma_1^2 |I|$, $\sigma_0^2 > 0$;
- 3) $\varphi(n) \sim \frac{C_0}{n^\delta}$, $\delta > 0$, $C_0 > 0$.

Тогда $\Delta_n = \pi(F_n, T) \leq C_1 n^{-\left(\frac{\delta(s-2)}{3s+4\delta s-2\delta}\right)}$, $C_1 > 0$.

Следствие. Если в условиях теоремы 1 $\delta > 2$, то $\sigma_0^2 = \sum_{i=1}^{\infty} M\xi_0 \xi_i < \infty$ и условие 2) можно заменить условием $\sigma_0^2 > 0$, при выполнении которого $DS_n \sim \sigma_0^2 n$, $n \rightarrow \infty$. При экспоненциальном убывании коэффициента перемешивания φ оценку на Δ_n можно усилить.

Теорема 2. Пусть ξ_t , $t \in Z^1$, — стационарная, центрированная ($M\xi_0 = 0$) последовательность случайных величин, удовлетворяющая условию φ -перемешивания. Если

- 1) $M|\xi_0|^s < \infty$, $2 < s < 3$,
- 2) $\varphi(n) \leq Ae^{-\gamma n}$, $\gamma > 0$, $A > 0$,

тогда ряд $\sigma_0^2 = \sum_{i=1}^{\infty} M\xi_0 \xi_i$ сходится, и если $\sigma_0^2 > 0$, то $\Delta_n \leq C_\gamma n^{-\left(\frac{s-2}{2s-1}\right)} \ln \frac{1}{2} n$.

Доказательство основных результатов. Проведем секционирование отрезка $[0, n]$ на малые интервалы посредством следующих целочисленных функций:

$p = p(n) = [n^\alpha]$, $q = q(n) = [n^\beta]$, $n \in N$, $0 < \beta < \alpha < 1$, $[]$ — целая часть числа. Пусть $k = k(n) = \left[\frac{n}{p+q} \right]$.

Положим $S_n' = \sum_{j=1}^k X_j^{(n)}$, $X_j^{(n)} = \sum_{i=(j-1)p+(j-1)q}^{jp+(j-1)q} \xi_i$, $j=1,2,\dots,k$,

$$S_n'' = \sum_{j=1}^{k+1} Y_j^{(n)}, \quad Y_j^{(n)} = \sum_{i=jp+(j-1)q}^{jp+jq} \xi_i, \quad j=1,2,\dots,k,$$

$$Y_{k+1}^{(n)} = \sum_{i=kp+kq+1}^n \xi_i.$$

Понятно, что $S_n = S_n' + S_n''$. Рассмотрим теперь схему серий Z_{nj} , $j=1,2,\dots,k(n)$, $n=1,2,\dots$, независимых в каждой серии случайных величин, распределенных так же, как $X_j^{(n)}$, $j=1,2,\dots,k$. Обозначим

$$\tilde{S}_n = \sum_{j=1}^k Z_{nj}, \quad \tilde{\sigma}_n^2 = \sum_{j=1}^k DZ_{nj}, \quad \tilde{S}_n^* = \max_{1 \leq i \leq n} |\tilde{S}_i|, \quad \tilde{F}_n(x) = P(\tilde{S}_n^* < x\tilde{\sigma}_n),$$

$$S_n = \sum_{j=0}^n \xi_j, \quad \sigma_n^2 = DS_n, \quad S_n^* = \max_{1 \leq i \leq n} |S_i|, \quad F_n(x) = P(S_n^* < x\sigma_n),$$

$$S_n' = \sum_{j=1}^k X_j^{(n)}, \quad S_n'^* = \max_{1 \leq i \leq n} |S_i'|, \quad F_n'(x) = P(S_n'^* < x\sigma_n),$$

$$S_n'' = \sum_{j=1}^{k+1} Y_j^{(n)}, \quad S_n''^* = \max_{1 \leq i \leq n} |S_i''|, \quad F_n''(x) = P(S_n''^* < x\sigma_n), \quad x \in R^1.$$

Воспользовавшись соотношением (1), можем написать

$$\pi(F_n, T) \leq \pi(F_n, F_n') + \pi(F_n', \tilde{F}_n) + \pi(\tilde{F}_n, T) \leq \rho(F_n, F_n') + \rho(F_n', \tilde{F}_n) + \pi(\tilde{F}_n, T). \quad (2)$$

Оценим каждое слагаемое в правой части неравенства (2) по отдельности. Начнем с последнего слагаемого. Здесь мы воспользуемся универсальной оценкой Боровкова для схемы серий независимых случайных величин (см. [7]) и тем фактом, что $\tilde{\sigma}_n \sim \sigma_n$ при $n \rightarrow \infty$. Имеем

$$\pi(\tilde{F}_n, T) \leq C_2 \left(\sum_{j=1}^k M \left| \frac{Z_{jn}}{\sigma_n} \right|^s \right)^{1/s}, \quad 2 < s < 3, \quad C_2 > 0.$$

Далее, воспользовавшись результатом Серфлинга [15] об оценке моментов суммы слабо зависимых величин, можем написать

$$M|Z_{nj}|^s = M|X_j^{(n)}|^s = M|X_1^{(n)}|^s = M \left| \sum_{j=0}^p \xi_j \right|^s \leq C_3 p^{s/2}.$$

Затем из условия 2) теоремы 1 мы имеем, что $\sigma_n > \sigma_0 \sqrt{n}$, а из определения функций p , q и k следует, что $k \sim \frac{n}{p}$.

Отсюда получаем

$$\frac{1}{\sigma_n^s} \sum_{j=1}^k M|Z_{nj}|^s \leq C_3 \frac{kp^{s/2}}{\sigma_n^s} \leq C_4 \frac{n}{p} \left(\frac{p}{n} \right)^{s/2} = C_4 \left(\frac{p}{n} \right)^{s-2} \leq C_5 n^{-\left(\frac{(1-\alpha)(s-2)}{2} \right)}.$$

Окончательно,

$$\pi(\tilde{F}_n, T) \leq C_6 n^{-\left(\frac{(1-\alpha)(s-2)}{2(s+1)}\right)}.$$

Теперь оценим остальные слагаемые. Воспользуемся результатом Мацкявичуса [16], который показал, что для любых двух функций распределения $F(x)$ и $G(x)$ имеет место неравенство

$$\sup_x |F(x) - G(x)| \leq \frac{1}{2\sqrt{2\pi}} \left| \int_{-\infty}^{\infty} (f(t) - g(t)) \cdot e^{-\left(\frac{t^2}{2}\right)} dt \right|,$$

где $f(t)$ и $g(t)$ – соответствующие характеристические функции. Рассмотрим первое слагаемое. Нетрудно проверить, что имеет место следующее неравенство (см. [11]):

$$\rho(F_n, F_n') \leq \max \left\{ \left| P\left(\frac{S_n^* + S_n^{**}}{\sigma_n} < x\right) - P\left(\frac{S_n^*}{\sigma_n} < x\right) \right|, \left| P\left(\frac{S_n^*}{\sigma_n} < x\right) - P\left(\frac{S_n^* - S_n^{**}}{\sigma_n} < x\right) \right| \right\}.$$

Используя неравенство Мацкявичуса, можем написать

$$\begin{aligned} \left| P\left(\frac{S_n^* + S_n^{**}}{\sigma_n} < x\right) - P\left(\frac{S_n^*}{\sigma_n} < x\right) \right| &\leq \frac{1}{2\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \left| E e^{it\left(\frac{S_n^* + S_n^{**}}{\sigma_n}\right)} - E e^{it\frac{S_n^*}{\sigma_n}} \right| e^{-\left(\frac{t^2}{2}\right)} dt \leq \\ &\leq \frac{1}{2\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \left| E e^{it\frac{S_n^{**}}{\sigma_n}} - 1 \right| e^{-\left(\frac{t^2}{2}\right)} dt \leq \frac{1}{2\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} |t| E \left| \frac{S_n^{**}}{\sigma_n} \right| e^{-\left(\frac{t^2}{2}\right)} dt \leq C_7 \left(\frac{DS_n^{**}}{\sigma_n^2} \right)^{\frac{1}{2}} \leq C_8 \left(\frac{nq}{pn} \right)^{\frac{1}{2}} = \\ &= C_8 \left(\frac{q}{p} \right)^{\frac{1}{2}} \leq C_9 n^{-\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right)}. \end{aligned}$$

$$\text{Аналогично оценивается и разность } \left| P\left(\frac{S_n^*}{\sigma_n} < x\right) - P\left(\frac{S_n^* - S_n^{**}}{\sigma_n} < x\right) \right|.$$

Оценим теперь второй член правой части неравенства (2). Для оценки этого члена воспользуемся леммой Йошихары [17] (см. также лемму 7 из [11]).

Имеем

$$\rho(F_n', \tilde{F}_n) \leq C_{10} \frac{n}{p} \varphi(q) \leq C_{11} n^{1-\alpha} q^{-\delta} \leq C_{12} n^{1-\alpha-\beta\delta}.$$

Следовательно,

$$\pi(F_n, T) \leq C_1 \left[n^{-\left(\frac{(1-\alpha)(s-2)}{2(1+s)}\right)} + n^{-\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right)} + n^{1-\alpha-\beta\delta} \right]. \quad (3)$$

Для получения оптимальной оценки приравняем все показатели в (3):

$$\frac{(1-\alpha)(s-2)}{2(1+s)} = \frac{\alpha-\beta}{2} = \alpha + \beta\delta - 1, \text{ отсюда легко получить } \frac{\alpha-\beta}{2} = \frac{\delta(s-2)}{3s+4\delta-2\delta}.$$

Теорема 1 доказана.

Доказательство *теоремы 2* проводится аналогично. Разница заключается лишь в том, что при экспоненциальном убывании коэффициента перемешивания φ функцию $q = q(n)$, применяемую при секционировании,

можно взять логарифмически растущей $q(n) = \left[\ln n^{\frac{1}{\gamma}} \right]$. В этом случае

$$\pi(F_n, T) \leq C_\gamma \left(n^{-\frac{(1-\alpha)(s-2)}{2(1+s)}} + \frac{\ln^{\frac{1}{2}} n}{n^{\frac{\alpha}{2}}} + \frac{1}{n^\alpha} \right).$$

Приравняв $\frac{(1-\alpha)(s-2)}{2(1+s)} = \frac{\alpha}{2}$, получим $\alpha = \frac{s-2}{2s-1}$, откуда

$$\pi(F_n, T) \leq C_\gamma \frac{\ln^{\frac{1}{2}} n}{n^{\frac{s-2}{2s-1}}}, \text{ что и завершает доказательство } \textit{теоремы 2}.$$

Кафедра теории вероятностей
И математической статистики

Поступила 09.12.2003

ЛИТЕРАТУРА

1. Erdős P. and Kac M. – Bull. Amer. Math. Soc., 1946, v. 52, p. 92–302.
2. Donsker M. – Mem. Amer. Math. Soc., 1951, v. 6.
3. Прохоров Ю.В. – Теор. вер. и ее применения, 1956, т. 1, вып. 2, с. 177–238.
4. Биллингсли П. Сходимость вероятностных мер. М.: Наука, 1977.
5. Chung K.L. – Trans. Amer. Math. Soc., 1948, v. 64, p. 205–233.
6. Pakshirajan R.P. – Теор. вер. и ее применения, 1959, т. IV, вып. 4, с. 398–403.
7. Боровков А.А. – Теор. вер. и ее применения, 1973, т. XVIII, вып. 2, с. 217–234.
8. Саханенко А.Н. О точности нормальной аппроксимации в принципе инвариантности. – Тр. Ин-та математики: Асимптотический анализ распределений случайных процессов. Новосибирск: Наука, 1989.
9. Тихомиров А.Н. – Теор. вер. и ее применения, 1980, т. XXV, вып. 4, с. 800–818.
10. Казанчян Т.П. – Ученые записки ЕГУ, 1984, № 2, с. 22–29.
11. Казанчян Т.П. – Изв. АН Арм. ССР. Математика, 1989, т. XXIV, № 6, с. 593–602.
12. Kagava S. – Yokohama Math. J., 1983, v. 31, № 1, 2, p. 121–129.
13. Ибрагимов И.А., Линник Ю.В. Независимые и стационарно связанные величины. М.: Наука, 1965.
14. Золотарев В.М. Современная теория суммирования независимых случайных величин. М.: Наука, 1986.
15. Serfling R.J. – Ann. Math. Statist., 1970, v. 41, p. 1227–1234.
16. Мацкявичус В.К. – Теор. вер. и ее примен., 1983, т. XXVIII, вып. 3, с. 565–569.
17. Yoshihara K. – Z. W. Gebiete, 1979, № 43, p. 319–329.

Տ. Պ. ԴԱԶԱՆՉՅԱՆ

ԶՈՒԳԱՄԻՏՈՒԹՅԱՆ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏԱԿԱՆԸ
ԷՐԴՆԵՇԻ-ԿԱՑԻ ՍԱՀՄԱՆԱՅԻՆ ԹԵՈՐԵՄՈՒՄ ԿԱԽՅԱԼ
ՊԱՏԱՀԱԿԱՆ ՄԵԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Ամփոփում

Ստացվել է զուգամիտության արագության աստիճանային գնահատական Էրդեշի-Կացի սահմանային թեորեմում ստացիոնար պատահական հաջորդականությունների համար, որոնք բավարարում են հավասարաչափ ուժեղ խառնուրդի պայմանին:

T. P. KAZANCHYAN

THE ESTIMATE OF RATE OF CONVERGENCE IN ERDO'S-KAC
LIMIT THEOREM FOR DEPENDENT RANDOM VARIABLES

Summary

The power type estimate of the rate of convergence in Erdo's-Kac limit theorem is obtained for stationary uniformly strong mixing random sequences.

Математика

УДК 519.95

А. О. АПИНЯН

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ОДНОЙ ЗАДАЧИ
ДИНАМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

В настоящей работе рассмотрена дискретная модель задачи оптимизации борьбы с загрязнением окружающей среды. Используются метод динамической оптимизации и основанный на методе «возврата» алгоритм случайного поиска. Предложена сплайн-аппроксимация оптимального решения.

1⁰. Введение. В мире нарастает беспокойство в связи с масштабами загрязнения воздуха, воды, почвы. Анализируются стратегии борьбы с этим явлением и соответствующие математические модели оптимизации [1–5]. В моделях в момент $t \in [t_0, T]$ выпуск продукции – капитал – распределяют между накоплением капитала $K(t)$, потреблением $c(t)$ и борьбой с загрязнением $P(t)$.

На основе функции полезности $u(c, P)$ максимизируют общее благосостояние

$$W(c, P) = \int_{t_0}^T u(c(t), P(t)) e^{-rt} dt, \quad (1)$$

где $r > 0$ – константа при «гладкости» введенных величин.

Например, в [5] введены внешние переменные: a – скорость распыления капитала, b – скорость очистки загрязнителя, d – уменьшение загрязнения при уменьшении потребления на единицу.

Далее, в [5] определены производственная функция $f(\cdot)$, доля потребления $\alpha(t)$ и доля капитала $\beta(t)$, выделенная на борьбу с загрязнением в момент t .

Модель описана уравнениями

$$c(t) = \alpha(t)f(K(t)), \quad t \in [t_0, T],$$

и

$$\begin{cases} \dot{K}(t) = (1 - \alpha(t) - \beta(t))f(K(t)) - aK(t), \\ \dot{P}(t) = (1 - d\beta(t))f(K(t)) - bP(t) \end{cases} \quad (2)$$

при начальных условиях $\alpha(t_0) = \beta(t_0) = 0$, $K(t_0) = K_0$, $P(t_0) = P_0$ и ограничениях

$$\alpha(t) + \beta(t) \leq M. \quad (3)$$

В (2) точка над функциями означает ее производную по времени.

В [5] доказано существование оптимального решения (c, K, P) задачи (1)–(3). ►

Определим разбиение $[t_0, T]$ на узлы:

$$\Delta: t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_n = T \quad (4)$$

и осуществим дискретизацию задачи:

$$\begin{cases} K(t_i) = \frac{1}{1 + a\Delta t_i} \{ (1 - \alpha(t_i) - \beta(t_i))f(K(t_i))\Delta t_i + K(t_{i+1}) \}, \\ P(t_i) = \frac{1}{1 + b\Delta t_i} \{ (1 - d\beta(t_i))f(K(t_i))\Delta t_i + P(t_{i+1}) \}, \end{cases} \quad (5)$$

где $\Delta t = t_i - t_{i-1}$ при ограничениях

$$\alpha(t_i) + \beta(t_i) \leq M, \quad i = \overline{0, n}. \quad (6)$$

Выберем позицию (\bar{K}, \bar{P}) , где \bar{K} и \bar{P} – значения капитала и загрязнения в момент T соответственно, которой с целью приближенного решения задачи мы собираемся достичь.

Вводим критерий оптимальности.

Траекторию $(K(t), P(t))$ на $[t_0, T]$ называем *оптимальной*, если расстояние D при $t \in [t_0, T]$ удовлетворяет условию

$$D((K(t), P(t)), (\bar{K}, \bar{P})) = \min_{(K'(t), P'(t))} D((K'(t), P'(t)), (\bar{K}, \bar{P})). \quad (7)$$

Условие (7) в дальнейшем упоминается как *условие A* оптимизации задачи (4)–(7). ►

2⁰. Численный метод. Прежде всего, следует определить процедуру построения $\alpha(t_i) = \alpha(t_{i-1}) + \Delta\alpha(t_i)$ и $\beta(t_i) = \beta(t_{i-1}) + \Delta\beta(t_i)$, $i = \overline{1, n}$, в уравнениях (5). Приращения $\Delta\alpha(t_i)$ и $\Delta\beta(t_i)$, $i = \overline{1, n}$, определяем с помощью алгоритма случайного поиска, основанного на методе «возврата»:

$$\begin{cases} \Delta\alpha(t_i) = \begin{cases} q\lambda_{i-1} & \text{при условии } A, \\ -\Delta\alpha(t_{i-1}) & \text{в противном случае;} \end{cases} \\ \Delta\beta(t_i) = \begin{cases} q\sigma_{i-1} & \text{при условии } A, \\ -\Delta\beta(t_{i-1}) & \text{в противном случае.} \end{cases} \end{cases} \quad (8)$$

В (8) последовательности $\{\lambda_i\}$ и $\{\sigma_i\}$ выбираются с помощью генерации случайных чисел, а q и s – шаги метода случайного поиска [6].

Из (8) определяем приращения, подставляем их в (5). Именно вначале находим $K(t_i)$ из первого уравнения (5), затем $P(t_i)$ из второго.

Далее, проверяем условие A . Если оно выполнено, то переходим к следующему шагу. В противном случае процедура с новым набором $\{\lambda_i\}$ и $\{\sigma_i\}$ повторяется.

При L выборках размера n случайных чисел вероятность попадания хотя бы одного из чисел в Δ -окрестность оптимума равна $P_\Delta(L) = 1 - (1 - \Delta^n)^L$ [6].

Выбрав Δ , n и $P_\Delta(L)$, находим $L = \frac{\ln(1 - P_\Delta(L))}{\ln(1 - \Delta^n)}$.

Наконец, следует удовлетворить (6). Достаточным условием справедливости (6) служит

$$v = \max(s, q) \leq \frac{M}{\sum_{k=0}^{i-1} (\lambda_k + \sigma_k)}. \quad (9)$$

Действительно, $\alpha(t_i) = \sum_{k=1}^i \Delta\alpha(t_k) = q \sum_{k=1}^i \lambda_{k-1}$, $\beta(t_i) = \sum_{k=1}^i \Delta\beta(t_k) = s \sum_{k=1}^i \sigma_{k-1}$

и (6) приобретает вид $q \sum_{k=1}^i \lambda_{k-1} + s \sum_{k=1}^i \sigma_{k-1} \leq M$, откуда следует (9). ►

Согласно алгоритму случайного поиска, мы получаем последовательности значений

$$\{K(t_i)\}, \{P(t_i)\}, \{\alpha(t_i)\}, \{\beta(t_i)\}. \quad (10)$$

Пусть g – одна из функций K, P, α, β и т. д. Определим следующие эрмитовы сплайны третьей степени при $t \in [t_i, t_{i+1}]$:

$$\tilde{g}(t) = \varphi_1(x)g(t_i) + \varphi_2(x)g(t_{i+1}) + \varphi_3(x)(g(t_i) - g(t_{i-1})) + \varphi_4(x)(g(t_{i+1}) - g(t_i)), \quad (11)$$

где, согласно [7], $x = (t - t_i) / \Delta t_{i+1}$ и

$$\begin{aligned} \varphi_1(x) &= (1 - x^2)(1 + 2x), & \varphi_2(x) &= x^2(3 - 2x), \\ \varphi_3(x) &= x(1 - x)^2, & \varphi_4(x) &= -x^2(1 - x). \end{aligned} \quad (12)$$

Выясняется, что сплайн-аппроксимация типа (11), (12) для оптимального решения $(c(t), P(t))$ задачи (4)–(7) осуществляет «хорошее» приближение решения. ►

3. Основной результат. Введем следующее

Условие В. Пусть B_1, B_2, B_3 – положительные константы и

$$\|u(c, P) - u(c, \tilde{P})\| \leq B_1 \|P - \tilde{P}\|,$$

$$\|u(c, \tilde{P}) - u(\tilde{c}, \tilde{P})\| \leq B_2 \|c - \tilde{c}\|,$$

$$\|f(K) - f(\tilde{K})\| \leq B_3 \|K - \tilde{K}\|,$$

где $(c(t), K(t), P(t))$ – оптимальное решение задачи (1)–(3).

Положим $\dot{g}(t) = \frac{g(t + \Delta t) - g(t)}{\Delta t}$. Обозначим

$$\varepsilon = \max_{0 \leq i < n} (e^{r\Delta t_i} - 1), \quad \omega_i(g) = \max_{t', t'' \in [t_i, t_{i+1}]} |g(t') - g(t'')|, \quad i = \overline{0, n-1},$$

$$\bar{\omega}_i = \max(\omega_i(\dot{P}), \omega_i(\dot{K}), \omega_i(\dot{\alpha})), \quad \bar{\omega} = \max_{0 \leq i < n} \bar{\omega}_i,$$

$$Q = \max\{B_1, B_2, B_3, M, \|f(\tilde{K})\|\}, \quad B = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{r} Q \bar{\omega}_i e^{-r t_{i+1}} \left(\frac{81}{50} + \frac{3}{2} Q \right).$$

Сформулируем основной результат работы.

Теорема. Пусть $\alpha(t), \beta(t), K(t), P(t)$ непрерывно дифференцируемы на $[t_i, T]$, выполнено условие В, (c, P) – оптимальное решение задачи (4)–(7), (\tilde{c}, \tilde{P}) – сплайн-аппроксимация оптимальной траектории (c, P) .

Тогда $\|W(c, P) - W(\tilde{c}, \tilde{P})\| < \varepsilon \omega B$.

Таким образом, приведена процедура получения численного приближения для решения задачи динамической оптимизации (4)–(7). ►

Приложение. Приведем доказательство теоремы.

Так как

$$\|W(c, P) - W(\tilde{c}, \tilde{P})\| \leq \sum_{i=0}^{n-1} \left\| \int_{t_i}^{t_{i+1}} (u(c, P) - u(c, \tilde{P})) e^{-rt} dt \right\| + \sum_{i=0}^{n-1} \left\| \int_{t_i}^{t_{i+1}} (u(c, \tilde{P}) - u(\tilde{c}, \tilde{P})) e^{-rt} dt \right\|,$$

то из условия В следует

$$\left\| \int_{t_i}^{t_{i+1}} (u(c, P) - u(c, \tilde{P})) e^{-rt} dt \right\| \leq B_1 \|P - \tilde{P}\| \frac{e^{-r t_{i+1}}}{r} (e^{r \Delta t_i} - 1),$$

$$\left\| \int_{t_i}^{t_{i+1}} (u(c, \tilde{P}) - u(\tilde{c}, \tilde{P})) e^{-rt} dt \right\| \leq B_2 \|c - \tilde{c}\| \frac{e^{-r t_{i+1}}}{r} (e^{r \Delta t_i} - 1).$$

Далее, по теореме 2.5 из [7],

$$\|P - \tilde{P}\| \leq \frac{3}{25} \omega_i(\dot{P}). \quad (13)$$

Так как $c(t) = \alpha(t)f(K)$, то, по теореме 2.5 из [7],

$$\|c - \tilde{c}\| \leq MB_3 \frac{3}{2} \omega_i(\dot{K}) + \|f(K)\| \frac{3}{2} \omega_i(\dot{\alpha}). \quad (14)$$

Из (13) и (14) следует

$$\begin{aligned} & \left\| \int_{t_i}^{t_{i+1}} (u(c, P) - u(c, \tilde{P})) e^{-rt} dt \right\| + \left\| \int_{t_i}^{t_{i+1}} (u(c, \tilde{P}) - u(\tilde{c}, \tilde{P})) e^{-rt} dt \right\| \leq \\ & \leq B_1 \frac{3}{25r} \omega_i(\dot{P}) e^{-r t_{i+1}} (e^{r \Delta t_i} - 1) + \\ & + \frac{B_2}{r} e^{-r t_{i+1}} (e^{r \Delta t_i} - 1) \left(MB_3 \frac{3}{2} \omega_i(\dot{K}) + \|f(\tilde{K})\| \frac{3}{2} \omega_i(\dot{\alpha}) \right) \leq \\ & \leq \frac{1}{r} Q \bar{\omega}_i e^{-r t_{i+1}} (e^{r \Delta t_i} - 1) \left(\frac{81}{50} + \frac{3}{2} Q \right). \end{aligned} \quad (15)$$

Из (14) и (11) получаем

$$\|W(c, P) - W(\tilde{c}, \tilde{P})\| \leq \sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{r} Q \bar{\omega}_i e^{-r t_{i+1}} (e^{r \Delta t_i} - 1) \left(\frac{81}{50} + \frac{3}{2} Q \right) < \varepsilon B \bar{\omega}.$$

Теорема доказана.

Кафедра математического моделирования
в экономике

Поступила 03.10.2003

ЛИТЕРАТУРА

1. **W. de Vries.** Philosophy, Structure and Application Methodology of a Soil Acidification. Model for Netherlands. In Impact Models to Assess Regional Acidification. Ed. By J. Kamari, IIASA, Kluwer Academic Publishers, Luxemburg, Austria, 1999, p. 3–22.
2. **Brodersen K., Christiansen H., Larsen B.R., Petersen T.** Effects of Acid Deposition on Agricultural Soils During and after Use. Ed. By J. Kamari, IIASA, Kluwer Academic Publishers, Luxemburg, Austria, 1999, p. 23–31.
3. **Yasuko K.** A Comparative Analysis of Decision. International Environmental Affairs. 1997, v. 9, № 2, p. 195–203.
4. **Arakelyan A.H., Simonyan H.S.** Dynamic Multiple Objective Decision Support System to Provide the Monitoring and Management the Carbon Dioxide Emission // MOPGP OO. The Fourth International Conference on multi-Objective Goal Programming. Theory & Applications. Ustron, Poland, 2000, p. 17–21.
5. **Килер Э., Спен М., Зенхаузер Р.** Оптимальный контроль над загрязнением окружающей среды. Математическая экономика. Ред. Б.С. Митягин. М.: Мир, 1974, с. 46–63.
6. **Растргин Л.А., Рипа К.К., Тарасенко Г.С.** Адаптация случайного поиска. Рига: Зинатне, 1978.
7. **Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошенко В.Л.** Сплайн функции. М.: Наука, 1980.

Ա. Հ. ԱՓԻՆՅԱՆ

ԴԻՆԱՄԻԿ ՕՊՏԻՄԱԼԱՑՄԱՆ ՄԻ ԽՆԴՐԻ ԼՈՒՇՄԱՆ
ԹՎԱՅԻՆ ՄԵԹՈԴ

Ամփոփում

Աշխատանքում դիտարկված է շրջակա միջավայրի աղտոտման դեմ պայքարի օպտիմալացման մոդել: Օգտագործված են դինամիկ օպտիմալացման մեթոդ և պատահական որոնման ալգորիթմ՝ հիմնված «վերադարձի» եղանակի վրա: Առաջարկված է օպտիմալ լուծման սպլայն-մոտարկում:

A. H. APINIAN

NUMERICAL METHOD OF SOLUTION OF ONE DYNAMIC
OPTIMIZATION PROBLEM

Summary

The paper considers the discrete optimization of the model of the struggle against the pollution of the surrounding environment. The dynamic optimization method which is based on the stochastic search algorithm «return» method is used. It is proposed to use the optimal spline approximation solution.

Механика

УДК 62.50

Л. А. МАЗМАНЯН

**ОБ ОПТИМАЛЬНОМ УПРАВЛЕНИИ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ
 УПРУГОЙ ПЛАСТИНКИ В КОНФЛИКТНЫХ СИТУАЦИЯХ**

Исследуется задача об оптимальном управлении линейных колебаний пластинки при помощи противоборствующих сил, приложенных к поверхностям пластинки. Решается она методом Фурье и приводится к игровой задаче для бесконечной линейной системы дифференциальных уравнений второго порядка. С помощью метода экстремального прицеливания определяются оптимальные управляющие силы. Указываются условия, при которых действующие силы, принадлежащие классу L_2 , гасят колебательное движение пластинки, если ресурсы первого игрока больше, чем второго. В конце статьи приведен численный пример.

1. Рассмотрим линейные колебания шарнирно опертой прямоугольной пластинки ($a \times b$) плотности ρ , постоянной толщины h , свободно смещающейся в плоскости опорного контура [1]. Координатные оси x, y направим вдоль сторон опорного контура. Пусть на поверхности пластинки действуют две перпендикулярные силы: $F_1(x, y, t)$ и $F_2(x, y, t)$. Поперечное перемещение срединной поверхности пластинки обозначим через $w(x, y, t)$.

Дифференциальное уравнение линейных колебаний будет [1]

$$\frac{D}{h} \nabla^4 w + \frac{\gamma}{g} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = F_1(x, y, t) + F_2(x, y, t), \quad (1.1)$$

где D – жесткость пластинки, а $\nabla^4 = \nabla^2 \nabla^2 = \frac{\partial^4}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4}{\partial y^4}$.

Края пластинки удовлетворяют следующим условиям шарнирного опирания:

$$\begin{aligned} w = 0, \quad \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0 \quad \text{при} \quad x = 0, \quad x = a, \\ w = 0, \quad \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad \text{при} \quad y = 0, \quad y = b, \end{aligned} \quad (1.2)$$

где μ – коэффициент Пуассона.

Пусть начальные условия будут

$$w(x, y, 0) = \varphi(x, y), \quad \dot{w}(x, y, 0) = \psi(x, y), \quad (1.3)$$

где $\varphi(x, y)$ и $\psi(x, y)$ – соответственно начальный прогиб и начальная скорость срединной поверхности.

Условия (1.2) шарнирного опирания будут удовлетворены, если прогиб представить в виде

$$w = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} f_{mn}(t) \sin \frac{\pi x m}{a} \sin \frac{\pi y n}{b}, \quad (1.4)$$

а функции F_1 и F_2 –

$$\begin{aligned} F_1(x, y, t) &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \bar{u}_{mn}(t) \sin \frac{\pi x m}{a} \sin \frac{\pi y n}{b}, \\ F_2(x, y, t) &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \bar{v}_{mn}(t) \sin \frac{\pi x m}{a} \sin \frac{\pi y n}{b}. \end{aligned} \quad (1.5)$$

Далее перейдем к следующим безразмерным обыкновенным дифференциальным уравнениям, описывающим линейные колебания пластинки [1, 2]:

$$\frac{d^2 \xi_{mn}(t)}{dt^2} = -\omega_{mn}^2 \xi_{mn}(t) + u_{mn}(t) + v_{mn}(t) \quad (m, n = 1, 2, \dots), \quad (1.6)$$

$$\text{где } \xi_{mn}(t) = \frac{f_{mn}(t)}{h}, \quad u_{mn} = \frac{g}{\gamma h} \bar{u}_{mn}(t), \quad v_{mn} = \frac{g}{\gamma h} \bar{v}_{mn}(t).$$

Квадрат частоты собственных колебаний при малых прогибах имеет вид

$$\omega_{mn}^2 = \frac{\pi^4 m^4 \left(1 + \frac{n^2}{m^2} \bar{\lambda}^2 \right)^2}{12 \bar{\lambda}^2 (1 - \mu^2)} \left(\frac{ch}{ab} \right)^2, \quad (1.7)$$

$$\text{где } \bar{\lambda} = \frac{a}{b}, \quad c = \sqrt{\frac{Eg}{\gamma}} \quad (\omega_{mn}^2 > 0, \quad m, n = 1, 2, \dots).$$

Предполагаем, что силы $F_1(x, y, t)$ и $F_2(x, y, t)$ принадлежат классу L_2 и удовлетворяют условиям

$$\begin{aligned} \left[\int_0^a \int_0^b [F_1(x, y, t)]^2 dx dy \right]^{1/2} &= \left[\sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \bar{u}_{mn}^2(t) \right]^{1/2} \leq P, \\ \left[\int_0^a \int_0^b [F_2(x, y, t)]^2 dx dy \right]^{1/2} &= \left[\sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \bar{v}_{mn}^2(t) \right]^{1/2} \leq Q \end{aligned} \quad (1.8)$$

равномерно по $t \in [0, T]$. Здесь P, Q, T – заданные положительные числа.

Рассмотрим следующую игровую ситуацию. Пусть первый игрок,

распоряжающийся управлениями u_{mn} ($m, n = 1, 2, \dots$), стремится минимизировать значение величины $\sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} [\xi_{mn}^2(\vartheta) + \dot{\xi}_{mn}^2(\vartheta)]$ при самом упорном сопротивлении второго игрока, распоряжающегося управляющими воздействиями v_{mn} ($m, n = 1, 2, \dots$), а второй игрок, в свою очередь, стремится максимизировать значение величины $\sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} [\xi_{mn}^2(\vartheta) + \dot{\xi}_{mn}^2(\vartheta)]$ при самом упорном сопротивлении со стороны первого игрока. Величину ϑ ($0 < \vartheta \leq T$) определим ниже. Динамика игры определяется бесконечной системой дифференциальных уравнений (1.6). С помощью метода экстремального прицеливания были построены оптимальные управляющие воздействия каждого игрока и гипотетическое рассогласование [2, 3]:

$$u_{mn}(\tau) = - \frac{P [l_{mn}^{(1)} \sin \sqrt{\lambda_{mn}} (T - \tau) + l_{mn}^{(2)} \cos \sqrt{\lambda_{mn}} (T - \tau)]}{\sqrt{\lambda_{mn}} \left[\sum_{r,j=1}^{\infty} \frac{1}{\lambda_{rj}} (l_{rj}^{(1)} \sin \sqrt{\lambda_{rj}} (T - \tau) + l_{rj}^{(2)} \cos \sqrt{\lambda_{rj}} (T - \tau))^2 \right]^{1/2}},$$

$$v_{mn}(\tau) = \frac{Q [l_{mn}^{(1)} \sin \sqrt{\lambda_{mn}} (T - \tau) + l_{mn}^{(2)} \cos \sqrt{\lambda_{mn}} (T - \tau)]}{\sqrt{\lambda_{mn}} \left[\sum_{r,j=1}^{\infty} \frac{1}{\lambda_{rj}} (l_{rj}^{(1)} \sin \sqrt{\lambda_{rj}} (T - \tau) + l_{rj}^{(2)} \cos \sqrt{\lambda_{rj}} (T - \tau))^2 \right]^{1/2}}, \quad (1.9)$$

$$\varepsilon^{(0)}(t, \{z_{mn}^{(1)}(t), z_{mn}^{(2)}(t)\}, T) = \max_{\sum_{m,n=1}^{\infty} [(l_{mn}^{(1)})^2 + (l_{mn}^{(2)})^2] \leq 1} \left\{ \sum_{m,n=1}^{\infty} [l_{mn}^{(1)} a_{mn} + l_{mn}^{(2)} b_{mn}] - \right. \\ \left. - (P - Q) \int_t^T \left[\sum_{r,j=1}^{\infty} \frac{1}{\lambda_{rj}} (l_{rj}^{(1)} \sin \sqrt{\lambda_{rj}} (T - \tau) + l_{rj}^{(2)} \cos \sqrt{\lambda_{rj}} (T - \tau))^2 \right]^{1/2} d\tau \right\}, \quad (1.10)$$

где

$$a_{mn} = z_{mn}^{(1)}(t) \cos \sqrt{\lambda_{mn}} (T - t) + z_{mn}^{(2)}(t) \sin \sqrt{\lambda_{mn}} (T - t),$$

$$b_{mn} = z_{mn}^{(2)}(t) \cos \sqrt{\lambda_{mn}} (T - t) - z_{mn}^{(1)}(t) \sin \sqrt{\lambda_{mn}} (T - t),$$

$$z_{mn}^{(1)} = \xi_{mn}, \quad z_{mn}^{(2)} = \frac{\dot{\xi}_{mn}}{\sqrt{\lambda_{mn}}} \quad (m, n = 1, 2, \dots).$$

При условии $P > Q$ выражение в фигурных скобках в формуле (1.10) является вогнутой функцией по переменным $l_{rj}^{(1)}$ и $l_{rj}^{(2)}$ ($r, j = 1, 2, \dots$) [4], следовательно, максимум в (1.10) при любых $z_{mn}^{(1)}(t)$, $z_{mn}^{(2)}(t)$ достигается на единственном векторе $(l_{mn}^{(1)})^0, (l_{mn}^{(2)})^0$ ($m, n = 1, 2, \dots$), т.е. при любых началь-

ных значениях игровая ситуация регулярна. Получены уравнения, из которых выводятся компоненты вектора l^0 [2, 3].

Заметим, что $\varepsilon^{(0)}(t, \{z_{mn}^{(1)}(t), z_{mn}^{(2)}(t)\}, T)$ – ограниченная величина, так как ряды, участвующие в выражениях (1.10), сходятся, следовательно, оптимальные управляющие воздействия, определяемые формулой (1.9) равномерно по $t \in [0, T]$, составляют сходящиеся квадратом ряды [3]. Для определения момента \mathcal{G} в каждой ситуации нужно найти наименьший корень уравнения:

$$\min_{t \in [0, T]} \varepsilon^{(0)}(t, \{z_{mn}^{(1)}(t), z_{mn}^{(2)}(t)\}, \tau) = \varepsilon^{(0)}(t_*, \cdot, \mathcal{G}). \quad (1.11)$$

2. В этом разделе будем исследовать простейший случай, когда пластинка совершает колебания с наимизшей частотой с образованием одной полуволны по направлению каждой стороны ($m=1, n=1$).

В рассматриваемом случае гипотетическое рассогласование примет следующий вид:

$$\varepsilon^{(0)}(\cdot) = \max_{l_{11}^{(1)2} + l_{11}^{(2)2} = 1} \left\{ l_{11}^{(1)} a_{11} + l_{11}^{(2)} b_{11} - \frac{P-Q}{\sqrt{\lambda_{11}}} \int_0^T \sqrt{(l_{11}^{(1)} \sin \sqrt{\lambda_{11}}(T-\tau) + l_{11}^{(2)} \cos \sqrt{\lambda_{11}}(T-\tau))^2} d\tau \right\}, \quad (2.1)$$

где

$$a_{11} = z_{11}^{(1)}(t) \cos \sqrt{\lambda_{11}}(T-t) + z_{11}^{(2)}(t) \sin \sqrt{\lambda_{11}}(T-t),$$

$$b_{11} = z_{11}^{(2)}(t) \cos \sqrt{\lambda_{11}}(T-t) - z_{11}^{(1)}(t) \sin \sqrt{\lambda_{11}}(T-t),$$

а управляющие воздействия

$$u_{11}(\tau) = - \frac{P [l_{11}^{(1)} \sin \sqrt{\lambda_{11}}(T-\tau) + l_{11}^{(2)} \cos \sqrt{\lambda_{11}}(T-\tau)]}{\sqrt{(l_{11}^{(1)} \sin \sqrt{\lambda_{11}}(T-\tau) + l_{11}^{(2)} \cos \sqrt{\lambda_{11}}(T-\tau))^2}},$$

$$v_{11}(\tau) = \frac{Q [l_{11}^{(1)} \sin \sqrt{\lambda_{11}}(T-\tau) + l_{11}^{(2)} \cos \sqrt{\lambda_{11}}(T-\tau)]}{\sqrt{(l_{11}^{(1)} \sin \sqrt{\lambda_{11}}(T-\tau) + l_{11}^{(2)} \cos \sqrt{\lambda_{11}}(T-\tau))^2}}. \quad (2.2)$$

Для численного примера возьмем пластинку из стали, которая имеет следующие значения параметров: $a=0,2\text{м}$, $b=0,1\text{м}$, $h=0,001\text{м}$, $\rho=7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $E=200 \text{ ГПа} = 2 \cdot 10^{11} \text{ н/м}^2$, $\mu=0,3$, $P=8$, $Q=2$, $t=0$, $z_{11}^{(1)}=500$, $z_{11}^{(2)}=600$, c – скорость распространения продольных упругих волн

$$\left(c = \sqrt{\frac{Eg}{\gamma}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \approx 50637 \right),$$

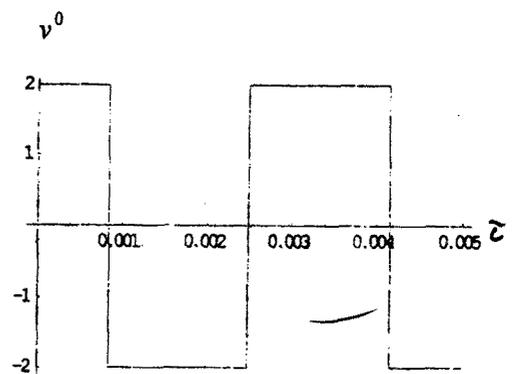
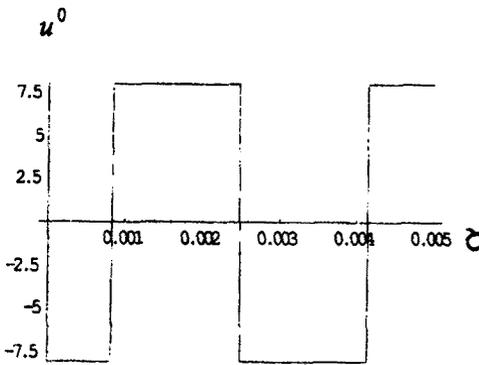
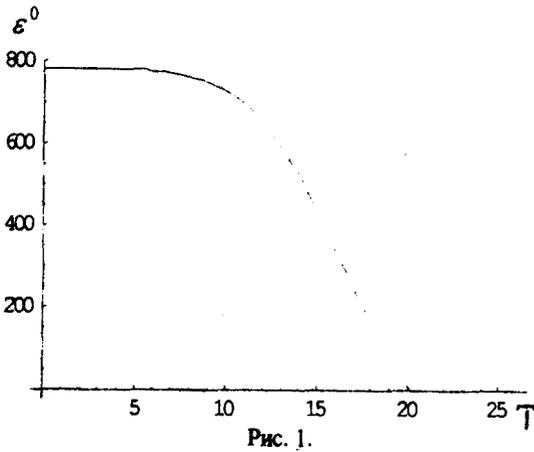
а частота собственных колебаний при малых

прогибах будет иметь вид

$$\lambda_{11} = \omega^2 = \frac{\pi^4 (1 + \lambda^2)^2}{12 \lambda^2 (1 - \mu^2)} \left(\frac{ch}{ab} \right)^2 \approx 3,6 \cdot 10^6, \text{ где } \lambda = \frac{a}{b}.$$

С помощью программы «Математика 5.0» вычислены $(l_{11}^{(1)})^0, (l_{11}^{(2)})^0$, следовательно, и гипотетическое рассогласование из (2.1), и оптимальные управляющие воздействия из (2.2). Ниже представлены зависимости $Plot[\varepsilon^0, \{T; 0; 26\}]$ (рис. 1), $Plot[u^0, \{\tau; 0; 0,005\}]$ (рис. 2) и $Plot[v^0, \{\tau; 0; 0,005\}]$ (рис. 3).

Из анализа рис. 1 можно сделать вывод, что при $P > Q$ первый игрок, распоряжающийся управлением u_{11}^0 (рис. 2), минимизирует откло-



нение пластинки от положения равновесия при самом упорном сопротивлении со стороны второго игрока (рис. 3).

Кафедра теоретической механики

Поступила 26.09.2003

ЛИТЕРАТУРА

1. Вольмир А.С. Нелинейная динамика пластинок и оболочек. М.: Наука, 1972.
2. Мазманян Л.А. Об оптимальном управлении линейных колебаний пластинки в конфликтных ситуациях. – Сб. Оптимальное управление, устойчивость и прочность механических систем. Ер., 2002, с. 48–52.
3. Габриелян М.С. – Изв. НАН РА, Механика, 1998, № 4, с. 72–76.
4. Красовский Н.Н., Субботин А.И. Позиционные дифференциальные игры. М.: Наука, 1974.

Լ. Ա. ՄԱԶՄԱՆՅԱՆ

ԱՌԱՋԳԱԿԱՆ ՍԱԼԻ ՏԱՏԱՆՈՂԱԿԱՆ ԸԱՐԺՄԱՆ ՕՊՏԻՄԱԼ
ՂԵԿԱՎԱՐՄԱՆ ՄԱՍԻՆ ՀԱԿԱՄԵՏ ԻՐԱՎԻՃԱԿՆԵՐՈՒՄ

Ամփոփում

Դիտարկված է սալի գծային տատանումների օպտիմալ ղեկավարման խնդիրը, երբ նրա վրա ազդում են բաշխված հակամետ ուժեր: Խնդիրը լուծված է Ֆուրյեի եղանակով և բերված է երկրորդ կարգի դիֆերենցիալ հավասարումներով բնութագրվող խաղային խնդրի: Խաղացողների օպտիմալ ղեկավարող ազդեցությունները որոշված են էքստրեմալ նշանառության եղանակով: Ցույց է տրված, որ եթե առաջին խաղացողի ռեսուրսները ավելի շատ են, քան երկրորդ խաղացողինը, և ազդող ուժերը պատկանում են L_2 դասին, ապա լուծվում է սալի տատանումների մարման խնդիրը: Աշխատանքի վերջում բերված է թվային օրինակ:

L. A. MAZMANYAN

ON THE OPTIMAL CONTROL FOR THE ELASTIC PLATE'S
VIBRATIONS IN THE CONFLICT SITUATIONS

Summary

It is discussed the problem of an optimal control for the plate's linear vibrations, when the distributive disposed forces influence on it. The problem is solved by the method of Fourie and it is brought to the differential game, which is described by the infinitesimal differential equations of second order. The extremal strategies are constructed by the extreme targeting method. It is shown that if the resources of the first player are more than the resources of the second player and the influencing forces belong to class L_2 , then the problem of damping of plate's vibrations is solved. In the end of the article a numerical example is given.

Механика

УДК 539.3

К. Г. САРКИСЯН

О СДВИГОВЫХ КОЛЕБАНИЯХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА, НА ГРАНИЧНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОТОРОГО ПРИКРЕПЛЕН ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ УПРУГИЙ СЛОЙ

В работе рассматривается задача о сдвиговых установившихся колебаниях пьезоэлектрического полупространства (пьезоэлектрик класса бтп гексагональной симметрии), на граничной поверхности которого прикреплен диэлектрический слой малой толщины. Колебания среды возбуждаются с помощью линейного источника колебаний, приложенного на поверхности диэлектрического слоя. Используя метод интегрального преобразования Фурье, находим перемещения, соответствующие им электрические потенциалы, а также электрический потенциал в вакууме.

Получена асимптотическая формула амплитуды перемещения для точек, далеких от точки приложения силы, в которой выделена часть электроупругих волн Лява.

Рассмотрим распространение сдвиговых электроупругих волн в изотропном диэлектрическом слое толщины h и в пьезоэлектрическом полупространстве, когда на поверхности $x_2 = -h$ диэлектрического слоя действует линейный источник колебаний $P\delta(x_1)e^{-i\omega t}$, где $\delta(x)$ – функция Дирака, ω – частота колебаний, t – параметр времени. Предполагаем, что упругая среда отнесена к прямоугольной декартовой координатной системе $x_1x_2x_3$. Плоскость $x_2 = 0$ является граничной поверхностью между пьезоэлектрическим полупространством и диэлектрическим слоем. Ось x_2 направлена к пьезоэлектрическому полупространству – по глубине. Ось x_3 совпадает с осью пьезоэлектрика класса бтп гексагональной симметрии.

Обозначим упругие перемещения пьезоэлектрического полупространства и диэлектрического слоя соответственно $u_*^{(1)}(x_1, x_2, t)$, $u_*^{(2)}(x_1, x_2, t)$, а электрические потенциалы пьезоэлектрического полупространства, диэлектрического слоя и вакуума – соответственно $\phi_*^{(1)}(x_1, x_2, t)$, $\phi_*^{(2)}(x_1, x_2, t)$, $\phi_*^{(e)}(x_1, x_2, t)$.

Упругие перемещения и электрические потенциалы ищем в виде

$$\begin{aligned} u^{(1)}(x_1, x_2, t) &= u^{(1)}(x_1, x_2) e^{-i\alpha t}, & u^{(2)}(x_1, x_2, t) &= u^{(2)}(x_1, x_2) e^{-i\alpha t}, \\ \phi^{(1)}(x_1, x_2, t) &= \phi^{(1)}(x_1, x_2) e^{-i\alpha t}, & \phi^{(2)}(x_1, x_2, t) &= \phi^{(2)}(x_1, x_2) e^{-i\alpha t}, \\ \phi^{(e)}(x_1, x_2, t) &= \phi^{(e)}(x_1, x_2) e^{-i\alpha t}. \end{aligned}$$

Тогда поставленная задача для амплитуд сводится к граничной задаче [1]:

$$\Delta u^{(1)} + k_1^2 u^{(1)} = 0, \quad \Delta \phi^{(1)} = -\frac{e_{15}}{\varepsilon_{11}} k_1^2 u^{(1)}, \quad -\infty < x_1 < \infty, \quad 0 < x_2 < \infty, \quad (1)$$

$$\Delta u^{(2)} + k_2^2 u^{(2)} = 0, \quad \Delta \phi^{(2)} = 0, \quad -\infty < x_1 < \infty, \quad -h < x_2 < 0, \quad (2)$$

$$\Delta \phi^{(e)} = 0, \quad -\infty < x_1 < \infty, \quad -\infty < x_2 < -h. \quad (3)$$

Условия контакта на $x_2 = 0$:

$$\begin{cases} c_{44} \frac{\partial u^{(1)}}{\partial x_2} \Big|_{x_2=0} + e_{15} \frac{\partial \phi^{(1)}}{\partial x_2} \Big|_{x_2=0} = G_2 \frac{\partial u^{(2)}}{\partial x_2} \Big|_{x_2=0}, \\ e_{15} \frac{\partial u^{(1)}}{\partial x_2} \Big|_{x_2=0} - \varepsilon_{11} \frac{\partial \phi^{(1)}}{\partial x_2} \Big|_{x_2=0} = -\varepsilon_2 \frac{\partial \phi^{(2)}}{\partial x_2} \Big|_{x_2=0}, \\ u^{(1)} \Big|_{x_2=0} = u^{(2)} \Big|_{x_2=0}, \quad \phi^{(1)} \Big|_{x_2=0} = \phi^{(2)} \Big|_{x_2=0}. \end{cases} \quad (4)$$

Граничные условия на $x_2 = -h$:

$$\begin{cases} G_2 \frac{\partial u^{(2)}}{\partial x_2} \Big|_{x_2=-h} = P \delta(x_1), \\ \phi^{(2)} \Big|_{x_2=-h} = \phi^{(e)} \Big|_{x_2=-h}, \\ \varepsilon_2 \frac{\partial \phi^{(2)}}{\partial x_2} \Big|_{x_2=-h} = \varepsilon_0 \frac{\partial \phi^{(e)}}{\partial x_2} \Big|_{x_2=-h}, \end{cases} \quad (5)$$

где $c_1^2 = c_{44} / \rho_1$, $k_1^2 = \omega^2 / c_1^2 (1 + \chi^2)$, а $\chi^2 = e_{15}^2 / c_{44} \varepsilon_{11}$ – коэффициент электромеханической связи, e_{15} – пьезоэлектрическое постоянное, $\varepsilon_{11}, \varepsilon_2, \varepsilon_0$ – коэффициенты диэлектрической проницаемости пьезоэлектрика, диэлектрика и вакуума соответственно, ρ_1 – плотность пьезоэлектрика, c_{44} – коэффициент упругости пьезоэлектрика, $c_2^2 = G_2 / \rho_2$, $k_2^2 = \omega^2 / c_2^2$, G_2 и ρ_2 – соответственно модуль сдвига и плотность материала диэлектрического слоя, $\Delta = \partial^2 / \partial x_1^2 + \partial^2 / \partial x_2^2$ – оператор Лапласа.

Рассмотрим случай диэлектрического слоя малой толщины (т.е. $k_1 h \ll 1$). Тогда полагается, что электрический потенциал $\phi^{(2)}$ – линейная

функция от x_2 [2]:

$$\phi^{(2)}(x_1; x_2) = \phi^{(1)}(x_1; 0) + \frac{x_2}{h} \left[\phi^{(1)}(x_1; 0) - \phi^{(e)}(x_1; -h) \right]. \quad (6)$$

Уравнения для диэлектрического слоя можно представить в следующем виде:

$$G_2 \frac{\partial^2 u^{(2)}}{\partial x_1^2} + \frac{\partial \sigma_{32}^{(2)}}{\partial x_2} = -\rho_2 \omega^2 u^{(2)}, \quad -\varepsilon_2 \frac{\partial^2 \phi^{(2)}}{\partial x_1^2} + \frac{\partial D_2^{(2)}}{\partial x_2} = 0. \quad (7)$$

Интегрировав уравнения (7) в отрезке $[-h; 0]$ по x_2 , а второе уравнение (7) умножив на x_2 и интегрировав опять в отрезке $[-h; 0]$ по x_2 , получим следующие уравнения:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u^{(2)}}{\partial x_1^2} + k_2^2 u^{(2)} &= \frac{1}{hG_2} \left(P\delta(x) - \sigma_{32}^{(2)} \Big|_{x_2=0} \right), \\ \frac{\partial^2 \phi^{(2)}}{\partial x_1^2} - \frac{1}{\varepsilon_2 h} \left(D_2^{(2)} \Big|_{x_2=0} - D_2^{(2)} \Big|_{x_2=-h} \right) &= 0, \\ \phi^{(2)} \Big|_{x_2=0} - \phi^{(2)} \Big|_{x_2=-h} &= hD_2^{(2)} \Big|_{x_2=-h}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $\sigma_{32}^{(2)}$ – контактные напряжения, $D_2^{(2)}$ – индукция электрического поля.

Для решения уравнений (1), (3), (8) с граничными и контактными условиями (4) и (5) применим интегральное преобразование Фурье

$\bar{\varphi}(\sigma; x_2) = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x_1; x_2) e^{i\sigma x_1} dx_1$, получим следующую граничную задачу:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \bar{u}^{(1)}}{dx_2^2} - (\sigma^2 - k_1^2) \bar{u}^{(1)} &= 0, & \frac{d^2 \bar{\phi}^{(1)}}{dx_2^2} - \sigma^2 \bar{\phi}^{(1)} &= -\frac{e_{15}}{\varepsilon_{11}} k_1^2 \bar{u}^{(1)}, \\ \bar{u}^{(2)} &= \frac{1}{hG_2(k_2^2 - \sigma^2)} \left(P - \bar{\sigma}_{32}^{(2)} \Big|_{x_2=0} \right), & \bar{\phi}^{(2)} + \frac{1}{\varepsilon_2 h G_2} \left(\bar{D}_2^{(2)} \Big|_{x_2=0} - \bar{D}_2^{(2)} \Big|_{x_2=-h} \right) &= 0, \\ \bar{\phi}^{(2)} \Big|_{x_2=0} - \bar{\phi}^{(2)} \Big|_{x_2=-h} &= h \bar{D}_2^{(2)} \Big|_{x_2=-h}, & \frac{d^2 \bar{\phi}^{(e)}}{dx_2^2} - \sigma^2 \bar{\phi}^{(e)} &= 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Условия контакта на $x_2 = 0$:

$$\begin{cases} c_{44} \frac{d\bar{u}^{(1)}}{dx_2} \Big|_{x_2=0} + e_{15} \frac{d\bar{\phi}^{(1)}}{dx_2} \Big|_{x_2=0} = G_2 \frac{d\bar{u}^{(2)}}{dx_2} \Big|_{x_2=0}, \\ e_{15} \frac{d\bar{u}^{(1)}}{dx_2} \Big|_{x_2=0} - \varepsilon_{11} \frac{d\bar{\phi}^{(1)}}{dx_2} \Big|_{x_2=0} = -\varepsilon_2 \frac{d\bar{\phi}^{(2)}}{dx_2} \Big|_{x_2=0}, \\ \bar{u}^{(1)} \Big|_{x_2=0} = \bar{u}^{(2)} \Big|_{x_2=0}, \quad \bar{\phi}^{(1)} \Big|_{x_2=0} = \bar{\phi}^{(2)} \Big|_{x_2=0}. \end{cases} \quad (10)$$

Граничные условия на $x_2 = -h$:

$$\begin{cases} G_2 \frac{d\bar{u}^{(2)}}{dx_2} \Big|_{x_2=-h} = P, \\ \bar{\phi}^{(2)} \Big|_{x_2=-h} = \bar{\phi}^{(e)} \Big|_{x_2=-h}, \\ \varepsilon_2 \frac{d\bar{\phi}^{(2)}}{dx_2} \Big|_{x_2=-h} = \varepsilon_0 \frac{d\bar{\phi}^{(e)}}{dx_2} \Big|_{x_2=-h} \end{cases} \quad (11)$$

Выше имелось в виду, что контур вдоль действительной оси обходит точку $\sigma = -k_2$ сверху, а точку $\sigma = k_2$ снизу.

Решая эту граничную задачу и удовлетворяя условиям уходящей волны, получим выражения трансформантов Фурье амплитуд упругих перемещений и электрических потенциалов в пьезоэлектрике, диэлектрике и вакууме:

$$\begin{aligned} \bar{u}^{(1)}(\sigma, x_2) &= \frac{P}{c_{44}} \cdot \frac{1}{|\sigma| \chi^2 g(h|\sigma) - \left[(1 + \chi^2) \sqrt{\sigma^2 - k_1^2} + \frac{G_2}{c_{44}} h(\sigma^2 - k_2^2) \right]} e^{-\sqrt{\sigma^2 - k_1^2} x_2}, \\ \bar{\phi}^{(1)}(\sigma, x_2) &= -\frac{P}{\varepsilon_{15}} \cdot \frac{\chi^2 g(h|\sigma)}{|\sigma| \chi^2 g(h|\sigma) - \left[(1 + \chi^2) \sqrt{\sigma^2 - k_1^2} + \frac{G_2}{c_{44}} h(\sigma^2 - k_2^2) \right]} e^{-|\sigma| x_2} + \\ &+ \frac{P e_{15}}{\varepsilon_{11} c_{44}} \cdot \frac{1}{|\sigma| \chi^2 g(h|\sigma) - \left[(1 + \chi^2) \sqrt{\sigma^2 - k_1^2} + \frac{G_2}{c_{44}} h(\sigma^2 - k_2^2) \right]} e^{-\sqrt{\sigma^2 - k_1^2} x_2}, \end{aligned} \quad (12)$$

$$\bar{\phi}^{(e)}(\sigma, x_2) = \frac{P e_{15}}{\varepsilon_{11} c_{44}} \cdot \frac{g(h|\sigma) e^{h|\sigma}}{\left(1 + \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_0} h|\sigma \right) \left[|\sigma| \chi^2 g(h|\sigma) - \left[(1 + \chi^2) \sqrt{\sigma^2 - k_1^2} + \frac{G_2}{c_{44}} h(\sigma^2 - k_2^2) \right] \right]} e^{|\sigma| x_2},$$

$$\bar{u}^{(2)}(\sigma) = \frac{P}{c_{44}} \cdot \frac{1}{|\sigma| \chi^2 g(h|\sigma) - \left[(1 + \chi^2) \sqrt{\sigma^2 - k_1^2} + \frac{G_2}{c_{44}} h(\sigma^2 - k_2^2) \right]},$$

$$\bar{\phi}^{(2)}(\sigma, x_2) = \frac{P e_{15}}{c_{44}} \cdot \frac{g(h|\sigma) \left(1 + \frac{\varepsilon_0}{2} |\sigma| (h - x_2) \right)}{\left(1 + \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_0} h|\sigma \right) \left[|\sigma| \chi^2 g(h|\sigma) - \left[(1 + \chi^2) \sqrt{\sigma^2 - k_1^2} + \frac{G_2}{c_{44}} h(\sigma^2 - k_2^2) \right] \right]},$$

$$\text{где } g(h|\sigma) = \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{11} + \varepsilon_0} + \frac{\varepsilon_{11} \varepsilon_2}{(\varepsilon_{11} + \varepsilon_0)^2} \left(1 - \frac{\varepsilon_0^2}{\varepsilon_2^2} \right) h|\sigma.$$

Интенсивность трансформанта Фурье касательных контактных напряжений будет иметь вид

$$\sigma_{32}^{(2)}|_{x_2=0} = P \frac{|\sigma \chi^2 g(h|\sigma) - \sqrt{\sigma^2 - k_1^2} (1 + \chi^2)|}{|\sigma \chi^2 g(h|\sigma) - \left[(1 + \chi^2) \sqrt{\sigma^2 - k_1^2} + \frac{G_2}{c_{44}} h(\sigma^2 - k_2^2) \right]|}.$$

Для удовлетворения условия уходящей волны выбрана однозначная ветвь функции $\sqrt{\sigma^2 - k_1^2}$ таким образом, чтобы $\sqrt{\sigma^2 - k_1^2} \rightarrow |\sigma|$ при $|\sigma| \rightarrow \infty$ и $\sqrt{\sigma^2 - k_1^2} = -i\sqrt{k_1^2 - \sigma^2}$. В этом случае контур вдоль действительной оси обходит точку ветвления $\sigma = -k_1$ сверху, а точку $\sigma = k_1$ снизу [3].

Теперь рассмотрим знаменатель решения

$$|\sigma \chi^2 g(h|\sigma) - \left[(1 + \chi^2) \sqrt{\sigma^2 - k_1^2} + \frac{G_2}{c_{44}} h(\sigma^2 - k_2^2) \right]| = f(\sigma). \quad (13)$$

Доказано, что при $k < \sigma < k_2$ ($k^2 = \frac{\omega^2}{c_1^2}$),

$$k_2 h \ll \left(1 - \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{11} + \varepsilon_0} \right) / \frac{\varepsilon_{11} \varepsilon_2}{(\varepsilon_{11} + \varepsilon_0)^2} \left(1 - \frac{\varepsilon_0^2}{\varepsilon_2^2} \right)$$

и при любых значениях χ

$$f(k_1) = \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{11} + \varepsilon_0} + \frac{\varepsilon_{11} \varepsilon_2}{(\varepsilon_{11} + \varepsilon_0)^2} \left(1 - \frac{\varepsilon_0^2}{\varepsilon_2^2} \right) k_1 \right) k_1 \chi^2 + \frac{G_2}{c_{44}} h(k_2^2 - k_1^2) > 0,$$

$$f(k_2) = \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{11} + \varepsilon_0} + \frac{\varepsilon_{11} \varepsilon_2}{(\varepsilon_{11} + \varepsilon_0)^2} \left(1 - \frac{\varepsilon_0^2}{\varepsilon_2^2} \right) k_2 \right) k_2 \chi^2 - (1 + \chi^2) \sqrt{k_2^2 - k_1^2} < 0.$$

Кроме того, $\frac{\partial f}{\partial \sigma} < 0$ при $\sigma > k_1$, $k_2 h \ll \left(1 - \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{11} + \varepsilon_0} \right) / \frac{\varepsilon_{11} \varepsilon_2}{(\varepsilon_{11} + \varepsilon_0)^2} \left(1 - \frac{\varepsilon_0^2}{\varepsilon_2^2} \right)$

и любых значениях χ .

Из этого следует, что в интервале $k_1 < \sigma < k_2$ функция $f(\sigma)$ имеет единственный нуль $\sigma = \sigma_0$. Из четности функции $f(\sigma)$ следует, что $\sigma = -\sigma_0$ в интервале $-k_1 < \sigma < -k_2$ также является нулем этой функции. Чтобы удовлетворялись условия уходящей волны, контур вдоль действительной оси должен обходить точку $\sigma = -\sigma_0$ сверху, а точку $\sigma = \sigma_0$ снизу. Из вышесказанного следует, что существует электроупругая поверхностная волна Лява, которая распространяется со скоростью $C_L = \frac{\omega}{\sigma_0}$.

Используя метод Лайтхила [4], получим асимптотическую формулу

$$\text{для } u^{(1)}(x_1, 0) = \frac{P}{2\pi c_{44}} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{-i\alpha x_1}}{f(\sigma)} d\sigma, \text{ когда } x_2 = 0, |x_1| \rightarrow \infty.$$

Имея в виду, что $\sigma = 0$, $\sigma = \pm k_1$, $\sigma = \pm \sigma_0$ являются особыми

точками подынтегральной функции, представим $\bar{u}^{(1)}(\sigma, 0)$ таким образом:

$$\frac{1}{f(\sigma)} = \frac{A}{\sigma - \sigma_0} - \frac{A}{\sigma + \sigma_0} + B_1 \sqrt{\sigma - k_1} + B_2 \sqrt{\sigma + k_1} + C|\sigma| + F(\sigma).$$

Нетрудно заметить, что функция $\frac{d^2 \bar{F}}{d\sigma^2}$ абсолютно интегрируема.

Поэтому будем иметь $\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{d^2 \bar{F}}{d\sigma^2} e^{-i\alpha\sigma} d\sigma \rightarrow 0$, когда $|x_1| \rightarrow \infty$. С другой

стороны, $F(x_1) = -\frac{1}{x_1^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{d^2 \bar{F}}{d\sigma^2} e^{-i\alpha x_1} d\sigma$. Так что $F(x_1) = o(x_1^{-2})$, когда

$$|x_1| \rightarrow \infty. \quad \text{Учитывая также} \quad \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \sqrt{\sigma \pm k_1} e^{-i\alpha\sigma} d\sigma = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \cdot \frac{e^{i(k_1|x_1| + \frac{\pi}{4} \text{sgn } x_1)}}{|x_1|^{3/2}},$$

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} |\sigma| e^{-i\alpha\sigma} d\sigma = -\frac{1}{x_1^2} \cdot \frac{1}{\pi}, \quad \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\frac{1}{\sigma - \sigma_0} - \frac{1}{\sigma + \sigma_0} \right) e^{-i\alpha\sigma} d\sigma = ie^{i\sigma_0|x_1|},$$

$u^{(1)}(x_1, 0)$ можем записать в виде:

$$u^{(1)}(x_1, 0) = \frac{iAP}{c_{44}} e^{i\sigma_0|x_1|} + o(|x_1|^{-3/2}), \quad (14)$$

когда $|x_1| \rightarrow \infty$, где $A = \frac{1}{f'(\sigma)_{\sigma=\sigma_0}}$.

При $h \rightarrow 0$ получаем решение задачи для упругого пьезоэлектрического полупространства без диэлектрического слоя. В этом случае по поверхности пьезоэлектрического полупространства распространяется поверхностная волна Блюстейна-Гуляева, волновое число которой определяется из дисперсионного уравнения [5]:

$$\sigma_n = \frac{\alpha k_1}{\sqrt{\alpha^2 - \beta^2}}, \quad \text{где} \quad \alpha = 1 + \chi^2, \quad \beta = \chi^2 \frac{\epsilon_0}{\epsilon_{11} + \epsilon_0}.$$

Тогда будем иметь

$$u^{(1)}(x_1, 0) = \frac{iA_1 P}{c_{44}} e^{i\sigma_n|x_1|} + o(|x_1|^{-3/2}), \quad (15)$$

когда $|x_1| \rightarrow \infty$, где $A_1 = \frac{\sqrt{\sigma_n^2 - k_1^2}}{\beta \sqrt{\sigma_n^2 - k_1^2 - \alpha \sigma_n}}$.

При отсутствии пьезоэффекта по поверхности упругого полупространства распространяется поверхностная волна Лява. В этом случае волновое число σ_L ($\omega^2/c^2 < \sigma_L^2 < \omega^2/c_2^2$) определяется из дисперсионного уравнения:

$$\sigma_L = \sqrt{\frac{1}{2} \left(2k_2^2 + \lambda^2 - \lambda \sqrt{\lambda^2 + 4(k_2^2 - k^2)} \right)}, \text{ где } \lambda = \frac{c_{44}}{G_2 h}.$$

В этом частном случае получим:

$$u^{(1)}(x_1, 0) = \frac{iA_2 P}{c_{44}} e^{i\sigma_L |x_1|} + o\left(|x_1|^{-3/2}\right), \quad (16)$$

когда $|x_1| \rightarrow \infty$, где $A_2 = \frac{\sigma_L^2 - k^2}{\sigma_L (\lambda^2 - 2(\sigma_L^2 - k^2))}$.

По этой аналогии можно получить асимптотические формулы электрических потенциалов для пьезоэлектрического полупространства и вакуума, а также интенсивность контактных напряжений.

Автор выражает глубокую благодарность проф. Э.Х. Григоряну за постановку задачи и ценные советы.

Кафедра механики сплошной среды

Поступила 18.11.2003

ЛИТЕРАТУРА

1. Балакирев М.К., Гилинский И.А. Волны в пьезокристаллах. Новосибирск, 1982.
2. Аветисян А.С. Распространение сдвиговых поверхностных волн в пьезоэлектрической среде: Автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. физ.-мат. наук. Ер., 1985, с. 69–91.
3. Нобл Б. Метод Винера Хопфа. М.: ИЛ, 1962.
4. Lighthill M.J. An Introduction to Fourier analysis and generalized functions. Cambridge Univ. Press. 1959.
5. Григорян Э.Х., Саркисян Л.В. – Изв. НАН РА, Механика, 1996, т. 49, № 3, с. 23–30.

Կ. Հ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ԽՆԴԻՐ ՊՅԵԶՈՒԷԼԵԿՏՐԻԿ ԿԻՍԱՏԱՐԱԾՈՒԹՅԱՆ ՄԱՀՔԱՅԻՆ
 ՏՍՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ, ԵՐԲ ՆՐԱ ԵԶՐԱՅԻՆ ՄԱԿԵՐԵ-
 ՎՈՒՅԹԻՆ ԱՄՐԱՅՎԱԾ Է ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿ ԱՌԱՉԳԱԿԱՆ ՇԵՐՏ

Ամփոփում

Աշխատանքում ուսումնասիրված են առաձգական այեզոնելկտրիկ կիսատարածության (6mm դասի հեքսագոնալ սիմետրիայի այեզոնելկտրիկ) սահբային կայունացած տատանումները, երբ նրա եզրային մակերևույթին ամրացված է փոքր հաստությամբ դիէլկտրիկ առաձգական շերտ: Միջավայրի տատանումները առաջանում են գծային աղբյուրի միջոցով, որը կիրառվում է դիէլկտրիկ շերտի եզրային մակերևույթի վրա: Օգտվելով Ֆուրյեի ինտեգրալ ձևափոխության մեթոդից՝ ստանում ենք

դիէլեկտրիկ շերտի և պլեզոէլեկտրիկ կիսատարածության տեղափոխութիւնները, համապատասխան էլեկտրական պոտենցիալները, ինչպես նաև էլեկտրական պոտենցիալը վակուումում:

Ուժի կիրառման կետից անկերջ հեռու գտնվող կետերի տեղափոխության ամպլիտուդի համար ստացված է ասիմպտոտիկ բանաձև, որում առանձնացված է Լյավի էլեկտրաառաձգական ալիքների մասը:

K. H. SARGSYAN

ON THE SHEAR VIBRATIONS OF PIEZOELECTRIC HALF-SPACE, IN
THE CASE WHEN DIELECTRIC CONDUCTING LAYER ON THE
BOUNDARY SURFACE IS FASTENED

Summary

Shear vibrations of elastic piezoelectric half-space (piezoelectric of 6mm class hexagonal symmetry) covered by a dielectric layer is studied. The vibrations in the media are induced due to the periodical force acting on the dielectric layer. Displacements, corresponding electrical potentials as well in vacuum, dielectric layer and piezoelectric half-space are obtained using Fourier's transformations.

An asymptotic formula is obtained for displacement amplitude of points on infinite distance from the point on which the force acts, where the part of Lyav's electro-elastic waves are separated.

Физика

УДК 535.421; 532.783

А. В. ГАЛСТЯН

ЭВОЛЮЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЛСТЫХ АНИЗОТРОПНЫХ ГОЛОГРАММ, ЗАПИСАННЫХ В ПОЛИМЕРНО-ДИСПЕРГИРОВАННЫХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ

Теоретически исследована динамика образования анизотропных голограмм и дифракционные свойства полученных решеток. Описаны причины возникновения модуляции в композитной среде фотополимера и жидкого кристалла.

Полимерно-диспергированные жидкие кристаллы (ПДЖК) являются композитными средами, которые обладают управляемой анизотропностью жидкого кристалла, механическими свойствами полимеров и могут использоваться во многих оптических системах и устройствах. Особенно интересны ПДЖК-материалы, основанные на фотополимерах. Они формируются освещением однородных смесей фотомономер–жидкий кристалл (ЖК) светом, который вызывает полимеризацию фотомономера. При этом образуется полимерная матрица, в которой формируются каплеобразные домены ЖК. Если освещать такой раствор интерференционной картиной двух плоских когерентных волн, образуется ПДЖК-материал с модулированным коэффициентом преломления. По мере того, как начинается полимеризация и число молекул мономера уменьшается в освещенных областях, молекулы мономера из темных областей диффундируют в освещенные зоны. Тем временем молекулы ЖК вытесняются из освещенных областей и создается модуляция концентраций полимера и ЖК, что и приводит к модуляции коэффициента преломления и образованию дифракционной решетки. Освещенные области более насыщены полимером, и суммарный коэффициент преломления этих областей близок к коэффициенту преломления полимера, а темные участки насыщены жидким кристаллом, и суммарный коэффициент преломления этих областей обусловлен, главным образом, жидким кристаллом.

Вопросы динамики записи решеток рассматривались в работах [1, 2], а исследование уже записанных ПДЖК-дифракционных решеток – в [3–5].

Данная работа посвящена моделированию процесса записи ПДЖК-голограмм в смеси фотомономер-ЖК и изучению их дифракционных свойств. Приводятся диффузионные уравнения нелокальной полимеризации с учетом диффузии полимера и метод решения этих уравнений. Из полученных пространственных распределений концентраций полимера и ЖК по формуле Лоренца-Лоренца [6] вычислено распределение диэлектрической проницаемости дифракционной решетки. То же распределение вычислено по более простой, приближенной формуле. Сделано сравнение дифракционных эффективностей для этих двух случаев.

Динамика образования дифракционных решеток. Пусть раствор фотомономера и ЖК освещается периодически модулированным светом с интенсивностью $I(x) = I_0(1 + V \cos(Kx))$, где I_0 – средняя интенсивность, V – глубина модуляции, $K = 2\pi / \Lambda$, Λ – период модуляции. Образование решеток описывается диффузионными уравнениями полимеризации. Пусть $U(x, t)$ – концентрация мономера, $N(x, t)$ – концентрация полимера, а $L(x, t)$ – концентрация жидкого кристалла. Предполагаем, что рост $N(x, t)$ прямо пропорционален $U(x, t)$. Тогда с учетом диффузии полимера уравнение концентрации полимера в рамках модели нелокальной полимеризации примет следующий вид [1]:

$$\frac{\partial N(x, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D_p(x, t) \frac{\partial N(x, t)}{\partial x} \right] + \int_{-\infty}^{+\infty} R(x, x') F(x') U(x', t) dx', \quad (1)$$

где $F(x) = F_0(1 + V \cos(Kx))$ является коэффициентом пропорциональности, называемым «локальным порядком полимеризации», $F_0 = kI_0$, где k – постоянная величина, $R(x - x') = \exp(-(x - x')^2 / 2\sigma) / \sqrt{2\pi\sigma}$ – гауссовская функция, описывающая нелокальность полимеризации, $\sqrt{\sigma}$ – ширина гауссовского распределения, $D_p(x, t)$ – коэффициент диффузии полимера.

Пространственно-временное изменение концентрации мономера задается стандартным уравнением диффузии с дополнительным членом в его правой части, представляющим уменьшение концентрации мономера из-за полимеризации.

$$\frac{\partial U(x, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D_m(x, t) \frac{\partial U(x, t)}{\partial x} \right] - \frac{\partial N(x, t)}{\partial t}. \quad (2)$$

Здесь $D_m(x, t)$ – коэффициент диффузии мономера. Пренебрегая диффузионными нелинейностями и учитывая нелокальную полимеризацию, $D_m(x, t)$ и $D_p(x, t)$ можем записать следующим образом:

$$D_{m,p}(x, t) = D_{ma,pa} \exp(-\alpha_{m,p} F_0 t) \cosh \left(\alpha_{m,p} V F_0 t \exp \left(-\frac{K^2 \sigma}{2} \right) \right) - D_{ma,pa} \exp(-\alpha_{m,p} F_0 t) \sinh \left(\alpha_{m,p} V F_0 t \exp \left(-\frac{K^2 \sigma}{2} \right) \right) \cos(Kx), \quad (3)$$

где $D_{m,pa}$ – начальные коэффициенты диффузии мономера и полимера, $\alpha_{m,p}$ – скорости убывания коэффициентов диффузии по мере полимеризации. Так как ЖК не влияет на протекание процесса полимеризации, его концентрация не входит в диффузионное уравнение полимеризации, а распределение концентрации ЖК находим из условия нормировки $U + N + L = 1$.

Уравнения (1), (2) решаются численными методами. Разложим $U(x, t)$ и $N(x, t)$ по координате в ряд Фурье. Учитывая, что полимеризация инициируется косинусоидальным световым полем, и пренебрегая диффузионными нелинейностями, можем утверждать, что $U(x, t)$ и $N(x, t)$ являются периодическими и четными функциями от x -координаты, следовательно, фурье-разложения этих функций содержат только члены с косинусами:

$$U(x, t) = \sum_{i=0}^{\infty} U_i(t) \cos(iKx), \quad N(x, t) = \sum_{i=0}^{\infty} N_i(t) \cos(iKx). \quad (4)$$

Расчеты показывают, что учет гармоник выше второго порядка в разложениях (4) приводит к малым поправкам. Подставляя выражения (3), (4) в (1) и (2) при $i = 0, 1, 2$, получим систему из шести уравнений, которые решаются численными методами. Тем самым получаем пространственное распределение концентраций полимера и мономера. Очевидно, что в конце процесса полимеризации концентрация мономера равна нулю. Пусть N_0 и N_1 – значения первых двух гармоник концентрации полимера после окончания процесса полимеризации. Из условия нормировки можно найти конечное распределение концентрации ЖК: $N_0 + N_1 \cos(Kx) + L_0 + L_1 \cos(Kx) = 1$. Подставляя эти величины в формулу Лоренца–Лоренца [6], находим распределение диэлектрической проницаемости (или коэффициента преломления) в полученной ПДЖК-решетке:

$$\varepsilon_{\parallel, \perp}(x) = \varepsilon_{\parallel, \perp}^0 + \varepsilon_{\parallel, \perp}^1 \cos(Kx), \quad (5)$$

где $\varepsilon_{\parallel, \perp}^0$ – параллельная и перпендикулярная компоненты средней диэлектрической проницаемости, $\varepsilon_{\parallel, \perp}^1$ – параллельная и перпендикулярная компоненты модуляции диэлектрической проницаемости. Таким образом, мы смоделировали образование дифракционной решетки в ПДЖК-материалах и нашли распределение диэлектрической проницаемости в полученной ПДЖК-решетке.

Угловая селективность дифракционной эффективности. Выясним, какова зависимость дифракционной эффективности от угла падения света на толстую анизотропную прозрачную решетку с приведенным выше распределением диэлектрической проницаемости (5).

Рассмотрим ненаклонную прозрачную дифракционную решетку толщиной d и с периодом Λ , с которым был модулирован свет во время записи решетки. Направим ось y вдоль нормали к поверхности решетки.

λ_0 – длина волны пробного падающего света в вакууме, который линейно поляризован либо в плоскости падения (p -волна), либо в перпендикулярной плоскости (s -волна), θ_i – угол падения пучка на решетку (внутри образца). Согласно [3], дифракционная эффективность такой решетки имеет следующий вид:

$$\eta = \frac{\sin^2 \sqrt{\xi^2 + v^2}}{1 + \xi^2 / v^2}, \quad (6)$$

где $v = d\sqrt{\chi_i \chi_d}$ – модуляционный параметр, ξ – параметр, описывающий брэгговскую расстройку, χ_i, χ_d – коэффициенты обмена энергиями для падающей и дифрагированной волн соответственно.

$$\xi = \frac{dg_d k_i \Delta}{2 \cos(\varphi_d) k_d}, \quad \chi_{i,d} = \frac{k_0 A}{4n_{i,d} g_{i,d} \cos(\varphi_{i,d})}, \quad (7)$$

где $\Delta = (k_d^2 - k_i^2) / 2k_i$, $\vec{k}_{i,d} = \vec{k}_0 n_{i,d}$ – волновые векторы падающей и дифрагированной волн в среде, $n_{i,d}$ – коэффициенты преломления этих волн, $A = \vec{e}_i \hat{\varepsilon}^1 \vec{e}_d = \vec{e}_d \hat{\varepsilon}^1 \vec{e}_i$, \vec{e}_i и \vec{e}_d – единичные векторы электрического поля падающей и дифрагированной волн, $\hat{\varepsilon}^1$ – тензор модуляции диэлектрической проницаемости, который имеет диагональный вид с компонентами $\varepsilon_{xx} = \varepsilon_{\parallel}$, $\varepsilon_{yy} = \varepsilon_{zz} = \varepsilon_{\perp}$, $\varphi_{i,d}$ – углы, составленные вектором Пойнтинга и осью y , $g_{i,d}$ – косинусы углов между векторами Пойнтинга и волновыми векторами падающей и дифрагированной волн.

Для s -волны имеем –

$$g_{i,d} = 1, \quad n_{i,d}^2 = \varepsilon_{\perp}^0, \quad A = \varepsilon_{\perp}^1, \quad (8)$$

а для p -волны –

$$g_{i,d} = \frac{\varepsilon_{\parallel}^0 \sin^2(\theta_{i,d}) + \varepsilon_{\perp}^0 \cos^2(\theta_{i,d})}{\sqrt{(\varepsilon_{\parallel}^0)^2 \sin^2(\theta_{i,d}) + (\varepsilon_{\perp}^0)^2 \cos^2(\theta_{i,d})}}, \quad n_{i,d}^2 = \frac{\varepsilon_{\perp}^0 \varepsilon_{\parallel}^0}{\varepsilon_{\parallel}^0 \sin^2(\theta_{i,d}) + \varepsilon_{\perp}^0 \cos^2(\theta_{i,d})}, \quad (9)$$

$$A = \varepsilon_{\perp}^1 \sin(\varphi_i) \sin(\varphi_d) - \varepsilon_{\parallel}^1 \cos(\varphi_i) \cos(\varphi_d).$$

Численные результаты моделирования и обсуждение результатов.

Решив диффузионные уравнения для фурье-компонент концентраций полимера, мономера и жидкого кристалла с начальными условиями $U^0 = 0,7$, $N^0 = 0$, $L^0 = 0,3$ для параметров $I_0 = 10 \text{ мВт/см}^2$, $K = 6,28 \text{ мк}^{-1}$, $V = 0,6$, $\sigma = 0,005 \text{ мк}^2$, $D_{ma} = 0,9 \text{ мк}^2 / \text{с}$, $D_{pa} = 0,35 \text{ мк}^2 / \text{с}$, $\alpha_m = 2,5$, $\alpha_p = 10$, $k = 0,003 \text{ см}^2 / \text{с} \cdot \text{мВт}$, в конце процесса полимеризации получим среднюю концентрацию полимера $N_0 = 0,7$ и модулированную – $N_1 = 0,15$. Фурье-компоненты концентрации ЖК находим из приведенного выше условия нормировки: $L_0 = 0,3$, $L_1 = 0,15$. Концентрация мономера равна нулю, так как

процесс полимеризации завершен. Подставляя эти величины в формулу Лоренца–Лоренца, получаем распределение диэлектрической проницаемости ПДЖК-решетки:

$$\varepsilon_{\parallel}(x) = \varepsilon_{\parallel}^0 + \varepsilon_{\parallel}^1 \cos(Kx) = 2,62 - 0,064 \cos(Kx), \quad (10)$$

$$\varepsilon_{\perp}(x) = \varepsilon_{\perp}^0 + \varepsilon_{\perp}^1 \cos(Kx) = 2,43 + 0,031 \cos(Kx). \quad (11)$$

Эти числовые значения были получены при диэлектрических проницаемостях полимера – $\varepsilon_p = 2,5$, жидкого кристалла – $\varepsilon_{\perp}^{ЖК} = 2,3$, $\varepsilon_{\parallel}^{ЖК} = 2,95$.

В работе [3] сделан расчет угловой зависимости дифракционной эффективности, но вместо формулы Лоренца–Лоренца использована более простая, приближенная формула:

$$\varepsilon_{\parallel,\perp}(x) = \varepsilon_{\parallel,\perp}^{ЖК} (L_0 - L_1 \cos(Kx)) + \varepsilon_p (N_0 + N_1 \cos(Kx)), \quad (12)$$

которая более удобна для численных расчетов. Среднее значение диэлектрической проницаемости ПДЖК-решетки, рассчитанное по приближенной формуле (12) для одних и тех же параметров, отличается от средней диэлектрической проницаемости, рассчитанной по точной формуле Лоренца–Лоренца, на 0,08% для s -волны, на 0,33% для p -волны. Разница модуляций диэлектрических проницаемостей составляет 2,4% для s -волны, 5,5% для p -волны. Угловые зависимости дифракционных эффективностей по форме совпадают, а количественно отличаются при $d = 22,4 \text{ мк}$ и $\lambda_0 = 0,628 \text{ мк}$ на 20% для s -волны и 30% для p -волны. Эта разница становится меньше при малых модуляциях концентраций. Однако в этом случае дифракционная эффективность бывает малой, и такие решетки не интересны.

Таким образом, мы смоделировали динамику записи дифракционных ПДЖК-решеток в растворе ЖК–фотомономер. Из моделирования процесса записи решетки получены распределения концентраций полимера и жидкого кристалла в записанной ПДЖК-решетке. Для полученных распределений концентраций ЖК и полимера вычислено распределение диэлектрических проницаемостей ПДЖК-решетки по формуле Лоренца–Лоренца и по более простой, приближенной формуле. Приведены сравнения полученных распределений диэлектрических проницаемостей и соответствующих дифракционных эффективностей для s - и p -поляризованных пробных пучков. Оказывается, что дифракционные эффективности, вычисленные по точной и приближенной формулам, качественно совпадают, однако есть количественная разница, и она зависит от поляризации пробного пучка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sheridan J.T., Lawrence J.R. – JOSA A, 2000, v. 17, № 6, p. 1108.
2. Zhao G., Morouli P. – J. Mod. Opt., 1994, v. 41, № 10, p. 1929.
3. Акопян Р., Галстян А., Галстян Т. – ЖЕТФ (в печати), 2004.

4. Kogelnik H. – Bell Syst. Tech. J., 1969, v. 48, p. 2909.
5. Montemezzani G. and Zgonik M. – Phys. Rev. E., 1997, v. 55, p.1035.
6. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973, с. 97.

Ա. Վ. ԳԱԼՍՏՅԱՆ

ՊՈԼԻՄԵՐԱՅԻՆ ԴԻՍՊԵՐՍՎԱԾ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂԱԿԱՆ ՄԻՋՎԱՅՐԵՐՈՒՄ ԳՐԱՆՑՎԱԾ ՀԱՍՏ ԱՆԻՋՈՏՐՈՊ ՀՈԼՈԳՐԱՄՆԵՐԻ ԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ԴԻՆԱՄԻԿԱՆ ԵՎ ԴՐԱՆՑ ՀԵՏԱՁՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ամփոփում

Աշխատանքում մոդելավորված է հեղուկ բյուրեղ-ֆոտոմոնոմեր խառնուրդում գրվող ցանցերի առաջացման դինամիկան: Դինամիկայի պրոցեսի մոդելավորումից ստացված են պոլիմերի և հեղուկ բյուրեղի կենցենտրացիաների տարածական բաշխումները: Պոլիմերի և հեղուկ բյուրեղի համար ստացված բաշխվածություններից Լորենցի-Լորենցի և ավելի պարզ մոտավոր բանաձևերով հաշվված են դիֆրակտիկ թափանցելիության բաշխումները: Բերված են այդ դիֆրակտիկ թափանցելիությունների և դրանց համապատասխան դիֆրակցիոն էֆեկտիվությունների համեմատություններ *s* և *p* բևեռացած ալիքների համար: Պարզվում է, որ Լորենցի-Լորենցի և մոտավոր բանաձևերով ստացված դիֆրակցիոն էֆեկտիվությունները որակապես համընկնում են, սակայն գոյություն ունի քանակական տարբերություն, որը կախված է փորձնական ճառագայթի բևեռացումից:

A.V. GALSTYAN

POLYMER DISPERSED LIQUID CRYSTAL GRATINGS' EVOLUTION AND INVESTIGATION OF THEIR DIFFRACTION EFFICIENCY

Summary

In this paper evolution of thick anisotropic gratings formation in monomer-liquid crystal mixture is modeled. The polymer and monomer concentrations' distributions are obtained from modeling of grating formation process. Distributions of dielectric permittivities from Lorentz-Lorenz and more simple approximate formulas are obtained. The comparison of received distributions and appropriate diffraction efficiencies for *s*- and *p*-polarized probe beams are done. It appears, that diffraction efficiencies calculated by exact and approximate distributions qualitatively coincide, however there is a quantitative difference and it depends on polarization of the probe beam.

Физика

УДК 548.733

К. В. АЛУМЯՆ, Т. С. МՆԱՇԱԿԱՅԱՆ, Թ. Օ. ԷՅՐԱՄԴՋՅԱՆ, Փ. Օ. ԷՅՐԱՄԴՋՅԱՆ

СОПОСТАВЛЕНИЕ ЛИНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ ИЗОНАПРЯЖЕНИЙ
И МАЯТНИКОВЫХ ПОЛОС РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ

В работе исследовано влияние кристаллических искажений, обусловленных дислокациями, на вид маятниковых полос, полученных от двухблочного рентгеновского интерферометра из монокристалла Si. Показано, что в областях вдали от дислокаций распределение вершин маятниковых полос совпадает с линиями механических изонапряжений.

Высокая чувствительность метода маятниковых полос (МП) рентгеновских лучей к локальным деформациям и напряжениям позволяет применить его для качественной, а в некоторых случаях и для количественной оценки степени совершенства полупроводниковых кристаллов при наличии в них скопления точечных дефектов, дислокаций, микротрещин и т.д. В частности, можно использовать этот метод для экспериментального исследования и восстановления упругих полей дислокаций, существующих (или генерированных) в монокристаллах кремния.

Для вышеупомянутой цели в настоящей работе было исследовано распределение механических напряжений вокруг генерированных дислокаций с помощью МП рентгеновских лучей [1], полученных от кремниевой монокристаллической системы клин–плоскопараллельная пластина (рис. 1). Толщина плоскопараллельной пластины – 4мм, преломляющий угол клиновидной пластины – 2° . С такой системы снималась серия секционных топограмм с использованием отражающих плоскостей $[2\bar{2}0]$ при излучении $\text{MoK}\alpha_1$, ширина первичного пучка – 50мкм.

Результаты и их обсуждение. На топограмме, полученной до введения в клиновидный кристалл дислокаций, отсутствуют смещения V-образных МП от центральной линии рефлекса (рис. 2). Это означает, что в облучаемых областях кристалла почти отсутствуют искажения кристаллической решетки. Согласно методике, приведенной в работах [2, 3], в клиновидном блоке кристаллической системы были зарожжены дислокации, после чего с того же блока получена рентгенотопографическая картина

(фотопластинка помещалась между двумя блоками). На полученной таким образом топограмме была видна группа дислокаций, выстроенная вдоль царапины, сделанной на клиновидной пластинке вдоль $[1\bar{1}0]$ (рис. 3). Глубина царапины составляла 7–9 мкм. Далее, начиная с расстояния ≈ 2 мм от края области, где были введены дислокации, последовательно снимались секционные топограммы (а, б, в на рис. 4).

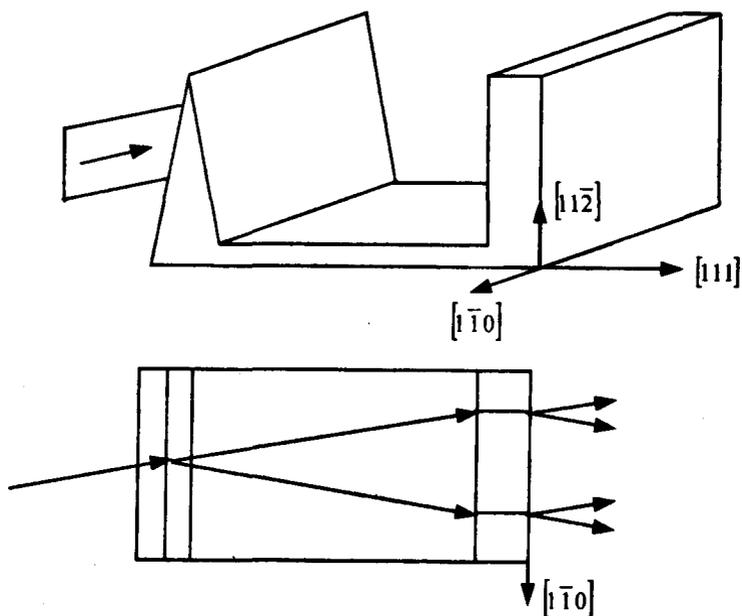


Рис. 1. Схема прибора для получения МП и ход лучей в нем.

На этих топограммах вершины V-образных МП смещены от центральной линии следа дифрагированного пучка, а ветви V-полос повернуты (искривлены) относительно их исходного положения. При этом, как отмечалось в работе [1], такая конфигурация МП сохраняется на расстоянии нескольких миллиметров от области дислокаций в клиновидном кристалле.



Рис. 2. МП, полученные до введения дислокаций.

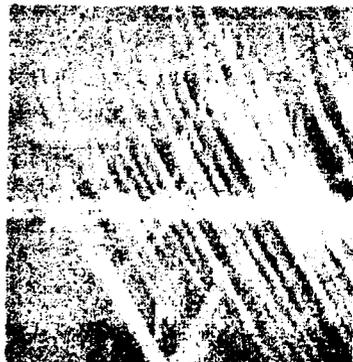
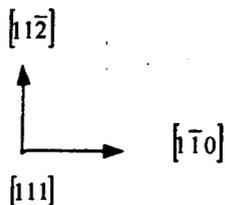


Рис. 3. Топограмма от клиновидного блока.

По мере удаления от этой области по оси OX (OX направлена по $[1\bar{1}0]$, а OY – по $[11\bar{2}]$) расположение V -полос приближается к идеальному случаю, изображенному на рис. 2. А в каждой отдельно взятой секционной топограмме имеет место распределение смещений V -полос и по оси OY . Это означает, что в клиновидном кристалле имеет место распределение напряжений как по оси OX , так и по оси OY , обусловленных генерированными дислокациями. В работе [4] нами предполагалось, что если в малых областях клиновидного кристалла имеются решеточные искажения, изменяющиеся по определенному закону, то это приведет к соответствующему изменению в распределении маятниковых полос по тому же закону. Для подтверждения такого предположения возникла необходимость сравнения экспериментальных данных с теоретическими расчетами механических напряжений, создаваемых 60 -градусными дислокациями в кристалле кремния в плоскости (111) .

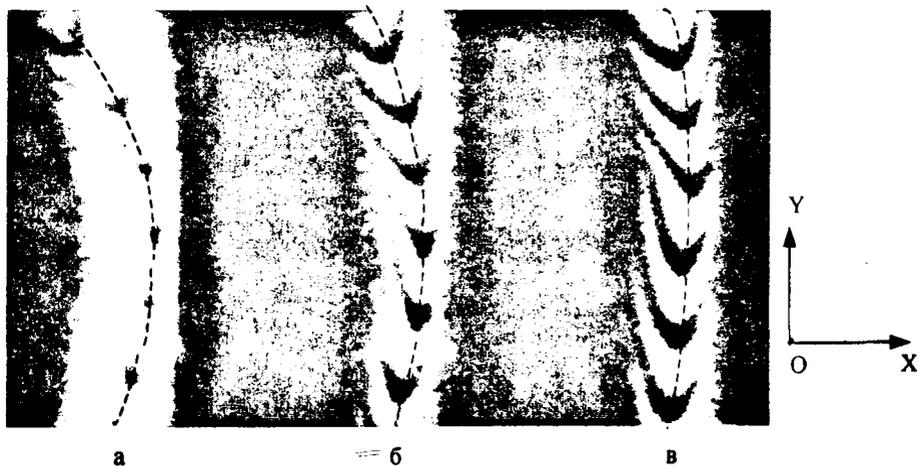


Рис. 4. МП, полученные после введения дислокаций.

В работе [5] нами построены линии изонапряжений дислокаций, рассчитанные согласно линейной теории упругости [6]. В соответствии с этим в настоящей работе на полученной рентгенотопограмме от клиновидного кристалла (рис. 3) подсчитано количество введенных дислокаций, измерены среднее расстояние между ними и средняя длина дислокационной петли. С использованием расчетов, проведенных в [5], построены линии изонапряжений, которые приведены на рис. 5, откуда следует, что в кристалле существует распределение напряжений по осям OX и OY . Это подтверждается полученными нами секционными топограммами после введения дислокаций.

Пунктирными линиями на рис. 4 нами указаны смещения вершин МП в следах дифрагированных пучков. Сравнение рис. 4 и рис. 5 показывает, что линии изонапряжений, обусловленные существующими в клиновидном кристалле дислокациями, и распределение вершин МП

(пунктирные линии на рис. 4) имеют одинаковый вид на расстоянии $\approx 2\text{мм}$ от области нахождения дислокаций. При этом теоретически

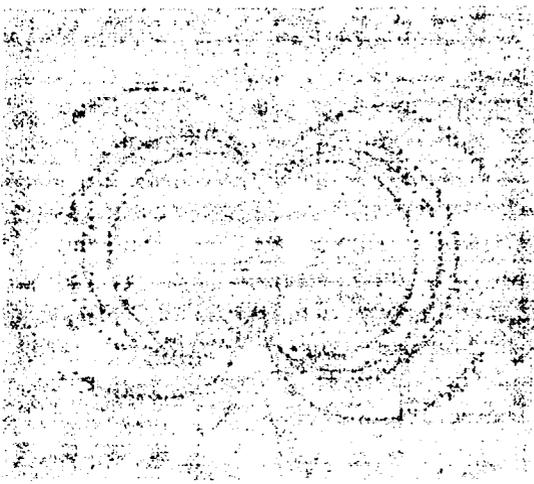


Рис. 5. Теоретические линии изонапряжений дислокаций.

рассчитанные линии изонапряжений дислокаций (рис. 5) объясняют не только смещения вершин МП в направлении $[1\bar{1}0]$, отмеченные нами в ранее выполненных работах [1, 4], но и характерные искривления ветвей V-полос в соответствии с этими линиями.

В заключение отметим, что результаты настоящей работы могут быть полезными при исследовании полей напряжений дислокаций, которые не регистрируются ни рентгеноинтерферометрическим

методом (из-за высокой чувствительности), ни рентгенотопографическим методом (из-за низкой чувствительности).

Кафедра ФТТ

Поступила 24.12.2003

ЛИТЕРАТУРА

1. Алумян К.В., Багдасарян Р.И., Бальян М.К., Эйрамджян Ф.О. – Кристаллография, 1983, т. 28, вып. 5, с. 1026.
2. Никитенко В.И., Ерофеев В.Н., Надгорная Н.М. Сб. Динамика дислокаций. Харьков: Физ. техн. ин-т низких температур. АН УССР, 1968.
3. Багдасарян Р.И., Мнацаканян Т.С., Эйрамджян Т.О., Эйрамджян Ф.О. – Ученые записки ЕГУ, 1983, № 2, с. 153.
4. Алумян К.В., Багдасарян Р.И., Бальян М.К. – Кристаллография, 1983, т. 28, вып. 5, с. 1024.
5. Алумян К.В., Багдасарян Р.И., Мнацаканян Т.С., Эйрамджян Ф.О. – Изв. высших учебных заведений. Физика (Томск), 2002, № 8, с. 45.
6. Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций. М.: Атомиздат, 1972.

Վ. Վ. ԱՆՈՒՄՅԱՆ, Թ. Ս. ՄՆԱՅԱԿԱՆՅԱՆ, Տ. Հ. ԷՅՐԱՄՋՅԱՆ, Ֆ. Հ. ԷՅՐԱՄՋՅԱՆ

ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ԻՉՈՒԱՐՄԱՆ ԳԾԵՐԻ ԵՎ ՌԵՆՏԳԵՆՅԱՆ
ՃԱՌԱԳԱՅՅՈՒՆԵՐԻ ՃՈՃԱՆԱԿԱՅԻՆ ՇԵՐՏԵՐԻ ՀԱՍԱԴՐՈՒՄԸ

Ամփոփում

Աշխատանքում ուսումնասիրված է դիսլոկացիաներով պայմանափորված ցանցային աղավաղումների ազդեցությունը երկբյուրեղ ռենտ-

գենյան ինտերֆերոմետրից ստացված ճոճանակային շերտերի զագաթների բաշխման վրա: Ցույց է տրված, որ դիսլոկացիաներ պարունակող Si միաբյուրեղի որոշակի տիրույթների համար ճոճանակային շերտերի բաշխումը համընկնում է մեխանիկական իզոլարման գծերի հետ:

K. V. ALOUMYAN, T. C. MNATSAKANYAN, T. H. EYRAMJYAN, F. H. EYRAMJYAN

COMPARISON OF MECHANICAL ISO-STRAIN LINES AND X-RAY PENDELLOSUNG FRINGES

Summary

The effect of crystalline disturbances, arising due to dislocations, upon the form of Pendellosung fringes obtained in an X-ray two-block interferometer is considered. It is shown, that for local regions of dislocation Si monocrystals the distribution of Pendellosung fringes coincides with the isostrain lines.

Химия

УДК 541,64:542.952

Е. А. КАЗОЯН, А. М. АСАТРЯН, Э. Р. САРУХАНЯН

МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И СОЛЬВАТАЦИЯ ИОНОВ В ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДНЫХ РАСТВОРАХ АКРИЛОНИТРИЛА

Исследование межмолекулярных взаимодействий и сольватационных процессов в растворах акрилонитрила (АН) с диметилсульфоксидом (ДМСО) с помощью физико-химических (вискозиметрия, электропроводность) и спектроскопических методов (спектроскопия диэлектрической релаксации, УФ, ИК) выявило, что под действием АН происходит разрушение ассоциатов молекул ДМСО, которое сопровождается частичной ионизацией молекул АН и образованием новых ассоциатов между молекулами ДМСО и АН. Был установлен, что в диметилсульфоксидных растворах АН до 0,6 мольной доли ДМСО преобладают димерные ассоциаты АН. С увеличением концентрации сульфоксида (от 0,6 до 0,8 мольной доли) образуются новые ассоциаты между ДМСО и АН с составом 2ДМСО:АН. В более концентрированных сульфоксидом растворах ($X_{\text{ДМСО}} > 0,8$) преобладают циклические димеры ДМСО. Межмолекулярные взаимодействия в ассоциатах АН-АН, АН-ДМСО и ДМСО-ДМСО имеют главным образом диполь-дипольный характер.

Межмолекулярные взаимодействия и сольватационные процессы, происходящие в реакционных системах, можно рассматривать как химические факторы влияния на реакционную способность реагирующих частиц. Кроме того, сольватационные характеристики веществ в жидких растворителях широко используются с целью получения количественных характеристик растворителя и растворов, позволяющих подобрать их для осуществления целесообразных химических процессов. В этом аспекте диметилсульфоксид (ДМСО) и его ближайшие гомологи отличаются от других растворителей тем, что они являются также реагентами, способными влиять на ход процессов. Этим и обусловлен их подбор в качестве растворителей в полимеризационных процессах.

Ранее нами была показана практическая важность диметилсульфоксидных растворов солей при проведении полимеризации акрилонитрила (АН) [1]. Основное в этой работе было то, что межмолекулярное взаимодействие, которое может иметь место между мономером и раство-

рителем при полимеризации АН, а также сольватация ионов определенным образом влияют как на процесс полимеризации, так и на выход и качество полимерного продукта [2].

Поэтому целью настоящей работы является исследование межмолекулярных взаимодействий между АН и ДМСО, а также сольватационных эффектов в системах АН–ДМСО–соль с применением различных физико-химических методов и соответствующих компьютерных программ.

Экспериментальная часть. Вязкость чистых растворителей (ДМСО, диэтилсульфоксид (ДЭСО), дипропилсульфоксид (ДПСО) и диметилформамид (ДМФА)) и АН определяли методом вискозиметрии. Характеристическую вязкость измеряли в капиллярном вискозиметре Уббелоде с висязим уровнем при 30, 40 и 50^oС. Регистрировали время течения отдельных растворителей и воды. Общий объем измеряемых жидкостей составлял *мл*.

Для изучения межмолекулярных взаимодействий и динамики диметилсульфоксидных растворов АН применяли спектроскопию диэлектрической релаксации (СДР) по методике, описанной в [3]. Для диэлектрических исследований были приготовлены образцы растворов ДМСО–АН при соотношении 0,2–0,9 мольной доли по ДМСО.

Для экспериментальных расчетов параллельно измерялись электропроводность, показатель преломления, вязкость и плотность вышеуказанных растворов.

Электропроводность измерялась на кондуктометре *Jenway 4340*. Ошибка составляла 0,5%, а разрешение – 0,01 μS для области 0–19,99 μS .

Относительную вязкость измеряли в вискозиметре Освальда.

Для показателей преломления использовали рефрактометр марки ИРФ-454БМ с ошибкой измерения $\pm 0,0001$.

Плотность растворов определялась на капиллярных аэрометрах. Все вышеуказанные измерения проводились при температуре 20^oС.

Для ИК-спектроскопических исследований межмолекулярных взаимодействий в системах АН–ДМСО были приготовлены образцы этих растворов, в которых содержание ДМСО составляет 0,2–0,9 мольной доли. Для сравнения итогов исследования сопровождалось ИК-спектральными измерениями систем АН–ССl₄ при одинаковых соотношениях. ИК-спектры регистрировали на спектрофотометре FT-IR NEXUS / Nicolet. Разложение спектральных полос осуществляли с помощью компьютерной программы «*Linkfit*», использовали смешанную функцию Лоренца–Гаусса.

С помощью метода УФ-спектроскопии исследовались межмолекулярные взаимодействия АН в растворах, а также комплексообразование АН с используемыми солями. Для этой цели были анализированы АН и насыщенные растворы нитратов алюминия и цинка в АН, ДМСО и воде (для нитрата цинка $c=1 \cdot 10^{-2}$ моль/л). Электронные спектры поглощения растворов солей записывались на спектрофотометре *Specord 50 PC* по программе «UV-Vis».

Результаты и их обсуждение. В изучении сульфоксидных растворов АН в качестве характеристики смеси АН–диалкилсульфоксид (ДАСО)

нами выбрано время течения этих растворов, зависящее от их объемного состава, которое пропорционально относительной вязкости смеси (t_0/t_1-1) . Ранее (см. [4]) сравнивались только изотермы вязкости. Отклонение этих изотерм от тех, которые рассчитаны в предположении отсутствия взаимодействия составляющих раствора, показывает наличие этого взаимодействия. Но, по всей вероятности, этот подход не очень убедителен. По нашему мнению, более целесообразно рассчитать значения $\Delta[\eta]=[\eta]_{\text{экспер.}}-[\eta]_{\text{алл.}}$ и определить экстремум изотермы, который более точно указывает область стехиометрического соотношения растворителей:

$$[\eta]_{\text{алл.}} = [\eta]_1\phi_1 + [\eta]_2\phi_2,$$

где ϕ_1 и ϕ_2 – объемные доли компонентов бинарной смеси.

Таблица 1

Вискозиметрические характеристики АН и растворителей (ДАСО)

Соединение	$\lg 1/t_{\text{тек.}}+3$			$E_{\text{ак}}$ кДж/моль
	$1/T \cdot 10^3=3,3K^{-1}$	$1/T \cdot 10^3=3,195K^{-1}$	$1/T \cdot 10^3=3,096K^{-1}$	
АН	1,3	1,35	1,38	9,614
ДМСО	0,70	0,76	0,83	11,077
ДЭСО	0,71	0,79	0,81	11,077
ДПСО	0,56	0,59	0,68	12,791

На основании полученных экспериментальных данных (см. табл. 1) рассчитывали величины вязкости бинарных систем АН–сульфоксид во всем интервале составов. Значения энергии межмолекулярного взаимодействия АН и сульфоксидов могут быть оценены по экспоненциальному соотношению

$$\eta = A \exp(E_{\text{ак}}/RT),$$

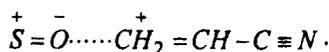
где A – постоянная величина, не зависящая от температуры, но являющаяся функцией состава смеси, $E_{\text{ак}}$ – энергия активации вязкого течения. Зависимости $\lg \eta$ от $1/T$ для чистых жидкостей прямолинейные, $E_{\text{ак}}$ для АН и сульфоксидов почти одинаковые и составляют величины порядка 9–13 кДж/моль, что характеризует межмолекулярные взаимодействия главным образом как диполь-дипольные, но и не отрицает наличие слабовыраженных водородных связей. Это соответствует результатам проведенных недавно исследований [5, 6], которые подтвердили, что ассоциации между молекулами ДМСО и между его гомологами в чистом состоянии и в растворах могут происходить не только по диполь-дипольному механизму, но и посредством водородной связи типа $>S=O \dots HC$. Именно по этой причине следует рассматривать ДМСО и его гомологи как апротонные растворители [7].

Указанный факт исключает возможность образования прочных комплексов между АН и растворителями. Как известно, форма изотермы вязкого течения бинарной системы в жидкой фазе в значительной

степени является функцией степени данных взаимодействий в этой системе [8]. Полученные нами изотермы вязкости бинарной системы АН–сульфоксид во всех случаях имеют монотонный ход зависимости, и выпуклость направлена к оси абсцисс (состав смеси). Они не отличаются от изотерм химически не взаимодействующих между собой компонентов. Поэтому нами представлены графики $\Delta\eta-V(\text{ДАСО})$ (где $V(\text{ДАСО})$ – объем сульфоксидов

в смеси), которые дают возможность не только установить факт межмолекулярного взаимодействия, но и определить состав образовавшегося ассоциата (рис. 1).

Образование ассоциатов между молекулами АН и ДАСО можно объяснить следующим образом. Молекулы растворителей, а также АН обладают значительными дипольными моментами (АН – 3,88Д, диалкилсульфоксиды – 3,9–4,0Д), поэтому их молекулы в чистом виде находятся в состоянии ассоциации. А в бинарных системах под действием полярных молекул АН разрушаются ассоциаты ДАСО и образуются новые – между молекулами АН и сульфоксидов по диполь-дипольному взаимодействию согласно схеме



А молекулы растворителя, в свою очередь, возбуждают молекулы АН, частично ионизируя их.

Полученные нами зависимости имеют по одному максимуму при составах (рис. 1), которые совпадают с составом образовавшихся ассоциатов.

Сольватационные эффекты проявляются также и в УФ-спектрах изучаемых систем АН–ДАСО–соль.

На рис. 2 приведены УФ-спектры растворов нитратов цинка и алюминия в воде, АН и ДМСО. Максимумы полос поглощения нитрат-аниона в воде и АН появляются в областях 301 и 292нм соответственно, что хорошо согласуется с литературными данными [9]. В случае нитрата

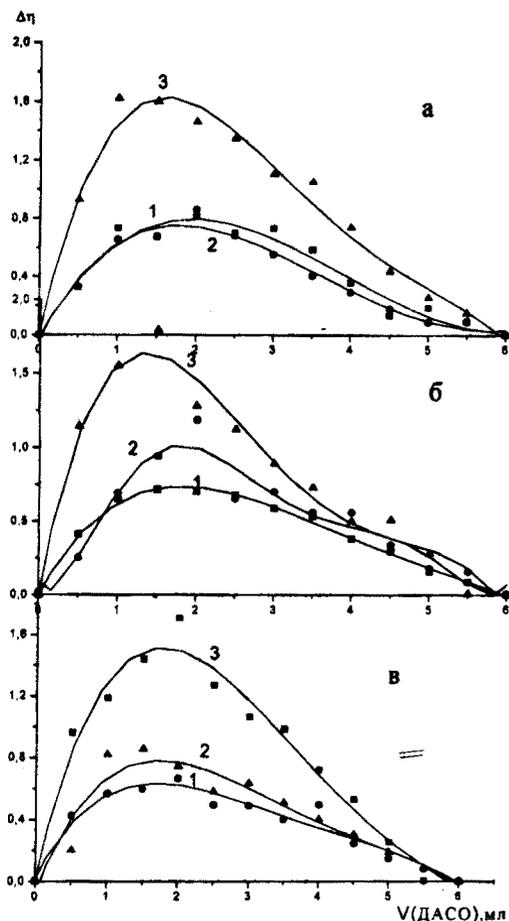


Рис. 1. Зависимости $\Delta\eta$ от $V(\text{ДАСО})$ в смеси АН–сульфоксид для различных сульфоксидов: 1 – ДМСО, 2 – ДЭСО, 3 – ДПСО при 30° (а), 40° (б) и 50°С (в).

цинка, как видно из рис. 2, а, полоса поглощения нитрат-аниона в ДМСО появляется в более коротковолновых областях спектра.

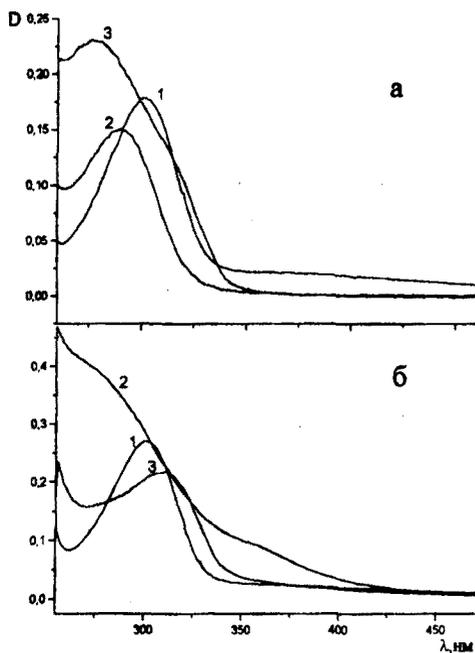


Рис. 2. УФ-спектры $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л растворов $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ (а) и $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ (б) в воде (1), АН (2) и ДМСО (3).

в воде происходит смещение максимума полосы поглощения перехода $p \rightarrow \pi^*$ в сторону коротких волн. Этот гипсохромный сдвиг объясняется тем, что образование водородной связи $NO_3^- \cdots HOH$ приводит к стабилизации (понижению энергии) p -орбитали, и в результате увеличивается энергия перехода $p \rightarrow \pi^*$ [10]. Однако в случае нитрата алюминия картина обратная (рис. 2, б).

Здесь следует отметить определенную зависимость электронного распределения молекулы ДМСО в комплексах $DMCO \cdots M^+$ от природы катиона [11]. Согласно работе [12], Al^{3+} катион сильнее сольватируется молекулами ДМСО уже при их малом содержании в смеси ДМСО–вода и даже взаимодействие ДМСО–вода не может конкурировать с взаимодействием Al^{3+} –ДМСО. Поэтому взаимодействие между Al^{3+} и ДМСО снижает эффективность сольватации нитрат-аниона молекулами ДМСО и его поглощение в ДМСО появляется в более длинноволновых областях. Следовательно, увеличивается реакционная способность нитрат-аниона, которая и проявляется в полимеризационных процессах АН [13].

Приведенные выше объяснения о характере межмолекулярных взаимодействий АН–растворитель подтверждаются и на основании данных анализов СДР.

Для расчета времени релаксации и эффективных радиусов рассчитаны

В этом случае надо отметить, что в сульфоксидных растворах солей в процессах сольватаций ионов необходимо учитывать и взаимодействие аниона с молекулами сульфоксидов [10]. При этом последнее значительным образом зависит от типа аниона. Известно, что координация анионов молекулами ДМСО осуществляется через атом водорода метильной группы ДМСО, находящейся в *гаш*-положении по отношению к связи $S=O$. Равновесной конфигурации отвечает такое положение аниона, когда он находится на прямой, соответствующей связи $C-H$. Такая конфигурация является более выгодной с энергетической точки зрения [11].

Изучение электронных спектров NO_3^- в различных растворителях обнаружило, что при переходе от органических растворителей к

основные физико-химические параметры растворов АН–ДМСО (плотность (ρ), вязкость (η), электропроводность (k) и показатель преломления (n_D^{20})), которые приведены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-химические параметры растворов АН–ДМСО при 20°C

$X_{\text{ДМСО}}$	$\rho, \text{г/см}^3$	n_D^{20}	$\eta, \text{мПа}\cdot\text{с}$	$k \cdot 10^6, \text{См/см}$
0,2	0,8759	1,4166	0,5348	5,7
0,3	0,9096	1,4255	0,6234	1,5
0,4	0,9469	1,434	0,7414	1,5
0,5	0,97	1,4415	0,9014	3,4
0,6	0,9976	1,4505	1,1022	2,9
0,7	1,0254	1,4567	1,3663	2,9
0,8	1,0543	1,463	1,62	2,8
0,9	1,0781	1,471	1,8625	5,6

ДР-спектры бинарных систем АН–ДМСО при низких концентрациях ДМСО ($X_{\text{ДМСО}} < 0,6$) (рис. 3, а) описываются одной функцией Коуля–Девидсона ($\beta=0,8$), которая обусловлена ассоциатами АН, так как рассчитанный

из экспериментальных данных эффективный радиус ассоциатов ($r_{\text{эфф}}$) намного больше, чем молекулярный радиус АН ($r_{\text{эфф}} \approx 0,37 \text{ нм}$, $r = 0,23 \text{ нм}$).

Этот результат согласуется с литературными данными [14]. С увеличением концентрации сульфоксида (от 0,6 до 0,8 мольной доли) при низких частотах в спектрах появляется вторая кривая, обусловленная ассоциатами между ДМСО и АН с составом 2ДМСО:АН. В этом случае обе кривые описываются функцией Дебая, и $r_{\text{эфф}}$ соответствует теоретически рассчитанному радиусу ($r_{\text{эфф}} \approx 0,68 \text{ нм}$, $r = 0,684 \text{ нм}$) (рис. 3, б). В ДР-спектрах растворов, более концентрированных сульфоксидом ($X_{\text{ДМСО}} > 0,8$), появляется только одна кривая

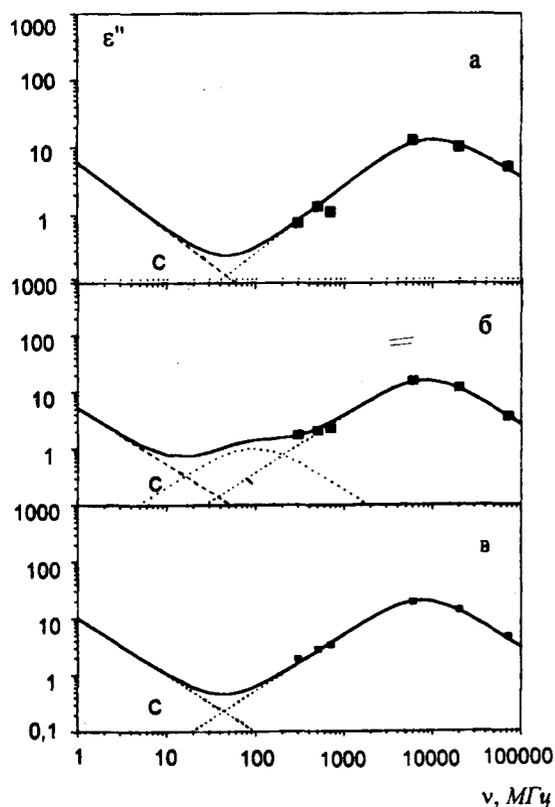


Рис. 3. ДР-спектры смеси ДМСО–АН: $X_{\text{ДМСО}}=0,5$ (а), $X_{\text{ДМСО}}=0,7$ (б) и $X_{\text{ДМСО}}=0,9$ (в) при 20°C.

Дебая, которая обусловлена существованием ассоциатов, состоящих только из молекул ДМСО ($r_{эфф} \approx 0,35 \text{ нм}$, $r = 0,25 \text{ нм}$) (рис. 3, в). С помощью программы «HyperChem™ 6.0» представлены возможные пространственные структуры этих образований (рис. 4).

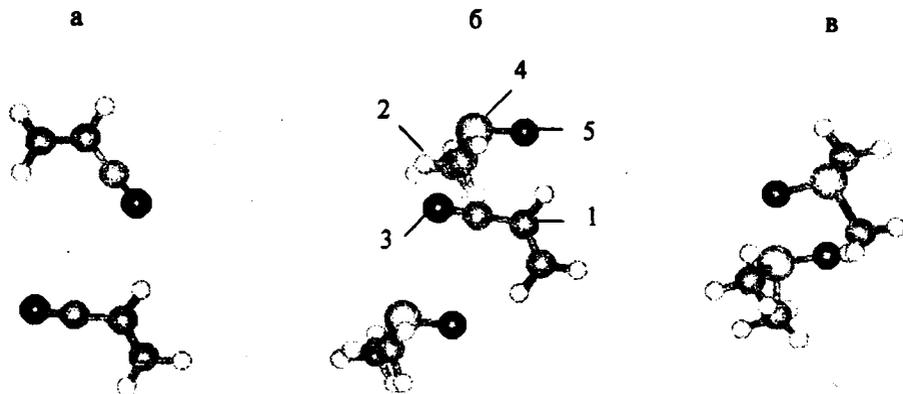


Рис. 4. Пространственные структуры образований типа АН–АН (а), 2ДМСО–АН (б) и ДМСО–ДМСО (в), где 1 – атомы углерода, 2 – водорода, 3 – азота, 4 – серы и 5 – кислорода.

Более конкретную информацию на счет межмолекулярных взаимодействий и ассоциативного характера АН и его сульфоксидных растворов дают ИК-спектроскопические измерения различных смесей АН (АН–ДМСО и АН– CCl_4). На рис. 5 показаны полосы поглощения $-\text{C}\equiv\text{N}$ группы АН при разных соотношениях АН–ДМСО. С помощью компьютерной программы «Linkfit» также подтверждается, с одной стороны, наличие димерных ассоциативных форм АН, как это проявляется и в кристаллическом состоянии [15], с другой стороны, образование новых типов ассоциатов. В отличие от системы АН– CCl_4 , где не наблюдается четко выраженных пиков, в случае АН–ДМСО в расчетах программы «Linkfit» проявляются два пика (рис. 6).

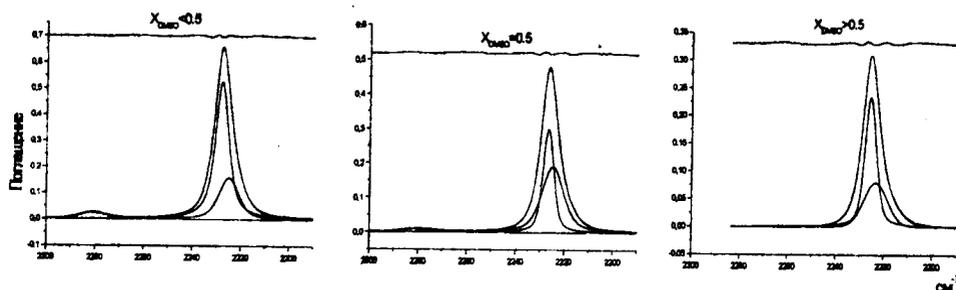


Рис. 5. ИК-спектроскопические полосы поглощения $-\text{C}\equiv\text{N}$ группы АН при разных соотношениях бинарной системы АН–ДМСО.

Проявление этих пиков указывает на наличие двух типов ассоциации. То есть в растворах ДМСО происходит образование новых ассоциатов

АН-сульфоксид в пропорции один к одному при 0,5 мольной доли ДМСО. Механизм образования этих типов ассоциатов такой же, как в случае смеси ацетонитрил-сульфоксид [16].

Таким образом, с помощью спектральных методов было установлено,

что в диметисульфоксидных растворах АН до 0,6 мольной доли ДМСО преобладают димерные ассоциаты АН, хотя при 0,5 мольной доли ДМСО уже появляются ассоциаты типа АН-ДМСО. С увеличением концентрации сульфоксида (0,6–0,8 мольной доли), как это выяснилось с помощью метода СДР, образуются новые ассоциаты между ДМСО и АН с составом 2ДМСО-АН. В более концентрированных сульфоксидом растворах ($X_{\text{ДМСО}} > 0,8$) преобладают ассоциаты, состоя-

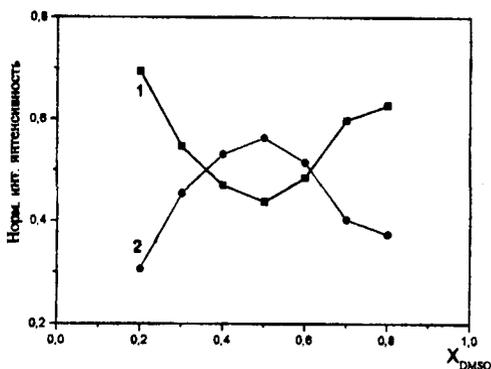


Рис. 6. Зависимости нормированных интегральных интенсивностей ИК-спектральных полос от мольной доли ДМСО в системе АН-ДМСО при частотах 2227см^{-1} (1) и 2225см^{-1} (2).

щие только из молекул ДМСО, причем они представляют из себя циклические димеры [16]. Характер межмолекулярных взаимодействий в образованиях АН-АН, АН-ДМСО и ДМСО-ДМСО главным образом диполь-дипольный.

Кафедра физической и коллоидной химии

Поступила 17.12.2003

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркарян Ш.А., Сарухян Э.Р., Казоян Е.А. – ВМС, серия Б, 1995, т. 37, № 1, с. 163–165.
2. Letcher T.M., Naicker P.K. – J. Chem. Thermodynamics, 2002, v. 34, p. 651–656.
3. Галстян А.С., Габриелян Л.А., Амирян А.С., Маркарян Ш.А. – Ученые записки ЕГУ, 2001, № 3, с. 3–17.
4. Чесноков В.Ф., Хазова И.В., Нилов О.В. – ЖОрХ, 1971, т. 42, вып. 8, с. 1671–1675.
5. Martens W.N., Frost R.L., Kristof J., Kloprogge J.Th. – J. Raman Spectroscopy, 2002, v. 33, p. 84–91.
6. Markarian Sh.A., Gabrielian L.S., Bonora S., Fagnano C. – Spectrochimica Acta, Part A, 2003, v. 59, p. 575–577.
7. Райхардт К. Растворители и эффекты среды в органической химии. М.: Мир, 1991, с. 594.
8. Фиалков Ю.Я., Житомирский А.Н., Тарасенко Ю.Я. Физическая химия неводных растворов. Л.: Химия, 1973, с. 133.
9. Tomisic V., Simeon V. – Phys. Chem. Chem. Phys., 1999, v. 1, p. 299–302.
10. Габриелян Л.С., Маркарян Ш.А. – Ж. физ. химии, 2001, т. 75, № 10, с. 1792–1794.
11. Перельгин И.С., Шатохин С.А. – Ж. неорг. химии, 1995, т. 40, № 7, с. 1221–1224.
12. Маркарян Ш.А., Галстян А.С. – Ж. неорг. химии, 1997, т. 42, № 3, с. 510–512.
13. Сарухян Э.Р., Казоян Е.А., Маркарян Ш.А. – Хим. ж. Армении, 2001, т. 54, № 3/4, с. 20–23.
14. Abd-El-Messieh S.L. – J. of Molecular Liquids, 2002, v. 95, p. 167–182.

15. Yokoyama Y., Ohashi Y. – Bull. Chem. Soc. Jpn., 1998, v. 71, № 2, p. 345–348.
 16. Fawcett W.R., Kloss A.A. – J. Chem. Soc. Faraday Trans., 1996, v. 92, p. 3333–3337.

Հ. Հ. ՂԱԶՈՅԱՆ, Ա. Մ. ԱՍԱՏՐՅԱՆ, Է. Ռ. ՍԱՐՈՒԽՅԱՆ

ՄԻՋՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ՓՈԽԱԶԳԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԵՎ ԻՈՆՆԵՐԻ ՍՈԼՎԱՏԱՑԻԱՆ ԱԿՐԻԼԱՆԻՏՐԻԼԻ ԴԻՄԵԹԻԼՍՈՒԼՖՕԲՍԻԴԱՅԻՆ ԼՈՒՐՈՒՅԹՆԵՐՈՒՄ

Ամփոփում

Ֆիզիկաքիմիական (մածուցիկաչափություն, էլեկտրահաղորդականություն) և սպեկտրալ (ՈՒՄ, ԻԿ, դիէլեկտրիկ ռելաքսացիոն) հետազոտման մեթոդներով ակրիլանիտրիլի (ԱՆ) դիմեթիլսուլֆոբսիդային (ԴՄՍՕ) լուծույթներում միջմոլեկուլային փոխազդեցությունների և սուլֆատացիոն պրոցեսների ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ ակրիլանիտրիլի ազդեցությամբ տեղի է ունենում ԴՄՍՕ-ի մոլեկուլների ասոցիատների սրոհում, որն ուղեկցվում է ԱՆ-ի մասնակի իոնացմամբ և ԱՆ-ի ու ԴՄՍՕ-ի մոլեկուլների միջև նոր ասոցիատների առաջացմամբ: Հաստատվել է, որ ԱՆ-ի և ԴՄՍՕ-ի (մինչև 0,6 մոլային բաժին) լուծույթներում գերակշռում են ԱՆ-ի դիմերային ասոցիատները: Սուլֆոբսիդի կոնցենտրացիայի մեծացմանը զուգընթաց (ԴՄՍՕ-ի 0,6-ից մինչև 0,8 մոլային բաժին) ԴՄՍՕ-ի և ԱՆ-ի միջև գոյանում են նոր ասոցիատներ՝ 2ԴՄՍՕ: ԱՆ կազմով: Սուլֆոբսիդով ավելի հազեցած լուծույթներում ($X_{\text{ԴՄՍՕ}} > 0,8$) գերակշռում են ԴՄՍՕ-ի ցիկլիկ դիմերները: Միջմոլեկուլային փոխազդեցությունները ԱՆ–ԱՆ, ԱՆ–ԴՄՍՕ և ԴՄՍՕ–ԴՄՍՕ գոյացություններում ունեն հիմնականում դիպոլ-դիպոլային բնույթ:

E. A. GHZOYAN, A. M. ASATRYAN, E. R. SARUKHANYAN

INTERMOLECULAR INTERACTIONS AND SOLVATION OF IONS IN DYMETHYLSULFOXIDE SOLUTIONS OF ACRYLONITRILE

Summary

The intermolecular interactions and solvation processes in solutions of acrylonitrile (AN) with dymethylsulfoxide (DMSO) using spectral (IR, UV, DRS) and physicochemical (viscometry, electroconductimetry) methods have been investigated. It was shown that under the action of AN occurs destruction of associations of molecules DMSO, which is accompanied by partial ionizing the molecules AN and formation of new associations between molecules DMSO and AN. There is installed that in dymethylsulfoxide solutions AN up to 0,6 mole fraction of DMSO dominate associations AN. With the increase of concentrations of sulfoxide (from 0,6 up to 0,8 mole fraction) new associations between DMSO and AN with composition 2DMSO:AN are formed. In more concentrating sulfoxide solutions ($X_{\text{DMSO}} > 0,8$) dominate round-robin dimers of DMSO. Intermolecular interactions between AN–AN, AN–DMSO and DMSO–DMSO, mainly, have dipole-dipolar nature.

Химия

УДК 535.343

Л. Г. МЕЛИК-ОГАНДЖАНЯН, ДЖ. Г. ЧШМАРИТЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАТИОНОВ СОЛЕЙ НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛОВ С АКРИЛАМИДОМ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Исследованы ИК-спектры поглощения акриламида в присутствии хлоридов лития и меди (Cu^{2+}), а также перхлората и нитрата лития в ацетонитриле. Показано, что сольватация катионов происходит за счет их взаимодействия как с кислородом карбонильной группы, так и с азотом амидной группы. Причем это взаимодействие в значительной степени носит донорно-акцепторный характер.

Введение. Изучение взаимодействия акриламида с солями металлов в значительной степени вызвано тем, что амидная группа $\text{O}=\text{C}-\text{N}$ входит в качестве основного структурного элемента в состав большинства используемых в различных отраслях производства природных и синтетических соединений, а также таких важных для жизнедеятельности живых организмов веществ, как пептиды, протеины, некоторые ферменты, для которых амидное звено является характерным и во многих отношениях определяет их свойства. С другой стороны, в литературе почти отсутствуют данные по изучению характера взаимодействия акриламида (АА) с указанными солями. Известны лишь работы по использованию некоторых солей при радикальной полимеризации АА [1, 2].

Методы исследования и обсуждение результатов. В настоящей работе приводятся результаты исследования методом ИК-спектроскопии взаимодействия солей лития и меди (II) с молекулами АА в среде ацетонитрила.

Изучались изменения в полосах поглощения валентных колебаний групп $\text{N}-\text{H}$, $\text{C}=\text{O}$, $\text{C}-\text{N}$ молекул АА в ацетонитриле и при растворении в них LiCl , LiClO_4 , LiNO_3 и CuCl_2 . Использование ацетонитрила в качестве среды преследовало цель разрыва водородных связей между молекулами амида, а также способствовало растворимости в нем как соли, так и амида.

ИК-спектры исследуемых образцов снимали на спектрофотометре SPECORD 75 IR в интервале волновых чисел $3600-3000\text{см}^{-1}$ и $1800-1200\text{см}^{-1}$ при комнатной температуре (20°C).

АА, ацетонитрил и соли тщательно очищали и сушили по методикам, описанным в [3–5]. Концентрации солей в растворах варьировали в пределах 0,008–0,1 моль/л, а концентрация АА составляла 8%.

Образцы растворов АА с солями вводились в неразборные кюветы определенной толщины, эталоном для сравнения служил ацетонитрил.

Следует отметить, что в спектре АА в вазелиновом масле в области полос поглощения валентных колебаний NH_2 групп наблюдались две полосы поглощения при 3360 и 3183 см^{-1} , соответствующие валентным колебаниям связанных антисимметричных и симметричных NH_2 групп. Полоса поглощения $\text{C}=\text{O}$ группы проявлялась при 1672 см^{-1} , а валентное колебание CN – при 1281 см^{-1} . В спектре же 8%-го раствора АА в ацетонитриле в области полос поглощения NH_2 групп наблюдались уже не две, а четыре полосы поглощения: две из них – 3566 и 3440 см^{-1} – соответствуют валентным колебаниям свободных антисимметричных и симметричных NH_2 групп, а 3340 и 3195 см^{-1} – валентным колебаниям связанных антисимметричных и симметричных NH_2 групп. Это свидетельствует о разрыве водородных связей в молекулах АА. Следует отметить, что полоса поглощения валентных колебаний карбонильной группы наблюдалась при 1678 см^{-1} , а валентное колебание CN – при 1268 см^{-1} . При добавлении же LiClO_4 в раствор АА с увеличением концентрации соли наблюдалось смещение полос поглощения карбонильной и амидной групп в низкочастотную область, а валентных колебаний CN – в высокочастотную область. Необходимо отметить также, что полоса поглощения валентных колебаний $\text{C}=\text{C}$ группы АА в ацетонитриле наблюдалась при 1600 см^{-1} и не изменялась в присутствии соли.

$$C_{\text{соли}}=0,1 \text{ моль/л}, C_{\text{АА}}=8\%$$

Соль	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_2\text{O}=\text{CH}-\text{C}-\text{NH}_2 \end{array}$					
	частоты, см^{-1}					
	ν_{NH_2} своб. симм.		$\nu_{\text{C}=\text{O}}$		$\nu_{\text{C}-\text{N}}$	
	ν	$\Delta \nu$	ν	$\Delta \nu$	ν	$\Delta \nu$
–	3440	–	1678	–	1268	–
LiClO_4	3437	–3	1664	–14	1269	+1
LiNO_3	3437	–3	1664	–14	1269	+1
LiCl	3437	–3	1664	–14	1269	+1
CuCl_2	3420	–20	1653	–25	1273	+5

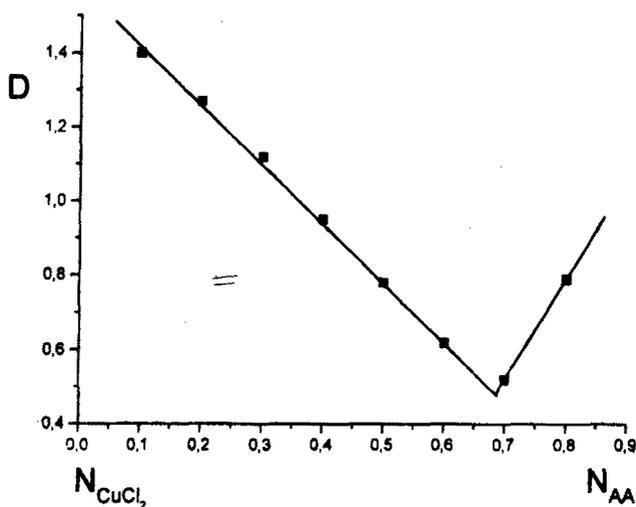
В таблице приведены значения волновых чисел ν (см^{-1}) основных полос поглощения молекул АА в среде ацетонитрила и их изменения под влиянием растворения солей, из которых следует, что величины смещений существенно зависят от природы катиона, а не аниона растворенной соли. Например, для всех солей лития наблюдается одинаковый сдвиг полосы поглощения свободно симметричных NH_2 групп в низкочастотную область на 3 см^{-1} , а для карбонильной группы – на 14 см^{-1} .

В присутствии же соли CuCl_2 эти сдвиги составляют соответственно 20см^{-1} для полосы поглощения свободно симметричных NH_2 и 25см^{-1} – для полосы поглощения карбонильной группы. Из полученных результатов можно заключить, что координация катиона металла осуществляется не только через атом кислорода карбонильной группы, но и через атом азота амидной группы донорно-акцепторным механизмом. Аналогичные выводы сделаны и авторами работ [6–9], исследовавшими взаимодействие первичных и вторичных амидов с солями одно- и двухвалентных металлов.

Кроме того, судя по величине сдвига карбонильной группы, можно заключить, что катион Cu^{2+} образует более прочный комплекс с АА, чем катион лития.

Далее методом УФ-спектроскопии нами исследовано взаимодействие АА с CuCl_2 в ацетонитриле.

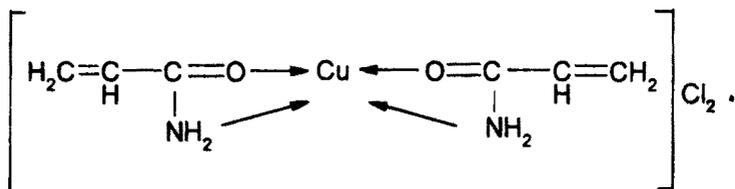
Исследования проводились на приборе SPECORD-40. Для определения состава комплекса пользовались методом изомолярных серий Остромысленского–Жоба. Концентрацию АА и соли меняли так, чтобы их суммарная концентрация в растворе сохранялась постоянной, равной $0,0006\text{моль/л}$. Измерения проводились при 20°C , в кварцевых кюветах толщиной в $0,1\text{см}$, а эталоном сравнения служил ацетонитрил.



Зависимость оптической плотности от молярной доли АА
 $C_{\text{сумм}} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$, $\lambda = 334 \text{ нм}$.

Система АА– CuCl_2 –ацетонитрил дает интенсивное поглощение в коротковолновой области ($\lambda_{\text{max}} = 334 \text{ нм}$), а растворы чистых АА и CuCl_2 в этой области не поглощают.

На основании полученных данных построен график зависимости оптической плотности от молярной доли АА (см. рисунок), откуда следует, что в ацетонитриле образуется комплекс состава $2\text{AA}:\text{CuCl}_2$, который можно представить в виде



Таким образом, показано, что действительно АА с хлоридом меди образует комплекс, в котором катион меди связывается с акриламидом как через атом кислорода карбонильной группы, так и через атом азота амидной группы.

Кафедра физической и коллоидной химии

Поступила 19.09.2003

ЛИТЕРАТУРА

1. Громов В.Ф. – Успехи химии, 1995, т. 64, №1, с. 93–102.
2. Yoav D., Livney, Irina Portnaya, Benjamin Faupin, Ory Ramon, Yachin Cohen, Uri Cogan, Shimon Mizrahi – Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics, 2003, v. 41, p. 08–519.
3. Карякин Ю.В., Ангелов И.Н. Чистые химические реактивы. М.: Химия, 1974, с. 407.
4. Акоюн С.Х., Соловьева Л.А. – Ж. физ. химии, 1982, т. 56, № 9, с.23–24.
5. Cahen J.M., Handy P.R., Roach E.T., Popov A.I. – J. Phys. Chem., 1975, v. 79, p. 80.
6. Irish D.E., Tang S.Y., Talts H., Petrucci S. – J. Phys. Chem., 1979, v. 83, № 25, p. 3268.
7. Shohreh Nafisi, Delaram Sadraei Shamloo, Nasser Mohajerani, Akram Omidi – J. Molecular structure, 2002, v. 608, p. 1–7.
8. Перельгин И.С., Изосимова С.В. и Кесслер Ю.М. – Ж. структурной химии, 1968, т. 9, № 3.
9. Перельгин И.С., Осипов В.С. – Ж. физ. химии, 1983, т. 57, № 1, с. 106.

Լ. Գ. ՄԵԼԻԶ-ՕՂԱՆՁԱՆՅԱՆ, Ջ. Հ. ՃՇՄԱՐԻՏՅԱՆ

ԱՎՐԻԼԱՄԻԴԻ ՀԵՏ ՈՐՈՇ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԱՂԵՐԻ ԿԱՏԻՈՆՆԵՐԻ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԻԿ-ՍՊԵԿՏՐՈՍԿՈՊԻԱՅԻ ՄԵԹՈԴՈՎ

Ամփոփում

Ռատումնասիրվել են ակրիլամիդի (ԱԱ) կլանման ԻԿ-սպեկտրները լիթիումի և պղնձի (Cu^{2+}) քլորիդների, ինչպես նաև լիթիումի պերքլորատի և նիտրատի ներկայությամբ ացետոնհիտրիլում:

Ցույց է տրվել, որ կատիոնների սովատացիան ընթանում է ինչպես նրանց կարբոնիլային խմբի թթվածնի, այնպես էլ ամիդային խմբի ազոտի հետ փոխազդեցության հաշվին: Ընդ որում, այդ փոխազդեցությունը զգալի չափով կրում է դոնորակցեպտորային բնույթ:

INVESTIGATION OF INTERACTION BETWEEN SOME METAL
SALTS CATIONS AND ACRYLAMIDE BY IR-SPECTROSCOPY

Summary

IR-spectra of acrylamide are investigated at the presence of lithium and copper (Cu^{2+}) chlorides, and also lithium perchlorate and nitrate in acetonitrile. It has been shown, that solvation of cations occurs due to their interaction both with oxygen of a carbonyl group, and with nitrogen of amide group. And this interaction substantially has donor-acceptor character.

Химия

УДК 543:544:546

Д. С. ГАЙБАКЯН, ЯСИН МАЛА, Л. С. САРКИСЯН, О. П. ГУЮМДЖЯН,
А. Г. ХАЧАТРЯН

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АРГИЛЛИЗИТОВ В ТОНКОСЛОЙНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Изучена возможность применения неорганического сорбента-ионообменника аргиллизита для тонкослойно-хроматографического разделения ионов редких элементов (рений, молибден, ванадий и вольфрам) с использованием в качестве подвижных фаз растворов кислот и оснований в смесях с этанолом.

Установлено, что состав подвижной фазы и концентрация ее компонентов существенно влияют на миграционные свойства разделяемых ионов. Присутствие этанола в составе подвижных фаз создает возможности для регулирования подвижности ионов и обеспечивает компактность пятен ионов на тонких слоях.

Показано, что закрепленные тонкие слои аргиллизита могут быть успешно применены для разделения смесей микроколичеств ионов редких элементов. Предложены новые варианты разделения многокомпонентных смесей вышеназванных элементов.

В тонкослойной хроматографии (ТСХ) в качестве носителей успешно применяются различные сорбенты ионообменников. Выбор новых типов сорбентов для ТСХ, в частности на базе природных нерудных материалов Республики Армения, является важным фактором для решения ряда практических задач горной металлургии и химической технологии.

В зависимости от природы сорбирующих слоев процесс разделения компонентов в ТСХ может иметь различный характер. В последнее время для указанных целей все более широкое применение находят слои ионообменных смол, закрепленных на подложках из металлической фольги или полимерных пленках с различными связующими веществами [1, 2]. В этих системах механизм разделения ионов носит ионообменный характер, что дает основание называть такой вариант ТСХ ионообменной тонкослойной хроматографией (ИОТСХ).

Недра Республики Армения богаты месторождениями нерудных материалов алюмосиликатной природы, запасы которых зачастую прак-

тически неисчерпаемы. Этим обусловлено применение подобных материалов (диатомит [3], фельзит [4], цеолит [5] и др.) для разделения и определения микроколичеств редких элементов, в частности рения (VII), молибдена (VI), ванадия (V) и вольфрама (VI).

В последние годы нами совместно с сотрудниками факультета геологии ЕГУ ведутся исследования по расширению ассортимента природных сорбентов, используемых в аналитической химии редких элементов.

В данной работе впервые предпринимается попытка исследования возможностей применения аргиллизита в качестве неподвижной фазы. Основанием для таких исследований являются достаточная пористость (хорошие сорбционные свойства) и белый цвет его порошков [6], что необходимо для применения сорбента в ТСХ.

Активирование сорбента и приготовление пластинок для ТСХ. Для приготовления закрепленных слоев из аргиллизита к 10г мелкоизмельченного в агатовой ступке порошка добавляют 15мл нагретой до 50–60°C дистиллированной воды и тщательно перемешивают. Эту массу с помощью валика наносят на стеклянные пластинки и готовят слои толщиной $0,25 \pm 0,02$ (мм). Полученные пластинки с нанесенным на них слоем сорбента сначала сушат при комнатной температуре, затем активируют путем сушки в сушильном шкафу при температуре 75°C в течение 1ч или же оставляют при комнатной температуре на 8–10ч.

Стандартные растворы готовили растворением навесок соответствующих солей квалификации х.ч.: перренатов, молибдатов и ванадатов калия, аммония и вольфрамата натрия. Таким путем были приготовлены растворы с концентрацией 2,0–8,0 мг/мл.

Активация поверхности аргиллизита перед приготовлением пластинок для ТСХ проводилась раствором соляной кислоты с концентрацией 6,0 моль/л при нагревании и перемешивании. Обработка аргиллизита соляной кислотой способствует удалению из массы основных оксидов, оксидов железа и других окрашивающих оксидов, а также оксида алюминия. В результате чего поверхность аргиллизита становится более развитой и однородной, при этом увеличивается мольное отношение $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, что приводит к улучшению разделительной способности сорбента по отношению к сложным смесям ионов редких элементов, а также воспроизводимости получаемых экспериментальных результатов. Очищенный таким образом аргиллизит промывают дистиллированной водой до слабокислой реакции промывных вод. Из обработанного аргиллизита и гипса (6% по массе) готовят однородную массу для нанесения тонких слоев на стеклянные пластинки.

Методика исследования. С помощью микрошприца на пластинку размерами 8,5 см × 12,0 см на расстоянии 1,0 см от ее края наносили стандартные растворы, содержащие 2,0–8,0 мг рения, молибдена, ванадия и вольфрама. Пластинку погружали в хроматографическую камеру, содержащую подвижную фазу (ПФ), так, чтобы стартовая линия оставалась выше уровня жидкости на 0,5 см. Камеру закрывали стеклянной пластинкой.

После перемещения ПФ на расстояние 10,0 см от линии старта пластинку извлекали из камеры, высушивали при комнатной температуре и проявляли хроматограммы, опрыскивая слой с помощью пульверизатора 35%-ным раствором хлорида олова в 6,0М соляной кислоте, а затем насыщенным раствором роданида аммония или натрия. При этом зоны исследуемых элементов окрашиваются в следующие цвета: рений – в оранжевый, молибден – в розовый, ванадий – в желтый, вольфрам – в зеленый.

В табл. 1 приведены данные по содержанию оксидов в образце аргиллизита № 8899 из месторождения Гомшатех.

Таблица 1

Валовый состав аргиллизита Гомшатехского месторождения

Оксид	Содержание, % масс.
SiO ₂	68,80–73,09
TiO ₂	0,86–0,91
Al ₂ O ₃	19,51–20,73
Fe ₂ O ₃	0,49–0,52
FeO	–
MnO	0,05
MgO	0,08
CaO	0,81–0,86
Na ₂ O	1,65–1,75
K ₂ O	1,80–1,91
P ₂ O ₅	0,09–0,10
потери при прокаливании	5,13

Как видно из данных табл. 1, в аргиллизитах содержание оксидов резко отличается от такового для опалитов и кварцитов [6]. Аргиллизиты, в частности, характеризуются более низкими значениями отношения SiO₂/Al₂O₃ (70:20), в то время как для опалитов оно существенно выше (90:10). Вследствие этого можно ожидать резких различий и в хроматографическом поведении определяемых ионов и соответственно в данных, полученных с их применением.

Именно с целью улучшения ионообменных свойств аргиллизита была проведена его обработка 6,0М раствором соляной кислоты, которая приводит к уменьшению содержания Al₂O₃ и, следовательно, к увеличению отношения SiO₂/Al₂O₃.

В серии опытов по изучению разделительной способности различных образцов в качестве ПФ была использована система этанол–основание. Данные, приведенные ниже в табл. 2–4, показывают, что перренат-ионы при использовании таких ПФ не поглощаются, а значения их R_f высоки.

Значения R_f молибдат-ионов колеблются, однако все же можно установить некоторые закономерности. Так, с увеличением содержания

спирта значения R_f молибдат-ионов уменьшаются. Однако в системе концентрированный NH_4OH -этанол при объемных соотношениях 75:25 и 65:35 пятно молибдена имеет частично вытянутый вид, а при соотношении 60:40 ионы молибдена остаются на старте. Такое хроматографическое поведение характеризует и ионы вольфрама, причем R_f этих ионов резко уменьшается при соотношении гидроксид аммония : этанол = 65:35. При более высоких значениях соотношения гидроксид аммония : этанол в ПФ пятна вольфрама вытянуты. Иная картина наблюдается для ионов ванадия. Здесь для всех составов ПФ значения R_f очень малы. В концентрированных растворах щелочи эти ионы находятся в анионных формах, поэтому они не поглощаются аргиллизитом, обладающим катионообменными свойствами.

Таблица 2

Зависимость значений R_f рения (VII), молибдена (VI), ванадия (V) и вольфрама (VI) от состава ПФ в системе концентрированный NH_4OH -этанол. Толщина слоя 0,25мм

Состав ПФ		R_f			
объем конц. NH_4OH , мл	объем этанола, мл	Re	Mo	V	W
100	0	0,90	0,87	0,30	0,78–0,56
90	10	0,90	0,80	0,04	0,80–0,03
75	25	0,87	0,85–0,65	0,03	0,74–0,14
65	35	0,89	0,79–0,54	0,05	0,03
60	40	0,86	0,10	0,03	0,02
50	50	0,86	0,07	0,04	0,02
25	75	0,82	0,04	0,03	0,02
10	90	0,90	0,03	0,04	0,02
0	100	0,93	0,03	0,03	0,02

При использовании в качестве ПФ системы KOH (3моль/л)-этанол картина пятен элементов мало отличается от предыдущей (табл. 3). В таких системах проявляются преимущественно адсорбционный характер аргиллизита и конкурентные свойства анионов элементов. Однако в некоторых смесях щелочь-этанол наблюдаются отличия в значениях R_f указанных элементов, что создает определенные возможности для разделения названных ионов. При использовании в качестве ПФ смеси KOH (3моль/л)-этанол при соотношении 50:50 возможно разделение всех четырех элементов, так как значения их R_f резко отличаются.

Возможно также разделение различных трехкомпонентных смесей указанных элементов (табл. 3).

Увеличение доли спирта в ПФ резко уменьшает R_f ионов (за исключением Re) вследствие уменьшения значений диэлектрической проницаемости ПФ.

При использовании ПФ, представляющих из себя смесь 1моль/л

КОН и этанола, характер миграции ионов такой же, как и в предыдущем случае, однако возможности разделения ионов более ограничены. Уменьшение концентрации щелочи приводит к тому, что конкурентные сорбционные свойства ионов уменьшаются в ряду $V > W > Mo > Re$.

Таблица 3

Зависимость значений R_f рения (VII), молибдена (VI), ванадия (V) и вольфрама (VI) от состава ПФ в системе КОН-этанол. Толщина слоя 0,25мм

Состав ПФ			R_f			
концентрация раствора КОН, моль/л	объем раствора КОН, мл	объем этанола, мл	Re	Mo	V	W
1,0	100	0	0,86	0,37	0,05	0,35
	90	10	0,92	0,36	0,08	0,47
	75	25	0,94	0,35	0,08	0,44
	60	40	0,94	0,38	0,05	0,36
	55	45	0,95	0,04	0,05	0,30
	50	50	0,92	0,01	0,01	0,28
	25	75	0,93	0,02	0,02	0,04
	10	90	0,90	0,03	0,03	0,02
3,0	100	0	0,90	0,87; 0,42	—	—
	90	10	0,97	0,52	0,03	0,49
	75	25	0,92	0,77	0,32	0,62–0,25
	60	40	0,90	0,58	0,14	0,41
	50	50	0,94	0,43	0,07	0,28
	25	75	0,91	0,02	0,07	0,12
	10	90	0,96	0,02	0,03	0,02
	0	100	0,93	0,02	0,03	0,02

В табл. 4 приведены данные по хроматографическому поведению изученных ионов при использовании в качестве ПФ солянокислых растворов этанола, откуда видно, что молибден образует два пятна, так как в этих условиях он находится в двух ионных состояниях – MoO_2^{2+} и MoO_4^{2-} .

При использовании в качестве ПФ смеси соляная кислота-этанол (9:1) образование двух пятен молибдена наблюдается в интервале концентраций кислоты 0,05–0,001 моль/л.

В табл. 5 приведены значения R_f ионов разделяемых элементов при использовании в качестве ПФ 0,1 моль/л растворов различных солей. Величины R_f ванадия и вольфрама очень малы, а молибден снова образует два пятна с различными R_f . В данном случае возможности разделения смесей элементов крайне ограничены.

Зависимость значений R_f рения (VII), молибдена (VI), ванадия (V) и вольфрама (VI) от концентрации HCl в системе HCl-этанол (9:1). Толщина слоя 0,25мм

Концентрация HCl, моль/л	R_f			
	Re	Mo	V	W
6,0	0,81	0,81	0,88	0,67
5,0	0,85	0,83	0,86	0,80–0,01
4,0	0,89	0,85	0,87	0,69–0,01
3,0	0,78	0,82	0,72	0,01
1,0	0,90	0,66	0,88	0,01
0,1	0,92	0,69	0,55	0,03
$5,0 \cdot 10^{-2}$	0,93	0,90; 0,30	0,50	0,02
$1,0 \cdot 10^{-2}$	0,89	0,85; 0,30	0,23	0,09
$5,0 \cdot 10^{-3}$	0,95	0,85; 0,05	0,18	0,07
$1,0 \cdot 10^{-3}$	0,96	0,93; 0,08	0,01	0,04

Таблица 5

Зависимость значений R_f рения (VII), молибдена (VI), ванадия (V) и вольфрама (VI) от природы солей (0,1 моль/л). Толщина слоя 0,25мм

Соль, 0,1 моль/л	R_f			
	Re	Mo	V	W
NaCl	0,90	0,88; 0,40	0,01	0,08
NaNO ₃	0,90	0,88; 0,24	0,01	0,01
CH ₃ COONa	0,87	0,86; 0,32	0,04	0,06
NH ₄ Cl	0,85	0,79; 0,10	0,03	0,08
Na ₂ SO ₄	0,93	0,75; 0,12	0,02	0,03
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0,92	0,14; 0,0	0,04	0,10

Таким образом, состав ПФ и концентрация ее компонентов существенно влияют на миграционные свойства ионов изученных элементов. Присутствие этанола в составе ПФ регулирует подвижность ионов, что имеет важное значение для разделения смесей этих элементов. Показано, что закрепленные слои аргиллизита могут быть успешно применены для разделения смесей микроколичеств редких элементов.

Кафедра аналитической химии

Поступила 15.09.2003

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайбакян Д.С., Мкртчян Г.М., Давтян М.У. – Хим. ж. Армении, 2001, т. 53, № 3-4, с. 21.
2. Волынец М.П., Рубинштейн Р.Н., Китаева Л.П. – ЖАХ, 1983, т. 38, № 5, с. 783.
3. Канкян А.Г., Гаспарян С.Е. – Ученые записки ЕГУ, 1976, № 1, с. 67.
4. Зейтагян Г.М., Гаврилова Т.Б., Бабаян Г.Г. – Арм. хим. ж., 1984, т. 37, № 9, с. 557.

5. Андроникашвили Т.Г., Гаспарян С.Е., Канканян А.Г. – Изв. АН Груз. ССР, сер. хим., 1987, № 13, с. 229.
 6. Карапетян А.И., Гуюмджян О.П., Налбандян Э.М. – Фонды ИГН НАН РА, Ер., 1986.

Դ. Ս. ԳԱՅՐԱԿՅԱՆ, ՅԱՍԻՆ ՄԱԼԱ, Լ. Ս. ՍԱՐԿՍՅԱՆ, Հ. Պ. ԳՈՒՅՈՒՄՅԱՆ,
 Հ. Գ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

**ՀԱԶՎԱԳՅՈՒՏ ՏԱՐՐԵՐԻ ՆՐԱՄՈՒՄԻ ԸՐՈՍՏԱՏՈՒՄԻ ԱՅԻՆՈՒՄ
 ԱՐԳԻԼԻՉԻՏԻ ԿԻՐԱՌՈՒԹՅԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ**

Ամփոփում

Ուսումնասիրվել է անօրգանական սորբենտ-իոնափոխանակիչ արգիլիզիտի կիրառության հնարավորությունը հազվագյուտ տարրերի (ռենիումի, մոլիբդենի, վանադիումի և վոլֆրամի) բաժանման համար՝ որպես շարժում ֆազ օգտագործելով էթանոլի հետ տարբեր թթուների և հիմքերի լուծույթների խառնուրդները:

Հաստատվել է, որ շարժում ֆազերի բաղադրությունը և դրանց կոնցենտրացիան զգալիորեն ազդում են վերոհիշյալ իոնների միգրացիոն հատկությունների վրա:

Շարժում ֆազում էթանոլի առկայությունը հնարավոր է դարձնում իոնների շարժումակության կարգավորումը և ապահովում է դրանց բծերի կոմպակտությունը արգիլիզիտի նուրբ շերտի վրա:

Ցույց է տրվել, որ արգիլիզիտի ամրացված շերտերը կարող են հաջողությամբ կիրառվել հազվագյուտ տարրերի բարդ խառնուրդների բաժանման համար: Առաջարկվել են վերը նշված տարրերի բաժանման նրբաշերտ քրոմատոգրաֆիական նոր տարբերակներ:

D. S. GAIBAKYAN, YASIN MALA, L. S. SARKISYAN, H.P. GHUYUMJYAN,
 H. H. KHACHATRYAN

**ABOUT POSSIBILITY OF USING OF ARGYLLIZITE
 IN THIN-LAYER CHROMATOGRAPHY OF RARE ELEMENTS**

Summary

Possibility of using of inorganic sorbent ion-exchanger argyllizite for thin-layer chromatographic separation of rare elements' ions (rhenium, molybdenum, vanadium, tungsten) using mixtures of ethanol with different acid and bases solutions as mobile phase has been studied.

It has been estimated that mobile phase content and concentration of its components influence considerably on migration properties of separated ions. The presence of ethanol in the mobile phase creates possibility for regulation of ions mobility and secures compactness of ions' spots on thin layers.

It has been shown that argyllizite fixed thin layers can be used successfully for separation of micro-amounts of ions of rare elements. New versions for separation of multi-component mixtures of above-mentioned elements have been elaborated.

Химия

УДК 547.314+547.841

С. М. АКОПЯН

ФОТОСИНТЕЗ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ 1,4-ДИОКСАНОНОВ

Взаимодействием 2-оксо-3-алкил-6-замещенных-1,4-диоксанов с 2-оксо-3-алкил-6-метил-1,4-диоксациклогекс-5-енами в присутствии каталитических количеств хлорида цинка при лазерном излучении и при комнатной температуре получены диоксанонилдиоксаноны с высокими выходами.

Исследованы влияния электроноакцепторных заместителей, находящихся в положении 6 в диоксаноне, на скорость образования продукта.

Ранее нами осуществлен фотосинтез 1,2-этан-6,6'-бис(3-алкил-2-оксо)-симметричных и несимметричных 1,4-диоксанов [1]. Продолжая исследования в области изыскания новых экологически активных соединений, мы синтезировали 2-оксо-3-алкил-5-(2'-оксо-3'-алкил-6'-R-1',4'-диоксан)ил-1,4-диоксаны взаимодействием 2-оксо-3-алкил-6-метил-1,4-диоксациклогекс-5-енов с 2-оксо-3-алкил-6-замещенными-1,4-диоксанами в присутствии каталитических количеств хлорида цинка при лазерном излучении и при комнатной температуре (в среде толуола) по схеме 1.

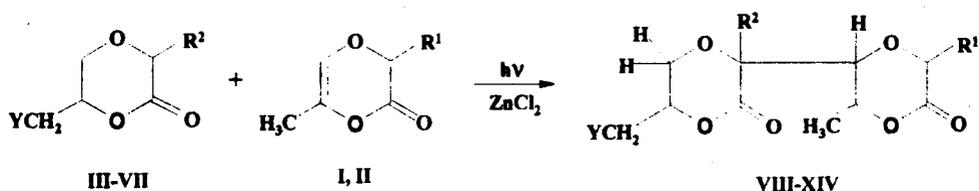


Схема 1.

Y=H, OH, Br, R¹=Me, Et, R²=Me, Et;

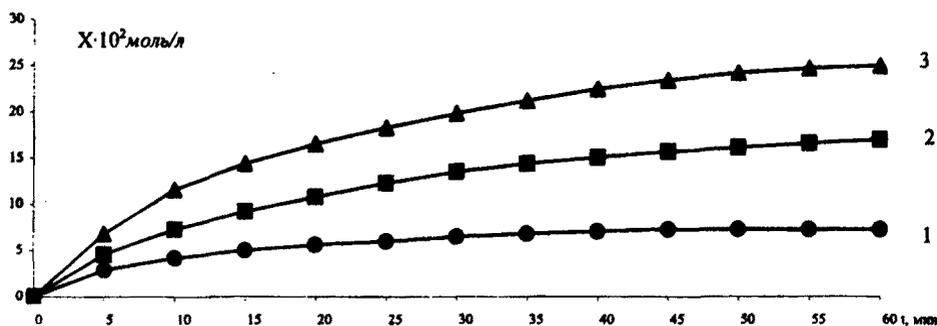
I - R¹=Me; II - R¹=Et; III - Y=H, R²=Me; IV - Y=H, R²=Et; V - Y=OH, R²=Me; VI - Y=OH, R²=Et; VII - Y=Br, R²=Me; VIII - Y=H, R¹=R²=Me; IX - Y=H, R¹=Me, R²=Et; X - Y=OH, R¹=R²=Me; XI - Y=OH, R¹=Et, R²=Me; XII - Y=OH, R¹=Me, R²=Et; XIII - Y=Br, R¹=R²=Me; XIV - Y=Br, R¹=Et, R²=Me.

Полученные соединения – белые или светложелтые кристаллические вещества, строение которых подтверждено ИК- и ПМР-спектроскопией, а чистота контролирована методом ТСХ.

В ИК-спектрах синтезированных соединений содержатся полосы поглощения $-1760-1765\text{см}^{-1}$ (лактонный карбониль) и $1108-1115\text{см}^{-1}$ (C—O—C), наличие двойной связи не обнаружено.

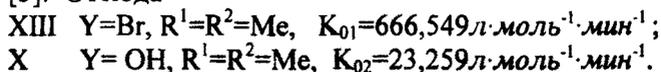
Установлено, что через 45 мин после начала реакции конверсия составляет 55–60%. За скоростью превращения следили методом ГЖХ. Такие реакции [1–3] протекают при низких температурах с температурным коэффициентом скорости, близким к единице.

Обозначим константы скоростей реакций образований VIII, X и XIII через K_{03} , K_{02} и K_{01} соответственно. Исследования показали, что K_{03} ($1,17\text{ л}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{мин}^{-1}$) в 1,75 раза больше K_{02} ($0,67\text{ л}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{мин}^{-1}$) и в 2,79 раза больше K_{01} ($0,42\text{ л}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{мин}^{-1}$). Можно предположить, что наблюдаемое явление вызвано заместителями с электроноакцепторными эффектами, вследствие чего электронная плотность на лактонном карбониле перераспределяется (уменьшается). В свою очередь это вызывает уменьшение подвижности α -водородного атома в диоксаноновом кольце, результатом чего является понижение скорости реакции при переходе радикалов от метильного к оксиметильному и далее – бромметильному, симбатно с величинами индуктивного влияния заместителя. Во всех кинетических исследованиях R^1 и R^2 остаются постоянными (см. рис.).

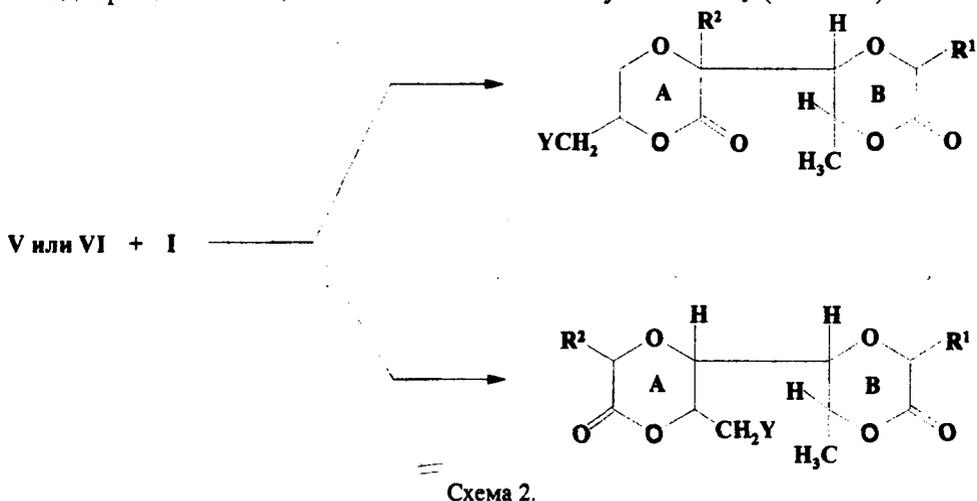


Зависимость скорости образования диоксанонилдиоксанола от электронофильности заместителя, находящегося в положении 6 в исходном диоксаноне, $T=295\text{K}$. 1. [БД]=[ДЕН]=0,3 моль/л; 2. [ГД]=[ДЕН]=0,3 моль/л; 3. [ДОН]=[ДЕН]=0,3 моль/л, где [БД], [ГД], [ДОН] и [ДЕН] – концентрации XIII, X, VIII и I соответственно.

Принимая полученное нами значение K_{03} (см. рис., кр. 3) в качестве стандартного и учитывая, что в данной серии в уравнении Тафта $\rho^*=2,48$; $\delta=1$, с помощью индуктивных σ^* -констант и стерических E_s -констант теоретически также можно вычислить влияние НОСН_2 -, Вr-СН_2 -групп, находящихся в положении 6, на реакционный центр, тем самым коррелировать экспериментально полученные данные с теоретическими расчетами. Значения σ^* -индукционных констант взяты из [4], а значения E_s – из [5]. Отсюда



Теоретические расчеты показывают, что значение константы скорости реакции VII+I в 28,6 раза больше, чем значение константы скорости V+I. Между тем, экспериментальные данные показывают, что отношение констант скоростей этих же реакций составляет 2,79, что приблизительно в 10 раз меньше теоретического. Наблюдаемое anomальное явление, по всей вероятности, объясняется тем, что при наличии VII (Y=Br) и V(Y=OH) имеет место уменьшение скоростей реакций: присоединение водородного атома, находящегося в положении 3 в исходном диоксаноне, к двойной связи I и II происходит медленнее за счет увеличения электроноакцепторных свойств заместителей. Не исключается также возможность присоединения II к исходному диоксанону в положении 5 (схема 2). Доказательством тому может служить наличие дуплета (3,55 м. д. C₅-H) и триплета (3,8 м. д.) протонов в спектрах ПМР – X и XIII. Наличие двух таких сигналов с разностью химических сдвигов в 0,16–0,25 м. д. объясняется двумя стереоизомерами, возникновение которых обусловлено псевдотворением А диоксанонового кольца у атома C₅ (схема 2).



С другой стороны, представляет интерес влияние α -алкильных заместителей диоксанона на скорость реакции присоединения. С этой целью с помощью корреляционного уравнения Тафта вычислены константы скоростей α -этильного, пропильного, изопропильного и бутильного заместителей с использованием в качестве стандартной константы K_{03} полученных нами скоростей реакции. Во всех этих расчетах Y=H:

$$R^2=\text{Et}, K_1=0,5625 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}; R^2=\text{Pr}, K_2=0,2647 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}; \\ R^2=i\text{-Pr}, K_3=0,1337 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}; R^2=\text{Bu}, K_4=0,2268 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}.$$

Значения констант скоростей K_1, K_2, K_3, K_4 однозначно показывают, что с увеличением объема алкильного заместителя скорость вышерассмотренного присоединения уменьшается. Это, по всей вероятности, связано с пространственными затруднениями, экранирующими реакционный центр.

Экспериментальная часть. ИК-спектры сняты на приборе UR-20, ПМР-спектры – на Varian T-60 в растворе CCl_4 . Внутренний стандарт –

ТМС. Чистоту полученных соединений контролировали методом ТСХ на пластинках Silufol-254: бутанол-уксусная кислота-вода – 2:2:1 (проявитель – пары йода). Кинетические измерения проводили по ГЖХ на приборе ЛХМ-72М методом абсолютной калибровки. Колонка – 2000мм×4мм, насадки – хроматон-N+7%SE-30, хромосорб – PAW+5%SE-30. Температура колонки 453–533К, детектор по теплопроводности, газ-носитель – гелий (50–60мл/мин). Облучение осуществляли гелий-кадмиевым лазером ($\lambda=3000\text{Å}$) непрерывного излучения.

Кинетические исследования. Взятые из реактора пробы обрабатывали водой, после чего из верхнего органического слоя брали новую пробу для ГЖХ анализа.

2-Оксо-3-алкил-5-(2'-оксо-3'-алкил-6'-замещенные-1',4'-диоксан)ил-1,4-диоксаны VIII–XIII. К смеси 0,02моль 2-оксо-3-алкил-6-замещенного-1,4-диоксана и 0,001моль хлорида цинка добавляли 0,02моль 2-оксо-3-алкил-6-метил-1,4-диоксациклогекс-5-ена, растворенного в 25мл толуола.

Характеристики соединений VIII–XIV

Соед.	Выход, %	T _{пл.} , °С	Найдено, %		Вычислено, %		ИК-спектр, см ⁻¹	R _f
			С	Н	С	Н		
VIII	68,5	92–93	55,80	4,63	55,81	4,65	1758(C=O) 1110(COC)	0,44
IX	69,7	105–107	57,13	7,71	57,11	7,69	1765(C=O) 1108(COC)	0,45
X	78,4	112	52,62	6,59	52,55	6,57	1760(C=O) 1115(COC)	0,43
XI	75,5	123–124	54,25	6,72	54,17	6,94	1765(C=O) 1112(COC)	0,46
XII	70,6	123–124	54,25	6,72	54,17	6,94	1760(C=O) 1115(COC)	0,44
XIII*	68,5	156–157	42,75	5,11	42,73	5,04	1765(C=O) 1110(COC)	0,42
XIV**	71,7	171–173	44,53	5,53	44,44	5,41	1763(C=O) 1110(COC)	0,44

* Br_{найд} = 23,95%, Br_{выч} = 23,74%.

** Br_{найд} = 22,86%, Br_{выч} = 22,79%.

При перемешивании при комнатной температуре облучали гелий-кадмиевым лазером 40–45мин. Раствор промывали водой. Водный слой отделяли от органического, растворитель перегоняли. Остаток кристаллизуется (см. табл.). Растворитель перекристаллизации – ацетон. Спектр ПМР (VIII, IX) δ , м. д. 3,57 д (C₅-H), $^3J = 3,85\text{Гц}$, (X) δ , м. д. 3,53 д (2H, C₅-H) 3,79 т (3H), (XIII) δ , м. д. 3,55 д (2H, C₅-H), 3,74 т (3H, C₅-H).

Кафедра физической и коллоидной химии

Поступила 16.10.2003

ЛИТЕРАТУРА

1. Акоюн С.М., Пирумян Г.П., Кочарян К.М. – Ученые записки ЕГУ, 2000, № 1, с. 89.

2. Бартроп Дж., Койл Дж. Возбужденное состояние в органической химии. М.: Мир, 1978, с. 167.
3. Бейлерян Н.М. Химическая кинетика. Ер.: Изд-во ЕГУ, 1978, т. 1, с. 238.
4. Черкасова А.Р., Галкин В.И., Сибгатулин И.М., Черкасов Р.А. – ЖОрХ, 1997, вып. 9, т. 33, с. 1321.
5. Жданов Ю.А., Минкин В.И. Корреляционный анализ в органической химии. Ростов : Изд-во Ростовского университета, 1966, с. 341.

Ս. Մ. ՀԱԿՈԲՅԱՆ

1,4-ՌԻՕՔՍԱՆՈՆՆԵՐԻ ՆՈՐ ԱԾԱՆՑՅԱԼՆԵՐԻ ՖՈՏՈՍԻՆԹԵԶ

Ամփոփում

2-օքսո-3-ալկիլ-6-տեղակայված-1,4-դիօքսանոնների հետ 2-օքսո-3-ալկիլ-6-մեթիլ-1,4-ցիկլոհեքսա-5-ենների փոխազդեցությունը ցինկի քլորիդի կատալիտիկ քանակների ներկայությամբ, սենյակային ջերմաստիճանում և լազերային ճառագայթմամբ հանգեցնում է դիօքսանոնիդիօքսանոնների առաջացման:

Հետազոտված է 6 դիրքում գտնվող էլեկտրասկցեպտոր տեղակալիչների ազդեցությունը նպատակային արգասիքի առաջացման ելքերի վրա:

S. M. HAKOBYAN

PHOTOSYNTHESIS OF THE NEW DERIVATIVES 1,4-DIOXANONS

Summary

By interaction of 2-oxo-3-alkhyl-6-substituted-1,4-dioxans with 2-oxo-3-alkhyl-6-methyl-1,4-hexacyclo-5-ens in the presence of catalytic quantities of zyncum chloride by laser radiation and room temperature dioxanonildioxanons are obtained with high yields.

It has been studied the influence of electroacceptoric substitute on the reaction yields.

УДК 577.113.6

Լ. Զ. ՆԵՐՏԻՍՅԱՆ, Ժ. Վ. ԳԱՐԻԲՅԱՆ, Դ. Մ. ՏԵՓԱՆՅԱՆ, Ա. Դ. ՄԱՐԿԱՐՅԱՆ,
Ա. Ա. ՕԳԱՆԵՏՅԱՆ, Ա. Ս. ԱՆՏՈՆՅԱՆ, Մ. Ա. ՓԱՐՏԱԴԱՆՅԱՆ, ՅՈՍ. Տ. ԲԱԲԱՅԱՆ

ДЕЙСТВИЕ ПРОТИВООПУХОЛЕВОГО АНТИБИОТИКА ДОКСОРУБИЦИНА С АНТИСТРЕССОВЫМИ ПРЕПАРАТАМИ НА СТРУКТУРУ ДНК САРКОМЫ 45

Показано, что под действием противоопухолевого антибиотика доксорубицина в сочетании с антистрессовыми препаратами (диазепам, соединение 346) некоторые характеристики опухолевой ДНК (содержание 5-метилцитозина, температура и интервал плавления) ближе к таковым ДНК печени здоровых животных, чем под действием только доксорубицина.

В настоящее время широко обсуждается вопрос о роли стресса в возникновении первичных опухолей, поскольку стресс предшествует и обуславливает возникновение многих злокачественных новообразований [1–3]. Кроме того, сама опухоль, а также лечение ее, в ответ на токсическое действие химиопрепаратов, могут вызвать сильный стресс у пациентов [4, 5]. Мы попытались с помощью антистрессовых воздействий (диазепам, соединение 346*) в процессе лечения противоопухолевым антибиотиком (доксорубицин) саркомы 45 (С45) уменьшить стрессовые реакции и предотвратить стрессовые повреждения в ДНК опухолевых клеток. При этом изучали структуру ДНК (степень метилирования, кривую и параметры денатурации), составляющую молекулярную основу генома, а также природу связи между изменениями в структуре ДНК и подавлением роста опухоли указанными препаратами.

Материалы и методы. Опыты проведены на крысах – самцах линии «Вистар» весом 100–120г, интактных (без опухоли) и с переносимой С45 в асептических условиях известным методом [6].

В опытах использовали ДНК, выделенную из печени здоровых крыс (ДНК-1) и опухоли саркомы 45 (ДНК-2), способ выделения и характеристики которых описаны в работах [7–9].

Препараты вводили внутривентриально, начиная с пятого дня переноски опухоли. Диазепам и соединение 346 вводили за сутки до применения

* Соединение 346 – потенциальный транквилизатор, синтезированный в ИТОХ НАН РА.

цитостатика, непосредственно перед этим и в последующие двое суток – всего 4 инъекции: диазепам – в дозе 4 мг/кг, соединение 346 – 5 мг/кг, доксорубин – 2,5 мг/кг. При совместном применении антибиотика и антистрессовых препаратов доксорубин вводили через день (4 инъекции – половина общей дозы препарата). На 14-ый день опыта всех животных забивали. Степень торможения опухоли определяли по ее росту в процентах.

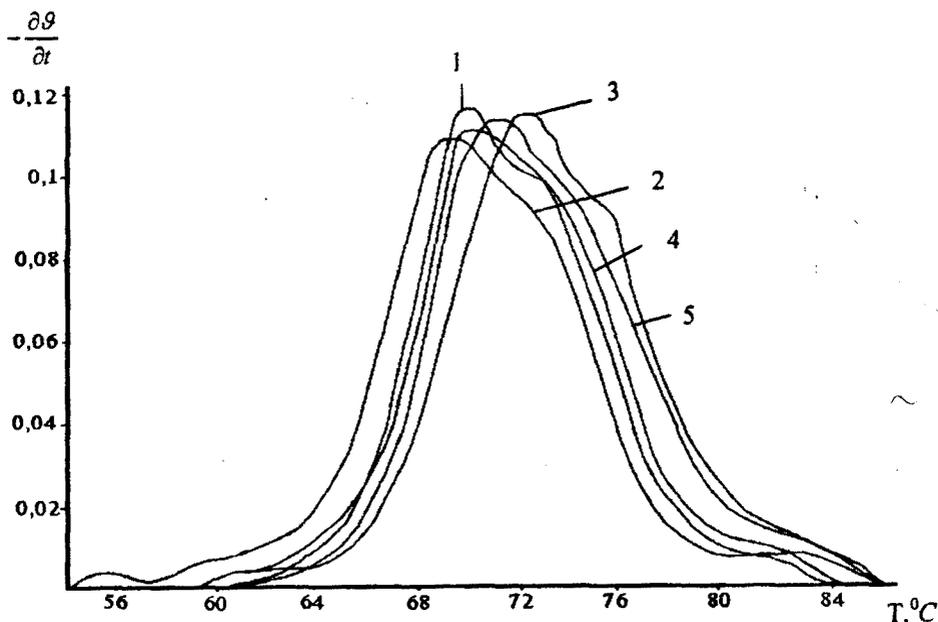
Определяли также общетоксическое действие (K_p) препаратов на организм животных. Из печени и опухоли выделяли ДНК. Экстракцию ДНК проводили в фенольно-хлороформном растворе в присутствии 1,5% додецилсульфата натрия [10]. Гидролиз ДНК до азотистых оснований проводили в запаянных стеклянных ампулах в 85% муравьиной кислоте при 176°C в течение одного часа. Разделение азотистых оснований осуществляли с помощью тонкослойной хроматографии (ТСХ) на диэтиламиноэтилцеллюлозе в растворителе н-бутанол–H₂O–NH₃ (60:10:0,1). Спектрометрию элюатов проводили, сравнивая с таковыми соответствующих участков хроматограмм.

Плавление ДНК осуществляли в водном растворе, содержащем 0,02M NaCl, 0,5mM этилендиаминтетраацетата (ЭДТА), pH 7,3. Растворы ДНК в герметически закрытых кварцевых кюветах помещали в термостатированную ячейку спектрофотометра Unicam SP 8–100 (Англия). Нагрев осуществлялся с помощью программного устройства со скоростью 0,25°C/мин. Значения поглощений (A_{260}) регистрировались с помощью программируемого микрокалькулятора HP 97S I/O. Точность определения температуры – 0,1°C, оптической плотности – 0,001 ед. Данные по плавлению каждого образца снимались 8 раз. Для каждой кривой вычислялись параметры плавления, затем они усреднялись методом среднеквадратичного отклонения. Поскольку на спектрофотометрических кривых плавления особенности первичной и вторичной структур ДНК проявляются слабо, мы применили дифференциальные кривые плавления (ДКП), которые были получены путем численного дифференцирования нормированных кривых плавления по методу, описанному в [8].

Результаты и обсуждение. В работах [8, 9] показано, что с помощью ДКП можно отличить ДНК опухоли саркомы 45 от ДНК, выделенных из печени здоровых крыс. ДКП ДНК-2 смещены относительно ДКП ДНК-1 в сторону низких температур, при этом на ДКП ДНК-2 появляются дополнительные пики в области 54–61°C, которые отсутствуют в случае ДНК-1. Исследовано влияние доксорубина, а также доксорубина в сочетании с диазепамом и соединением 346 на структуру ДНК-2 с учетом характера изменения ДКП ДНК-2 под действием этих соединений. Одновременно проведено сравнение ДКП ДНК-1 и ДНК-2 (см. рисунок).

В таблице приведены значения температуры (T_m) и интервала плавления (ΔT), содержание 5-метилцитозина (m^5C) в исследуемых препаратах ДНК. Как видно из таблицы, уровень метилирования в ДНК опухоли С45 без лечения довольно высок – 1,54 моль%, что согласуется

с данными других авторов об изменении и перестройках в ДНК, связанных со злокачественной трансформацией [11, 12]. Кроме того, увеличение 5-метилцитозина в опухолевой ткани может быть результатом деструктивных изменений в хромосомах, которые, теряя свою компактность, становятся более доступными для воздействия специфических метилаз. Доксорубин резко подавляет содержание m^5C (0,54 моль%) в ДНК опухоли (см. табл.). Совместное применение доксорубина с диазепамом и соединением 346 ингибирует метилирование ДНК в опухолевой ткани, но в меньшей степени и более щадяще, чем только доксорубин.



Дифференциальные кривые плавления ДНК: 1 – печени здоровых животных; 2 – опухоли саркомы 45; 3 – опухоли при введении животным доксорубина; 4 – опухоли при введении животным доксорубина в сочетании с диазепамом и 5 – опухоли при введении животным доксорубина в сочетании с соединением 346.

Содержание 5-метилцитозина (m^5C) и параметры плавления ДНК при воздействии доксорубина и доксорубина в сочетании с антистрессовыми препаратами

Условия опыта	Источник ДНК	m^5C , моль %	ΔT , °C	T_m , °C
здоровые животные	печень	$1,05 \pm 0,02$	$6,5 \pm 0,1$	$71,9 \pm 0,1$
животные с саркомой 45	опухоль	$1,54 \pm 0,02$	$7,4 \pm 0,2$	$70,8 \pm 0,2$
введен доксорубин	опухоль	$0,54 \pm 0,02$	$6,7 \pm 0,1$	$74,3 \pm 0,2$
введен доксорубин в комбинации с диазепамом	опухоль	$1,36 \pm 0,02$	$6,8 \pm 0,1$	$72,1 \pm 0,1$
введен доксорубин в комбинации с соединением 346	опухоль	$1,23 \pm 0,02$	$7,8 \pm 0,1$	$72,4 \pm 0,2$

* Интервал плавления определяется как разность температур в точках изменения оптической плотности раствора ДНК от 17 до 83%.

При совместном применении доксорубина с диазепамом степень метилирования ДНК-2 понижается, достигая 1,23 моль%, приближаясь к соот-

ветствующему значению для ДНК-1 – 1,05 моль%. Отметим, что заметные различия в содержании других азотистых оснований не обнаружены.

Подавление уровня метилирования в ДНК опухолевой ткани при комплексном лечении животных можно объяснить, во-первых, энзиматическим деметилированием остатков m^5C под действием изучаемых соединений, во-вторых, глубоким торможением синтеза ДНК из-за внедрения антибиотика между основаниями двойной спирали ДНК, что приводит к блокированию ДНК-матрицы и препятствует нормальному функционированию ферментов, в частности ДНК-метилаз.

Полученные результаты по метилированию коррелируют со спектрофотометрическими данными (см. табл. и рис.). Как уже отмечалось в работах [8, 9], параметры плавления ДНК, выделенных из тканей здоровых животных, отличаются от таковых опухолевых ДНК: с уменьшением T_m , как следует из таблицы, увеличивается ΔT . Под действием доксорубина в сочетании с diazepamом и соединением 346 значения T_m и ΔT ДНК-2 меняются и приближаются к соответствующим показателям ДНК-1. Из данных таблицы следует, что характер изменения параметров плавления под действием указанных препаратов также указывает на предпочтительность применения доксорубина с антистрессовыми препаратами.

Проанализируем ДКП, приведенные на рисунке. Под действием доксорубина в сочетании с антистрессовыми препаратами почти исчезают характерные для ДНК-2 низкотемпературные пики в области 54–62°C, и ДКП ДНК-2 по виду приближается к таковой для ДНК-1, однако все еще остается смещенной в сторону низких температур по сравнению с кривой ДНК-1.

Таким образом, можно предположить, что при лечении доксорубином в сочетании с антистрессовыми препаратами деметилирование ДНК опухолевой ткани, которое достигается ферментативным механизмом, способно индуцировать дифференцировку клеток, поскольку обеспечивает устойчивое изменение локальной структуры гена [13].

Результаты биохимических исследований коррелируют с противоопухолевой активностью исследуемых соединений. При совместном применении доксорубина с diazepamом, а также доксорубина с соединением 346 (половина суммарной дозы антибиотика – 4 инъекции) можно сохранить терапевтическую эффективность доксорубина (47–48% при совместном применении и 51% – только при антибиотике), при этом значительно снижается общетоксическое действие антибиотика ($K_p = -5,6 \div -6,2$; $K_p = -20,4$ соответственно).

Следовательно, в результате деметилирования ДНК опухолевых клеток и частичного восстановления некоторых структурных характеристик этих ДНК при совместном применении diazepamа и соединения 346 с доксорубином удалось увеличить противоопухолевую эффективность антибиотика (при использовании половины общей дозы) и уменьшить токсический эффект изучаемого препарата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fox B.H. – Psychosom. Oncol., 1983, v. 1, № 1, p. 17–33.
2. Simonton O.C., Simonton S.M. – Med. J. Aust., 1981, № 1, p. 679–683.
3. Funch D.P., Marshall J.J. – Psychosom. Res., 1983, v. 27, № 1, p. 77–83.
4. Шапог В.С., Шелепов В.П. – Арх. патологии, 1983, т. 45, № 8, с. 3–12.
5. Гарибджанян Б.Т., Суджян А.В. В кн.: Рак и метаболизм. Ер.: изд-во Гитутюн, 1998, с. 154.
6. Чернов В.А. Методы экспериментальной химиотерапии. М.: Медицина, 1971, с. 357–403.
7. Vanyushin B.F., Masin A.H., Vasiliev V.K. et al. – Biochim. Biophys. Acta, 1983, v. 299, p. 397.
8. Бабаян Ю.С., Вардеванян П.О., Гарибян Д.В., Арутюнян С.Г., Асланян В.В. – Биофизика, 1984, т. 29, с. 313–314.
9. Babayan Yu.S., Garibian J.V. – Biofizika, 1990, v. 35, p. 592–596.
10. Ванюшин Б.Ф., Башките Е.А., Фридрих А.Л., Хвойка Л.А. – Биохимия, 1981, т. 46, № 1, с. 47–54.
11. Waring M.J. – Ann. Rev. Biochem., 1981, v. 50, p. 159.
12. Жижина Г.П., Когарко И.Н., Троицкая Т.П., Виноградова Ю.Е. – Эксперим. онкология, 1989, № 5, с. 54–56.
13. Rasin Aharon, Szuf Moshe, Kafri Tal et al. – PNAS USA., 1986, v. 83, №9, p. 2827–2831.

Լ. Է. ՆԵՐՍԻՍՅԱՆ, Զ. Վ. ԴԱՐԻԲՅԱՆ, Գ. Մ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ, Ա. Գ. ՄԱՐԿԱՐՅԱՆ,
Ա. Ա. ՕԳԱՆԵՍՅԱՆ, Ա. Պ. ԱՆՏՈՆՅԱՆ, Մ. Ա. ՓԱՐՍԱԴԱՆՅԱՆ, ՅՈՒ. Ս. ԲԱԲԱՅԱՆ

ՄԱՐԿՈՍԱ 45-ի ԴՆԹ-ի ԿԱՌՈՒՅՎԱԾՔԻ ՎՐԱ ՀԱԿԱՌՈՒՈՒՅՔԱՅԻՆ
ՀԱԿԱՐԻՈՏԻԿ ԴՈՔՍՈՈՒՈՒԲԻՅԻՆԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ
ՀԱԿԱՍԹՐԵՍԱՅԻՆ ՄԻԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԵՏ ՀԱՄԱՏԵՂ

Ամփոփում

Ցույց է տրված, որ հակառուցքային միացություն դոքսոռուբիցինի և հակասթրեսային միացություններ դիազեպամ և 346 պրեպարատների համատեղ ազդեցության դեպքում ուռուցքային ԴՆԹ-ի որոշ բնութագրերը (5-մեթիլցիտոզինի պարունակությունը, հալման ջերմաստիճանը և միջակայքը) ավելի մոտ են առողջ կենդանիների լյարդից անջատված ստուգիչ ԴՆԹ-ի համապատասխան բնութագրերին, քան միայն դոքսոռուբիցինով ազդելիս:

L. E. NERSISYAN, G. V. GARIBYAN, G. M. STEPANYAN, A. G. MARKARYAN,
A. A. OGANESSYAN, A. P. ANTONYAN, M. A. PARSADANYAN, Yu. S. BABAYAN

INFLUENCE OF ANTITUMOR ANTIBIOTIC DOXORUBICINE WITH
ANTISTRESSFUL PREPARATIONS ON DNA STRUCTURE
OF SARCOMA 45

Summary

It has been shown that under influence of antitumor antibiotic doxorubicine in combination with antistressful preparations (diazepam, preparation-346) some characteristics of tumor DNA (5-methylcytosine, temperature and interval of melting) approximate to appropriate characteristics of DNA of control rats more closely than only under doxorubicine influence.

Կենսաբանություն

УДК 577.1.05

Մ. Ա. ԴԱՎԹՅԱՆ, Ս. Ա. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ա. Հ. ԹԱՄՐԱԶՅԱՆ, Լ. Հ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

PARAMECIUM MULTIMICRONUCLEATUM ԻՆՖՈՒԶՈՐԻԱՆԵՐԻ ԵՎ
CANDIDA GUILLIERMONDII ԻՄ-4 ԽՍՈՐԱՄԱՆԿԵՐԻ ՄԻՏՈՔՈՆՆԻՐԻՈՒ-
ՄԱՅԻՆ ՖԲԱԿՑԻԱՅԻ ԳԼՅՈՒՏԱՄԻՆԱԶԻ ԱԿՏԻՎՈՒԹՅԱՆ
ԿԱՐԳԱՎՈՐՈՒՄԸ

Գլյուտամինը պրոտեինոգեն ամինաթթու է, որը գտնվում է բոլոր սպիտակուցներում: Այն մեծ քանակությամբ պարունակվում է նաև ազատ ձևով կենդանի հյուսվածքներում և այլ ամիդների հետ միասին կարևորագույն դեր է խաղում օրգանիզմների նյութափոխանակության կարգավորման գործում: Գլյուտամինը իրականացնում է ամոնիակի չեզոքացումն ու տեղափոխումը, մասնակցում է մի շարք կարևոր կենսաբանական միացությունների սինթեզին, նպաստում է թթվա-հիմնային հավասարակշռության պահպանմանը, լրացուցիչ էներգետիկ աղբյուր է հանդիսանում մի շարք օրգանիզմների համար և այլն [1-3]: Գլյուտամինի մակարդակը օրգանիզմում պահպանվում է գլյուտամինսինթետազի և գլյուտամինազի գործունեությամբ: Գլյուտամինազը հյուսվածքներում և բջիջներում հանդես է գալիս որպես ալոստերիկ կարգավորվող ֆերմենտ, որը ներկայացված է առնվազն երկու իզոֆերմենտների ձևով՝ ֆոսֆատ-կախյալ (ՖԿԳ) և ֆոսֆատ-անկախ (ՖԱԳ): Իզոֆերմենտները տարբերվում են մինյանցից լոկալիզացիայով, կատարած ֆունկցիաներով, ֆիզիկաքիմիական հատկություններով և կարգավորման մեխանիզմներով [4-8]:

Ներկայացված աշխատանքում ուսումնասիրվել է *Paramecium multimicronucleatum* ինֆուզորիաների և *Candida guilliermondii* ԻՄ-4 խմորասնկերի բջիջների միտոքոնդրիումային գլյուտամինազի վրա մի շարք հայտնի էֆեկտորների ազդեցությունը:

Հետազոտման մեթոդները: Հետազոտման օբյեկտ են հանդիսացել 1. *Candida guilliermondii* ԻՄ-4 խմորասնկային բջիջները, որոնք աճեցվել են Վիկերիամի հեղուկ սննդամիջավայրում [9]՝ ձևափոխված Մակարովայի կոդմից [10], 2. ազատ ապրող աերոբ *Paramecium multimicronucleatum*

ինֆուզորիաները: Գետի ջրից առանձնացված մեկ ինֆուզորիայից ստացված կուլտուրան ստերիլ պայմաններում աճեցվել է Սոնեբորնի սննդամիջավայրում [11]: Հոմոգենացումը կատարվել է ապակյա հոմոգենատորում 4°C ջերմաստիճանի պայմաններում 3 րոպե տևողությամբ: Հոմոգենատների չափազատումը կատարվել է Բրինի և Ֆոքսի մեթոդով [12] $0,25\text{U}$ սախարոզի գրադիենտային լուծույթում ԱՊՐ-9 մակնիշի ցենտրիֆուգով: Կորիզային ֆրակցիան անջատվել է հոմոգենատը 700g -ով 10 րոպե ցենտրիֆուգելով: Վերնստվածքից 10000g -ով 25 րոպե ցենտրիֆուգելով առանձնացվում է միտոքոնդրիալ ֆրակցիան, որի մաքրման նպատակով կատարվել է վերահոմոգենացում և կրկնակի ցենտրիֆուգում: Միտոքոնդրիումները ջարդելու նպատակով ստացված զանգվածը հալեցվել և սառեցվել է մեկ անգամ: Գլյուտամինազային ակտիվությունը որոշվել է ըստ ինկուբացիոն միջավայրում գլյուտամինի հիդրոլիզից առաջացած ամոնիակի քանակի: Ինկուբացիոն միջավայրը պարունակել է $1,5\text{մլ}$ տրիս-HCL բուֆեր ($\text{pH} - 8,0$), $0,5\text{մլ}$ -ում 50մկմոլ գլյուտամինի լուծույթ և $0,5\text{մլ}$ հետազոտվող մուշ: Ինկուբացիան կատարվել է 37°C ջերմաստիճանի պայմաններում 1 ժամ: Ամոնիակը որոշվել է ըստ Ջեյնգսոնի մեթոդի [13]՝ ձևափոխված Սիլակոլայի և աշխատակիցների կողմից [14]:

Արդյունքները և քննարկումը: Հայտնի է, որ կենդանական հյուսվածքներից և միկրոօրգանիզմներից անջատված գլյուտամինազները խիստ տարբերվում են միմյանցից ինչպես կառուցվածքով և ֆիզիկաքիմիական հատկություններով, այնպես էլ ֆերմենտի ակտիվության կարգավորման մեխանիզմներով: Սակայն գոյություն ունեն որոշ բակտերիալ գլյուտամինազներ, որոնք ցուցաբերում են կենդանական ծագում ունեցող ֆերմենտի հատկություններ [15]: ՖԿԳ և ՖԱԳ կարգավորումը բարդ պրոցես է, որը պայմանավորված է գլյուտամինի որոշակի մակարդակի առկայությամբ և ֆերմենտի ակտիվության վրա ազդող մի շարք էֆեկտորների ազդեցությամբ: Պետք է նշել, որ հետազոտվող օբյեկտների վերաբերյալ նման հետազոտությունները գրականության մեջ բացակայում են:

Նախկինում կատարված մեր հետազոտությունները ցույց են տվել, որ *Paramecium multimicronucleatum* ինֆուզորիաների և *Candida quilliermondii* ՀՊ-4 խմորասնկերի հոմոգենատներում տեղի է ունենում գլյուտամինի հիդրոլիզ: Պարզվել է, որ երկու կուլտուրաների գլյուտամինազները ֆոսֆատ-կախյալ են և նրանց ակտիվության հիմնական մասը (75%) կենտրոնացված է միտոքոնդրիալ ֆրակցիայում [16]:

Ներկայացված աշխատանքում որպես էֆեկտորներ են օգտագործվել որոշ ամինաթթուներ, անօրգանական միացություններ, նուկլեոտիդներ և մի շարք հորմոններ: Հիմնվելով գրականության հարուստ տվյալների վրա՝ կատարել ենք հետազոտություններ պարզելու համար որոշ ամինաթթուների ազդեցությունը ինֆուզորիաների և խմորասնկերի ֆերմենտների վրա: Ստացված տվյալները ներկայացված են աղ. 1-ում:

Ինչպես երևում է աղյուսակից, խմորասնկերի և ինֆուզորիաների միտոքոնդրիալ ֆրակցիայի գլյուտամինազները որոշ չափով տարբերվում են միմյանցից ամինաթթուների նկատմամբ ունեցած զգայնությամբ: Պետք է նշել, որ ինկուբացիոն խառնուրդին ամինաթթուներն ավելացվել

են նույն քանակով, ինչ և սուբստրատը՝ 50մկմոլ 0,5մլ-ում: Գլյուտամատը հանդես է գալիս որպես ինհիբիտոր և՛ խմորասնկերի (28%), և՛ ինֆուզորիաների (49%) գլյուտամինազների համար: Նմանատիպ ազդեցություն է թողնում նաև ասպարտատը, ընկճելով խմորասնկերի գլյուտամինազը 19,9%-ով, ինֆուզիորաները՝ 43%-ով: Սա կարելի է բացատրել գլյուտամատի և ասպարտատի նման կառուցվածքով, որը թույլ է տալիս նրանց, հավանաբար, մրցակցային մեխանիզմով ազդել նույն ակտիվ կենտրոնների վրա: Մեթիոնինը, գլիցինը, հիստիդինը և N-ացետիլտրիպտոֆանը միտոքոնոդրիալ գլյուտամինազի վրա թողել են խթանիչ ազդեցություն, որը խմորասնկերի դեպքում կազմել է 88, 40, 88 և 87%, իսկ ինֆուզորիաների դեպքում՝ 19, 14, 8 և 63% համապատասխանաբար:

Աղյուսակ 1

Ամինաթթուների ազդեցությունը *Paramecium multimicronucleatum* ինֆուզորիաների և *Candida guilliermondii* HП-4 խմորասնկերի միտոքոնոդրիումային գլյուտամինազի վրա (n=7)

Էֆեկտոր	<i>Candida guilliermondii</i> HП-4 խմորասնկեր			<i>Paramecium multimicronucleatum</i> ինֆուզորիաներ		
	գլյուտամինազային ակտիվությունը, մկմոլ ամոնիակ 1գ կենսազանգվածում	գլյուտամինազային ակտիվությունը, %	ակտիվացում (+), ընկճում (-), %	գլյուտամինազային ակտիվությունը, մկմոլ ամոնիակ 1գ կենսազանգվածում	գլյուտամինազային ակտիվությունը, %	ակտիվացում (+), ընկճում (-), %
առանց էֆեկտորի	4,92 ± 0,60	100,0	-	54,08 ± 1,71	100,0	-
ասպարտատ	3,94 ± 0,54	80,1	-19,9	31,24 ± 3,20	57,0	-43,0
գլյուտամատ	3,54 ± 0,43	72,0	-28,0	27,95 ± 1,98	51,0	-49,0
մեթիոնին	9,24 ± 0,56	188,0	+88,0	65,21 ± 3,60	119,0	+19,0
գլիցին	6,90 ± 1,36	140,0	+40,0	62,47 ± 1,10	114,0	+14,0
հիստիդին	9,24 ± 1,09	188,0	+88,0	59,18 ± 1,10	108,0	+8,0
N-ացետիլտրիպտոֆան	9,20 ± 1,04	187,0	+87,0	89,32 ± 3,78	163,0	+63,0
արգինին	4,18 ± 0,50	85,1	-14,9	28,17 ± 2,05	51,4	-48,6
ցիտրուլին	8,22 ± 1,0	167,0	+67,0	33,15 ± 1,26	60,5	-39,5
օրնիտին	9,02 ± 1,37	183,3	+83,3	33,15 ± 2,73	60,5	-39,5
ֆ-ալանին	9,0 ± 1,21	183,0	+83,0	54,80 ± 4,84	100,0	-

Արգինինը ընկճում է հետազոտվող երկու օբյեկտների միտոքոնոդրիումային գլյուտամինազները, ընդ որում ինֆուզորիաների դեպքում այն կազմում է 48,6%, իսկ խմորասնկերի՝ 14,9%: Ցիտրուլինը, օրնիտինը և ֆենիլալանինը խթանիչ ազդեցություն են թողնում խմորասնկերի միտոքոնոդրիալ ֆերմենտի վրա, ակտիվացումը համապատասխանաբար կազմում է 67, 83,3 և 83%: Ինֆուզորիաների միտոքոնոդրիալ գլյուտամինազի վրա նըշված ամինաթթուների թողած ազդեցությունը այլ է՝ ցիտրուլինը և օրնիտինը ընկճում են վերջինիս 39,5%-ով, իսկ ֆենիլալանինը ոչ մի ազդեցություն չի գործում: Ինչպես երևում է, վերը նշված ամինաթթուների դերը գլյուտամինազի կարգավորման հարցում անօխտելի է:

Հայտնի է, որ ֆոսֆատը, բիկարբոնատը, նուկլեոտիդները խթանում են գլյուտամինազային ակտիվությունը [17]: Հաշվի առնելով այս փաստերը՝ ուսումնասիրել ենք ֆոսֆատի, բիկարբոնատի տարբեր կոնցենտրացիաների, պարաCl-մերկուրիբենզոլաթթվի, ինչպես նաև ադենոզինեոֆոսֆատի (ԱԵՖ) և գուանոզինեոֆոսֆատի (ԳԵՖ) ազդեցությունը *Paramecium multimicronucleatum* ինֆուզորիաների և *Candida guilliermondii* ՀՈՒ-4 խմորասնկերի բջիջների միտոքոնդրիումային ֆրակցիայի գլյուտամինազի վրա: Ստացված տվյալները ներկայացված են աղ. 2-ում:

Աղյուսակ 2

Ֆոսֆատի, բիկարբոնատի տարբեր կոնցենտրացիաների, պCl-մերկուրիբենզոլաթթվի, ԱԵՖ-ի և ԳԵՖ-ի ազդեցությունը Paramecium multimicronucleatum ինֆուզորիաների և Candida guilliermondii ՀՈՒ-4 խմորասնկերի բջիջների միտոքոնդրիալ ֆրակցիայի գլյուտամինազի վրա (տրիս-HCl բուֆեր, n=7)

Էֆեկտոր	<i>Candida guilliermondii</i> ՀՈՒ-4 խմորասնկեր			<i>Paramecium multimicronucleatum</i> ինֆուզորիաներ		
	գլյուտամինազային ակտիվությունը, մկմոլ ամոնիակ 1գ կենսազանգվածում	գլյուտամինազային ակտիվությունը, %	ակտիվացում (+), ընկճում (-), %	գլյուտամինազային ակտիվությունը, մկմոլ ամոնիակ 1գ կենսազանգվածում	գլյուտամինազային ակտիվությունը, %	ակտիվացում (+), ընկճում (-), %
առանց էֆեկտորի	4,92 ± 0,60	100,0	-	54,80 ± 1,71	100	-
ֆոսֆատ, 2,5 · 10 ⁻⁴ Մ	11,22 ± 1,70	228,0	+128	91,52 ± 7,23	167	+67
բիկարբոնատ 10 մկՄ	7,87 ± 1,70	160,0	+60	54,80 ± 1,25	100	-
բիկարբոնատ, 30 մկՄ	10,43 ± 1,09	212,0	+112	76,17 ± 3,65	139	+39
բիկարբոնատ, 60 մկՄ	14,96 ± 1,41	304,0	+204	89,32 ± 4,15	163	+63
պCl-մերկուրիբենզոլաթթու, 2,5 · 10 ⁻⁵ Մ	7,30 ± 0,80	149,8	+49,8	63,20 ± 1,75	115	+15
ԱԵՖ, 2 մկՄ	10,43 ± 0,78	212,0	+112	89,32 ± 1,35	163	+63
ԳԵՖ, 2 մկՄ	10,43 ± 0,69	212,0	+112	76,17 ± 1,26	139	+39

Ինչպես երևում է ստացված տվյալներից, ֆոսֆատի 2,5 · 10⁻⁴ Մ կոնցենտրացիայի դեպքում խմորասնկերի միտոքոնդրիալ ֆրակցիայի գլյուտամինազի ակտիվությունը աճում է 2,3 անգամ, իսկ ինֆուզորիաներինը՝ 1,7 անգամ: Այս փաստը հիմք է տալիս ենթադրելու, որ խմորասնկերի և ինֆուզորիաների միտոքոնդրիալ ֆրակցիայի գլյուտամինազը ֆոսֆատ-կախյալ է կամ, հնարավոր է, այստեղ հանդես եկող գլյուտամինազի իզոֆերմենտներից առնվազն մեկը ֆոսֆատ-կախյալ է: Բիկարբոնատի տարբեր կոնցենտրացիաների ազդեցության ներքո նկատվում է խմորասնկերի միտոքոնդրիալ ֆրակցիայի գլյուտամինազի ակտիվության զգալի աճ, ընդ որում խմորասնկային գլյուտամինազը առավել զգայուն է բիկարբոնատի նկատմամբ, քան ինֆուզորիաների ֆերմենտը:

Բիկարբոնատի $10մկՄ$ կոնցենտրացիան չի ազդում ինֆուզորիաների միտոքոնդրիալ գլյուտամինազի վրա, մինչդեռ ակտիվացնում է խմորասնկային գլյուտամինազը 60%-ով: Ավելի բարձր կոնցենտրացիաները (30 և 60մկՄ) ակտիվացնում են խմորասնկերի գլյուտամինազները համապատասխանաբար 112 և 204%-ով, իսկ ինֆուզորիաներինը 39 և 63%-ով: Առավել ուշագրավ է, որ պարաՈ-մերկուրիբենզոլաթթվի $2,5 \cdot 10^{-5}$ Մ կոնցենտրացիան և՛ խմորասնկային, և՛ ինֆուզորիալ միտոքոնդրիումների գլյուտամինազների վրա, հակառակ գրականության տվյալների [5, 6], թողնում է խթանիչ ազդեցություն: Խմորասնկերի դեպքում գլյուտամինազի ակտիվությունը աճում է 49,8%-ով, իսկ ինֆուզորիաների դեպքում՝ 15%-ով: Այս փաստը, հավանաբար, կարելի է բացատրել նրանով, որ երկու գլյուտամինազների ակտիվ կենտրոններում չկան SH-խմբեր: Հնարավոր է, որ ակտիվ կենտրոնից դուրս գտնվող SH-խմբերի հետ պարաՈ-մերկուրիբենզոլաթթվի միացման արդյունքում տեղի են ունենում այնպիսի կոնֆորմացիոն փոփոխություններ, որոնք հանգեցնում են սուբստրատի նկատմամբ խնամակցության մեծացման: ԱԵՖ-ը և ԳԵՖ-ը և՛ ինֆուզորիաների, և՛ խմորասնկերի հետազոտվող միտոքոնդրիալ գլյուտամինազների վրա թողնում են խթանիչ ազդեցություն: Նրանց $2մկՄ$ կոնցենտրացիաները ակտիվացնում են խմորասնկերի գլյուտամինազը 112%-ով, իսկ ինֆուզորիաներինը՝ 63 և 39%-ով համապատասխանաբար:

Աղյուսակ 3

Հորմոնների ազդեցությունը *Paramecium multimicronucleatum* ինֆուզորիաների և *Candida guilliermondii* HII-4 խմորասնկերի բջիջների միտոքոնդրիալ ֆրակցիայի գլյուտամինազի վրա (տրիս-HCl բուֆեր, $n=7$)

Էֆեկտոր	<i>Candida guilliermondii</i> HII-4 խմորասնկեր			<i>Paramecium multimicronucleatum</i> ինֆուզորիաներ		
	գլյուտամինազային ակտիվությունը, մկմոլ ամոնիակ 1գ կենսազանգվածում	գլյուտամինազային ակտիվությունը, %	ակտիվացում (+), ընկճում (-), %	գլյուտամինազային ակտիվությունը, մկմոլ ամոնիակ 1գ կենսազանգվածում	գլյուտամինազային ակտիվությունը, %	ակտիվացում (+), ընկճում (-), %
առանց էֆեկտորի	4,92 ± 0,60	100,0	-	54,80 ± 1,70	100	-
թիրոսին, 0,1 մկՄ	10,82 ± 1,30	220,0	+120,0	96,45 ± 2,90	176	+76
հիդրոկորտիզոն, 10 մկՄ	8,76 ± 1,30	178,0	+78,0	65,76 ± 3,60	120	+20
դեքսամետազոն, 5 մկՄ	3,84 ± 0,25	78,0	-22,0	89,32 ± 7,09	163	+63
ադրենալին, 10 մկՄ	6,57 ± 0,50	133,5	+33,5	83,84 ± 1,60	153	+53
սերոտոնին, 10 մկՄ	3,29 ± 0,29	66,8	-43,2	62,47 ± 2,70	114	+14

Հայտնի է, որ օրգանիզմում ընթացող պրոցեսների կարգավորման խնդրում հորմոնների դերը շատ մեծ է: Բազմաթիվ գիտնականների կողմից ցույց է տրվել թիրոսինի, ինսուլինի, գլյուկազոնի, դեքսամետազոնի,

աղբենալինի, վազոպրեսինի, անգիոտենզին II-ի խթանիչ ազդեցությունները տարբեր հյուսվածքների գլյուտամինազների ակտիվության վրա [18, 19]: Ելնելով վերը նշվածից՝ հետազոտել ենք թիրոսինի, դեքսամետազոնի, հիդրոկորտիզոնի, աղբենալինի և սերոտոնինի ազդեցությունը *Candida guilliermondii* НП-4 խմորասնկերի և *Paramecium multimicro-nucleatum* ինֆուզորիաների միտոքոնդրիալ գլյուտամինազների վրա: Ստացված տվյալները ներկայացված են աղ. 3-ում:

Ինչպես երևում է աղ. 3-ից, 0,1մկՄ կոնցենտրացիայով թիրոսինը խմորասնկերի և ինֆուզորիաների միտոքոնդրիալ գլյուտամինազների համար հանդիսանում է բավական ուժեղ խթանիչ: Խմորասնկերի միտոքոնդրիալ ֆրակցիայի վրա վերջինիս ազդեցության տակ գլյուտամինազը ակտիվանում է 120%-ով, իսկ ինֆուզորիաների դեպքում՝ 76%-ով: 10մկՄ կոնցենտրացիայով հիդրոկորտիզոնը խթանում է խմորասնկային գլյուտամինազը 78%-ով, ինֆուզորիաների դեպքում՝ 20%-ով: Դեքսամետազոնը տարբեր կերպ է ազդում հետազոտվող օբյեկտների միտոքոնդրիալ գլյուտամինազների վրա: Վերջինիս 5մկՄ կոնցենտրացիան ընկճում է խմորասնկային գլյուտամինազը 22%-ով: Ինֆուզորիաների միտոքոնդրիալ գլյուտամինազը խթանվում է 63%-ով: Աղբենալինը խթանիչ ազդեցություն է թողնում խմորասնկերի և ինֆուզորիաների գլյուտամինազների վրա, որի 10մկՄ քանակությունը խթանում է խմորասնկային ֆերմենտը 33,5%, իսկ ինֆուզորիաներինը՝ 53%-ով: Սերոտոնինը (դեքսամետազոնի նման) տարբեր ազդեցություն է գործում հետազոտվող երկու գլյուտամինազների վրա: Նրա 10մկՄ կոնցենտրացիան ընկճում է խմորասնկային ֆերմենտը 43,2%-ով, իսկ ինֆուզորիաների գլյուտամինազը խթանում է 14%-ով:

Կենսաբանական ամբիոն

Ստացվել է 13.11.2003

Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

1. Диксон, Уэбб. Ферменты. М.: Мир, 1966, 816 с.
2. Chiu Y.F., Boeker E.A. – Arch. Biochem. Biophys., 1979, v. 196, p. 493–500.
3. Welbourne T.C., Nissim I. – *AyP-Cell Physiology*, 2001, v. 208, p. 1151–1159.
4. Curthoys N.P., Wadford M. – *Annu. Rev. Nutr.*, 1995, v. 15, p. 133–159.
5. Duran S. – *Biochem. Genet.*, 1996, v. 34, p. 453–465.
6. Krivasikova Z., Sputsova A., Dzurik R. – *Physiol. Res.*, 1998, v. 47, p. 177–183.
7. Roberg B., Torgner I., Laakey A., Takumay D. – *Am. J. Physiol.*, 2000, № 3, p. 273.
8. Szweda L.I., Atkinson D.E. – *J. Biol. Chem.*, 1990, v. 265, p. 15357–15360.
9. Wikerham L.Y. – *US Dept. Agr. Techich. Bull.*, 1951, p. 1029.
10. Макарова Е.С. Влияние источников азота и витаминов на синтез биомассы и состав аминокислот у дрожжей рода *Candida*: Автореф. дисс. на соискание уч. ст. канд. биол. наук. Ер., 1963.
11. Soneborn T.M. – *Methods in cell physiology*. 1970, № 4, p. 123.
12. Birnie G.D., Fox S.M. Butter Worth. London, 1969.
13. Zelingson D., Zelingson H. – *J. Lab. Clin. Med.*, 1951, v. 38, p. 324.
14. Силакова А.Н., Труш Г.П., Явилякова А.А. – *Вопросы мед. химии*, 1962, т. 5, с. 538.
15. Campbell H.A., Mushburn L.T. – *Biochemistry*, 1969, № 8, p. 3768.
16. Թամրազյան Ա.Հ., Կարապետյան Ս.Ա., Դավթյան Մ.Ա. – (ավանդ.) ՀայԳՏԼԳՀԻ, 2002, № 1, էջ 8:

17. McDivan I.P., Dogle P.S. – Biochem. J., 1991, v. 266, p. 265–270.
18. Оганесян В.С. – ДАН Арм. ССР, 1969, т. 48, с. 71.
19. Corvera S. – Biochemical J., 1983, v. 210, с. 957–960.

М. А. ДАВТЯН, С. А. КАРАПЕТЯН, А. А. ТАМРАЗЯН, Л. А. ПЕТРОСЯН

РЕГУЛЯЦИЯ АКТИВНОСТИ МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ГЛЮТАМИНАЗЫ У ИНФУЗОРИЙ *PARAMECIUM MULTIMICRONUCLEATUM* И ДРОЖЖЕЙ *CANDIDA GUILLIERMONDII* НП-4

Резюме

Исследована регуляция активности глутаминазы митохондриальной фракции дрожжей *Candida guilliermondii* НП-4 и инфузорий *Paramecium multimicronucleatum*. Показано, что фосфат, бикарбонат, АТФ и ГТФ активируют митохондриальный фермент изученных объектов. Активирующий эффект оказывают также метионин, глицин, гистидин, N-ацетилтриптофан. Глютамат и аспартат ингибируют глутаминазную активность как дрожжей, так и инфузорий. Выяснилось, что тироксин, адреналин и гидрокортизон оказывают стимулирующее влияние на митохондриальную глутаминазу дрожжей и инфузорий. Серотонин и дексаметазон активируют глутаминазу инфузорий, но подавляют активность фермента дрожжей.

M. A. DAVTIAN, S. A. KARAPETIAN, A. H. TAMRAZIAN, L. H. PETROSIAN

REGULATION OF MITOCHONDRIAL GLUTAMINASE ACTIVITY IN *PARAMECIUM MULTIMICRONUCLEATUM* AND YEASTS *CANDIDA GUILLIERMONDII* НП-4

Summary

The activity of enzyme glutaminase has been investigated in the mitochondrial fraction of yeasts *Candida guilliermondii* and parameciums *Paramecium multimicronucleatum*. The investigations show that phosphate, bicarbonate, ATP and GTP positively can increase the activity of mitochondrial enzymes of both objects. Activating effect have some aminoacids as glicine, methionine, histidine and N-acetil triptofhane. The glutamic and aspartic acids decrease the glutaminase activity of both objects. It is also shown the modulating effect of different hormones on mitochondrial glutaminase of yeasts and parameciums as tiroxine, adrenaline, hidro cortizone. Serotonin and dexametazone show different effects on yeasts and parameciums. Both of them positively regulate the parameciums mitochondrial glutaminase, while inhibiting the yeasts glutaminase.

Կենսաբանություն

УДК 616.088.61

Ն. Ն. ԶՍԱԶԻԿՅԱՆ

**ՄԻՋԻՆ ԴՊՐՈՑՈՒՄ ՍՈՎՈՐՈՂ ԴԵՌԱՀԱՍՆԵՐԻ ՍՐՏԻ ՌԻԹՄԻ
ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԶՆՆՈՒԹՅԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ**

Ներածություն: Երեխաների նյարդային համակարգի բնածին տիպային առանձնահատկությունները բնորոշվում են հոգեֆիզիոլոգիական մի շարք ցուցանիշներով, որոնք ժամանակավորապես իրենց արտահայտումն են գտնում հանրակրթական դպրոցների աշակերտների շարժողական և ուսումնական գործունեության, զգայական և մտավոր ունակությունները բնութագրող պարամետրերում [1, 2]:

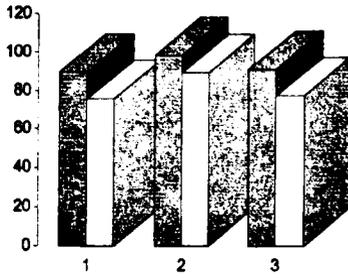
Նոր տիպի ուսումնական հաստատություններում (վարժարան, ճեմարան) նկատվում է գունարային ծանրաբեռնվածության ավելացում, ուսումնական գործընթացի ինտենսիֆիկացում, անբավարար շարժողական ակտիվություն, հոգեհուզական սթրեսների առկայություն: Դրա հետ կապված հատկապես վերջին տասնամյակում դիտվում է աշակերտների առողջական վիճակի վատացում, որն առավել արտահայտվում է սթրեսային իրավիճակներում [3–5]: Քննությունը կարելի է դիտարկել իբրև մի մոդել, որը ներառում է ինչպես մտավոր, այնպես էլ սթրեսային բաղադրամասեր: Քննական և, ընդհանրապես, օրգանիզմի հարմարվողական մեխանիզմների վերակառուցում պահանջող ցանկացած իրավիճակում նկատվում է սթրեսի ֆիզիոլոգիական, վեգետատիվ, մարմնական և հոգեբանական արտահայտությունների մի ամբողջ շղթա: Դրանք նպաստում են օրգանիզմի հոմեոստատիկ համակարգի տոնիկ լարվածությանը, առաջացնում ներ- և միջհամակարգային փոխհարաբերությունների ներդաշնակության խանգարում, դառնում սիրտ-անոթային շեղումների ծագման ու վեգետատիվ դիսֆունկցիաների ձևավորման պատճառ [6, 7]: Այս առումով առանձնահատուկ ուշադրության են արժանանում միջին դպրոցում սովորողները՝ կապված դեռահաս տարիքում օրգանիզմի հարմարվողականության ցածր մակարդակի հետ: Օնտոգենեզի այս անցումային շրջանը մեծ դեր է խաղում տարիքային հաջորդ փուլերում առողջության ձևավորման գործում: Դեռահասների տարիքային հնարավորություններին անհամապատասխան լարվածությունն առաջացնում է աճող օրգանիզմի ձևավորման լուրջ խոչընդոտներ [8, 9]:

Հուլյային սթրեսի նկատմամբ օրգանիզմի ռեակցիայի օբյեկտիվ գնահատման համար այժմեական է դեռահասների սիրտ-անոթային համակարգի հարմարվողական ռեակցիաների, հոգեֆիզիոլոգիական վիճակի և անհատական հնարավորությունների ուսումնասիրումը:

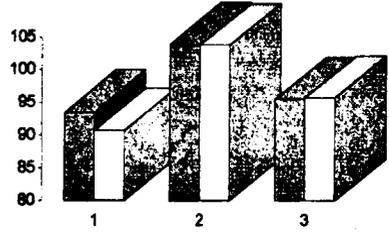
Հետազոտության մեթոդները: Հետազոտվել են Էջմիածին քաղաքի «Ներսիսյան» վարժարանում սովորող և առողջական վիճակի շեղումներ չունեցող V դասարանի 29 աշակերտների (15 տղա և 14 աղջիկ) հեմոդինամիկայի և սրտի գործունեության մակարդակը գնահատող ցուցանիշների փոփոխությունները քննաշրջանի ընթացքում: Բոլոր ցուցանիշների գրանցումները կատարվել են երեք էտապներում. ուսումնական տարվա համեմատաբար հանգիստ օրվա պայմաններ՝ ֆիզիոլոգիական նորմա (ՖՆ), նախաքննական՝ հոգեհուզական լարվածության վիճակ (ՀԼՎ) և քննությունը հանձնելուց անմիջապես հետո՝ կվազինորմայի վիճակ (ԿՎ): Գրանցվել է հետազոտվողների էլեկտրասրտագիրը (ԷՍԳ), հաշվարկվել զարկերակային ճնշման (ԶՃ) բաղադրամասերը (սիստոլային՝ ՍՁՃ, դիաստոլային՝ ԴՁՃ, պոլսային՝ ՊՃ, միջինդինամիկ՝ ՄԴՃ): Ստարրի բանաձևով (տես [10]) դուրս են բերվել այդան սիստոլային և րոպեական ծավալները (ՍԾ, ԱԲԾ): Սրտի ռիթմի վերլուծության համար ԷՍԳ-ի ազդակները նախ փոխանցվել են մագնիտոֆոնի ելքին և գրանցվել ձայնաժապավենին, այնուհետև՝ համակարգչին, ուր ենթարկվել են մաթեմատիկական վերամշակման Բասկուտ պոլսաչափման եղանակով [11]: Մշակված ծրագրով իրականացվել է 100 R-R ժամանակահատվածների ինքնավար գրանցումն ու վերամշակումը սրտահետերվալազրերի կառուցմամբ, որոնք արտացոլում են սրտի հիստոգրաֆիկ մեծությունները՝ մոդ (Mo), մոդի ամպլիտուդ (AMo), վարիացիոն թափ (Δx) և կարգավորման համակարգերի լարվածության ցուցիչ (ԼՑ): Կարգավորման կենտրոնացման աստիճանը գնահատվել է վեգետատիվ նյարդային համակարգի (ՎՆՀ) սիմպաթիկ և պարասիմպաթիկ բաժինների ակտիվության՝ վեգետատիվ հավասարակշռության ցուցիչով (ՎՀՑ): Կարգավորման գործընթացների աղեկավարության ցուցիչով (ԿԳԱՑ) գնահատվել է սրտի ռիթմի ավելցուկային կամ անբավարար լինելը, որն արտացոլում է ՎՆՀ-ի սիմպաթիկ բաժնի ակտիվության և սինուսային հանգույցի գործունեության մակարդակի համապատասխանությունը: Կարգավորման ինքնավար կոնտուրի ակտիվությունը որոշվել է ռիթմի վեգետատիվ ցուցանիշով (ՌՎՑ): Կատարվել են նաև դեռահասների հասակի, քաշի, թոքերի կենսական տարողության (ԹԿՏ) հետազոտություններ: Փորձարարական տվյալների վիճակագրական մշակումը կատարվել է ըստ Ստյուդենտի t չափանիշի:

Արդյունքները և դրանց քննարկումը: Վերոհիշյալ չափումները ցույց են տվել, որ V դասարանում սովորող աղջիկների և տղաների հասակը, քաշը, ԹԿՏ-ն համապատասխանում են տվյալ տարիքի համար ընդունված չափանիշներին [12]: ՖՆ էտապում հեմոդինամիկայի հիմնական ցուցանիշները կախված են եղել սեռից: Տղաների սրտի զարկերը եղել են ավելի դանդաղ, քան աղջիկներինը՝ $75,75 \pm 2,64$ և $89,28 \pm 1,43$ (զ/ր) համապատասխանաբար, $p < 0,001$: Հետազոտվողների ՉՃ մեծությունները

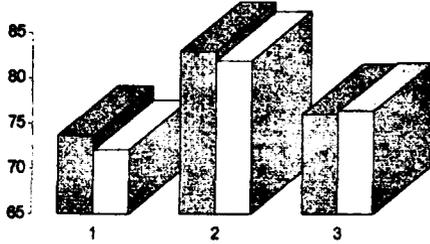
ՄԿՀ, գ/ր



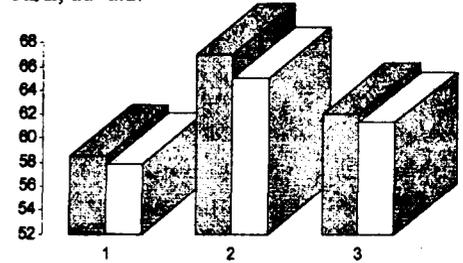
ՄՁՆ, մմ.ս.ս.



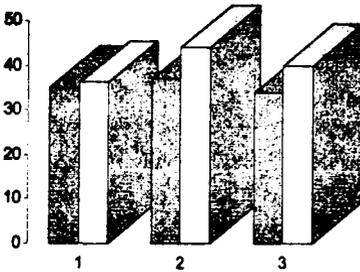
ՄԴՆ, մմ ս.ս.



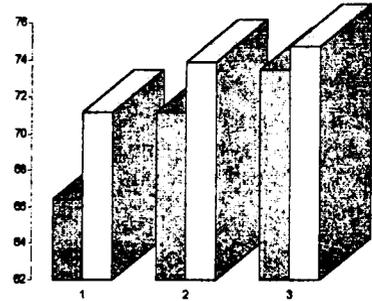
ԴՁՆ, մմ ս.ս.



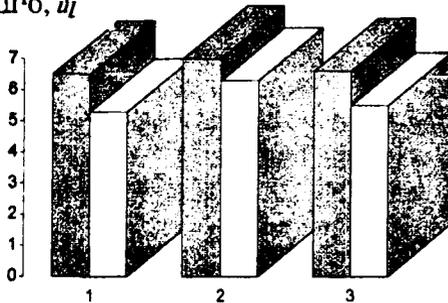
ՊՆ, մմ ս.ս.



ՄԾ, մլ



ԱՐԾ, մլ

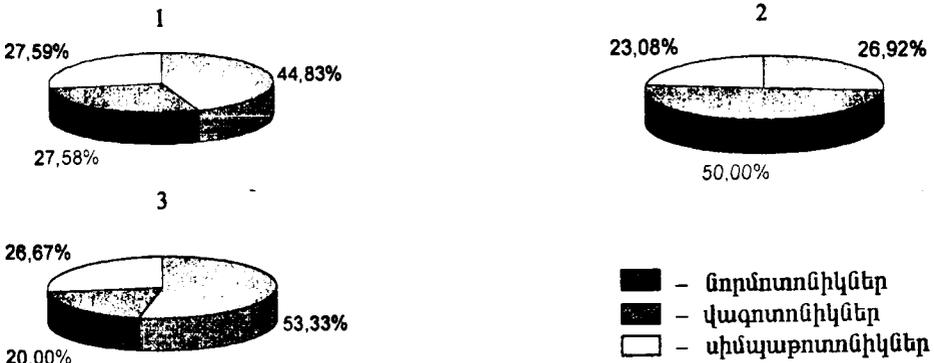


■ – աղջիկներ □ – տղաներ

Նկ. 1: Աշակերտների կարդիոհեմոդինամիկայի ցուցանիշների փոփոխությունները քննաշրջանում:

Նկ. 1 – նկ. 3. 1 – ֆուն, 2 – հոգեհուզական լարվածության վիճակ, 3 – կվազինորմայի վիճակ:

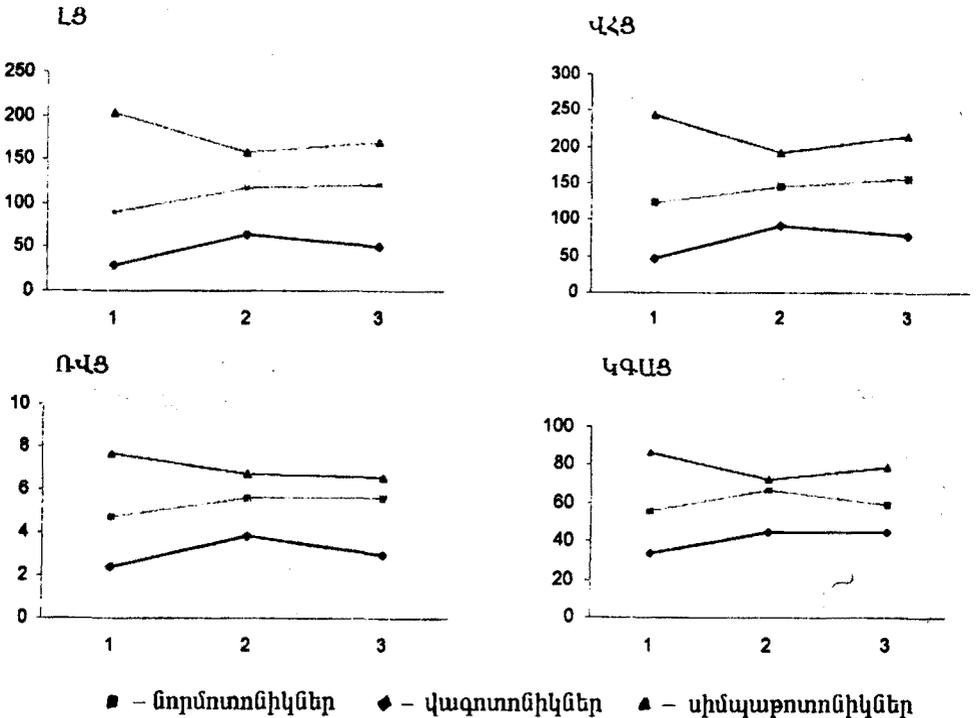
եղել են նորմայի սահմաններում: Այս էտապում դիտել են սրտի ռիթմի ցուցանիշների որոշակի տատանումներ. հետազոտվողների 27,59%-ի դեպքում գերակշռել են աղբյուրային կարգավորման մեխանիզմները: Դա արտահայտվել է Mo-ի ($0,64 \pm 0,03$ (μ)) ու Δx -ի ($0,25 \pm 0,04$ (μ)) ցածր և AMo-ի ($44,78 \pm 4,35$ (%)) ու LՑ-ի ($157,58 \pm 21,49$ (պ.մ.)) համեմատաբար բարձր մեծություններով: 27,58% հետազոտվողների դեպքում նկատվել է սնունդ-նորմոտոնիկ մեխանիզմների գերակշռում (LՑ՝ $89,75 \pm 6,76$), իսկ 44,83%-ը եղել են սնունդ- և պոլիմեր-վազոտոնիկներ (LՑ՝ $30,27 \pm 3,72$ (պ.մ.)): Ինչպես երևում է նկ. 1-ից, ՀԼՎ-ն հարուցում է վեգետատիվ ցուցանիշների արտահայտված տեղաշարժ ելակետային տվյալների համեմատ, այդ մասին են վկայում նաև գրականության տվյալները [12]:



Նկ. 2: Փորձարկվողների բաշխվածությունը ըստ լարվածության ցուցիչի մեծության:

Նախաքննական շրջանում V դասարանի աղջիկների սրտի կծկումների հաճախությունը (ՄԿՀ) ավելացել է 10,4%-ով ($p < 0,001$), իսկ տղաներինը՝ 18,0%-ով ($p < 0,02$), ինչը վկայում է վերջինների հոգեհուզական լարվածության զարգացման մասին: Զննությունից առաջ տղաների և աղջիկների ՍՁԵ-ն ավելացել է 14,6%-ով ($p < 0,001$) և 11,2%-ով ($p < 0,001$), ԴՁԵ-ն՝ 12,5%-ով ($p < 0,02$) և 14,5%-ով ($p < 0,01$), ՊԵ-ն՝ 5,7%-ով ($p < 0,02$) և 21,8%-ով ($p < 0,02$), ՄԴԵ-ն՝ 12,6%-ով ($p < 0,001$) և 14,0%-ով ($p < 0,001$) համապատասխանաբար: Հոգեհուզական լարվածությամբ պայմանավորված ՁԵ-ի բարձրացումը հիմնականում տեղի է ունենում միոկարդի կծկումների ուժեղացման և կարգավորող մեխանիզմների սիմպաթիկ օղակի ակտիվացման հետևանքով: Նախաքննական շրջանում արյան ՄԾ-ի փոփոխությունները կրել են անհատական բնույթ: Հետազոտվող աղջիկների մեծ մասի դեպքում այն ավելացել է 7,2%-ով ($p < 0,05$), իսկ տղաների դեպքում էական փոփոխություններ չի կրել: Մեր հետազոտություններում դիտվող ԱԲԾ-ի ավելացումը, որն արտացոլում է արյան հոսքի ուժեղացում, հիմնականում տեղի է ունենում ՄԿՀ-ի աճի հաշվին և վկայում է դեռահասների օրգանիզմի փոխհատուցող-հարմարվողական բարձր ենթարկվողությունների մասին: Սրտային ցիկլի (R-R) տևողության հավանական նվազման համապատասխան դիտվում է սրտի ռիթմի տարբեր տիպի կարգավորման մեխանիզմներ ունեցող աշակերտների լարվածության կտրուկ աճ: Եթե սովորական ուսումնական օրվա պայմաններում հետազոտվողները

հիմնականում եղել են մոնո- և պոլիմեր-վազոտոնիկներ (ԼՑ<60 պ.մ.), ապա քննությունից առաջ լարվածության բարձրացումն առաջ է բերել նորմոտոնիկների (ԼՑ=60-150 պ.մ.) քանակի ավելացում 22,4%-ով (նկ. 2): Վազոտոնիկների քանակը պակասել է մինչև 27%: Ստացված տվյալների



Նկ. 3. Աշակերտների սրտի ուղիղ կարգավորող ինտեգրալային ցուցանիշների փոփոխությունները քննաշրջանում:

վերլուծությունից պարզվել է, որ քննությունից հետո լարվածության աստիճանը նվազել է և վազոտոնիկների քանակը հավասարվել է ՖՆ էտապում գրանցվածների քանակին: Ինչպես երևում է նկ. 3-ից, նախաքննական շրջանում դիտվել է սրտի ուղիղ կարգավորող ինտեգրալային ցուցանիշների (ՎՀՑ, ՌՎՑ, ԿԳԱՑ) տարաբնույթ փոփոխություններ, ըստ որոնց նախա- և հետքննական շրջանում դիտվել են երեք տիպի արդյունքներ. I – մինչ քննությունը ցուցանիշների բարձրացում և քննությունից հետո նախնական վիճակի վերականգնում (վազոտոնիկներ), II – քննությունից առաջ բարձրացում և բարձրացած մակարդակի պահպանում (նորմոտոնիկներ), III – մինչ քննությունը իջեցում և քննությունից հետո նախնական մակարդակի վերականգնում (սիմպաթոտոնիկներ):

I և II տեսակները վկայում են կարգավորող մեխանիզմների լարվածության բարձրացման, իսկ հետքննական շրջանում՝ այդ ցուցանիշների ելակետային մակարդակի վերականգնման մասին:

Ստացված տվյալների վերլուծությունը թույլ է տալիս եզրակացնել, որ տղաների սիրտ-անոթային համակարգի հարմարվողական հնարավորությունները համեմատաբար փոքր են, իսկ կարգավորող մեխանիզմներինը մեծ՝ նույն տարիքային խմբի աղջիկների նշված տվյալների

համեմատ: Սա վկայում է տարբեր խախտումների ճկավորման պրոցեսում սեռական հորմոնների զգալի դերի մասին: Դեռահասության շրջանում քննական կամ այլ հոգեհուզական լարվածությունը հանգեցնում է սրտի ռիթմի կարգավորման ադրեներգիկ մեխանիզմների արտահայտված ակտիվացման, որը կարող է առաջացնել կարգավորող մեխանիզմների գերլարվածություն՝ պատճառ դառնալով հարմարվողականության խախտման և օրգանիզմում ախտաբանական պրոցեսների առաջացման:

Մարրու և կենդանիների ֆիզիոլոգիայի ամբիոն

Ստացվել է 05.11.2003

Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

1. Антропова М.В., Бородкина Г.В., Кузнецова Л.М., Манке Г.Г., Паракичева Т.М. – Физиол. чел., 1995, т. 12, № 5, с. 68–73.
2. Фудин Н.А., Тараканова О.П., Классина С.Я. – Физиол. чел., 1996, т. 22, № 3, с. 90–107.
3. Быков Е.В., Исаев А.П. – Физиол. чел., 2001, т. 27, № 5, с. 76–81.
4. Антропова М.В. – Физиол. чел., 1992, т. 18, № 1, с. 172–178.
5. Степанова М.Н., Куинджи Н.Н., Ильин А.Г. – Гиг. и сан., 2000, № 1, с. 40–44.
6. Судаков К.В. – Физиол. ж. им. И.М. Сеченова, 1993, т. 79, № 1, с. 22–33.
7. Хаританова В.И., Горпушкина Е.Ю., Николаев В.И., Овчинников Ж.В. – Физиол. чел., 2000, т. 26, № 3, с. 121–125.
8. Пляскина И.В. – Гиг. и сан., 2000, № 1, с. 62–64.
9. Агаджанян Н.А., Ружейкова И.В., Старшинов Ю.П., Ермакова Н.В., Куцов Г.М., Рарыш И.В. – Физиол. чел., 1977, т. 23, № 1, с. 93–97.
10. Вейн А.М., Соловьева А.Д., Колосова А.О. Вегетососудистая дистония. М.: Медицина, 1981, с. 318.
11. Баевский Р.М., Кирилов О.И., Клецкин С.М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. М.: Наука, 1984, 221 с.
12. Голотюк А.И., Волосянко Р.Т., Неделько В.П. Оценочные таблицы физического развития школьников Западного региона УССР. Ивано-Франковск, 1987, 22 с.

Н. Н. КСАДЖИКЯН

ИЗМЕНЕНИЕ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ОБУЧАЮЩИХСЯ В ШКОЛЕ ПОДРОСТКОВ В СИТУАЦИИ ЭКЗАМЕНА

Резюме

В работе представлена динамика показателей функционального состояния организма подростков школы «Нерсисян» с дифференцированной формой обучения в период экзаменов. Изучены основные показатели гемодинамики. Методом компьютерной регистрации и обработки данных произведен математический анализ сердечного ритма. Установлено, что экзамен является фактором стресса и приводит к функциональному

напряжению аппарата кровообращения. Анализ динамики изменений изучаемых интегральных показателей в экзаменационный период свидетельствует о преобладании в механизме регуляции сердечной деятельности симпатического отдела вегетативной нервной системы.

N. N. KSADJIKYAN

VARIATION OF HEART RHYTHM OF ADOLESCENTS STUDYING AT SCHOOL IN THE SITUATION OF EXAMINATION

Summary

The aim of the present work was the study of functional condition of adolescents of gymnasium «Nersisyan» during the examination period. Mathematical analysis of heart functional factors and hemodynamic exponents changes of pupils showed that the examination stress brings to the tension of Central Nervous system. Changes in the integral factors state the preeminence of the sympathetic part of Nervous system. The results reflect the most strained function of adolescents' circulatory system during the examination period.

УДК 575.1:616-007-07

М. С. МАНВЕЛЯН

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА FISH (FLUORESCENCE *IN SITU* HYBRIDIZATION) В ПРЕНАТАЛЬНОЙ И ПОСТНАТАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ ХРОМОСОМНЫХ АНОМАЛИЙ

Впервые в Армении был применен молекулярно-цитогенетический метод флюоресцентной *in situ* гибридизации (FISH – fluorescence *in situ* hybridization) в пренатальной и постнатальной цитогенетике у 30 пациентов с различными формами хромосомной патологии. Внедрение метода FISH в цитогенетическую практику Армении существенно повысило эффективность диагностики хромосомных аномалий.

Введение. В цитогенетической практике часто встречаются хромосомные аномалии, диагностика которых находится за пределами разрешающей способности классических методов. Достижения в этой области в последнее десятилетие привели к формированию принципиально нового метода изучения хромосом – флюоресцентной *in situ* гибридизации (FISH – fluorescence *in situ* hybridization) [1, 2]. Основан он на использовании в реакции гибридизации *in situ* различных клонированных фрагментов ДНК человека (ДНК-зондов), которые в фиксированных препаратах связываются со строго определенными районами хромосом [3].

Существуют следующие группы ДНК-зондов.

1. Ген-специфичные, связывающиеся с определенными последовательностями нуклеиновых кислот в хромосоме.
2. ДНК-зонды, связывающиеся с регионами, богатыми последовательностями повторяющихся пар оснований (центромерные и теломерные зонды).
3. ДНК-зонды, окрашивающие или всю хромосому (WCP – whole-chromosome painting probes), или отдельное ее плечо (chromosome-arm-painting probes) [4].

В клинической цитогенетике часто используются центромерные ДНК-зонды, позволяющие эффективно выявлять наиболее распространенные хромосомные патологии, такие, как синдромы Дауна, Патау, Эдвардса, Клайнфельтера, Тернера и др. [2]. Молекулярно-цитогенетический ме-

тод FISH применяется для выявления микроструктурных хромосомных аномалий, сложных хромосомных перестроек, затрагивающих более двух хромосом, идентификации маркерных хромосом, выявления точного процента мозаицизма, а также случаев сложного хромосомного мозаицизма с небольшим клоном аномальных клеток [1, 2]. Интерфазный FISH является эффективным методом в пренатальной диагностике для выявления анеуплоидий без культивации клеток. Если период, необходимый для культивации клеток амниотической жидкости и ворсин хориона, обычно длится около 2–3 недель, то, благодаря проведению интерфазного метода FISH в некультивируемых клетках ворсинчатого хориона и амниоцитах, срок, необходимый для проведения анализа, сокращается до 48 часов [2, 5–7].

Материалы и методы. В Республиканской медико-генетической консультации (НИЦ охраны здоровья матери и ребенка) диагностика хромосомных аномалий выполнялась классическими методами цитогенетического анализа. Лимфоциты периферической крови культивировались по общепринятой методике (Hungerford D.A.) с использованием дифференциальных методов окраски хромосом G- и C-banding. Биопсия хориона (БХ) проводилась при нормально протекающей беременности на сроке 9 недель под контролем УЗИ, в частности с определением сердцебиения плода (до и после БХ), локализации, толщины и расстояния хориона от внутреннего зева шейки матки. Хориональная ткань в количестве 5 мг была получена через цервикальный канал биопсийными щипцами. Обработка и приготовление препаратов ворсинчатого хориона проводились «прямым» методом по соответствующему протоколу [7]. Амниоцентез выполнялся при нормально протекающей беременности на сроке 17 недель под контролем УЗИ с определением локализации плаценты и сердцебиения плода. Образец амниотической жидкости (АЖ) был аспирирован шприцем трансабдоминально в количестве 5 мл. Обработка АЖ и приготовление препаратов некультивируемых амниоцитов проводились по соответствующему протоколу [5].

Диагностика хромосомных аномалий методом FISH выполнялась на кафедре генетики и цитологии биологического факультета ЕГУ с использованием home-made ДНК-зондов, полученных из трансгенных бактериальных штаммов со встроенным участком ДНК человека (University of Bari, Italy), и коммерческих ДНК-зондов (Vysis, Inc., Downers Grove, IL, USA). Были использованы локус-специфичные, центромерные, субтеломерные ДНК-зонды, а также ДНК-зонды раскраски хромосом. Метод FISH включал этапы предобработки препарата, гибридизации, постгибридизационной промывки и дополнительный этап для ДНК-зондов собственного изготовления – гаптенную реакцию. Предобработка включала этап обработки раствором пепсина, раствором формальдегида, а также серию обработок этанолом. После нанесения соответствующего зонда и реакции денатурации при 73°C препараты были инкубированы на ночь при 37°C. Дальнейшая обработка включала постгибридизационную промывку. Для гаптенной реакции на препараты был нанесен Anti-Dig родамин. Препараты окра-

шивались DAPI II. Анализ проводился с помощью флюоресцентного микроскопа со встроенными в него тремя фильтрами (Zeiss) и компьютерной системы ISIS (MetaSystems). Часть работы нами была выполнена в Институте медицинской генетики (Университет г. Цюриха).

Результаты и обсуждения. Молекулярно-цитогенетический метод FISH был применен в пренатальной и постнатальной диагностике 30 пациентов с различными формами хромосомной патологии.

Постнатальная диагностика проводилась методом FISH у пациентов с множественными врожденными пороками развития (МВПР), отягощенным акушерским анамнезом (многократные спонтанные аборт, мертворождения, рождение детей с врожденными пороками развития), нарушением репродуктивной системы неясного генеза у мужчин и женщин (первичная аменорея, бесплодный брак и др.), существенной задержкой умственного и физического развития у ребенка. Флюоресцентная *in situ* гибридизация проводилась после классических методов цитогенетического анализа в целях верификации диагноза, уточнения хромосомной патологии, выяснения происхождения маркерных хромосом, выявления низкого уровня мозаицизма и установления его точного процентного соотношения. Опишем несколько случаев проведенной нами постнатальной диагностики хромосомных аномалий с применением молекулярно-цитогенетического метода FISH.

Случай 1. У пациентки с первичной аменореей методом дифференциальной окраски хромосом G-banding была выявлена мозаичная форма синдрома Тернера 45,X/46,X+mar. Для идентификации маркерной хромосомы нами использован метод FISH с применением центромерных зондов для X и Y хромосом. В результате было показано происхождение маркерной хромосомы от Y хромосомы с выявлением кариотипа 45,X/46,X,invdupY. У 15–20% пациентов с мозаицизмом 45,X/46,XY встречаются гонадобластомы, развивающиеся в первые 2 десятилетия жизни. В связи с этим лицам с данным кариотипом показано удаление половых желез. Таким образом, из-за высокого риска новообразований необходимо дифференцировать больных с кариотипом 45,X/46,XY от больных, не имеющих Y хромосому. Это указывает на высокую значимость метода FISH для точной и своевременной постановки диагноза

Случай 2. Методом дифференциальной окраски хромосом G-banding у пациентки был выявлен синдром «кошачьего крика» с кариотипом 46,XX,del(5)(p15.2). Впоследствии проведен метод FISH с использованием ДНК-зонда участка 5p15.2 и в 15% клеток определен нормальный кариотип, т.е. мозаичная форма синдрома «кошачьего крика» с небольшим клоном здоровых клеток. Это позволило объяснить относительно высокий уровень умственного и физического развития у пациентки по сравнению с клинической картиной, наблюдаемой при полной форме синдрома «кошачьего крика». Данный пример указывает на высокую эффективность метода FISH в выявлении низкого уровня мозаицизма.

Случай 3. У пациентки с более 40 выкидышами методом дифферен-

циальной окраски хромосом G-banding был выявлен кариотип 45,XX,+t(14q;14q). Для верификации диагноза нами проведен метод FISH с использованием ДНК-зонда WCP для 14-ой хромосомы. Диагноз, поставленный классическими методами цитогенетического анализа, подтвердился, что указывает на 100%-ую вероятность выкидышей у пациентки.

Случаи 4 и 5. У двух пациентов методом дифференциальной окраски хромосом G-banding был выявлен синдром XX мужчин. Для идентификации участка, определяющего пол (SRY – sex determining region of Y chromosome), который не выявляется классическими методами цитогенетического анализа, нами проведен метод FISH с использованием центрального ДНК-зонда для X хромосомы и ДНК-зонда участка SRY. В результате, в одном случае выявлена транслокация участка SRY на одну из X хромосом, а в другом – определено отсутствие данного участка на X хромосомах и аутосомах. Таким образом, после классических методов цитогенетического анализа необходимо проводить метод FISH в целях полной диагностики синдрома XX мужчин и правильной организации дальнейшей врачебной помощи пациенту.

Пренатальная диагностика молекулярно-цитогенетическим методом FISH нами была проведена в интерфазных ядрах «прямых» препаратов ворсинчатого хориона и амниоцитов у двух пациенток с высоким уровнем генетического риска по рождению ребенка с трисомией по 21-ой хромосоме.

Случай 1. В анамнезе пациентки – ребенок с транслокационной формой синдрома Дауна и кариотипом 46,XY,-14,+t(14q;21q). Отец ребенка – носитель сбалансированной робертсоновской транслокации 45,XY,-14,-21,+t(14q;21q). В «прямых» препаратах ворсинчатого хориона был проведен метод FISH с использованием ДНК-зонда участка 21q22.3. В результате в 100 интерфазных ядрах ворсинчатого хориона выявлено по 2 сигнала данного участка с исключением трисомии по 21-ой хромосоме у плода. Течение беременности нормальное. В срок родился мальчик без фенотипических отклонений.

Случай 2. В анамнезе у женщины – 7 беременностей: девочка с синдромом Дауна и кариотипом 47,XX+21; мальчик с МВГР скончался через 4 дня после рождения; 3 самопроизвольных выкидыша на сроке 12 недель беременности. Шестая по счету беременность завершилась рождением девочки с синдромом Дауна и кариотипом 47,XX+21. Соматический статус и фенотип родителей нормальны. Настоящая беременность – седьмая. Анамнез пациентки послужил основанием для проведения амниоцентеза. В «прямых» препаратах амниоцитов был проведен интерфазный метод FISH с использованием ДНК-зонда для 21-ой хромосомы участка 21q22.13 – q22.2. Проанализировано 100 интерфазных клеток. Из них в 70% выявлено по 3 копии 21-ой хромосомы, а в 30% – по 2 копии, т.е. была диагностирована мозаичная форма синдрома Дауна. Длительность цитогенетической диагностики, начиная с момента амниоцентеза, составила 3 дня. С согласия пациентки произведено искусственное прерывание бере-

менности. Трисомия по 21-ой хромосоме была верифицирована интерфазным методом FISH в клетках ворсинчатого хориона абортного материала. Проанализировано 200 клеток.

До наступления шестой беременности классическими методами цитогенетического анализа определен кариотип родителей, который соответствовал 46,XX и 46,XY. В дальнейшем применена флюоресцентная *in situ* гибридизация, которая исключила у родителей наличие скрытого мозаицизма по трисомному клону в лимфоцитах периферической крови.

Применение метода FISH в цитогенетической практике позволило нам:

– идентифицировать структурные хромосомные аномалии (сложные перестройки, затрагивающие более двух хромосом, маркерные хромосомы, изохромосомы и др.), диагностика которых находится за пределами решающей способности классических методов цитогенетического анализа;

– определить анеуплоидию в неделящихся пренатальных и постнатальных клетках. Интерфазный метод FISH позволил выявить случаи с низким уровнем мозаицизма, установить точный уровень мозаицизма, а также поставить диагноз в случаях неудовлетворительного митотического индекса и качества метафаз в «прямых» препаратах;

– значительно сократить срок цитогенетической диагностики (2–3 дня вместо 2–3 недель при методе культивации), что особенно важно в пренатальной медицине для своевременного принятия решения о сохранении беременности;

– использовать небольшое количество биоматериала для проведения пренатальной диагностики, что значительно снижает риск осложнения беременности после проведения соответствующих инвазивных процедур.

Таким образом, внедрение молекулярно-цитогенетического метода FISH в цитогенетическую практику Армении существенно повысило эффективность диагностики хромосомных аномалий.

Автор выражает благодарность Швейцарскому национальному научному фонду и М. Роччи (University of Bari, Italy) за содействие, оказанное в проведении работы.

Кафедра генетики и цитологии

Поступила 22.10.2003

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочков Н.П. Клиническая генетика. М.: ГЭОТАР-МЕД, 2001, с. 247–272.
2. Ворсанова С.Г., Юров Ю.Б., Соловьев И.В., Демидова И.А., Шаронин В.О., Вехова Н.В., Берешева А.К., Мале П., Жиолант М., Колотий А.Д., Кравец В.С., Казанцева Л.З., Ройзес Ж. – Российский вестник перинатологии и педиатрии, 1998, № 1, с. 31–36.
3. Горин В.С., Серов В.Н., Жабин С.Г., Маркдорф А.Г., Шин А.П., Горин Р.В. – Проблемы репродукции, 2000, № 2.
4. Nicole McNeil and Thomas Ried Novel molecular cytogenetic techniques for identifying complex chromosomal rearrangements: technology and application in molecular medicine. Expert reviews in molecular medicine, 2000.
5. Bernd Eiben, Witold Trawicki, Wilhelm Hammans, Richard Goebel, Jörg T. Epplen – Prenat. Diagn, 998, v. 18, p. 901–906.

6. Bernd Eiben, Witold Trawicki, Wilhelm Hammans, Richard Goebel, Michael Pruggmayer, Jörg T. Epplen – *Fetal Diagn Ther*, 1999, v. 14, p. 193–197.
7. Bryndorf T., Christensen B., Vad M., Parner J., Carelli M.P., Ward B.E., Klinger K.W., Bang J., Philip J. – *Am. J. Hum. Genet*, 1996, v. 59, p. 918–926.

Մ. Ս. ՄԱՆՎԵԼՅԱՆ

ՆԱԽԱԾՆՆԴՅԱՆ ԵՎ ՀԵՏԾՆՆԴՅԱՆ ՇՐՋԱՆՈՒՄ ՔՐՈՄՍՈՍՈՍԱՅԻՆ ԽԱԹԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ԱՆՏՈՐՈՇՈՒՄԸ FISH (FLUORESCENCE *IN SITU* HYBRIDIZATION) ԵՂԱՆԱԿԻ ԿԻՐԱՌՄԱՍԲ

Ամփոփում

Հայաստանում առաջին անգամ կիրառվել է մոլեկուլային-բջջագենետիկական FISH (fluorescence *in situ* hybridization) մեթոդը 30 հիվանդների նախածննդյան և հետծննդյան շրջանում քրոմոսոմային տարբեր բնույթի խաթարումները ախտորոշելու համար: FISH եղանակի կիրառումը Հայաստանի բջջագենետիկական պրակտիկայում բարձացրել է քրոմոսոմային խաթարումների ախտորոշման արդյունավետությունը:

M. S. MANVELYAN

APPLICATION OF METHOD FISH (FLUORESCENCE *IN SITU* HYBRIDIZATION) IN PRENATAL AND POSTNATAL DIAGNOSTICS OF CHROMOSOMAL ANOMALIES

Summary

For the first time the molecular-cytogenetic method of fluorescence *in situ* hybridization (FISH) was widely used in Armenia in prenatal and postnatal diagnostics of 30 patients with different forms of chromosomal pathology. Application of FISH method in cytogenetic practice of Armenia increased the efficiency of diagnostics of chromosomal anomalies.

Биология

УДК 616-055.5/7:575.17

Л. А. МАТЕВОСЯН

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ТКАНЕВОЙ
СОВМЕСТИМОСТИ НА ОСНОВЕ ДНК-ТИПИРОВАНИЯ
В АРМЯНСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ

В настоящее время решение актуальных проблем медицины нуждается в молекулярно-биологическом обосновании. На стыке биологии и медицины возникла новая область науки – биомедицина. Выполнение программы «Геном человека» стало блестящим примером результативности ряда областей этих наук.

Столь же важной проблемой биомедицины является применение иммуногенетических данных в трансплантологии. С одной стороны, без знания аллелей генов тканевой совместимости невозможна характеристика донора и реципиента, с другой – банк данных, полученных в ходе работы по типированию изученной популяции, является бесценной информацией по структуре этой популяции.

История трансплантации кроветворной ткани [1] начинается с 1951 года, когда Лоренц показал, что аллогенный (от другого животного данного вида) костный мозг способен защищать получивших высокую дозу облучения животных от гибели вследствие остановки кроветворения. Последующими работами было показано, что пересадка аллогенного костного мозга способна обеспечить длительное приживание трансплантата только при совпадении донора и реципиента по антигенам главного комплекса гистосовместимости (ГКГС) [2].

Изучение антигенов гистосовместимости человека стало развиваться с 1958 г., когда французский исследователь Досе открыл и описал первый антиген гистосовместимости Мас [3].

Исследования антигенов, открытых в разных лабораториях мира, обобщились в 1967 г. на конференции в Турине. Здесь были представлены четкие доказательства того, что изученные в разных странах антигены идентичны друг другу и присутствуют во всех человеческих популяциях, обследованных к тому времени.

Выяснилось, что основная генетическая информация, детерминирующая наиболее значительные антигены гистосовместимости человека, заключена в одном локусе, расположенном соответственно на одной паре аутосомных хромосом. Локус был назван HLA-human leucocyte antigen system [4].

Известно, что стволовые клетки, находящиеся в костном мозге, дают начало всем кровяным клеткам. Некоторые формы заболеваний поражают стволовые клетки, что может быть фатальным для пациента. Единственным лечением таких заболеваний, как лейкемия, апластическая анемия, миелодисплазия, лимфома, миелома, талассемия, является трансплантация костного мозга – последняя надежда для тех, кому прочие виды лечения ничего не дали [5]. Однако данная возможность предоставляется не каждому. Донора для трансплантации в семье больного иногда не удается найти. Подбор пар донор–реципиент для пересадки костного мозга труден, так как слишком высока антигенная индивидуальность среди людей. Наименьшее количество осложнений, связанных с расхождением по антигенам ГКГС в посттрансплантационном периоде, встречается у совместимых сиблингов родных братьев и сестер. В то же время сиблинги имеют вероятность совместимости по ГКГС только в 25% случаев, что осложняет проблему подбора неродственных доноров, так как совместимые доноры-родственники имеются далеко не у всех пациентов [6].

Известно, что есть много факторов, которые влияют на исход трансплантации: пол донора, возраст донора и пациента, степень и тип заболевания последнего, цитомегаловирусный (CMV) статус [7]. Однако наиболее важными остаются HLA-антигены. Значительная генетическая гетерогенность популяции жителей в Европе и США требует около миллиона типированных доноров для относительно гарантированного подбора костного мозга любому реципиенту. Это порождает технические и материальные проблемы. В конечном итоге даже полная совместимость по HLA-антигенам не дает абсолютной гарантии против развития реакции «трансплантат против хозяина» и до 25% пациентов погибает от трансплантационных осложнений. Клинически показано, что гистосовместимость донора и больного приводит к значительному снижению реакции отторжения трансплантата [2]. Экспрессируемые структурные различия антигенов гистосовместимости как доноров, так и больных являются основной причиной отторжения.

Что же представляют собой эти антигены и где они экспрессируются?

ГКГС (MHC, Major histocompatibility complex) контролирует различные функциональные проявления иммунной реактивности. Гены, кодирующие HLA-комплекс, находятся на коротком плече 6-ой хромосомы человека и на 17-ой хромосоме у мышей. HLA-комплекс охватывает приблизительно четыре миллиона пар оснований, что сопоставимо с геномом *E.Coli*. Основными особенностями комплекса являются его значительная полигенность (наличие нескольких неаллельных генов, белковые продукты которых сходны в структурном и функциональном отношении), а также ярко выраженный полиморфизм (присутствие многих аллельных форм одного и того же гена).

Все гены комплекса наследуются по кодоминантному типу [8]. В пределах HLA-комплекса распознаются 3 региона (рис. 1).

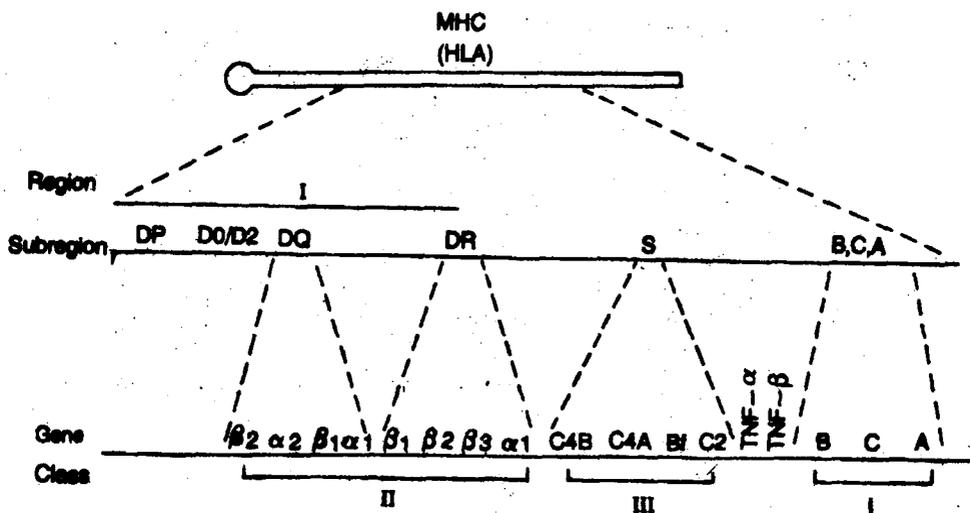


Рис. 1. Гены главного комплекса гистосовместимости (ГКГС) [9].

Вся эта область включает приблизительно 75 генов, в том числе и те, функционально несвязанные с HLA-генами, которые принимают участие в других иммунологических реакциях (C4, C2 и фактор В) [9].

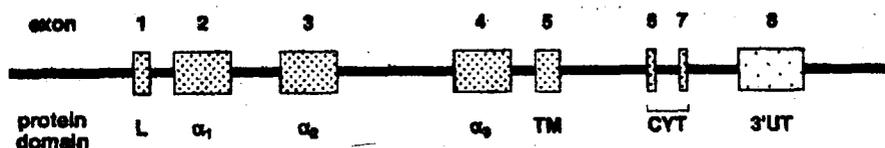


Рис. 2. Гены I класса главного комплекса гистосовместимости [10].

Гены I класса (рис. 2) ответственны за синтез тяжелой цепи (α -цепи) антигенов I класса. Сюда входят следующие изоформы данных генов: HLA-A, -B, -C, -E, -F, -G, а также HLA-H, -J, -K, -L, являющиеся псевдогенами. Гены HLA-X, -Y, -H имеют неизвестное нам пока предназначение.

Дополнительный однодоменный пептид – $\beta 2$ -микроглобулин ($\beta 2$ -M), ассоциированный с основной α -цепью, – контролируется геном, не входящим в HLA комплекс. У человека этот ген расположен на 15-ой хромосоме. Из-за хромосомного расположения $\beta 2$ -M гена ему не дают HLA обозначения.

Группа генов II класса (рис. 3) ответственна за синтез α - и β -цепей его антигенов. Гены α и β объединены в близкосцепленные пары для каждого определенного антигена II класса у человека: DP, DQ, DR. Кластер DR включает дополнительные β -гены, что обеспечивает образование нескольких антигенов: $\alpha\beta 1$, $\alpha\beta 2$ и так далее. Кроме того, ко II классу относятся

также неэкспрессируемые псевдогены: DR- β 2, - β 6, - β 9, DR-SX, DQ-DX и пары генов LMP (low molecular weight protein) и TAP (transporters associated with antigen processing). Белки, контролируемые LMP и TAP генами, принимают участие в подготовке чужеродного антигена к презентации Т-клеткам [9]. Различное расположение генов β -цепей называют гаплотипами [10].

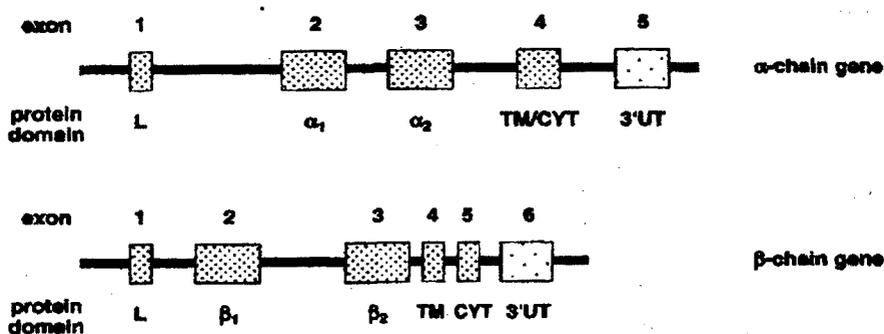


Рис. 3. Гены II класса главного комплекса гистосовместимости [10].

Группа генов III класса контролирует синтез белков, среди которых есть участники иммунных процессов: один из компонентов комплимента, факторы некроза опухоли (ФНО- α и ФНО- β).

Главный комплекс гистосовместимости – один из наиболее полиморфных генетических систем организма. На 1999 год известны около 95 аллелей HLA-A гена, 207 – HLA-B гена и 239 – HLA-DRB1 гена. Эти данные были получены благодаря исследованиям популяции кавказоидов. В настоящее время указанные числа можно удвоить [11].

Аллельные формы антигенов HLA могут отличаться друг от друга по 20 аминокислотным остаткам. Большинство аминокислотных замен локализованы в N-концевых частях молекул и главным образом в доменах, формирующих антигенсвязывающий участок. Именно в этой изменчивости аминокислотной последовательности антигенсвязывающего участка заключена потенциальная возможность взаимодействия с различными пептидами.

Крайне высокий уровень аллельных генов и доминирующее присутствие в популяции гетерозигот при условии кодоминантного наследования обуславливают индивидуальность особей вида по антигенам HLA [12].

Таким образом, практический успех трансплантации зависит от правильного подбора пар донор–реципиент по антигенам гистосовместимости.

Не имея возможностей найти совместимого донора, больные теряют шанс получить эффективное лечение. Поэтому созданы базы данных, так называемые регистры доноров костного мозга, где реципиент может найти неродственного донора. Система регистров (банков данных) распространена по всему миру и позволяет найти для больного совместимого донора. Национальные регистры доноров костного мозга объединены в международные, насчитывающие информацию о более чем 5 млн. потенциальных доноров. Необходимость создания подобных регистров продиктована тем,

что при пересадке гемопоэтических стволовых клеток учитывается множество факторов, выявляемых при типировании антигенов главного комплекса гистосовместимости. Таким образом, чем больше база данных, тем выше шанс найти реального донора для конкретного больного.

Были случаи обращения больных армянского происхождения для поиска доноров в международные регистры. Но такая процедура ничего не давала, так как существуют связанные с этнической принадлежностью донора и реципиента особенности при определении основных антигенов совместимости тканей [13], по которым и происходит отбор донора для трансплантации. Это послужило причиной тому, что в 1999 году в Армении был открыт Армянский регистр доноров костного мозга (по инициативе доктора Ф. Джордан и доктора С. Авакяна) [www.abmdr.com]. Таким образом, сделан важный шаг для успешного проведения работ по трансплантации не только костного мозга, но и других органов. Регистр снабжен лабораторией, где и проводится ДНК-типирование антигенов гистосовместимости доноров, а также больных.

Имеющаяся база данных представляет наиболее обширный охват генетического полиморфизма армянской популяции клинически здоровых доноров на уровне ДНК и создает крайне необходимую информационную базу для дальнейших генетико-популяционных и клинических исследований. А именно, мы получаем следующие возможности: определение наиболее часто встречающихся антигенов и трех локусных гаплотипов или групп генов в армянской популяции; определение генетических рас-

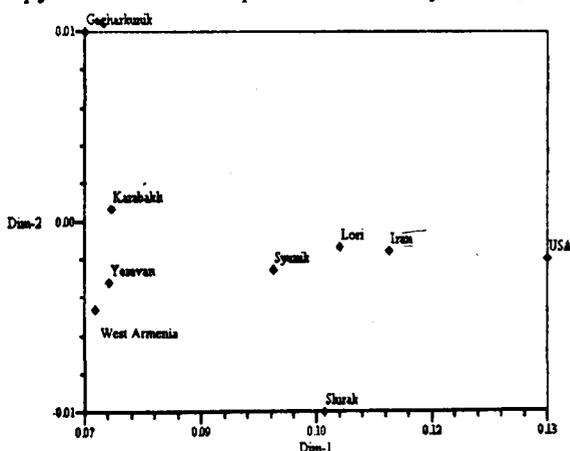


Рис. 4. Генетические расстояния между различными армянскими субпопуляциями, полученные методом основных координат и основанные на частотах встречаемости HLA-A, -B, -DRB1 аллелей в соответствующих субпопуляциях.

стояний армянского народа с другими этническими группами; выявление HLA-болезней, так как имеется определенная сцепленность HLA-аллелей с некоторыми заболеваниями.

На Первом международном медицинском конгрессе, проходившем в Ереване в 2003 г., уже были представлены наиболее часто встречающиеся гаплотипы антигенов гистосовместимости в обширной армянской популяции [14]. В группе доноров, проживающих в Республике Армения, проводилось сравнение частот встречаемости HLA-A, -B, -DR генов в популяциях из различных регионов (Ереван, Лори, Сюник, Ширак, Гегаркуник), а также в популяциях, проживающих за пределами нашей Респуб-

лики (Карабах, Иран, США, Западная Армения). В границах обследованных выборок не обнаружено достоверных различий между популяциями по частотам встречаемости HLA-A, -B, -DR генов (рис. 4). В настоящее время ведутся работы по определению генетических расстояний армянского народа с другими этническими группами и выявлению HLA-аллелей, сцепленных с некоторыми заболеваниями.

Кафедра генетики и цитологии

Поступила 13.11.2003

ЛИТЕРАТУРА

1. **Donnall E. Thomas, Karl G. Blume.** Historical markers in the development of allogeneic hematopoietic cell transplantation. *Biology of Blood and Marrow Transplantation*. USA, 1999, 5, p. 341–345.
2. **Strom T.B., Carpenter C.B.** Transplantation: immunogenetic and clinical aspects – Part I: *Hosp Pract (Off Ed)*. USA, New York, 1982 Dec., 17(12), p. 125–34.
3. **Ryder L.P., Svejgaard A., Dausset J.** Genetics of HLA disease association, *Annu Rev Genet*. USA, Palo Alto Ca, 1981, 15, p.169–87.
4. **Strachan T., Andrew P.** Read: *Human Molecular Genetics*, Part 7.3, USA, 1999.
5. **Mehta A. & Hoffbrand V.** Stem cell transplantation in «*Hematology at a Glance*». UK, Oxford, 2000.
6. **Галактионов В.Г.** Основы иммунологии. М., 1998.
7. **Alberts B., Bray D., Lewis J., Raff M., Roberts K., Watson D.J.** – *Molecular Biology of the Cell*. New York and London, 1994.
8. **Зарецкая Ю.М.** Клиническая иммуногенетика. М., 1983.
9. **Herman N. Eisen.** *General Immunology*. USA, 1990.
10. **Steven G.E. Marsh, Peter Parham, Linda D. Barber.** *The HLA Facts Book*, USA, 2000.
11. **Charles A. Janeway, Travers P., Walport M.** *Immunobiology*. USA, 1999.
12. **Goldsby R.A., Kindt T.J., Osborne B.A., Kuby J.** *Immunology*. USA, New York, 2003.
13. **Mori M., Beatty P.G., Graves M., Boucher K.M., Milford E.L.** HLA gene and haplotype frequencies in the North American population: the National Marrow Donor Program Donor Registry, *Transplantation*. USA, Baltimore, 1997 Oct. 15, 64(7), p. 1017–27.
14. **Jordan F., Avagyan S., Matevosyan L., Hyussyan A., Vardapetyan E., Aroutiounjan R.** A Comparative Study of HLA class I and class II allele distribution in large Armenian population; *The First International Congress of Armenia*. Armenia, Yerevan, 2003, July 1–3, p. 88.

Լ. Ա. ՄԱԹԵՎՈՍՅԱՆ

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՊՈՊՈՒԼՅԱՑԻԱՅՈՒՄ ԴՆԹ-ՏԻՊԱՎՈՐՄԱՆ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ
ՀՅՈՒՍՎԱԾՔՆԵՐԻ ՀԱՄԱՏԵՂԵԼԻՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱԻՐՈՒԹՅԱՆ
ԳԵՆԵՏԻԿԱԿԱՆ ԱՍՊԵԿՏՆԵՐԸ

Ամփոփում

Ներկայումս բժշկության ակտուալ պրոբլեմների լուծումը կարիք ունի մոլեկուլային կենսաբանական հիմնավորման: Կենսաբանության և բժշկության զարգացումը հանգեցրեց գիտության նոր ճյուղի՝ կենսաբժշկության

առաջացմանը: «Մարդու գենոմը» ծրագրի իրականացումը հանդիսացավ այդ գիտության արդյունավետության վառ օրինակ:

Կենսաբժշկության առավել կարևոր խնդիրն է իմունագենետիկական տվյալների կիրառումը փոխպատվաստման ժամանակ: Մի կողմից հնարավոր չէ դոնորի և ռեցիպիենտի բնութագրումը առանց հյուսվածքային համատեղելիության գեների ալելների իմացության, մյուս կողմից՝ տվյալ պոպուլյացիայի տիպավորման ժամանակ ստացված տվյալների բանկը հանդիսանում է անզնահատելի ինֆորմացիայի աղբյուր այդ պոպուլյացիայի կառուցվածքի մասին:

L. A. MATEVOSYAN

GENETIC ASPECTS OF HISTOCOMPATIBILITY STUDY ON THE BASIS OF DNA-TYPING IN THE ARMENIAN POPULATION

Summary

In the present time solution of actual medical problems needs a molecular biological basis. Biomedicine a new branch on the junction of such sciences as medicine and biology – is coming up into existence. Realization of «Human Genome Project» is a brilliant example of collaboration between these two big fields of science.

It is possible to apply immunogenetic data in biomedicine and particularly in transplantology. Without the knowledge of histocompatibility antigens it is impossible to characterize the donor and recipient on the one hand and on the other hand databank obtained during the DNA typing gives great opportunities and invaluable information in the study of population structure.

Երկրաբանություն

УДК 551.444.519.673

Մ. Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Ա. Ս. ՍԱՐԴԱՐՅԱՆ, Գ. Վ. ՍԱՐԿՈՍՅԱՆ, Վ. Պ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

«ՀԱՆՔԱՅԻՆ ՋՈՒՐ» ՍՈՂԱՆՔԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՄԱՆ
ԵՐԿՐԱՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՆ
ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ներածություն: Հայաստանի հանրապետության տարածքը, ունենալով բարդ և կտրտված ռելիեֆ, բնութագրվում է էկզոգեն պրոցեսների լայն տարածմամբ: Նման պրոցեսների մեջ մեծ տեղ են զբաղում սողանքային երևույթները: Սողանքների զբաղեցրած տարածքների իրացման, սողանքային երևույթների ձևավորման նախնական փուլի կանխագուշակման համար անհրաժեշտ են համալիր ուսումնասիրություններ և որոշակի ինժեներական միջոցառումներ, որոնք հնարավորություն կտան կանխարգելելու և բացահայտելու ընթացող երևույթների առաջացման պատճառները, տարածման չափերը, հակասողանքային միջոցառումների մշակումը և գնահատելու վերջիններիս արդյունավետությունը:

Երկրակեղևում տեկտոնական պրոցեսների ակտիվացումը, ինչպես նաև մարդու ակտիվ գործունեությունը (տարբեր նպատակներով լեռնալանջերի իրացում, ջրամբարների, ճանապարհների կառուցումը և այլն) հանրապետության տարածքում պատճառ են դարձել հին ու գործող սողանքների ակտիվացման, ինչպես նաև նորերի առաջացման [1]:

Ներկայումս հանրապետության տարածքի տասնյակ բնակավայրերում սողանքային երևույթները այն աստիճան են ակտիվացել, որ մի շարք բնակավայրերի տեղափոխման անհրաժեշտություն է ծագել, ինչը կապված է տնտեսական խոշոր ներդրումների հետ:

Ելնելով վերը նշվածից՝ կարելի է ասել, որ սողանքային երևույթների համալիր ուսումնասիրությունները հրատապ են, որոնք հնարավորություն կտան բնական լանջերը անվտանգ իրացնելու և հսկայական միջոցներ տնտեսելու:

Ներկայացվող աշխատանքում քննարկվում է Տավուշի մարզի Դիլիջան քաղաքի «Հանքային ջուր» սողանքի տարածքում կատարված համալիր երկրաֆիզիկական մեթոդներով կատարված ուսումնասիրության արդյունքները: Սողանքային մարմինը գտնվում է Դիլիջան քաղաքից 15 կմ

հեռավորության վրա Աղստև գետի Բլղան վտակի ափին, Բազումի լեռնաշղթայի հարավ-արևելյան լանջին: Սողանքային մարմինը զբաղեցնում է $80մ \times 50մ$ տարածք, որի ռելիեֆի թեքությունը կազմում է մոտ 50° : Այն բավականին ակտիվ է, հատկապես նրա ստորին հատվածը, որը մեկ տարվա ընթացքում ունենում է տեսանելի տեղաշարժ: Սողանքը գտնվում է անմիջապես «Դիլիջան» հանքային ջրերի գործարանի հարևանությամբ, և այդ առումով նրա ուսումնասիրությունն ունի գործնական նշանակություն:

Երկրաֆիզիկական մեթոդների ընտրության հիմնավորումը: Երկրաֆիզիկական մեթոդների ընտրության ժամանակ հաշվի են առնվել շրջանում տարածված ապարների ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների տարբերակումը, ֆիզիկաաշխարհագրական և օդերևութաբանական պայմանները: «Հանքային ջուր» սողանքի ուսումնասիրության ժամանակ կիրառվել են գրավիհետախուզության, մագնիսահետախուզության, էլեկտրահետախուզության և ռադիոչափական բարձր ճշտության՝ միկրոմասշտաբի հետազոտություններ: Նշված մեթոդները, բացի էլեկտրահետախուզության ուղղաձիգ էլեկտրական զոնդավորման (ՈւէՁ) մեթոդից, կիրառվել են ռեժիմային տարբերակներով, որոնց մեթոդական առանձնահատկությունները և ստացված արդյունքները ներկայացվում են ստորև:

Երկրաֆիզիկական մեթոդներով սողանքային մարմինների ուսումնասիրման համար հիմք են հանդիսացել մախկինում կատարված ուսումնասիրությունների դրական արդյունքները [2-5]: Վերոհիշյալ աշխատանքների արդյունքներից պարզվել է, որ սողանքային պրոցեսների հետևանքով այդ մարմիններում դիտվում են ապարների ֆիզիկական հատկությունների, այդ թվում խտության ($0,2g/cm^3$) և, հետևաբար, ծանրության ուժի փոփոխություններ ($0,4-0,1մզ/տարի$): Մասնավորապես, Իջևանի շրջանի «Վուրդուն» սողանքի առանձին հատվածների վրա գրանցվել է $0,1-0,2մզ/տարի$ ծանրության ուժի փոփոխություն, նկատվել է նաև կոռեկցիոն կապ սողանքային մարմնի դինամիկայի և ծանրության ուժի փոփոխության միջև [5]:

Գրավիհետախուզական ուսումնասիրություններ: Ելնելով վերոնշյալից՝ 2002 թվականին «Հանքային ջուր» սողանքի ուսումնասիրման համար կիրառվել է գրավիհետախուզական մեթոդը ԴԿԿ-ԿԿ մակնիշի «476 և 500» գրավիմետրերի օգնությամբ: Հայտնի է, որ սողանքային մարմինների դինամիկայի հետևանքով առաջացած երկրաֆիզիկական դաշտերի էֆեկտը շատ փոքր է, իսկ դաշտային աշխատանքների ժամանակ մեր կողմից կիրառվել է այնպիսի մեթոդիկա, որի դեպքում հնարավոր է դարձել գրանցել ֆիզիկական դաշտերի ամենաչնչին փոփոխությունները և խուսափել մտցվող լրացուցիչ ուղղումներից:

Դիտարկումներն անց են կացվել սողանքային մարմինը հատող երեք երթուղիներով 30 դիտակետերում, ընդ որում երթուղիների միջև հեռավորությունը ընտրվել է 15, իսկ դիտակետերինը՝ 5մ: Վերջիններս նշվել են հատուկ ձողերով այն ենթադրությամբ, որ սողանքային մարմնի տեղաշարժման հետ նրանք ևս կտեղաշարժվեն, ուստի ծանրության ուժի կամ մյուս ֆիզիկական դաշտերի լոկալ փոփոխությունները կապված պետք է լինեն ինչպես սողանքային մարմնի խտության փոփոխության, այնպես էլ

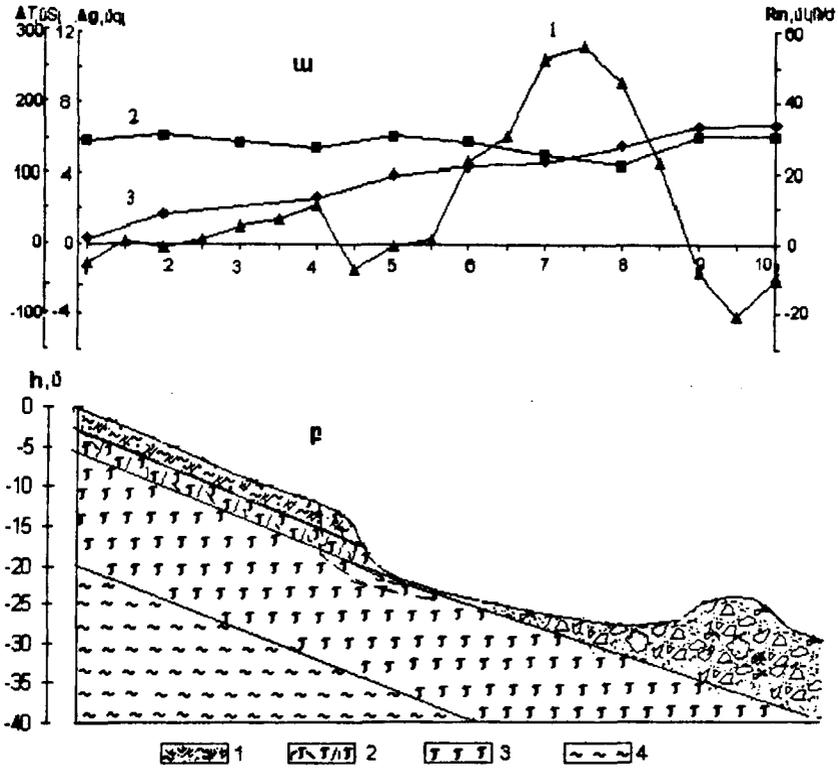
դիտակետերի տեղաշարժի հետ: Ծանրության ուժի դիտարկումները անց են կացվել 16–20⁰C-ի պայմաններում, քանի որ օգտագործված գրավիմետրերը մինչև 20⁰C ջերմաստիճանը բնութագրվում են զրո կետի կայուն, փոքր և գծային սահքով: Աշխատանքի ժամանակ գործիքների ջերմային ռեժիմը պահպանելու համար դիտարկումները իրականացվել են առավոտները՝ 7-ից մինչև 10-ը ժամանակահատվածում, 20–30 րոպե տևողությամբ՝ չափումների 100% կրկնությամբ, որի հետևանքով ծանրության ուժի արժեքում արևալուսնային մակընթացության, ռելիեֆի և բարձրության համար համապատասխան ուղղումներ չեն մտցվել: Նման մեթոդիկայով աշխատելու դեպքում ծանրության ուժի դիտարկված արժեքների միջին քառակուսային սխալը մեկ առանձին կետում կազմել է 0,01–0,02մգ: Համեմատելով տարբեր գրավիմետրերով ստացված ծանրության ուժի արժեքներով կազմված կորերը՝ կարելի է համոզվել, որ օգտագործված գրավիմետրերի բաժանմունքի արժեքները պրակտիկորեն չեն փոխվում վերոհիշյալ ջերմաստիճանային ռեժիմում:

Մագնիսահետախուզական ուսումնասիրություններ: Մագնիսահետախուզական ուսումնասիրությունները իրականացվել են նույն երթուղիներով, միայն դիտման կետերի (ԴԿ) միջև հեռավորությունը կազմել է 2,5մ: Չափվել է երկրամագնիսական դաշտի ինդուկցիայի լրիվ վեկտորի բացարձակ արժեքը (T), նանոտեսլաներով (GSZ), geoMetrics ֆիրմայի G-826 պրոտոնային մագնիսաչափով, որոնցում բացակայում են ինչպես զրո կետի սահքը, այնպես էլ ջերմաստիճանային ազդեցությունները, ինչի համար էլ այն օգտագործվել է գերճշգրիտ միկրոմագնիսական հանույթ իրականացնելու համար:

Երկրամագնիսական դաշտի վարիացիայի հաշվարկման համար օգտագործվել է նույն մագնիսաչափը, որի օգնությամբ սողանքային մարմնի տարածքում տեղադրված ստուգման կետում (ՄԿ) հանույթի ամբողջ ընթացքում կատարվել են 3 րոպեանոց ընդմիջումներով դաշտի դիտարկումներ: Օգտագործվել է միկրոմագնիսական հանույթի հայտնի ՄԿ-ԴԿ-ԴԿ-ԴԿ-ՄԿ մեթոդիկան [6]: Սողանքային մարմնի վրա կատարված մագնիսական հանույթի միջին քառակուսային սխալը կազմել է $\pm 2,5GSZ$: Ակտիվ սողանքների ռեժիմային դիտարկումների մեթոդիկայով մագնիսահետախուզական ուսումնասիրությունները [7, 8] ցույց են տվել, որ մագնիսական դաշտը կրում է 5–25GSZ չափով փոփոխություններ՝ պայմանավորված սողանքի դինամիկայով: Հայտնի է, որ կտրտված ռելիեֆի պայմաններում սողանքային մարմիններում տանգենցիալ լարումները բավական մեծ են, որոնք կարող են միջավայրում առաջացնել պլաստիկ դեֆորմացիաներ և ճեղքվածքավորություններ, իսկ դրանց արդյունքում՝ միջավայրի մագնիսական հատկությունների փոփոխություններ:

Ռադիոչափական ուսումնասիրություններ: Գրավիմագնիսական երթուղիների դիտակետերում կատարել ենք նաև ռադիոակտիվ դաշտի ինտենսիվության չափումներ, սպասելով, որ սողանքային մարմնի սարուկտուրայի ժամանակային փոփոխությունը կհանգեցնի նաև ռադիոակտիվ դաշտի փոփոխության: Հորվածում ներկայացված է երկրորդ երթուղու վրա ստացված դաշտերի ընդհանուր պատկերը այն ենթադրությամբ, որ այդ

տվյալները պարունակում են սողանքային մարմինը բնութագրող առավելագույն տեղեկություններ: Ինչպես երևում է նկ. 1-ից, սողանքային մարմնի սահմաններում ամենամեծ փոփոխությունները գրանցվել են ΔT դաշտի համար ($-100 \div 280$ ճՏ): Դաշտի դրական արժեք է գրանցվել

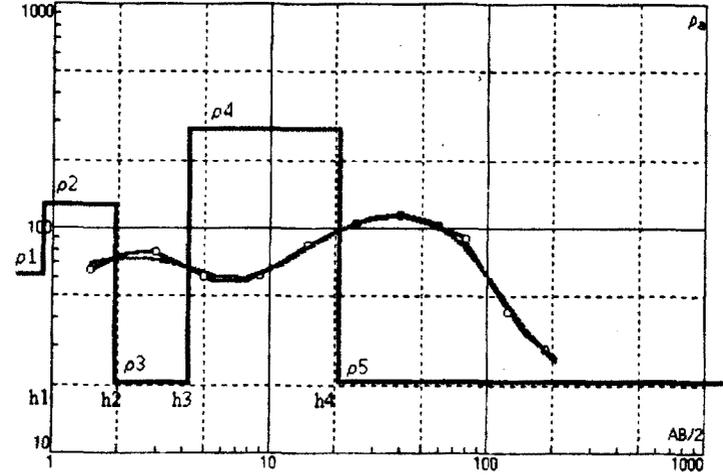


Նկ. 1: ա) Չափված ֆիզիկական դաշտերի գրաֆիկական պատկերը 2-րդ երթուղու վրա; 1 – ծանրության ուժի հարաբերական արժեքները (Δg); 2 – ռադիոակտիվ դաշտի արժեքները ($\Delta \gamma / \gamma$); 3 – մագնիսական դաշտի արժեքները (ΔS): բ) Սողանքային մարմնի սխեմատիկ երկրաբանական կառուցվածքը; 1 – ալյուվիալ-պրոլյուվիալ նստվածքներ, 2 – քայքայված և ճեղքավորված տուֆաբրեկչիաներ, 3 – տուֆաբրեկչիաներ, 4 – կավեր:

մերկացած տուֆաբրեկչիաների դեպքում, որոնք ունեն համեմատաբար բարձր մագնիսական ընկալունակություն ($\chi=200 \cdot 10^{-6}$ ՇԴԸ), իսկ բացասական արժեքներ դիտվել են երթուղու այն հատվածներում, որտեղ առկա են սողքի հետևանքով առաջացած մակրոճեղքավորումներ և տեղափոխված զանգվածների կուտակումներ: Ծանրության ուժի օրինաչափ աճը երթուղու երկայնքով հիմնականում պայմանավորված է դիտարկման կետերի բարձրությունների նվազմամբ: Սողանքային մարմնի երկարությամբ դիտված մագնիսական և ռադիոակտիվ դաշտերի միջև նկատվում է որոշակի օրինաչափություն՝ ΔT -ի աճին համապատասխանում է Rn -ի նվազում և՛ ընդհակառակը:

Էլեկտրահետախուզական ուսումնասիրություններ: Սողանքային մարմնի կառուցվածքը և սահքի մակերևույթի տեղադրման տարրերը պարզելու համար օգտագործվել է էլեկտրահետախուզական ՈւԷՁ մեթոդը սողան-

քային մարմնի վրա և նրանից դուրս գտնվող 5 կետերում [2]: AB առավելագույն բացվածքը եղել է 370մ, որը մեր կարծիքով բավարար է սահքի մակերևույթները նկարագրելու համար: Ըստ էլեկտրահետախուզության տվյալների, ինչպես երևում է նկ. 2-ում պատկերված ՌԻԷՁ-ի կորից, սողանքային մարմնի գեոէլեկտրական կտրվածքում տարանջատվում են թվով հինգ տարբեր հզորությամբ և տեսակարար էլեկտրադիմադրությամբ շերտեր ($\rho_1=62 \text{ Ohm}\cdot\text{մ}$, $h_1=0,9\text{մ}$; $\rho_2=130 \text{ Ohm}\cdot\text{մ}$, $h_2=2\text{մ}$; $\rho_3=20 \text{ Ohm}\cdot\text{մ}$, $h_3=4\text{մ}$; $\rho_4=280 \text{ Ohm}\cdot\text{մ}$, $h_4=21\text{մ}$; $\rho_5=22 \text{ Ohm}\cdot\text{մ}$, $h_5 \rightarrow \infty$), որոնցից առաջին երկու



Նկ. 2: № 3 ուղղահիգ էլեկտրական զոնդավորման կորը՝ մեկնարանված IPI2win համակարգչային ծրագրով:

շերտերը այլուվիալ-պրոյուվիալ նստվածքներ են, երրորդը՝ ներկայացված է քայքայված և ճեղքավորված, միևնույն ժամանակ ջրհագեցած տուֆաբրեկչիաներով, չորրորդը՝ իր տեսակարար էլեկտրադիմադրությամբ համապատասխանում է հետազոտվող շրջանում մեծ տարածում ունեցող արմատական տուֆաբրեկչիաներին, իսկ հինգերորդը՝ փոքր էլեկտրադիմադրության շնորհիվ՝ ջրամերժ շերտերին կամ կավերին: Երկու ցածր էլեկտրադիմադրությամբ շերտերը կարող են տվյալ սողանքի համար հանդիսանալ սահքի մակերևույթներ: Երրորդ շերտը, որը գտնվում է մակերեսից 4մ խորության վրա, արդեն ընդգծված սահքի մակերևույթ է, որի մակարդակով էլ ակտիվ սողանքային պրոցեսներ են ընթանում: Իսկ 5-րդ շերտը սկսվում է 21մ խորությունից, որի ակտիվացումը հետագայում կարող է հանգեցնել զանգվածների տեղաշարժի և մեծ ավերածությունների պատճառ դառնալ:

Եզրակացություններ: Ստացված արդյունքները թույլ են տալիս անելու մի շարք հետևություններ:

– Ուղղահիգ էլեկտրական զոնդավորման տվյալներով սողանքային մարմինը ունի բարդ երկրաբանական կառուցվածք՝ բաղկացած երկու սահքի մակերևույթներից, որոնցից առաջինը առավել ակտիվ է և հանդիսանում է սողանքի հիմնական պատճառը, իսկ երկրորդը գտնվում է ավելի խորը հորիզոնում, համեմատաբար պասսիվ է և կարող է ընդգրկել բավականին մեծ ծավալ:

– Երկրաֆիզիկական մեթոդներով սողքի դինամիկան ուսումնասիրելու համար անհրաժեշտ է իրականացնել ռեժիմային դիտարկումներ՝ տարեկան երկու և ավելի անգամ, հատկապես սողքային պրոցեսների ակտիվացման շրջանում (զարմանը և աշնանը):

– Ուսումնասիրությունները պետք է կատարվեն մեծ ճշտության և բարձր զգայունության սարքերի օգնությամբ, իսկ երթուղիները լինեն կարճ, որպեսզի չափումները հնարավոր լինի իրականացնել 20–30 րոպեի ընթացքում լրացուցիչ ուղղումներից խուսափելու համար:

– Մեծ տարածք զբաղեցնող սողանքային մարմինների ուսումնասիրման ժամանակ հենակետային ցանցը պետք է ընդգրկի ինչպես ամբողջ սողանքը, այնպես էլ նրան հարակից որոշակի տարածք:

*Օգտակար հանածոների հանքավայրերի որոնման և
հետախուզման երկրաֆիզիկական մեթոդների ամփոփում*

Ստացվել է 11.07.2003

Գ Ր Ա Վ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

1. Варданыан В.П., Прошян А.С., Хачатрян Д.А. – Ученые записки ЕГУ, 1990, № 1.
2. Лужецкий А.Н. и др. Оползни Черноморского побережья Украины. М.: Недра, 1977, 103 с.
3. Богословский В.А., Огильви А.А. – Разведочная геофизика, 1977, вып. 78, с. 48–57.
4. Горяинов Н.Н., Скворцов А.Г. – Гидрогеология и инж. геология, 1978, № 10.
5. Варданыан В.П., Григорян М.А., Маилян Р.А., Сардарян А.С. – Ученые записки ЕГУ, 1987, № 2, с. 155–158.
6. Матвеев В.С., Шипунов С.В., Бродовой В.В. – Тр. ВСЕГИНГЕО, 1979, вып. 125, с. 21–31.
7. Жигалин А.Д., Страхова Н.А. – Гидрогеология и инж. геология, 1973, № 8, с. 9–14.
8. Бродовой В.В., Свирина И.Н. и др. – Разведка и охрана недр, 1980, № 3, с. 113–118.

М. А. ГРИГОРЯН, А. С. САРДАРЯН, Г. В. МАРКОСЯН, В. П. ВАРДАНЫАН

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОПОЛЗНЕ «АНКАИН ДЖУР»

Резюме

В работе обсуждается выбор методики и техники комплексных геофизических исследований на оползневом теле «Анкаин джур» с целью изучения его инженерно-геологического строения и динамики. Предложенный комплекс геофизических методов позволил определить элементы залегания оползневого тела и выследить динамические процессы во времени.

METHODICAL PECULIARITIES OF GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS
OF THE «HANKAYIN DJUR» LANDSLIDE

Summary

In the article the choice of method and the technique of complex geophysical investigations of the "Hankayin Djur" landslide is discussed with the purpose of investigation of engineering-geological composition and dynamics of landslide body. The suggested complex of geophysical methods will allow to decide setting elements of the same type landslide body. Suggested methods follow the dynamics of the landslide.

Геология

УДК 5531:5392

К. А. БАГДАСАРЯН

**ОПТИМАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ СЕТИ ОПРОБОВАНИЯ
ШАУМЯНСКОГО ЗОЛОТОПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Шаумянское золотополиметаллическое месторождение, расположенное в Сюникской области РА, представлено серией полиметаллических жил широтного простирания, прослеживающихся до 100–500 м. Месторождение разведывалось системой штолен и квершлагов из шахт на пяти разведочных горизонтах. Опробование месторождения проводилось бороздовым и керновым способом. Расстояние между бороздовыми пробами составляет 4 м. Для обоснования оптимальной сети опробования был использован способ многовариантного разрежения.

Введение. Опробование является одной из наиболее важных операций при разведке месторождений полезных ископаемых, в связи с чем при проведении геолого-разведочных работ особенно актуальна проблема плотности его сети.

Анализ сети опробования проводился на примере Шаумянского золотополиметаллического месторождения, которое приурочено к восточному пологому крылу Кафанской антиклинали, осложненному субмеридиональными и сопряженными с ними субширотными разрывными нарушениями, обладающими крутым падением изменчивого направления. Месторождение является типично жильным и представлено серией полиметаллических жил широтного простирания с крутым падением на север и юг. По простиранию жилы прослеживаются от первых десятков до 100–300 м, реже до 400–500 м, по падению – на 200–250 м, при средней мощности – от 0,3–0,6 до 3,0–3,5 м. Мелкие жилы местами переходят в жильные зоны с нечеткими контактами [1].

На месторождении выявлено более 100 жил, по 24-ем из которых производился подсчет запасов.

Вскрытие месторождения производилось системой штолен и квершлагов из шахт на горизонтах 860, 820, 780, 700 и 600 м. По простиранию рудные тела прослеживались штреками, а для изучения оруденелых контактов по сетке через 10–12 м бурились короткометражные скважины.

Опробование горных выработок проводилось бороздовым способом в штреках, пройденных по простиранию жил, интервалом через 4 м.

При большой мощности рудных тел бороздовые пробы отбирались секциями длиной в 1 м. Квершлагги или расщепки, пройденные вкрест простирания рудных тел, были опробованы непрерывными метровыми бороздами по одной из стенок.

Керн скважин, пройденных по оруденелым вмещающим породам, был опробован секциями метровой длины по жилам, отдельно – по жильной массе и вмещающим породам.

Запасы Шаумянского месторождения оценивались по промышленным категориям C_1 и C_2 со средним содержанием золота 2,6 г/м.

Методика исследований. Согласно действующим требованиям [2], на золотополиметаллических месторождениях III группы по сложности геологического строения и степени изменчивости полезного ископаемого расстояние между пробами в прослеживающих выработках не должно превышать 1–4 м, а при большем интервале отбора проб разрежение сети следует обосновать экспериментальными данными. Коэффициент вариации наиболее изменчивого параметра для этой группы месторождений устанавливается в пределах 100–160%, а допустимая погрешность при определении основных подсчетных параметров по категории C_1 составляет от $\pm 25\%$ до $\pm 40\%$, по категории C_2 – от $\pm 40\%$ до $\pm 60\%$.

Для анализа плотности сети опробования был использован способ многовариантного разрежения эталонной сети, т.е. производилось сопоставление погрешностей определения мощности, среднего содержания металлов и условного золота как основных параметров подсчета запасов по совокупности вариантов сетей различной плотности.

Аналитически разрежение основывалось на применении элементарных формул математической статистики [3, 4]:

$$P = \frac{V}{\sqrt{n}} t,$$

где P – погрешность определения среднеарифметического показателя в относительных процентах, n – число проб, V – коэффициент вариации, t – коэффициент вероятности, который соответствует тому, что в определенном числе случаев погрешность не будет превышать рассчитанного значения (0,9) [3, 5].

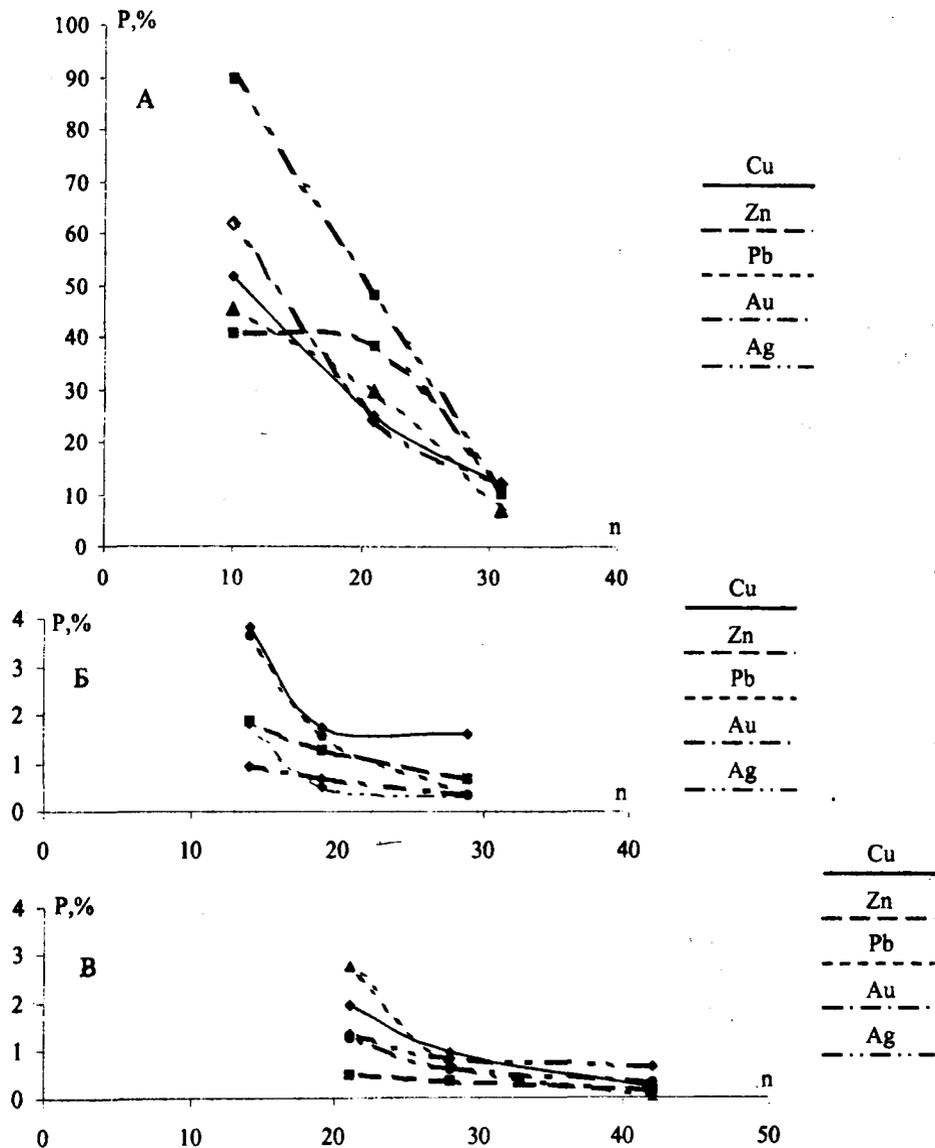
На ранних стадиях изучения Шаумяновского месторождения точность определения параметров невысока, можно оперировать большими значениями допустимых погрешностей. При предварительной и детальной разведке, когда требуется большая точность выявленных запасов, допустимые значения погрешностей должны быть меньше, а вероятность этого достаточно высока. Тем самым снижается доля риска возможных ошибок в оценке месторождения.

Учет ураганных проб производился по методу И.Д. Когана [4, 6].

Результат исследований. В целом по Шаумянскому месторождению были проанализированы сети опробования наиболее крупных 20 рудных тел, в том числе и №№ 3–6, 11, 13, 17, 25, 27, 28, 41 и 46, в которых содержится 48% запасов руды.

Разрежение сети проводилось в 2, 3 и 4 раза, т.е. соответственно через 8, 12 и 16 м. Следует отметить тот факт, что с увеличением числа

разведочных сечений погрешность определения основных параметров уменьшается. Это четко иллюстрируется графиками зависимости величин погрешностей определения содержания металлов от числа проб при коэффициенте доверительной вероятности 0,9 (на примере рудных тел №№ 4, 5 и 17) (см. рис.).



Графики изменения величины погрешности определения металлов в зависимости от числа проб по жилам 4 (А), 5 (Б) и 17 (В).

При повариантном разрежении сети опробования рудных тел Шаумянского месторождения выясняется, что погрешности определения подсчетных параметров характеризуются как положительными, так и отрицательными значениями.

Погрешность определения мощности рудной зоны колеблется в пределах от $\pm 0,04\%$ при разрежении в 2 раза, до $\pm 33,04\%$ – в 4 раза.

Изменчивость содержания металлов на различных горизонтах рудных тел разнохарактерная. В основной своей массе погрешности определения среднего содержания характеризуются более или менее равномерным повариантным ростом.

При разрежении сети опробования в 2 раза максимальная погрешность определения содержания меди составляет $\pm 21,54\%$, в 3 раза – $\pm 33,01\%$, в 4 раза – $\pm 52,55\%$, т.е. при интервале опробования через 16м погрешность определения не превышает допустимое значение.

По цинку значения погрешности определения среднего содержания при разрежении сети в 2 раза колеблются от $\pm 0,07\%$ до $\pm 19,8\%$. При 12-метровом интервале опробования значения погрешности определения изменяются в пределах от $\pm 0,36\%$ до $\pm 38,26\%$, а при разрежении в 4 раза – от $\pm 0,47\%$ до $\pm 41,47\%$, что меньше допустимого предела.

Максимальная погрешность определения среднего содержания свинца при разрежении сети в 2 раза составляет $\pm 30,75\%$, в 3 раза – $\pm 56,6\%$, в 4 раза – $\pm 82,85\%$, т.е. при 16-метровом интервале опробования погрешность определения превышает допустимый предел – 60%.

При разрежении сети опробования в 2 раза погрешность определения среднего содержания золота колеблется от $\pm 0,02\%$ до $\pm 14,16\%$, в 3 раза – от $\pm 0,49\%$ до $\pm 39,22\%$, а при интервале опробования через 16м – от $\pm 1,31\%$ до $\pm 61,9\%$, что несколько больше допустимой погрешности определения.

По серебру максимальная погрешность определения среднего содержания при разрежении сети опробования в 2, 3 и 4 раза составляет соответственно $\pm 12,23\%$, $\pm 23,06\%$ и $89,8\%$, т.е. при интервале опробования через 16м она превышает допустимый предел на 29,8%.

Обобщая вышеизложенное и анализируя рост погрешности определения средних содержаний металлов при различных вариантах разрежения сети, в качестве оптимальной для правильной промышленной оценки месторождения предлагается сеть опробования через 12м.

Для разведки и достоверной оценки месторождений со сложным геологическим строением, подобных золоторудным, необходимы значительные объемы опробования. Разрежение сети опробования предполагает ощутимое сокращение затрат на геологоразведочные работы, что повысит их эффективность и послужит немаловажным фактором при привлечении инвестиций.

*Кафедра методики поисков и разведки
месторождений полезных ископаемых*

Поступила 30.09.2003

ЛИТЕРАТУРА

1. Асланян Л.С., Амбарцумян Г.А. – Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1972, № 4.

2. Сборник руководящих материалов по геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых. ГКЗ при Совете Министров СССР, 1985, т. 1.
3. Каллистов П.Л. Изменчивость оруденения и плотность наблюдений при разведке и опробовании. – Сб.: Советская геология, 1956, № 53.
4. Коган И.Д. Подсчет запасов и геолого-промышленная оценка рудных месторождений. М.: Недра, 1974.
5. Кузьмин В.И. Геометризация и подсчет запасов месторождений твердых полезных ископаемых. М: Недра, 1967.
6. Мартиросян С.В. Опыт выявления и замены ураганных проб. – Труды АрмНИИпромцветмета, 1973, вып. 2 (11).

Զ. Ա. ԲԱԳԴԱՍԱՐՅԱՆ

ՇԱՀՈՒՄՅԱՆԻ ՈՍԿԻ-ԲԱԶՄԱՍԵՏԱՂԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԻ
ՆՍՈՒՑԱՐԿՄԱՆ ՕՊՏԻՄԱԼ ՑԱՆՑԸ

Ամփոփում

ՀՀ Սյունիքի մարզում գտնվող Շահումյանի ոսկի-բազմամետաղային հանքավայրը ներկայացված է 100–500մ տարածման, 0,3–0,5մ միջին հզորության երակայի մարմիններով: Հանքավայրը հետախուզվել է 600, 700, 780, 820 և 860մ հորիզոններում՝ ստորգետնյա լեռնային փորվածքներով և հորատանցքերով: Նմուշարկումը իրականացվել է ակոսային և հանուկային եղանակներով, ընդ որում լեռնային փորվածքներում ակոսային մնուշների միջև հեռավորությունը կազմել է 4մ: Նմուշարկման ցանցի նոսրացումը կատարվել է մաթեմատիկական վիճակագրության տարրական բանաձևերի հիման վրա: Ստացված արդյունքների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ նմուշարկման միջակայքը կարելի է հասցնել մինչև 12մ՝ ապահովելով հանքավայրի արդյունաբերական ճիշտ գնահատման սկզբունքը:

K. A. BAGDASARYAN

SUBSTANTIATION OF THE NETWORK DENSITY OF SAMPLING ON
THE SHAHUMYAN GOLD-POLYMETALLIC DEPOSIT

Summary

The gold-polymetallic deposit of Shahumyan is located in Syunik district of the Republic of Armenia. It is displayed by a number of veins of latitude extent with sharp incidence northwards and southwards and stretch from 100 up to 500m. The investigation of the deposit has been realized on horizons of 600, 700, 780, 820 and 860m by means of underground mountain drillings and pit-holes. Sampling has been implemented, using both furrow and core procedures at 4m radius. The analysis of the network density of sampling has been accomplished on basic formulas of statistics. After analyzing the results obtained it was indicated that possible expand of sampling radius is up to 12m, providing the principle on accurate economic assessment of the deposit.

УДК 519.217

С. М. НАРИМАНЯН, Т. З. ХАЧИКЯН

О РАВНОМЕРНОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОСТИ В СМЫСЛЕ
АРНОЛЬДА-КРЫЛОВА ПОДГРУПП ГРУППЫ ЛИ

В работе доказывается, что всякая всюду плотная в группе Ли сильно ливиллева подгруппа с конечным числом образующих равномерно распределена в смысле Арнольда-Крылова.

Сначала введем необходимые нам в дальнейшем понятия.

Пусть X_n – однородная марковская цепь со значениями в фазовом пространстве (E, B) , где E – счетное множество, B – класс всех подмножеств пространства E , и с переходными вероятностями $p(n, x, y)$, $x, y \in E$. Везде предполагается, что рассматриваемые цепи неприводимы и непериодичны. Тогда известно (см., напр., [1]), что существует $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{p(n, x, y)}$ и не зависит от x и y . Обратную величину этого предела обозначим через ρ и назовем спектральным радиусом цепи X_n . Оператор усреднения P , связанный с цепью X_n , действует в пространстве B -измеримых функций по формуле

$$Pf(x) = \sum_{y \in E} p(x, y) f(y).$$

Функция $f \geq 0$ называется гармонической для X_n , если $Pf = f$. Множество гармонических функций образует выпуклый конус, крайние точки которого называются минимальными гармоническими функциями.

В дальнейшем будем считать, что E – группа с единицей e . Если переходные вероятности удовлетворяют условию $p(x, y) = p(e, x^{-1}y)$ (тогда, конечно, $p(gx, gy) = p(x, y)$ для любого $g \in E$), то говорят, что цепь X_n инвариантна слева. Инвариантные марковские цепи в E будем называть случайными блужданиями на группе E . Случайное блуждание на E называется симметричным, если $p(e, x^{-1}) = p(e, x)$ для любого $x \in E$.

Определение. Группу E назовем лиувиллевой (см. [2]), если для любого симметричного случайного блуждания на E все ограниченные гармонические функции постоянны, и сильно лиувиллевой, если все гармонические функции постоянны. Например, абелевы и нильпотентные группы сильно лиувиллевы [2].

Пусть Γ – группа Ли, a_1, a_2, \dots, a_ν – ее элементы, а Γ_ν – подгруппа в Γ , порожденная элементами a_1, a_2, \dots, a_ν . Пусть $N_n(G)$ – число элементов $\Gamma_\nu \cap G$, представимых словами длины не более n , где G – область в Γ с компактным замыканием. Скажем, что подгруппа Γ_ν равномерно распределена в Γ в смысле Арнольда–Крылова [3], если для любых областей G_1, G_2 с компактными замыканиями имеем

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{N_n(G_1)}{N_n(G_2)} = \frac{\mu(G_1)}{\mu(G_2)}, \quad (1)$$

где μ – левоинвариантная мера Хаара на Γ .

Теорема. Всякая всюду плотная в Γ сильно лиувиллева подгруппа с конечным числом образующих равномерно распределена в Γ в смысле Арнольда–Крылова.

Доказательство. Пусть Γ_ν – всюду плотная в Γ сильно лиувиллева подгруппа группы Γ , a_1, a_2, \dots, a_ν – ее образующие. Рассмотрим на Γ_ν симметричное случайное блуждание вида $p(e, a_i) = p(e, a_i^{-1}) = 1/2\nu$. Пусть $P(n, e, G) = \sum_{y \in G} p(n, e, y)$. Тогда $N_n(G) = (2\nu)^n P(n, e, G)$ и поэтому (см. [4])

$$\frac{N_n(G)}{N_n(gG)} \rightarrow 1, \quad n \rightarrow \infty.$$

Другими словами, для любых конгруэнтных областей G_1, G_2 имеем

$$\frac{N_n(G_1)}{N_n(G_2)} \rightarrow 1, \quad n \rightarrow \infty. \quad (2)$$

Чтобы доказать справедливость соотношения (1), нам нужен следующий геометрический результат, представляющий самостоятельный интерес.

Лемма. Пусть $D \subset \Gamma$ – область с компактным замыканием и кусочно-гладкой границей ∂D . Тогда для любого $\varepsilon > 0$ найдутся такая область D_ε с кусочно-гладкой границей ∂D_ε , $e \in \partial D_\varepsilon$, и такие элементы $g_1, \dots, g_{N_-(\varepsilon)}$; $\tilde{g}_1, \dots, \tilde{g}_{N_+(\varepsilon)}$, что

$$\bigcup_{i=1}^{N_-(\varepsilon)} g_i D_\varepsilon \subseteq D \subseteq \bigcup_{i=1}^{N_+(\varepsilon)} \tilde{g}_i D_\varepsilon, \quad g_i D_\varepsilon \cap g_j D_\varepsilon = \emptyset, \quad i \neq j, \quad \text{и} \quad \left| \frac{N_+(\varepsilon)}{N_-(\varepsilon)} - 1 \right| \leq \varepsilon.$$

Доказательство. Не ограничивая общности, можно считать, что область D лежит в римановой координатной системе, содержащей e . В противном случае ее можно разрезать на конечное число кусков и, сдвинув каждый из них в окрестность e , провести рассуждения для

каждого из них по отдельности.

Рассмотрим $\exp^{-1} D \subset T_e(G)$ (см. [5]) и снабдим касательное пространство $T_e(G)$ прямоугольной декартовой системой координат, согласованной в $T_e(G)$ левоинвариантной римановой метрикой на Γ . Другими словами, рассмотрим D в римановых координатах с центром в e . Разобьем $T_e(G)$ на кубы с ребром $\varepsilon^{2/3}$, образующие правильную решетку. Число этих кубов, покрывающих $\exp^{-1} D$, имеет порядок $\varepsilon^{-2\nu/3} \text{mes} D$, где $\nu = \dim \Gamma$. Пусть Q_i – один из этих кубов, O_i – его центр, $\tilde{Q}_i = \exp^{-1} Q_i$, $\tilde{O}_i = \exp^{-1} O_i$ – их образы при экспоненциальном отображении $T_e(G)$ в G . Разумеется, множества \tilde{Q}_i не конгруэнтны, однако их размеры порядка $\varepsilon^{2/3}$, а границы $\partial\tilde{Q}_i$ равномерно по i кусочно-гладкие. Сдвинем \tilde{Q}_i так, чтобы \tilde{O}_i совпало с e . Обозначим новое множество через $\tilde{\tilde{Q}}_i$. Заметим, что вблизи e в римановых координатах метрическая форма имеет вид

$$ds^2 = \sum_{i=1}^{\nu} dx_i^2 (1 + Q_i(x)) + \sum_{i,j} dx_i dx_j Q_{ij}(x),$$

где функции $Q_i(x)$ и $Q_{ij}(x)$ – второго порядка малости по $|x|$. Так как $\text{diam} Q_i = O(\varepsilon^{2/3})$, то на всем этом множестве

$$(1 - c\varepsilon^{4/3}) \sum_{i=1}^{\nu} dx_i^2 \leq ds^2 \leq \sum_{i=1}^{\nu} dx_i^2 (1 + c\varepsilon^{4/3}). \quad (3)$$

Здесь c – некоторая постоянная, равномерная по i .

Возьмем теперь в качестве D_ε образ куба с центром e и ребром ε при экспоненциальном отображении $T_e(G)$ в G . В силу (2) нетрудно показать, что такие кубы (после надлежащих сдвигов) покрывают $\tilde{\tilde{Q}}_i$ так,

что $\left| \frac{N_+(\varepsilon, \tilde{\tilde{Q}}_i)}{N_-(\varepsilon, \tilde{\tilde{Q}}_i)} - 1 \right| \leq c\varepsilon^{1/3}$ равномерно по i . Отсюда немедленно следует

утверждение леммы.

Следствие леммы. Пусть D_1, D_2 – две области с кусочно-гладкими границами. Тогда для любого $\varepsilon > 0$ найдутся такая область D_ε и такие покрытия (в смысле леммы), что

$$\left| \frac{N_+(\varepsilon, D_1)}{N_-(\varepsilon, D_2)} - \frac{\mu(D_1)}{\mu(D_2)} \right| \leq \varepsilon, \quad \left| \frac{N_-(\varepsilon, D_1)}{N_+(\varepsilon, D_2)} - \frac{\mu(D_1)}{\mu(D_2)} \right| \leq \varepsilon.$$

Наконец, для завершения доказательства теоремы следует применить следствие леммы с учетом соотношения (2).

Кафедра теории вероятностей
и математической статистики

Поступило 04.12.2003

ЛИТЕРАТУРА

1. Нариманян С.М. – Вестник МГУ, Мат., Мех., 1975, № 6, с.17–24.
2. Нариманян С.М. – Ученые записки ЕГУ, 1977, № 2, с.3–7.
3. Арнольд В.Н., Крылов А.Н. – ДАН СССР, 1963, т. 14, № 1, с.1046–1051.
4. Мовсисян М.Ю., Нариманян С.М. – Ученые записки ЕГУ, 1999, № 2, с.7–11.
5. Кириллов А.А. Элементы теории представлений. М.: Наука, 1972.

Ս. Մ. ՆԱՐԻՄԱՆՅԱՆ, Տ. Ջ. ԽԱՉԻԿՅԱՆ

ԼԻԻ ԽՄԻԻ ԵՆԹԱԽՄԲԵՐԻ ԱՌՆՈԼԴԻ-ԿՌԻԼՈՎԻ ԻՍԱՍՏՈՎ
ՀԱՎԱՍԱՐԱԶՈՓ ԲԱՇԽՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ամփոփում

Աշխատանքում ապացուցվում է, որ Լիի խմբի յուրաքանչյուր ամենուրեք խիտ, ուժեղ լիովիյան վերջավոր թվով ծնիչներով ենթախումբ հավասարաչափ է բաշխված այդ խմբում Առնոլդի-Կրիլովի իմաստով:

S. M. NARIMANYAN, T. Z. KHACHIKYAN

ON THE UNIFORM DISTRIBUTION OF LEE GROUP'S SUBGROUPS
IN SENSE OF ARNOLD-KRILOV

Summary

The result of the present work sounds as follows. In Lee's group, any everywhere dense strongly liuvilial subgroup generated by finite number of group elements is uniformly distributed in the sense of Arnold-Krilov.

Химия

УДК 543:544:546

ЯСИН МАЛА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОКОЛИЧЕСТВ ВАНАДИЯ МЕТОДОМ ТОНКОСЛОЙНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

Изучена возможность применения тонких слоев природного сорбенто-ионообменника аргиллизита для количественного определения ванадия в растворах. При использовании в качестве подвижной фазы смеси соляной кислоты (0,1 моль/л) с этанолом в объемном соотношении 9:1 пятна ванадат-ионов на тонком слое сорбента имеют компактную, строго овальную форму. Это позволяет предложить новый метод определения микроколичеств ванадия в растворах с погрешностью определения, не превышающей 8–10 относительных процентов.

Ванадий довольно широко распространен в природе, хотя и относится к редким элементам, и находит широкое применение в различных ведущих отраслях народного хозяйства.

В известной нам литературе отсутствуют данные о количественном определении ванадат-ионов в растворах с применением метода тонкослойной хроматографии (ТСХ). Между тем определение микроколичеств элементов непосредственно на хроматограмме измерением площади пятна является простым и экспрессным методом количественного определения содержания ионов на тонких слоях сорбентов. Возникает потребность в изучении состояния ионов ванадия (V) в растворах для разработки новых эффективных хроматографических методов его разделения и определения. Для этой цели в настоящей работе делается попытка использовать закрепленные слои мелкодисперсного минерала аргиллизита.

Нами впервые применен метод непосредственного определения микроколичеств ванадия (V) в растворах по площади его пятна на пластинках для ТСХ с закрепленными слоями аргиллизита. Такой метод был использован для определения микроколичеств рения и других редких элементов [1–6]. Ранее нами был разработан спектрофотометрический метод определения ванадат-ионов с использованием окрашенных роданидных комплексов ванадия (V) [7].

Экспериментальная часть. В работе использованы стеклянные пластинки для ТСХ с закрепленными тонкими слоями из аргиллизита (толщина 0,25мм), а в качестве подвижных фаз (ПФ) – растворы сильных кислот и оснований в смесях с этанолом.

Предварительные эксперименты показали, что после хроматографирования и проявления ионов слой сорбента на пластинке окрашивается в слабо-зеленый цвет и собственное окрашивание ионов ванадия (V) не проявляется. По этой причине аргиллизитовые слои обесцвечивали предварительной обработкой раствором соляной кислоты с концентрацией 6,0моль/л.

Методика определения. С помощью микрошприца на пластинку размерами 8,5см×12,0см на расстоянии 1,0см от ее края наносили стандартные растворы, содержащие 0,25–20мкг ванадия (V). Пластинку погружали в хроматографическую камеру, содержащую ПФ, так, чтобы стартовая линия оставалась выше уровня жидкости на 0,5см. Камеру герметично закрывали стеклянной пластинкой.

После перемещения ПФ на расстояние 10,0см от линии старта пластинку извлекали из камеры, высушивали при комнатной температуре и проявляли хроматограммы, опрыскивая слой с помощью пульверизатора 35-процентным раствором хлорида олова в 6,0М соляной кислоте, а затем насыщенным раствором роданида аммония. При этом зоны ионов ванадия окрашиваются в желто-зеленый цвет. Измерения значений R_f и площади зон ванадия (V) проводили сразу же после появления окрашенных пятен.

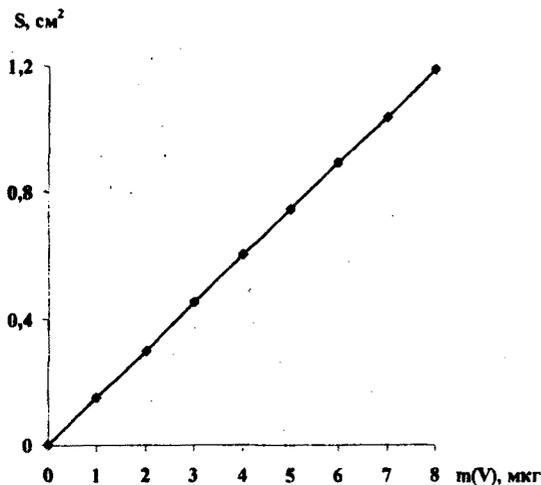
Результаты и их обсуждение. Предварительные опыты показали, что в смесях растворов щелочи (NH_4OH или KOH) и этанола ионы ванадия (V) на закрепленных аргиллизитовых слоях характеризуются низкими значениями R_f . В растворах соляной кислоты различных концентраций ванадий (V) хорошо перемещается по слою. В частности в интервале концентраций 0,05–6,0моль/л величины R_f и площади зон зависят от концентрации соляной кислоты. При использовании в качестве ПФ смеси HCl (0,1моль/л)–этанол с объемным отношением компонентов 9:1 пятна ванадия (V) имеют компактную, строго овальную форму, что дает возможность определить концентрацию ванадия (V) непосредственно на слое аргиллизита. Чем больше путь миграции ПФ, тем больше площадь пятен, однако значения R_f ионов ванадия (V) при этом остаются неизменными.

При количественной интерпретации ТСХ предполагается существование линейной зависимости между площадью пятен (S) и массой (m) определяющего вещества $S = Km$ [8]. По другим данным, пропорциональная зависимость площади пятен наблюдается от корня квадратного из массы вещества, т.е. $S = K\sqrt{m}$ [9]. Описана также линейная зависимость между логарифмом массы и корнем квадратным из площади пятна: $\lg m = K\sqrt{S}$ [10, 11].

Нами была изучена зависимость площади пятен ванадия (V) от его концентрации. Используются стандартные растворы (1,0–8,0мкг вана-

дия (V)/мл). По экспериментальным данным была построена градуировочная кривая (см. рис.).

Как видно из рисунка, в интервале концентраций 1,0–8,0 мкг/мл площадь пятна линейно зависит



Градуировочная кривая непосредственного ТСХ-определения микроколичеств ванадия (V).

пятна ванадия (V) на закрепленных тонких слоях аргиллизита имеют компактную, строго овальную форму, что позволяет предложить новый метод определения микроколичеств ванадия (V) с удовлетворительной погрешностью.

Кафедра аналитической химии

Поступило 15.09.2003

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайбалян Д.С., Бабаян Х.С., Григорян Ц.А. — Арм. хим. ж., 1970, т. 23, № 4, с. 333.
2. Гайбалян Д.С. — Арм. хим. ж., 1970, т. 23, № 1, с. 91.
3. Гайбалян Д.С. — Арм. хим. ж., 1970, т. 23, № 1, с. 93.
4. Гайбалян Д.С., Ружилю Я.К., Хамуй Д.И. IV Ogólnopolska konferencja chromatograficzna. Lublin (Polska). Wrzesien, 1989, p. 26.
5. Гайбалян Д.С., Мкртчян Г.М., Хамуй Д.И., Давтян М.У. — Заводская лаборатория, 1991, т. 57, № 2, с. 12.
6. Гайбалян Д.С., Мкртчян Г.М., Давтян М.У., Джапаридзе К.Д. — Арм. хим. ж., 1991, т. 44, № 6, с. 759.
7. Гайбалян Д.С., Мубаяджян К.М., Хачатрян А.Г. — Хим. ж. Армении, 1997, т. 50, № 3–4, с. 133.
8. Siechowski J. — Chem. Analyt. (Poland), 1964, v. 9, № 2, p. 391.
9. Shellard E., Alam U. — J. Chromatogr., 1968, v. 33, № 2, p. 347.
10. Purdy S., Truter E. — Analyst, 1962, v. 87, № 1039, p. 802.
11. Вильбок Х.О., Пылдме М.Э. — ЖАХ, 1972, т. 27, № 4, с. 783.

ՅԱՍԻՆ ՄԱԼԱ

ՎԱՆԱԴԻՈՒՄԻ ՄԻԿՐՈՔՎԱՆԱԿՆԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՆՐՔԱՇԵՐՏ
ՔՐՈՄԱՏՈԳՐԱՖԻԱՅԻ ԵՂԱՆԱԿՈՎ

Ամփոփում

Ուսումնասիրվել է բնական սորբենտ-իոնափոխանակիչ արգիլիզիտի բարակ շերտերի կիրառության հնարավորությունը լուծույթներում վանադիումի քանակական որոշման համար: Երբ որպես շարժուն ֆազ կիրառվում են աղաթթվի (0,1մոլ/լ) և էթանոլի 9:1 ծավալային հարաբերությամբ խառնուրդները, վանադատ-իոնների բծերը լինում են կոմպակտ և խիստ օվալաձև: Դա թույլ է տալիս առաջարկել լուծույթներում վանադիումի միկրոքանակների որոշման մի նոր եղանակ, որի հարաբերական սխալը չի գերազանցում 8–10%-ը:

YASIN MALA

DETERMINATION OF VANADIUM MICRO-QUANTITIES USING
THIN-LAYER CHROMATOGRAPHY METHOD

Summary

Possibility of using thin layers of natural sorbent ion-exchanger argyllizite for quantitative determination of vanadium in solutions has been studied. When using hydrochloric acid (0,1mol/l)–ethanol 9:1 by volume mixtures as mobile phase the spots of vanadate-ions on the thin layer of the sorbent have compact strictly oval shape. This allows to suggest a new method for determination of micro-quantities of vanadium the relative error of which is not more than 8–10%.

Биология

УДК 576.351:667.51

Н. С. ВАРДАЗАРЯН

**ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА И ПОЛА НА СПОНТАННЫЙ УРОВЕНЬ
МИКРОЯДЕР В ЭКСФОЛИАТИВНЫХ КЛЕТКАХ РОТОВОЙ
ПОЛОСТИ ЗДОРОВЫХ ЛИЦ АРМЯНСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ**

Работа посвящена изучению вопроса о влиянии пола и возраста на спонтанный уровень цитогенетических повреждений, регистрируемых микроядерным методом, в эксфолиативных клетках ротовой полости здоровых некурящих армян. Показано, что повышенные уровни микроядер наблюдаются у женщин и лиц старших возрастных групп, в отличие от мужчин и представителей младших возрастных групп.

Микроядерный анализ (МЯ-анализ) в эксфолиативных клетках ротовой полости человека является признанным современным тестом на мутагенность, который практически осуществляется путем подсчета количества микроядер в эксфолиативных клетках (ЭК) ротовой полости человека. Микроядра (МЯ) есть результат отставания в процессе клеточного деления отдельных хромосом или ацентрических фрагментов.

При сравнении результатов, полученных при регистрации уровней МЯ (как спонтанных, так и индуцированных) в разных исследуемых группах, возникает вопрос: возможно ли сопоставлять результаты МЯ-анализа, полученные на представителях разного пола и возраста? Это положение в литературе интерпретируется неоднозначно. Некоторые авторы [1] считают несущественными половозрастные различия уровней МЯ в ЭК. Отсюда можно было бы полагать, что при подборе исследуемых и контрольных групп эти факторы не заслуживают особого внимания. Однако имеются также данные [2, 3], свидетельствующие о некоторых различиях для уровня МЯ в ЭК по полу и возрасту, и, следовательно, необходимо корректировать исследуемые и контрольные группы по таким факторам.

Доказательством актуальности этой проблемы стало создание специального международного проекта для всестороннего исследования данного вопроса, который действует и по сей день (Human Micronucleus Project).

Пользуясь обстоятельством, что в процессе научных изысканий нами накоплено большое количество необходимого материала, было решено провести исследование данной проблемы на здоровых лицах армянской популяции обоих полов и разных возрастов.

Материалы и методы исследования. Для изучения вопроса о влиянии пола на уровни МЯ и ядерных аномалий в ЭК ротовой полости забирались соответствующие мазки у 14 здоровых некурящих мужчин (средний возраст всей группы – 45,64 лет) и 14 здоровых некурящих женщин (средний возраст всей группы – 46,07 лет).

Для исследования вопроса о влиянии возраста на уровни МЯ и ядерных аномалий в ЭК ротовой полости забирались мазки у здоровых некурящих женщин (60 человек) разных возрастов (средний возраст – 30,38 лет).

Ко всем исследованным лицам был применен метод анализа МЯ в ЭК слизистой ротовой полости, предложенный Стихом (Stich) в 1982.

С внутренней стороны щеки и нижней губы смоченным в воде деревянным шпателем соскабливались клетки, которые наносились на предметное стекло. Высушенные на воздухе мазки фиксировались в смеси этилового (метилового) спирта и ледяной уксусной кислоты в соотношении 3:1. Препараты окрашивали по реакции Фельгена при обработке в 1*N* растворе HCl комнатной температуры с последующим гидролизом в 1*N* HCl при 60°C, затем снова помещали в раствор 1*N* HCl комнатной температуры. Красили в реактиве Шиффа с последующей подкраской лихтгрюном. От каждого индивида в зависимости от качества препарата изучались от 500 до 2000 клеток, затем результаты пересчитывали на 1000 клеток (%). Кроме учета количества МЯ и клеток с микроядрами (КМЯ), был предложен учет следующих ядерных аномалий: бинуклеатов (БН), конденсированного хроматина (КХ), кариорексиса (КР), пикноза (Пик), кариолизиса (КЛ) и феномена «сломанное яйцо» (СЯ). Статистический анализ количества МЯ и ядерных аномалий проводили с использованием U-теста Манна-Уитни (Mann-Whitney).

Корреляционный анализ осуществляли с помощью компьютерного пакета «Statgraphics Plus».

Результаты и их обсуждение. При сравнении соответствующих уровней МЯ и ядерных аномалий в ЭК ротовой полости 14 здоровых некурящих мужчин и 14 женщин одинакового возраста (в среднем 45,64 и 46,07 лет соответственно) были получены следующие результаты (см. рис. 1): у женщин уровни КМЯ ($2,24 \pm 0,25$ и $1,36 \pm 0,16$ соответственно), МЯ ($3,70 \pm 0,82$ и $1,64 \pm 0,21$ соответственно) и КХ ($7,79 \pm 1,07$ и $4,39 \pm 0,62$ соответственно) значимо выше. Следовательно, предположения о существенных различиях в уровнях МЯ и ядерных аномалий в ЭК ротовой полости здоровых мужчин и женщин подтверждаются. Полученные нами данные по уровню МЯ в ЭК совпадают с таковыми для микроядер в лимфоцитах [2, 4], которые показали, что мужчины имеют в лимфоцитах уровень МЯ меньший, чем женщины.

Вторая часть нашего исследования была посвящена вопросу о влиянии возраста на уровни МЯ и ядерных аномалий в ЭК.

Данные по изменениям уровней МЯ и ядерных аномалий в разных возрастных группах здоровых женщин, представленные на рис. 2, следующие.

1. Уровень КМЯ коррелирует с возрастом ($r=+0,40$). В группе 20–29 лет наблюдались его минимальные (min) значения, а в группе 60–69 – максимальные (max), причем уровень КМЯ был значимо выше ($p<0,05$) в группах 50–59 и 60–69 лет, чем в группе 20–29 лет.

2. Уровень МЯ коррелирует с возрастом ($r=+0,47$): от min в группе 20–29 лет он постепенно повышается до max в 40–49 лет, при этом значимо выше ($p<0,05$) в группах 50–59 и 60–69 лет по сравнению с таковым в группе 20–29 лет.

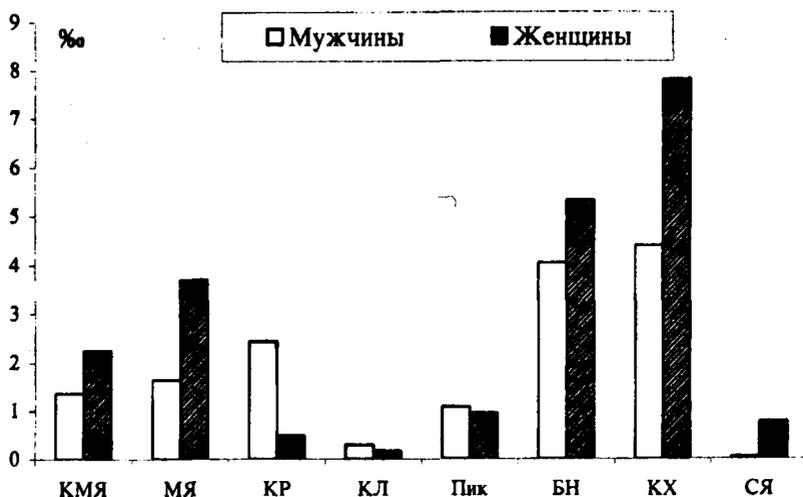


Рис. 1. Уровни микроядер и ядерных аномалий в эксфолиативных клетках ротовой полости здоровых некурящих мужчин и женщин.

3. Уровень КР, в отличие от таковых КМЯ и МЯ, с возрастом снижается ($r=-0,33$), и в группе 20–29 лет значимо выше ($p<0,05$) по сравнению с соответствующими значениями в группах 50–59 и 60–69 лет.

4. Уровень КЛ не коррелирует с возрастом: от max в группе 10–19 лет он понижается до min в группе 40–49 лет и снова повышается в группе 60–69 лет (изменения не были значимы).

5. Уровень Пик не коррелирует с возрастом и имеет два пика значений – в возрасте 10–19 лет и 60–69 лет, в остальных группах колеблется без особой разницы вокруг более низких значений (изменения не были значимы).

6. Уровень БН не коррелирует с возрастом и имеет три пика значений: два – в группах 10–19 и 30–39 лет, и третий (самый высокий) – в группе 60–69 лет (значимой разницы не было).

7. Изменения уровня КХ дают картину, сходную с распределением КМЯ: он постепенно повышается от min в возрасте 20–29 лет до max в

возрасте 60–69 лет (со значимой разницей между ними), однако КХ не коррелирует с возрастом.

8. Уровень СЯ коррелирует с возрастом ($r=+0,28$). Максимальное значение приходится на 60–69 лет, имеется небольшое повышение уровня и в группе 30–39 лет (различия не были значимы).

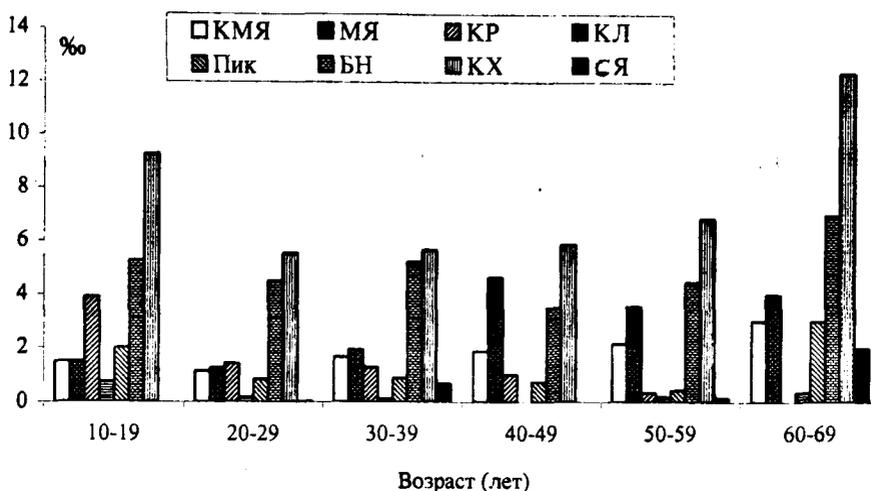


Рис. 2. Уровни микроядер и ядерных аномалий в эксфолиативных клетках ротовой полости здоровых некурящих женщин разных возрастных групп.

Таким образом, видно, что у здоровых женщин в ЭК ротовой полости уровень КМЯ и некоторых ядерных аномалий коррелирует с возрастом, что хорошо согласуется с литературными данными. Так, в [2, 4, 5] при обследовании большого числа здоровых лиц разного пола и возраста установлено, что у старых людей (80–113 лет) средний уровень aberrантных лимфоцитов периферической крови повышен по сравнению с таковым у более молодых. Сходная картина наблюдается и для МЯ в лимфоцитах.

Из полученных нами результатов следует практический вывод: при любого рода исследованиях с использованием МЯ-теста в ЭК ротовой полости необходимо корректировать как контрольные, так и исследуемые группы по возрасту и полу.

Кафедра генетики и цитологии

Поступило 24.09.2003

ЛИТЕРАТУРА

1. Fenech M., Holland N., Chang W.P., Zeiger E., Bonassi S. – *Mutat. Res.*, 1999, v. 428, p. 271–283.
2. Bonassi S., Fenech M., Lando C., Lin Y., Ceppi M. et al. – *Environ. Molec. Mutagenesis*, 2001, v. 37, p. 31–45.

3. Chakrabarty R.H., Dutta K. – Eur. J. Gynecol. Oncol., 1988, v. 9, № 5, p. 370.
4. Bolognesi C., Lando C., Forni A., Landini E., Scarpato R., Migliore L., Bonassi S. – Age and Ageing., 1999, v. 28, p. 393–397.
5. Kőteles G.J., Bojtor I., Szirmai S., Bérces J., Ótos M. – Mutat. Res., 1993, v. 319, p. 267–271.

Ն. Ս. ՎԱՐԴԱԶԱՐՅԱՆ

ՏԱՐԻՔԻ ԵՎ ՍԵՌԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀԱՅԿԱԿԱՆ
ՊՈՊՈՒԼՅԱՑԻԱՅԻ ԱՌՈՂՁ ԱՆՁԱՆՑ ԲԵՐԱՆԻ ԽՈՌՈՉԻ
ԷՔՍՖՈԼԻԱՏԻՎ ԲԶԻՋ ՆԵՐՈՒՄ ՄԻԿՐՈԿՈՐԻՋՆԵՐԻ ՍՊՈՆՏԱՆ
ՍԱԿԱՐԴԱԿԻ ՎՐԱ

Ամփոփում

Աշխատանքը նվիրված է առողջ չծխող հայ կանանց և տղամարդկանց սեռի և տարիքի ազդեցությանը նրանց բերանի խոռոչի էքսֆոլիատիվ բջիջներում բջջազենետիկական խաթարումների սպոնտան մակարդակների վրա միկրոկորիզային մեթոդով: Ցույց է տրված, որ կանանց և ավագ խմբերի ներկայացուցիչների դեպքում դիտվում է միկրոկորիզների մակարդակների բարձրացում ի տարբերություն տղամարդկանց և կրտսեր խմբերի ներկայացուցիչների:

N. S. VARDAZARYAN

THE INFLUENCE OF AGE AND GENDER ON THE LEVEL OF
MICRONUCLEI IN THE EXFOLIATED ORAL MUCOUS CELLS IN
HEALTHY PERSONS OF ARMENIAN POPULATION

Summary

Influence of age and gender on the levels of cytogenetic disturbances in exfoliated oral mucous cells of healthy non-smoking Armenians by means of micronucleus assay is analysed. It is revealed the increase of the micronuclei levels of women (compared with men) and of older persons (compared with younger ones).

УДК 552.16

С. Е. ГОГИНЯН

МЕТАЛЛУРГИЯ ЖЕЛЕЗА В ИСТОРИЧЕСКОЙ АРМЕНИИ

В ходе систематических геологических исследований территории Республики Армения выявлен ряд месторождений полезных ископаемых, разработанных в глубокой древности. Выявленные многочисленные следы и остатки древней разработки руд и их плавки выражены заваленными и затопленными горизонтальными горными выработками, воронками и ямами (следы эксплуатационных горных выработок на современном рельефе), наклонками, камерами, шлаковыми скоплениями и разными остатками плавильного процесса. Изучение древних металлургических шлаков и разработок имело единственную цель – использовать их как поисковый критерий.

Введение. В истории развития человеческого общества роль железа, важнейшего из всех видов сырья, безгранично велика. Оно сыграло громадную историческую роль в деле обработки земли, способствовало превращению в пашни широких лесных пространств, дало орудие такой твердости и остроты, которому не мог противостоять ни один камень, ни один из известных в ту пору металлов. Однако исследователи все еще уделили недостаточно внимания глубокому изучению истории древней металлургии и способу прямого восстановления железа из руды [1].

Вопросы, связанные с началом использования железа в исторической Армении, далеко не разрешены, они и поныне представляют особый интерес.

Египетские письменные памятники впервые упоминают о применении металлургического железа в XIII в. до н.э. Но известно, что ни в Египте, ни в Сирии и Палестине пока не обнаружено никаких следов относительно добычи и обработки железной руды. По мнению ряда археологов, родина железа и вообще металлов находится на Кавказе. С. К. Дикшит [1] считает весьма вероятным, что открытие эффективного метода плавки железа принадлежит племенам Армянского нагорья и что первые революционные перевороты, явившиеся следствием начала железного века, произошли, по-видимому, во второй половине II тысячелетия до н.э. Он же подчеркивает, что эпицентр этой революции находится на Кавказе, в горах

Армении. Наконец, имеющиеся данные утверждают, что честь и приоритет введения цивилизации железного века принадлежат каким-то индоевропейским племенам, среди которых наиболее почетное место, несомненно, занимают хетты Армении [1]. Айзек Азимов [2] свидетельствует, что где-то в 1300 г. до н.э. техника выплавки и науглероживания железа была разработана в Кавказских предгорьях – в Урарту. Страна эта была тогда под властью Хеттского царства, которое находилось на высшем уровне своей военной мощи. Хеттские цари тщательно охраняли монополию на новую технику, ибо понимали ее важность. Предположение о том, что уже во II тысячелетии до н.э. железо было известно древним арменоидным племенам Армянского нагорья, основано на текстах клинописных источников. Сведения по истории производства железа имеются у Б.Е. Деген–Ковалевского [3], указывающего на существование древней добычи и разработки железа в Закавказье. Разработанные месторождения и остатки древних плавильных печей указывают на железоделательные процессы, относящиеся к доклассовому обществу.

Наиболее важным археологическим материалом, имеющим большую ценность для убедительной датировки производства железа в Армении, являются обильные остатки материальной культуры, добытые из самого нижнего слоя известного доурартского поселения Тейшебаини (Кармир-блур) близ Еревана и отнесенные А.А. Мартиросяном [4] к концу XIII в. до н.э. Интересующий нас культурный слой располагался на глубине 4–5 м и был насыщен золой и углями, а также остатками каменных и глиняных плавильных тиглей. Среди прочего древнеметаллургического инвентаря, что особенно важно, находились также ошлакованные куски железа. Надо полагать, что здесь обнаружены также остатки кузнечной мастерской, где, наряду с выделкой бронзовых изделий, занимались и производством железного инвентаря. При производстве различных геологических работ исследователями было найдено множество остатков древней разработки, однако в литературе встречаются лишь немногословные замечания об их существовании.

Как правило, все выявленные нами скопления металлургических шлаков и плавильные печи (за редким исключением) находились в непосредственной близости от выходов рудных тел. Очевидно, что в древности плавка руд производилась вблизи естественных выходов на дневную поверхность, т.к. не было никакого смысла перевозить их куда-то в условиях бездорожья тех времен. В возрастном отношении эти памятники колеблются в довольно широком диапазоне времени – начиная от доклассового общества и кончая XX в.н.э.

В результате наших наблюдений и обобщения литературных данных мы приходим к выводу, что по наличию соответствующих исторических памятников Армения отличается наибольшей насыщенностью железорудными месторождениями и проявлениями с явными признаками древней эксплуатации их и выплавки металла. Под таким углом зрения определенный интерес представляют остатки железоплавильного производства долины р. Агарцин (вблизи г. Дилижан), свидетельствующие о использовании руд

данного месторождения в глубокой древности с плавкой и обработкой на месте (рис. 1).

По распространенности древних металлургических шлаков и разработок в сравнении с другими районами Армении долина р. Агарцин занимает особое место.



Рис. 1. Обломок шлака из скопления в местности Галоци-ландж в долине реки Агарцин.

хорошей обогатимостью. Исходя из аналогичности выявленных нами в районе Агарцинского месторождения скоплений металлургических шлаков, считаем достаточным описание лишь наиболее характерных его пунктов. К ним относится скопление в Гехатехе (место села), занимающее площадь около 150 м^2 . Сверху оно покрыто почвенно-растительным слоем и наносами мощностью в 20–30 см. В шлаковой массе мощностью до 1,0 м часто встречаются обломки неоплавленного песчаника, желтовато-красной обожженной породы и в изобилии куски обожженной глины. Заслуживают внимания небольшие фрагменты глиняных огнеупорных трубок – воздушных сопел (рис. 2).

С наружной стороны сопло часто сильно обожжено и превращено в черное стекло, чаще – покрыто небольшим слоем шлака, с внутренней стороны местами оно сохранило свой первоначальный облик. Обломки подобных сопел найдены во многих пунктах, однако – ни одного целого. Диаметры их колеблются в пределах 20–30 мм. Толщина стенок ограничивается 5–6 мм. Длина сопел, очевидно, была разной – в зависимости от

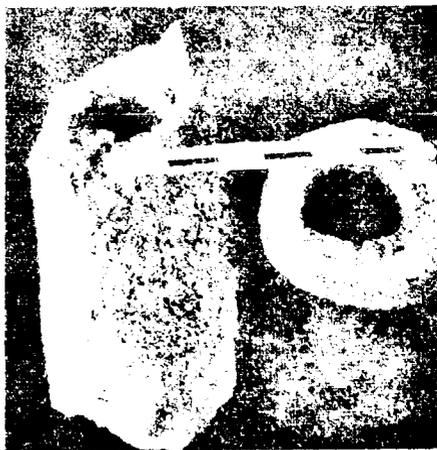


Рис. 2. Обломки глиняных сопел, найденных в местечке Кушджаган, Шамшадинского района

расстояния между горном и мехами, подававшими воздух в печь. В большинстве случаев шлаки покрыты значительным слоем наносных отложений и выявляются лишь по единичным обломкам, встречающимся на поверхности, а чаще – по древним тропам и дорогам.

Типичным примером погребенного скопления являются шлаки к югу по склону Алоци-ландж*. В нижней гребневой части, около дороги, в шурфе, непосредственно под наносами наблюдается тонкий слой разрушенных металлургических шлаков толщиной в 2–4 см с древесным углем и золой. Мощность наносных отложений составляет 1,3 м. Несколько выше разложенного прослоя шлаков, в наносах, наблюдаются шлаки более свежие, т.е. сравнительно молодые, что объясняется двумя этапами плавки руды на этом месте. Из всех участков Агарцинского месторождения наиболее эксплуатированным является Алоци-ландж, поэтому описание группы древних эксплуатационных выработок данного участка считаем характерным и достаточным для всех остальных.

Эксплуатация рудных пластов Агарцинского месторождения в древности велась двумя способами – открытым и подземным – в зависимости от глубины залегания пласта. Поверхностное залегание рудных пластов способствовало открытой разработке траншейно-карьерным способом вдоль выходов пластов, в данном случае – вдоль склона, что и привело к образованию многочисленных террас на фоне современного рельефа.

Подземный способ, который применялся также широко, представлен двумя типами выработок – вертикальным и горизонтальным выходами на дневную поверхность. Вертикальные выработки в настоящее время представлены гирляндой правильных воронок, расположенных вдоль склона двумя-тремя рядами в шахматном порядке. Глубина больших воронок (ям) составляет 10–12 м, диаметр – более 20 м, а рядом с ними в доминирующем количестве имеются сравнительно мелкие. Все указанные воронки имеют отвалы, состоящие из обломков вмещающих пород и магнетитовой руды.

Из выявленных и описанных нами подземных выработок горизонтального типа наиболее значительными являются две. Устья их заложены в щелочных интрузивных породах, непосредственно под которыми залегают магнетитовые песчаники. Эти выработки представлены большими камерами с уклоном по падению рудного пласта на СЗ под углом 30–35°. Рудное тело состоит из отдельных пластов мощностью 30–40 см. Суммарная мощность этих прослоев составляет около 2,5 м. Отличаются они содержанием магнетита. Потолок выработок представлен большей частью пластовой интрузией щелочного состава, подошва – магнетитовыми песчаниками. Судя по сохранившимся на потолке выработок следам инструментов, разработка велась металлическими клиньями без применения взрывчатых веществ. Высота подземных камер составляет 2–2,5 м, площадь превышает 200 м.

Данные исследований свидетельствуют о том, что долина р. Агарцин была населена с незапамятных времен.

* Алоци-ландж означает склон плавильни.

Аналогичные факты наблюдаются почти во всех районах республики. Так, в местечке Гуш-джрагац Шамшадинского района, в канаве, под наносами мощностью в 1,5–2,0 м, были обнаружены скопление железных шлаков, обломки глиняных сопел и руды.

Металлургические шлаки и обломки магнетитовых руд также имеются в отдалении от бассейна р. Агарцин, на склонах горы Маймех, со стороны города Дилижан (у села Головино). Среди рассеянных обломков железного шлака был найден кусок железокремниевое сплава (рис. 3) с сильным серебристым блеском, без следов коррозии. Он характеризуется также весьма повышенной твердостью (алмазная пила режет с большим трудом). Химическим анализом установлен его состав: SiO_2 – 27,1%, железо растворимое в соляной кислоте – 35,9%, железо силикатное – 36,25%. После обжига данной пробы получилось: SiO_2 – 27,1%, железо растворимое – 19,83%, железо силикатное – 52,32%.

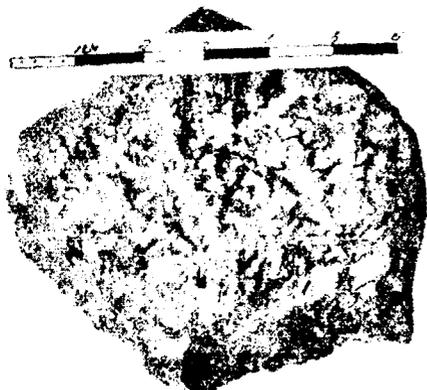


Рис. 3. Обломок железокремниевое сплава, склон горы Маймех.

Как видим, часть растворимого железа перешла в силикатное. Общее количество железа при этом не изменилось (72,15%). Из других элементов

в малых количествах присутствуют Ni и V, что является характерным для руд Агарцинского месторождения магнетитовых песчаников.

Не меньшую ценность представляют памятники древних железнорудных процессов долины р. Мармарик в Разданском районе. Metallurgical slags here are often found not at the site of their primary smelting, but a little further away, and carry the character of slags, transported by water, scattered along the banks of rivers and streams. In many points, besides scattered slags, there are accumulations of small volumes (1,5–3,0 m³). The greatest interest among them is an accumulation at the mouth of the Aghdazur river. It is not very large and is represented by large (10–15 cm) scattered pieces of porous light slag with a content of small unshaped fragments of quartz. Along with slags and fragments of clay plaster of the furnace and furnace walls, there were many fragments of thick-walled fired reddish-brown clay, the thickness of which is 4–5 cm. Here there were a lot of ash and wood charcoal. Found thick pieces of clay are fragments of artificial plaster, made for strengthening the furnace lining. At the site of the finds, the outlines of rectangular structures with stone walls up to 1,0 m high are clearly visible. Undoubtedly, here we are dealing with a complex of structures of the workshop, the furnace and the coal storage.

Выявлено также у пансионата завода «Наирит», напротив с. Артаваз Разданского района, восемь таких полуземляночных сооружений, выше и

ниже которых по дороге встречаются мелкие пористые обломки железного шлака. Наличествуют там и небольшие могильники.

При археологических раскопках Лчашенской крепости (на берегу оз. Севан) в одном из производственных сооружений были найдены две железоплавильные печи, каменные стены их с толстой глиняной обмазкой имели округлую форму (рис. 4).



Рис. 4. Остатки плавильной печи в Лчашенской крепости.

Среди пепла и угля обнаружен небольшой обломок кричного губчатого железа (рис. 5), сильно корродированного под воздействием грунтовых вод. Этот факт доказывает, что здесь занимались плавкой железа и производством орудий и оружия из кричного железа. Указанные плавильные печи раскопаны ниже культурных слоев средневекового и урартского времени. Это обстоятельство и особенно обнаруженный в большом количестве керамический и другой вспомогательный материал позволили руководителю археологической экспедиции А. Мнацаканяну (рукопись) отнести данный слой к XIII в. до н.э.

Производство железа осуществлялось так называемым сыродутным способом выплавки в печах малых объемов, куда засыпались древесный уголь и руда. Древесный уголь разжигался естественным притоком воздуха – либо с помощью мехов через воздуходувные сопла.

При нагревании руды до определенной температуры (1100–1300°С) происходит прямое восстановление железа с образованием мелких зерен твердого металла, которые оседают на дне горна, слипаются между собой, образуя весьма пористую, губчатую массу – крицу [5].

Обнаруженные и исследованные нами сыродутные плавильные печи в основном соответствуют описанным в работах [5, 6].



Рис. 5. Кричное железо из Лчашенской крепости.

Таким образом, имеющийся пока в небольшом количестве фактический материал свидетельствует о явном наличии в XIII в. до н.э. на территории древней Армении достаточно развитой материально-технической базы для сыродутного производства железа. Если вначале все процессы плавки металла и обработки его до получения необходимых изделий производились на одном и том же месте одними и теми же мастерами, то в конце указанного века эти два ремесла – производство железа и его обработка, представляющие отдельные стадии целого процесса, в основном уже разделились. Выплавка железа и получение криц происходили, как и прежде, вблизи выходов рудных тел на дневную поверхность, кузнечные же работы, отделившись, сконцентрировались в крупных населенных пунктах.

Еще во время ознакомления с архивными материалами и проведения полевых работ по изучению древних металлургических шлаков и разработок у нас сложилось мнение о неслучайности совпадения времени формирования армянского эпоса «Давид Сасунский» с его Мечом-молнией и открытия способа получения железа и стали на одной и той же исторической территории (Сасун, Армения). Произошла грандиозная революция: на смену колющих меди и бронзы пришла режущая сталь – Меч-молния, который в виду своей сверхтвердости «расколосил все 40 жерновов, все 40 буйволовых шкур... и на семь гязов в землю врос...».

Понятно, что на сегодня это весьма вероятное, но еще научно необоснованное предположение, тем не менее армянский народ, его сказители и поэты вложили в руки героев Армении Меч-молнию, в то время как в руках ее противников находилась хоть и очень тяжелая, но тем не менее палица. С другой стороны, эта необоснованная гипотеза может стать стимулом для поисков окончательного определения места и времени начала железного века, стало быть и для проведения соответствующих научных работ в заданном направлении.

Заключение. Полевыми работами выявлено и описано более 200 пунктов скоплений шлаков, плавильных печей и древних эксплуатационных выработок, что при тщательном анализе и с учетом фактического материала позволяет сделать ряд выводов.

1. Обнаружение шлаков, рудных обломков и коренных выходов магнетитовых песчаников типа Агарцинского месторождения железа в бассейнах рек Марцигет (Алавердский р-н), Гетик (Иджеванский р-н), а также на склоне г. Маймех и на Семеоновском перевале в значительной мере расширяет перспективы выявления новых крупных залежей магнетитовых песчаников.

2. В силу мелкого масштаба потребностей количество запасов месторождений для металлургии древнего мира не играло существенной роли. Обязательными условиями являлись близповерхностное залегание рудных тел, богатое содержание металла, расположение месторождений в доступных человеку местах, достаточное количество топлива (леса). Отдаленность скоплений шлаков от разработок не превышает единичные километры, что говорит о возможности использования шлаков как косвенный поисковый признак.

3. По нашему представлению, существует связь между Мечом-молнией армянского народного эпоса «Давид Сасунский» и овладением техникой получения железа и стали из руд, в изобилии имеющих в Армении.

Кафедра минералогии и петрографии

Поступила 09.07.2003

ЛИТЕРАТУРА

1. Дикшит С.К. Введение в археологию. М.: ИЛ, 1960, 422с.
2. Азимов А. Ближний Восток. М.: Центрполиграф, 2002, 329с.
3. Деген-Ковалевский Б.Е. К истории железного производства Закавказья. М.-Л.: ГАИМК, 1935, вып. 120.
4. Мартиросян А.А. – Историко-филологический журнал, 1963, № 3, с. 226–232.
5. Колчин Б.А. Черная металлургия и металлообработка в Древней Руси. М.: МИА, 1953.
6. Гзелишвили И.А. Железоплавильное производство в древней Грузии. Тб.: Изд-во Мецинерба, 1964, 120с.

Ս. Ե. ԳՈԳԻՆՅԱՆ

ԵՐԿԱԹԻ ՄԵՏԱԼՈՒՐԳԻԱՆ ՊԱՏՄԱԿԱՆ ՀԱՅԱՍՏԱՆՈՒՄ

Ամփոփում

Մեր կողմից կատարված դաշտային աշխատանքների ժամանակ հայտնաբերվել, նկարագրվել և տեղադրվել են քարտեզի վրա ավելի քան 200 մետաղային խարամների կուտակումներ, հնամենի հանքային բովանգքեր, հանքախցեր և այլ շահագործողական լեռնային փորվածքներ: Այդ ուսումնասիրությունները և գրականության տվյալները հնարավորություն են տալիս անել հետևյալ եզրակացությունները:

1. Խարամների, հանքային բեկորների և Հաղարծինի հանքավայրի տիպի մագնետիտային ավազաքարերի արմատական ելքերի հայտնաբերումը Մարցիգետ (Ալավերդու շրջան), Գետիկ (Իջևանի շրջան) գետերի ավազանում, Մայմեխ լեռան լանջին, Սեմյոնովի լեռնանցքում և այլուր բավականաչափ ընդարձակում է մագնետիտային ավազաքարերի հանքավայրերի նոր խոշոր կուտակումների հայտնաբերման հեռանկարները:

2. Հին ժամանակներում հանքավայրի մասշտաբները կարևոր չեն եղել պահանջարկի տեսանկյունից: Մակայն անհրաժեշտ են եղել բարձր պարունակությունները, տեղադրվածությունը մարդու համար մատչելի տեղերում և անտառի առկայությունը (փայտածուխի համար): Հայտնաբերված հանքամշակման և մետաղաձուլման տեղերը, որպես կանոն, մոտ են եղել իրար, ինչը և կարելի է դիտել որպես հանքավայրերի որոնման անողողակի չափանիշ:

3. Մեր պարտկերացմամբ կապ գոյություն ունի երկաթի ստացման գյուտի և հայկական ժողովրդական «Սասունցի Դավիթ» էպոսի թուրկեժակի միջև:

METALLURGY OF IRON IN HISTORICAL ARMENIA

Summary

We have revealed more than 200 accumulations of slag, foundries and the ancient exploitation excavations. Our investigations and the analysis of literature data bring us to some conclusions.

1. Discovery of slags, ore debris and root way outs of magnetite sandstones like Haghartsin deposit of iron in the basins of the rivers Martziget (region Alaverdi), Getik (region Idjevan), the slope of the mountain Maylekh, on the Semyonov crossing, broadens the perspectives of revealing new big deposits of magnetite sandstones.

2. As the requirements were on a small scale, the quantity of stocks, for the metallurgy of the ancient world, did not play an important role. The necessary conditions were deposition of ore bodies near surface, rich content of the metal, location of the deposit in the places approachable for a man, enough quantity of wood. The distance of slag accumulations from exploitations doesn't exceed 1-2km, hence there is an opportunity to use slag as exploring sign.

3. We are sure that there is a connection between «Lightning-Sword» from Armenian epos «David of Sasun» and the secret of getting iron by the direct renewal from magnetite ore.

ПАМЯТИ МИХАИЛА ЛЕОНОВИЧА ТЕР-МИКАЕЛЯНА

31 января 2004 г., после непродолжительной, но тяжелой болезни, скончался выдающийся ученый и талантливый организатор науки Михаил Леонович Тер-Микаелян, академик НАН Армении.

Михаил Леонович родился в Тбилиси в 1923 г. Окончив среднюю школу, он, следуя примеру отца, поступил в Институт железнодорожного транспорта, однако вскоре поняв, что наука его увлекает сильнее, чем инженерное дело, в 1943 г. перевелся на физико-математический факультет Тбилисского государственного университета. После смерти отца семья переехала в Ереван, и здесь в 1948 г. он окончил физико-математический факультет Ереванского государственного университета. Руководителем его дипломной работы был академик В.А. Амбарцумян. После окончания университета Тер-Микаелян поступил в аспирантуру, которую проходил в Москве, в Институте физических проблем, затем в теоретическом отделе Физического института им. П.Н. Лебедева АН СССР под руководством академика Е.Л. Фейнберга.



Кандидатская диссертация Михаила Леоновича, которую он защитил в 1953 г., была посвящена когерентному тормозному излучению в кристаллах. В этой работе была заложена единая физическая основа для понимания процессов, происходящих при различных взаимодействиях частиц высоких энергий с веществом. Результат исследования, казавшийся тогда даже парадоксальным, состоял в утверждении, что при высоких энергиях, когда длина волны как испускаемого фотона, так и электрона в десятки раз меньше среднеатомного расстояния в среде, привычная картина излучения резко

меняется. Характерный пространственный масштаб взаимодействия оказывается сильно растянутым и во много раз превышает не только длину волны, но и межатомные расстояния, достигая при этом макроскопических размеров. Все атомы, попадающие в эту область, действуют когерентно, в результате чего излучение резко усиливается. Вполне естественно, что эта длина была названа когерентной длиной (или длиной формирования). Идея Тер-Микаеляна в дальнейшем была развита Л.Д. Ландау, И.Я. Померанчуком и А.Б. Мигдалом для аморфных сред. Эти результаты получили прямое экспериментальное доказательство спустя 40 лет в 1994 г. в ускорительном центре Стэнфордского университета (SLAC).

Уже в 1954 г., через год после защиты кандидатской диссертации, М.Л. Тер-Микаелян обобщил работу Ландау–Померанчука с учетом роли диэлектрической поляризации аморфной среды. Новый эффект, предсказанный в этом исследовании, подобен эффекту плотности в ионизационных потерях, открытому Э. Ферми, и в современной науке его называют продольным эффектом плотности. М.Л. Тер-Микаеляну удалось показать, что в основе рассматриваемых явлений лежат физические причины, имеющие значительно более широкое значение, чем объяснение особенностей излучения сверхбыстрых частиц. Это привело к развитию нового направления, охватывающего самые разные процессы физики высоких энергий, включая взаимодействия адронов внутри ядра, рассматриваемого как материальная среда.

Вскоре, после защиты кандидатской диссертации, Михаил Леонович вернулся в Армению, где начал работать в Ереванском физическом институте, пройдя за короткий срок путь от младшего научного сотрудника до руководителя теоретическим отделом и заместителя директора института. В эти годы М.Л. Тер-Микаелян опубликовал серию статей по излучению равномерно движущихся частиц в неоднородных средах. Они легли в основу его докторской диссертации, которую он защитил в 1962 г. в Физическом институте им. П.Н. Лебедева АН СССР. Работы в области физики высоких энергий Тер-Микаелян обобщил в ныне широко известной во всем научном мире монографии «Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях», изданной Академией наук Армении в 1969 г. и переведенной на английский язык в 1972 г.

В 1963 году Михаил Леонович переходит на работу в Ереванский государственный университет, где становится деканом физического факультета. Здесь во всей полноте проявляются его организаторские способности. За короткий срок происходит полная реорганизация факультета, открываются новые кафедры по перспективным направлениям развития науки, как, например, кафедра биофизики и молекулярной физики, кафедра радиационной физики и квантовой оптики, к руководству которыми привлекаются молодые талантливые ученые. В эти же годы Михаил Леонович начинает развивать в Армении новое направление в науке – лазерную физику. Организованная им Объединенная радиационная лаборатория АН Армении и Ереванского государственного университета (ОРЛАНЕГУ) очень скоро получает широкое международное признание.

В 1968 году, по существу на базе ОРЛАНЕГУ, был создан Институт физических исследований АН Армении, директором которого в течение многих лет оставался М.Л. Тер-Микаелян. В теоретическом отделе института, бессменным руководителем которого он оставался до конца своей жизни, интенсивно развивалось новое направление в нелинейной оптике – резонансные когерентные взаимодействия электромагнитного излучения с атомами и атомарными средами. Успешно развиваемая М.Л. Тер-Микаеляном теория одетых состояний «атом+поле» легла в основу многих новых эффектов, которые продолжают интенсивно исследоваться и находят все новые применения в современных технологиях. К сожалению, монография по резонансной оптике, в которой обобщены все эти результаты и над которой Михаил Леонович работал многие годы, так и осталась не завершенной.

В период с 1988 по 1993 годы Михаил Леонович совмещал руководство институтом с должностью академика–секретаря отделения физико-математических наук НАН Армении. Однако в 1994 г. он уходит с этих должностей, оставаясь почетным директором института и руководителем теоретического отдела.

До последних дней своей жизни Михаил Леонович продолжал интенсивно работать, не делая никаких скидок на возраст и усталость. Он активно участвовал в работе многочисленных международных конференций, много ездил по всему миру, делая обзорные доклады. Уже в больнице, тяжело больной, он продолжал обдумывать перспективы исследований руководимого им отдела.

М.Л. Тер-Микаелян был физиком широкого диапазона, огромной научной эрудиции и блестящей интуиции. Сочетая природные особенности с целеустремленной преданностью науке и редким трудолюбием, он умел добиваться поставленной цели. Истинный интеллигент, человек необычайного обаяния, обладающий тонким чувством юмора, для многих молодых сотрудников института он был не только научным руководителем, но и учителем жизни в самом высоком смысле этого слова. Он отличался высокой научной щепетильностью и принципиальностью.

Свидетель и соратник бурных событий истории физики XX века, Михаил Леонович был лично знаком со многими выдающимися учеными. Но бесценные его воспоминания так и остались ненаписанными. Он прожил жизнь, насыщенную научным творчеством, воспитал целую плеяду ученых, которые продолжают успешно развивать физику не только в Армении, но и далеко за ее пределами.

И тот яркий свет, который оставил Михаил Леонович Тер-Микаелян, еще долго не угаснет в сердцах людей, когда-либо знавших или работавших с незаурядным ученым.

*Ректорат ЕГУ,
радиофизический и физический факультеты ЕГУ,
Институт физических исследований НАН Армении*

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

И.Г. Хачатрян – Об обратимости некоторых интегральных операторов типа Фурье.....	3
И.Р. Симонян – Решетки дистрибутивных и свёрхдистрибутивных многообразий полугрупп.....	7
Т.П. Казанчян – Оценка скорости сходимости в предельной теореме Эрдеша–Каца для зависимых случайных величин.....	20
А.О. Апинян – Численный метод решения одной задачи динамической оптимизации.....	27

МЕХАНИКА

Л.А. Мазманян – Об оптимальном управлении колебательных движений упругой пластинки в конфликтных ситуациях.....	33
К.Г. Саркисян – О сдвиговых колебаниях пьезоэлектрического полупространства, на граничной поверхности которого прикреплен диэлектрический упругий слой.....	39

= ФИЗИКА

А.В. Галетян – Эволюция и исследование толстых анизотропных голограмм, записанных в полимерно-диспергированных жидких кристаллах.....	47
К.В. Алумян, Т.С. Мнацаканян, Т.О. Эйрамджян, Ф.О. Эйрамджян – Сопоставление линий механических изонапряжений и маятниковых полос рентгеновских лучей.....	53

ХИМИЯ

Е.А. Казоян, А.М. Асатрян, Э.Р. Саруханян – Межмолекулярные взаимодействия и сольватация ионов в диметилсульфоксидных растворах акрилонитрила.....	58
Л.Г. Мелик-Оганджян, Дж.Г. Чшмаритян – Исследование взаимодействия катионов солей некоторых металлов с акриламидом методом ИК-спектроскопии.....	67
Д.С. Гайбакян, Ясин Мала, Л.С. Саркисян, О.П. Гуюмджян, А.Г. Хачатрян – О возможности применения аргиллизитов в тонкослойной хроматографии редких элементов.....	72
С.М. Акопян – Фотосинтез новых производных 1,4-диоксанонов.....	79

БИОЛОГИЯ

Л.Э. Нерсисян, Дж.В. Гарибян, Г.М. Степанян, А.Г. Маркарян, А.А. Оганесян, А.П. Антонян, М.А. Парсаданян, Ю.С. Бабаян – Действие противоопухолевого антибиотика доксорубицина с антистрессовыми препаратами на структуру ДНК саркомы 45	84
М.А. Давтян, С.А. Карапетян, А.А. Тамразян, Л.А. Петросян – Регуляция активности митохондриальной глутаминазы у инфузорий <i>Paramecium multimicro-nucleatum</i> и дрожжей <i>Candida guilliermondii</i> НП-4	89
Н.Н. Ксаджикян – Изменение сердечного ритма обучающихся в школе подростков в ситуации экзамена	96
М.С. Манвелян – Применение метода Fish (Fluorescence <i>in situ</i> hybridization) в пренатальной и постнатальной диагностике хромосомных аномалий	103
Л.А. Матевосян – Генетические аспекты изучения тканевой совместимости на основе ДНК-типирования в армянской популяции	109

ГЕОЛОГИЯ

М.А. Григорян, А.С. Сардарян, Г.В. Маркосян, В.П. Варданян – Методические особенности комплексных геофизических исследований на оползне «Анкаин джур»	116
К.А. Багдасарян – Оптимальная плотность сети опробования Шаумянского золотополиметаллического месторождения	123

СООБЩЕНИЯ

С.М. Нариманян, Т.З. Хачикян – О равномерной распределенности в смысле Арнольда–Крылова подгрупп группы Ли	128
Ясин Мала – Определение микроколичеств ванадия методом тонкослойной хроматографии	132
Н.С. Вардазарян – Влияние возраста и пола на спонтанный уровень микроядер в эксфолиативных клетках ротовой полости здоровых лиц армянской популяции	136

ДИСКУССИИ И ОБСУЖДЕНИЯ

С.Е. Гогинян – Металлургия железа в исторической Армении	141
Памяти Михаила Леоновича Тер-Микаеляна	150

CONTENTS

MATHEMATICS

- I.G. Khachatryan** – On the invertibility of some Fourier type integral operators3
I.R. Simonyan – Lattices of distributive and hyperdistributive varieties of semigroups7
T.P. Kazanchyan – The estimate of rate of convergence in Erdo's–Kac limit theorem
for dependent random variables20
A.H. Apinian – Numerical method of solution of the dynamic optimization problem27

MECHANICS

- L.A. Mazmanyanyan** – On the optimal control for the elastic plate's vibrations in the conflict situations33
K.H. Sargsyan – On the shear vibrations of piezoelectric half-space, in the case when dielectric conducting layer on the boundary surface is fastened39

PHYSICS

- A.V. Galstyan** – Polymer dispersed liquid crystal gratings' evolution and investigation of their diffraction efficiency47
K.V. Aloumyan, T.C. Mnatsakanyan, T.H. Eyranyan, F.H. Eyranyan – Comparison of mechanical isostrain lines and X-ray pendellosung fringes53

CHEMISTRY

- E.A. Ghazoyan, A.M. Asatryan, E.R. Sarukhanyan** – Intermolecular interactions and solvation of ions in dymethylsulfoxide solutions of acrylonitrile58
L.G. Melik-Ohanjanyan, J.H. Chshmarityan – Investigation of interaction between some metal salts cations and acrylamide by IR-spectroscopy67
D.S. Gaibakyan, Yasin Mala, L.S. Sarkisyan, H.P. Ghuyumjyan, H.H. Khachatryan – About possibility of using of argyllizite in thin-layer chromatography of rare elements72
S.M. Hakobyan – Photosynthesis of the new derivatives 1,4-dioxanons79

BIOLOGY

L.E. Nersisyan, G.V. Garibyan, G.M. Stepanyan, A.G. Markaryan, A.A. Oganessian, A.P. Antonyan, M.A. Parsadanyan, Yu.S. Babayan – Influence of antitumor antibiotic doxorubicyne with antistressful preparations on DNA structure of sarcoma 45.....	84
M.A. Davtian, S.A. Karapetian, A.H. Tamrazian, L.H. Petrosian – Regulation of mitochondrial glutaminase activity in <i>Paramecium multimicronucleatum</i> and yeasts <i>Candida guilliermondii</i> HII-4.....	89
N.N. Ksadjikyan – Variation of heart rhythm of adolescents studying at school in the situation of examination.....	96
M.S. Manvelyan – Application of method Fish (Fluorescence <i>in situ</i> hybridization) in prenatal and postnatal diagnostics of chromosomal anomalies.....	103
L.A. Matevosyan – Genetic aspects of histocompatibility study on the basis of DNA-typing in the Armenian population.....	109

GEOLOGY

M.A. Grigoryan, A.S. Sardaryan, G.V. Markosyan, V.P. Vardanyan – Methodical peculiarities of geophysical investigations of the «Hankayin djur» landslide.....	116
K.A. Bagdasaryan – Substantiation of the network density of sampling on the Shahumyan gold-polymetallic deposit.....	123

COMMUNICATIONS

S.M. Narimanyan, T.Z. Khachikyan – On the uniform distribution of Lee group's subgroups in sense of Arnold-Krilov.....	128
Yasin Mala – Determination of vanadium micro-quantities using thin-layer chromatography method.....	132
N.S. Vardazaryan – The influence of age and gender on the level of micronuclei in the exfoliated oral mucous cells in healthy persons of Armenian population.....	136

DISCUSSIONS

S.E. Goginyan – Metallurgy of iron in historical Armenia.....	141
In the memory of Mickael Ter-Mickaelyan.....	150

ԿԱՆՈՆՆԵՐ ՀԵՐԻՆԱԿՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

1. «Գիտական տեղեկագիր» հանդեսում հրատարակվում են Երևանի պետական համալսարանում կատարված տեսական ու փորձարարական բնույթի օրիգինալ հոդվածներ, հաղորդումներ ու նամակներ՝ մաթեմատիկայի, ինֆորմատիկայի, մեխանիկայի, ֆիզիկայի, ռադիոֆիզիկայի, քիմիայի, կենսաբանության, երկրաբանության և ֆիզիկական աշխարհագրության բնագավառներից, ինչպես նաև ակնարկային հոդվածներ՝ պատվիրված խմբագրության կողմից:
2. Ընդունվում են գիտական նոր հրատարակությունների, մենագրությունների և դասագրքերի, ԵՊՀ մասնակցությամբ կայացած գիտաժողովների և գիտական դպրոցների, ինչպես նաև համալսարանում աշխատող անվանի գիտնականների հոբելյանների մասին համառոտ նյութեր:
3. Բնագրերը ներկայացվում են երկու օրինակով, համակարգչային շարվածքով՝ «Word» ծրագրով (հայերեն տեքստը՝ Times Armenian, ռուսերենը՝ Times New Roman տառատեսակներով)՝ հայերեն կամ ռուսերեն, ռուսերեն կամ հայերեն և անգլերեն ամփոփումներով: Բոլոր երեք լեզուներով հեղինակների ազգանունները և հոդվածի վերնագիրը գրել գլխատառերով: Տեքստը շարել 12 pt-ով, 1,5 ինտերվալով՝ աջ և ձախ կողմերում պահպանելով 3 սմ դաշտ: Վերին ձախ անկյունում գրվում է YՃԿ-ն, հաջորդ տողում հեղինակների անվանատառերն ու ազգանունները, այնուհետև հոդվածի վերնագիրը: Դրան հետևում է հոդվածի համառոտ ամփոփումը: Այն պետք է համապատասխանի հայերեն և անգլերեն ամփոփումներին, որտեղ պետք է շարադրված լինեն աշխատանքի գլխավոր արդյունքները՝ առանց գրական հղումների, 100 բառից ոչ ավելի ծավալով:
4. Հոդվածի ծավալը աղյուսակներով չպետք է գերազանցի 10 էջը, հաղորդմանը՝ 4, նամակինը՝ 2:
5. Հոդվածները ձևակերպվում են հստակ ենթաբաժիններով: *Ներածություն* կամ *Խնդրի դրվածքը*, որտեղ պետք է հիմնավորվի տվյալ հետազոտության անհրաժեշտությունն ու հրատարակությունը, *Հետազոտության մեթոդիկան* և *Եզրակացություն*, որտեղ հստակ ձևակերպվում են ստացված արդյունքները և հետևությունները:
6. Հղումները պետք է լինեն քննարկվող խնդրի հետ առնչվող ժամանակակից հրատարակումների վրա: Դրանք բերվում են բնագրի լեզվով ըստ հանդիպման հերթականության, կարգային համարը նշվում է քառակուսի փակագծերում ([1], [2-5]): Հոդվածի վերջում նույն հաջորդականությամբ բերվում է գրականության ցուցակը՝ կարգային համարը, հեղինակների ազգանուններն ու անվանատառերը: Պարբերական հրատարակությունների համար այնուհետև հաջորդում է ամսագրի ընդունված կրճատ անվանումը առանց չափերտների, հրատարակման թվականը, հատորի ու թողարկման համարները, հերթական համարը, էջը, գրքերի դեպքում՝ վերնագիրը, հրատարակման վայրը, հրատարակչությունը, թվականը: Չհրատարակված աշխատանքի վերաբերյալ (բացի դիսերտացիայից) գրականության մեջ նշել չի թույլատրվում:
7. Միևնույն նյութը աղյուսակի և նկարի ձևով ներկայացնել չի թույլատրվում:
8. Թույլատրվում է 5-ից ոչ ավելի նկար, որոնք իրենց բացատրություններով պետք է ներկայացնել առանձին File-ով:
9. Հոդվածի տեքստի վերջում՝ ձախ կողմում, նշվում է այն ամբիոնը կամ լաբորատորիան, որտեղ կատարվել է աշխատանքը:
10. Հոդվածը ստորագրվում է բոլոր հեղինակների կողմից:
11. Խմբագրությունը հեղինակին տալիս է առաջին սրբագրությունը, որտեղ ուղղման ենթակա են տպագրության սխալները:
12. Խմբագրությունը հեղինակներին ձրի տրամադրում է հանդեսի 1 օրինակ և հոդվածի 5 առանձնատիպ:

BIOLOGY

L.E. Nersisyan, G.V. Garibyan, G.M. Stepanyan, A.G. Markaryan, A.A. Oganessyan, A.P. Antonyan, M.A. Parsadanyan, Yu.S. Babayan – Influence of antitumor antibiotic doxorubicyne with antistressful preparations on DNA structure of sarcoma 45.....	84
M.A. Davtian, S.A. Karapetian, A.H. Tamrazian, L.H. Petrosian – Regulation of mitochondrial glutaminase activity in <i>Paramecium multimicronucleatum</i> and yeasts <i>Candida guilliermondii</i> HP-4.....	89
N.N. Ksadjikyan – Variation of heart rhythm of adolescents studying at school in the situation of examination.....	96
M.S. Manvelyan – Application of method Fish (Fluorescence <i>in situ</i> hybridization) in prenatal and postnatal diagnostics of chromosomal anomalies.....	103
L.A. Matevosyan – Genetic aspects of histocompatibility study on the basis of DNA-typing in the Armenian population.....	109

GEOLOGY

M.A. Grigoryan, A.S. Sardaryan, G.V. Markosyan, V.P. Vardanyan – Methodical peculiarities of geophysical investigations of the «Hankayin djur» landslide.....	116
K.A. Bagdasaryan – Substantiation of the network density of sampling on the Shahumyan gold-polymetallic deposit.....	123

COMMUNICATIONS

S.M. Narimanyan, T.Z. Khachikyan – On the uniform distribution of Lee group's subgroups in sense of Arnold-Krilov.....	128
Yasin Mala – Determination of vanadium micro-quantities using thin-layer chromatography method.....	132
N.S. Vardazaryan – The influence of age and gender on the level of micronuclei in the exfoliated oral mucous cells in healthy persons of Armenian population.....	136

DISCUSSIONS

S.E. Goginyan – Metallurgy of iron in historical Armenia.....	141
In the memory of Mickael Ter-Mickaelyan.....	150

ԿԱՆՈՆՆԵՐ ՀԵՐԻՆԱԿՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

1. «Գիտական տեղեկագիր» հանդեսում հրատարակվում են Երևանի պետական համալսարանում կատարված տեսական ու փորձարարական քննարկի օրիգինալ հոդվածներ, հաղորդումներ ու մամակներ՝ մաթեմատիկայի, ինֆորմատիկայի, մեխանիկայի, ֆիզիկայի, ուսողիտիկայի, քիմիայի, կենսաբանության, երկրաբանության և ֆիզիկական աշխարհագրության բնագավառներից, ինչպես նաև ակնարկային հոդվածներ՝ պատվիրված խմբագրության կողմից:
2. Ընդունվում են գիտական նոր հրատարակությունների, մենագրությունների և դասագրքերի, ԵՊՀ մասնակցությամբ կայացած գիտաժողովների և գիտական դպրոցների, ինչպես նաև համալսարանում աշխատող անվանի գիտնականների հոբելյանների մասին համառոտ նյութեր:
3. Բնագրերը ներկայացվում են երկու օրինակով, համակարգչային շարվածքով՝ «Word» ծրագրով (հայերեն տեքստը՝ Times Armenian, ռուսերենը՝ Times New Roman տառատեսակներով)՝ հայերեն կամ ռուսերեն, ռուսերեն կամ հայերեն և անգլերեն ամփոփումներով: Բոլոր երեք լեզուներով հեղինակների ազգանունները և հոդվածի վերնագիրը գրել գլխատառերով: Տեքստը շարել 12 pt-ով, 1,5 ինտերվալով՝ աջ և ձախ կողմերում պահպանելով 3 սմ դաշտ: Վերին ձախ անկյունում գրվում է ՄԴԿ-ն, հաջորդ տողում հեղինակների անվանատառերն ու ազգանունները, այնուհետև հոդվածի վերնագիրը: Դրան հետևում է հոդվածի համառոտ ամփոփումը: Այն պետք է համապատասխանի հայերեն և անգլերեն ամփոփումներին, որտեղ պետք է շարադրված լինեն աշխատանքի գլխավոր արդյունքները՝ առանց գրական հղումների, 100 բառից ոչ ավելի ծավալով:
4. Հոդվածի ծավալը աղյուսակներով պետք է գերազանցի 10 էջը, հաղորդմանը՝ 4, մամակինը՝ 2:
5. Հոդվածները ձևակերպվում են հստակ ենթաբաժիններով: *Ներածություն* կամ *Խնդրի դրվածքը*, որտեղ պետք է հիմնավորվի տվյալ հետազոտության անհրաժեշտությունն ու հրատապությունը, *Հետազոտության մեթոդիկան* և *Եզրակացություն*, որտեղ հստակ ձևակերպվում են ստացված արդյունքները և հետևությունները:
6. Հղումները պետք է լինեն քննարկվող խնդրի հետ առնչվող ժամանակակից հրատարակումների վրա: Դրանք բերվում են քննարկի լեզվով ըստ հանդիպման հեքթականության, կարգային համարը նշվում է քառակուսի փակագծերում՝ ([1], [2-5]): Հոդվածի վերջում նույն հաջորդականությամբ բերվում է գրականության ցուցակը՝ կարգային համարը, հեղինակների ազգանուններն ու անվանատառերը: Պարբերական հրատարակությունների համար այնուհետև հաջորդում է ամսագրի ընդունված կրճատ անվանումը առանց չափերտների, հրատարակման թվականը, հատորի ու թողարկման համարները, հեքթական համարը, էջը, գրքերի դեպքում՝ վերնագիրը, հրատարակման վայրը, հրատարակչությունը, թվականը: Չհրատարակված աշխատանքի վերաբերյալ (բացի դիսերտացիայից) գրականության մեջ նշել չի թույլատրվում:
7. Միևնույն նյութը աղյուսակի և նկարի ձևով ներկայացնել չի թույլատրվում:
8. Թույլատրվում է 5-ից ոչ ավելի նկար, որոնք իրենց բացատրություններով պետք է ներկայացնել առանձին File-ով:
9. Հոդվածի տեքստի վերջում՝ ձախ կողմում, նշվում է այն ամբիոնը կամ լաբորատորիան, որտեղ կատարվել է աշխատանքը:
10. Հոդվածը ստորագրվում է բոլոր հեղինակների կողմից:
11. Խմբագրությունը հեղինակին տալիս է առաջին սրբագրությունը, որտեղ ուղղման ենթակա են տպագրության սխալները:
12. Խմբագրությունը հեղինակներին ձրի տրամադրում է հանդեսի 1 օրինակ և հոդվածի 5 առանձնատիպ: