

ԵՐԵՎԱՆԻ
ՊԵՏԱԿԱՆ
ՀԱՍՏԱՏՈՒԹՅ



ЕРЕВАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ԳԻՏՈՒՅՆ
ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

1.2006

ԵՐԵՎԱՆ ◆ ЕРЕВАН

ISSN 0132-0173

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

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

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Ռ.Ս. (զին. Խմբագիր), ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Հ.Գ. (զին. Խմբագիր տեղակալ),
ԸՐԱՄՈՒԵՅԱՆ Լ.Թ. (պատրաստուղար)

ՔՈՅԱԿՐՅԱՆ Վ.Ռ., ԴԱՎԻԴՅԱՆ Է.Ա., ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Ի.Գ., ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Ս.Գ.,
ՀՈՎԱՅՔՅԱՆ Լ.Լ., ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ Ը.Ա., ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Ռ.Ս., ԾՈՒՔՈՒՐՅԱՆ Ս.Կ.,
ԶՈՒԲՐՅԱՆ Ե.Վ., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Ս.Գ., ՄԱՐԳԱՆՅԱՆ Հ.Հ., ՄԱՐԳԱՆՅԱՆ Ս.Վ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

АРУТЮНЯН Р.М. (глав. редактор), ХАЧАТРЯН А.Г. (зам. глав. редактора),
ШАРАМБЕЯН Л.Т. (отв. секретарь)

АРУТЮНЯН С.Г., БОЙНАГРЯН В.Р., ДАНИЕЛЯН Э.А., МАРКАРЯН Ш.А.,
МАРТИРОСЯН Р.М., ОСИПЯН Л.Л., ПЕТРОСЯН С.Г., САРКИСЯН О.А.,
САРКИСЯН С.В., ХАЧАТРЯН И.Г., ЧУБАРЯН Э.В., ШУКУРЯН С.К.

Երևանի համալսարանի հրատարակություն
Издательство Ереванского университета

© ԵՊՀ Գիտական տեղեկագիր, բնական գիտություններ, 2006

© Ученые записки ЕГУ, естественные науки, 2006

Ստորագրված է տպագրության 07.03.2006 թ.
Подписано к печати 07.03.2006 г.

Ֆորմատ 70×100 1/16: Տպ. 10մմ.=պայմ. 14մմ.: Պատվեր 49:
Տպագրանկ 150: Գրանցման համարը 258:

Формат 70×100 1/16. 10 печ.л.=14 усл.л. Заказ 49.
Тираж 150. Регистрационный номер 258.

Տպագրված է ԵՊՀ օպերատիվ պոլիգրաֆիայի ստորարաժանումում.
Երևան-25, Ալ. Մանուկյան, 1:

Напечатано в подразделении оперативной полиграфии ЕГУ.
Ереван-25, Ал. Манукяна, 1.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԱԿՆԱՐԿԱՅԻՆ ՀՈԴՎԱԾՆԵՐ

- Ա.Ժ. Համբարձումյան, Ը.Ա. Մարգարյան – Պինդ մակերևույթների ուսումնասիր-
ման որոշ ժամանակակից մերույներ..... 3

ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

- Ա.Ի. Պետրոսյան – С"տարածության մեջ ամբողջ ֆունկցիաների կշռային դասե-
րի մասին 17
- Հ.Ա. Ասատրյան – Անվերջությունում որոշակի վարք ունեցող պոտենցիալով
Ծովում-Լիուվիլի օպերատորի կետային սպեկտրի ուսումնասիրությունը 23
- Յու.Գ. Դադյան – Վարիացիոն-տարրերական սխեմաներ բիհարմոնիկ հավա-
սարման համար ըստ կորդիֆնատների խտացվող ցանցում 29
- Ա.Բ. Գրիգորյան – Հանրահաշվական բազմացանցային վերապայմանավորիչ խա-
ռո տիպի եղանակի պայմաններով էլիպսական խնդիրների համար: I. Երկցան-
ցային վերապայմանավորիչներ 37

ԻՆՖՈՐՄԱՏԻԿԱ

- Գ.Ա. Մկրտչյան – Մաքսիմալ երկարության սահմանափակումը հաշվի առնող
գլորալ ուղեգծման ալգորիթմ 49

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

- Վ.Ն. Գրիշկյան – Պինդ մարմնի պտտական շարժման դեկավարման և ստարիլաց-
ման մասին 58

ՖԻԶԻԿԱ

- Տ.Ա. Արքահամյան – Դիէլեկտրիկ-մետաղ-դիէլեկտրիկ կոնական կառուցվածքի
օպտիկական հատկությունները 64

ՔԻՄԻԱ

- Ն.Մ. Թեյլերյան, Մ.Զ. Ասատրյան – Նատրիումի դրոթեցիլատուֆատի և դրոթեցիլտրի-
մերիամնիումի քլորիդի ազդեցությունը լեցիտինով կայունացված շրջված
էնուլիայում ընթացող H_2O_2+HOO ռեակցիայի արագության վրա 68

L.9. Մելք-Օհանջանյան, L.U. Ներսեսյան, C.U. Մարգարյան – Ե վիտամինի և պիմեթիլ-, ղիկրիսուլֆօրսիդների միջև մոլեկուլային փոխազդեցությունների ուսումնասիրությունը ԻԿ սպեկտրոսկոպիայի մեթոդով	74
E.6. Ղափանցյան, Գ.Ս. Զերառյան, Ռ.Ա. Մարգսյան, Մ.Վ. Գրիգորյան – Քրոմ (III)-ի կոմպլեքսագոյացումը նատրիումի սալիցիլատի հետ ջրային լուծույթում	80
Ա.Ռ. Միլաշյան, Հ.Հ. Դարբինյան, Գ.Ն. Ծաղչյանիկովա, Հ.Գ. Խաչատրյան – Պալաղիում(II)-ի ամպերաչափական որոշումը ալիքիոնիզանյութով	86
Մ.Ա. Դադյան – Նոր քիրային ռեագենտ (S)-N-(2-թենօղիթենի)-I-(4-թենօղիլօրսիթենօղի)պիրուլինի-2-կարբօքսամիդի և նրա Ni(II) իոնի հետ ամինաքրուների Ծիփի հիմքերի կոմպլեքսների սինթեզը.....	90

ԿԵՆՍԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Պ.Հ. Վարդենիսյան, Մ.Ռ. Դարբինյան, Ժ.Վ. Ֆալքայան, Լ.Ա. Մինասրելյան – Ցորենի ծրոյ սերմերի կորիզարադանը և ըրոմատինի ֆոսֆոյափիդային կազմի փոփոխությունը տարբեր բնույթի գործուների ազդեցության նկարը	96
Մ.Բ. Մարեսյան, Վ.Ս. Պալաշյան, Է.Ա. Աղաջանյան, Ա.Լ. Արյանց, Ռ.Մ. Հարուրյան – Ծանր մետաղների արերի լուծույթների գենոտոքիկ ակտիվության գնահատումը տրաստնականցիայի 02 կլոնի տեսա-համակարգերի կիրառական գործունեության վերաբերյալ	103
Վ.Հ. Գրիգորյան, Լ.Ս. Մտեփանյան, Հ.Ռ. Աղարարյան, Ա.Յու. Մտեփանյան – Դեռահասների գլխուղեղի կեղևի հրահրված պրոտեզիաների N ₂₀₀ բաղադրիչի ամպիտուլի փոփոխության դինամիկան ազրեալվ բնույթի խաղի ազդեցության տակ.....	108
Ս.Մ. Մինասյան, Ս.Հ. Մարգսյան, Մ.Լ. Եղիազարյան – Սիակորմանի լարիբինթեկտոմիայի ենթարկած առնենուների միջային անդաստակային կորիզի իմպուսային ակտիվության ցուցանիշների համեմատական վերլուծությունը	115

ԵՐԿՐԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Մ.Ա. Գրիգորյան, Ռ.Ռ. Դուրգարյան, Լ.Բ. Միրզյան – Սպիտակի 1988 թ. երկրաշարժի հետացումային փուլի քանակական գնահատականը	122
Մ.Ռ. Գևորգյան – Հայաստանի օֆիոլիտային ասոցիացիայի ապարների հասպիսները.....	128

ԱԾԽԱՐՀԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆ

Լ.Ա. Չիխնգարյան, Բ.Պ. Մնացականյան, Կ.Ա. Աղարարյան – Սևանի ջրային-ջրատնտեսական բնութագրերը լին հիմնախնդրի զարգացման ընթացքում	134
---	-----

ՀԱՂՈՐԴՈՒՄՆԵՐ

Ն.Վ. Ծիրվանյան, Վ.Լ. Ծիրվանյան – Ֆիբռնաչիի F(2,9) խմբի ներդրման մասին.....	142
Ժ.Մ. Առաստանյան, Մ.Ա. Սկրայան, Ա.Վ. Դանիելյան – Անալիմի էքստրակցիոն-լուսաչափական որոշումը ողամախն Ը-ով դեղանյութերում	145
Տ.Մ. Հարությունյան – ԴՆԹ-ի երրորդային կառուցվածքի փոփոխությունները ցիսպատինի հետ փոխազդեցության դեպքում	148
Ա.Ա. Հռվեսիյան – Սնբիթնտետրահիդրոֆոլատոնդրիկտազի մուտացիան և հոմոցիստենի մակարդակը իշեմիկ կարվածի ժամանակ	151
Ա.Ա. Դանիելյան, Կ.Վ. Գրիգորյան, Կ.Կ. Գրիգորյան, Կ.Ա. Ղազարյան, Ն.Փ. Ղազարյան – Կենսածին տարրերով էկոհամակարգերի աղտոտման աղբյուրները թումանյանի տարածաշրջանում.....	154

УДК 541.18

А. Ж. АМБАРЦУМЯН, Ш. А. МАРКАРЯН

НЕКОТОРЫЕ СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Рассмотрены некоторые современные методы исследования твердых поверхностей в нанометрических масштабах на глубине нескольких ангстрем. Для этого необходимо применение специальной техники, так как количество анализируемого материала чрезвычайно мало ($\leq 10^{-13} \text{ г}/\text{см}^3$) и в случае применения классических методов анализа сигнал, исходящий от этих поверхностей, не выявляется на фоне более мощного сигнала из внутренних слоев материала.

Представленные методы наиболее часто употребляются для исследования поверхностей полимерных биоматериалов.

Введение. В современном мире человек сталкивается с применением полимерных материалов в различных отраслях своей деятельности. Очень часто их использование обусловлено поверхностными характеристиками этих материалов, например, при покраске, склеивании, изготовлении различных деталей, применяемых в микроэлектронике... [1–3]. В частности, когда полимерные материалы применяются в медицинской инженерии (имплантация различных внутренних органов, протезирование и др.) или в биотехнологии (фильтрующие мембранны, культивация ячеек и др.), роль поверхности становится чрезвычайно важной, так как контакт между полимером и окружающей его средой осуществляется на уровне этих поверхностей. Иначе говоря, биосовместимость полимерных материалов непосредственно связана с химическим составом и обработкой их поверхностей [4–6]. Следовательно, поверхности полимерных биоматериалов очень часто подвергаются физической, химической и биологической обработке с целью повышения адгезии различных белков и, следовательно, органических ячеек на этих материалах. Надо отметить, что механизм адгезии на молекулярном уровне между поверхностью и реагирующим веществом остается еще не полностью исследован.

Одним из наиболее важных этапов в решении этой проблемы является анализ твердых поверхностей в нанометрических масштабах, на глубине нескольких ангстрем. В этой статье будут рассмотрены четыре категории раз-

личных методов, наиболее часто употребляемых для исследования поверхностей полимерных биоматериалов: 1) метод смачивания; 2) спектроскопические методы; 3) микроскопические методы; 4) метод функциональной дериватизации. Вышеперечисленные методы дают информацию различного рода и дополняют друг друга [7–9].

В настоящее время одним из направлений кафедры физической химии является изучение биологических систем с помощью современных физических методов. Эти исследования включают в себя как гомогенные, так и гетерогенные системы. В данном обзоре особое внимание уделено изучению полимерных поверхностей, обладающих высокой биосовместимостью.

1. Метод смачивания. Смачивание происходит при взаимодействии между жидкостью и твердым материалом [9, 10]. Оно может происходить при распространении жидкости на некую поверхность, при всасывании жидкости в пористую среду или при ламинарном передвижении двух несмешивающихся

жидкостей. Это явление очень часто описывается методом измерения угла смачивания θ (рис. 1) между капелькой жидкости и поверхностью.

При хорошо смачиваемых поверхностях θ (в град.) имеет небольшое значение, которое растет с уменьшением смачиваемости

поверхности данной жидкостью. В случае биоматериалов чаще всего измеряют смачиваемость их поверхностей водой (рис. 2).

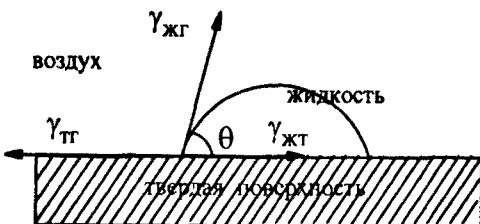


Рис. 1. Измерение угла смачивания.

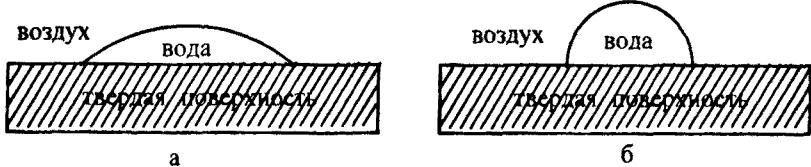


Рис. 2. Смачиваемость поверхности биоматериалов: а – гидрофильная, б – гидрофобная поверхности.

Измерение величины θ основано на равновесии между тремя фазами – твердой (m), жидкой ($ж$) и газовой (g), которые образуются при помещении капли жидкости на твердую поверхность [9]. При равновесии векторная сумма поверхностных натяжений этих трех фаз равняется нулю и высчитывается уравнением Юнга :

$$\gamma_{mg} = \gamma_{mж} + \gamma_{жg} \cos \theta, \quad (1)$$

где γ_{mg} , $\gamma_{mж}$, $\gamma_{жg}$ – поверхностные натяжения между твердой и газовой, твердой и жидкой, жидкой и газовой фазами соответственно.

Параллельно с вышеописанным статическим методом существует еще и динамический метод измерения угла смачивания, при котором или жидкость, или твердая поверхность равномерно передвигаются друг относительно друга. Весы Вильгельма (рис. 3) измеряют мениск жидкости,

адгезированной на твердой поверхности материала, который вводится или вытаскивается из жидкости, смачивающую способность которой мы хотим измерить. При этом используется следующее уравнение:

$$mg = p\gamma_{жг} \cos\theta - V\rho g, \quad (2)$$

где p – периметр образца, V – объем перемещенной жидкости, ρ – ее плотность, g – ускорение свободного падения.

Разница между углами θ при введении и выведении образца из жидкости называется гистерезисом угла смачивания. Причинами гистерезиса могут быть или шероховатость, или химическая гетерогенность твердых поверхностей. Наличие маленького гистерезиса или его отсутствие есть хорошее доказательство того, что мы имеем плоскую и химически гомогенную поверхность.

2. Спектроскопические методы.

2.1. Спектроскопия XPS (*X-ray photoelectron spectroscopy*). X-лучевая фотоэлектронная спектроскопия, ранее называемая ESCA (*Electron spectroscopy for chemical analyses*), основана на фотоэлектрических явлениях [11,

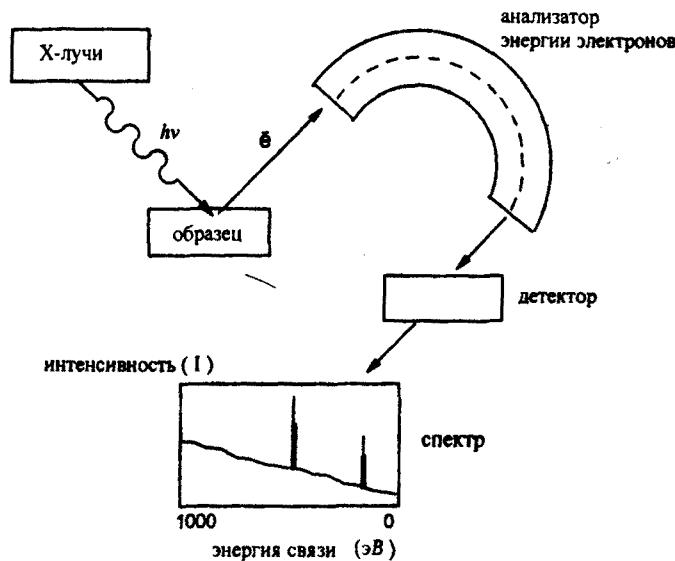


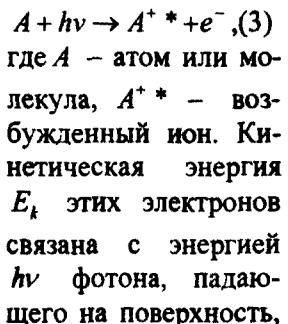
Рис. 4. Упрощенная схема спектрометра XPS.

следующим уравнением:

$$E_k = h\nu - E_b - E_c - \Phi_{sp}, \quad (4)$$

где E_b – энергия связи электрона в атоме, из которого он выходит, E_c – ра-

12]. Когда какая-либо твердая поверхность подвергается бомбардировке достаточно энергетическими фотонами, то она излучает электроны атомов, составляющих эту поверхность:



бота, произведенная электроном для преодоления сил электростатического притяжения между позитивно заряженной поверхностью и электроном, Φ_{sp} - фактор, связанный с конфигурацией спектроскопа.

Техника XPS позволяет исследовать ограниченный слой твердого вещества глубиной от 1 до 10 нм (10–20 атомных слоев). Действительно, X-лучи .

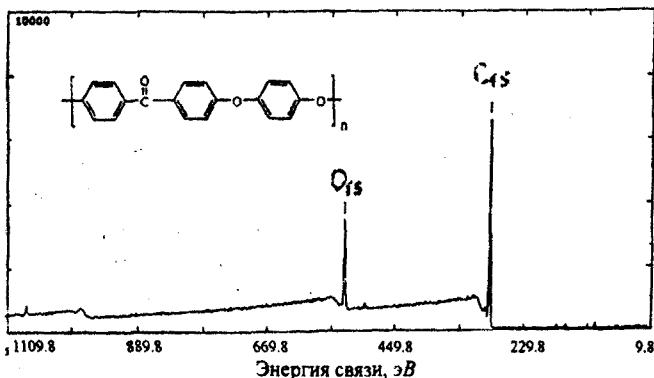


Рис. 5. Общий спектр XPS полиэфирэфиркетона.

этом они теряют свою энергию и составляют шум спектра. Лишь фотоЭлектроны, исходящие из очень тонких слоев поверхности, не подвергаются таким столкновениям.

При XPS спектрометр функционирует в вакууме (10^{-5} – 10^{-10} торр) [9], схема устройства приведена на рис. 4.

Полученный спектр имеет пики, соответствующие различным энергиям связи E_b , следовательно, каждый пик соответствует группе атомов . одного типа, составляющих эту поверхность. То есть спектр XPS дает информацию об атомном составе поверхности (за исключением атомов водорода). Полученные соотношения интенсивностей пиков атомов присутствующих элементов переводятся в соотношения атомных концентраций; атомная фракция каждого элемента может быть вычислена (атомный анализ). К тому же, анализ тонкой структуры пиков указывает на присутствие разных функциональных групп (например,

проникают в образец на глубину примерно 1 мкм без ослабления. В противоположность этому, продуцированные фотоэлектроны подвергаются неэластичным столкновениям с атомами при их переходе из внутренних слоев к поверхности, при

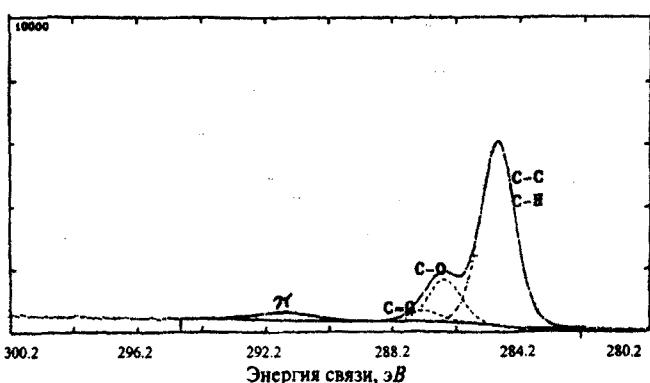


Рис. 6. Спектр XPS полиэфирэфиркетона, иллюстрирующий тонкую структуру пика C_{1s} .

степень окисления углерода меняется в зависимости от типа связи с соседними атомами). В качестве примера мы приводим общий спектр полиэфирэфиркетона (рис. 5) и спектры, иллюстрирующие тонкие структуры

пиков C_{1s} (рис. 6) и O_{1s} (рис. 7), в которых дифференцированные пики указывают на разную степень окисления углерода и кислорода в молекуле [13, 14].

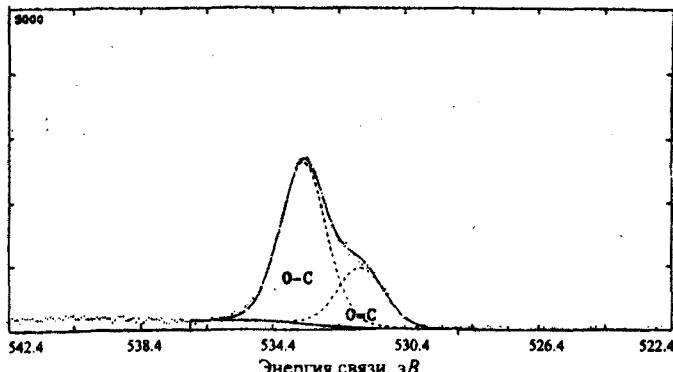


Рис. 7. Спектр XPS полизифирэфиркетона, иллюстрирующий тонкую структуру пика O_{1s} .

2.2. Спектроскопия SIMS (secondary ion mass spectrometry). Это массспектроскопический анализ, применяемый на крайней поверхности твердого материала [15, 16]. Пучок ионов благородного газа, чаще всего Ar или Xe, с энергией $\leq 4\text{keV}$ направлен на поверхность образца, который испускает фрагменты вещества в вакуум, где расположен анализируемый образец (рис. 8). Эти фрагменты содержат один или множество атомов, которые



Рис. 8. Упрощенная схема спектроскопа SIMS.

нность потока, чтобы предотвратить деградацию образца во время получения спектра.

В процессе масс-спектрометрирования полимеров поверхность последних заряжается положительно. Этот заряд нейтрализуется электронной пушкой, охватывающей более широкую поверхность, чем та, которая достигается пучком первичных ионов.

Масс-спектры пленок полиэтилена, полипропилена или полистирола очень похожи. Например, в спектре полистирола мы находим пик 91 D, соответствующий катиону тропилиума ($C_7H_7^+$). Метакрилаты метила, этила, 2-гидроксиэтила, изобутила могут быть быстро идентифицированы по их

чаще всего нейтральны, но небольшой процент из них имеет положительный или отрицательный заряд. Заряженные фрагменты отправляются в массспектрометр (квадрупольного типа) для получения масс-спектров положительных и отрицательных вторичных ионов. Пучок первичных ионов должен иметь слабую плот-

SIMS-отпечаткам, они выявляют интенсивные пики 15 D (CH_3^+), 29 D (C_2H_5^+), 45 D ($\text{C}_2\text{H}_4\text{OH}^+$) и 57 D (C_6H_5^+) соответственно. На масс-спектре пленки полиэтилентерефталата (ПЭТ) [9] (рис. 9) хорошо видна мономерная протонированная единица 193 D и пики ожидаемой фрагментации – 149 D ($\text{HO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{CO}^+$), 104 D ($\text{C}_6\text{H}_4\text{CO}^+$) и 77D (C_6H_5^+).

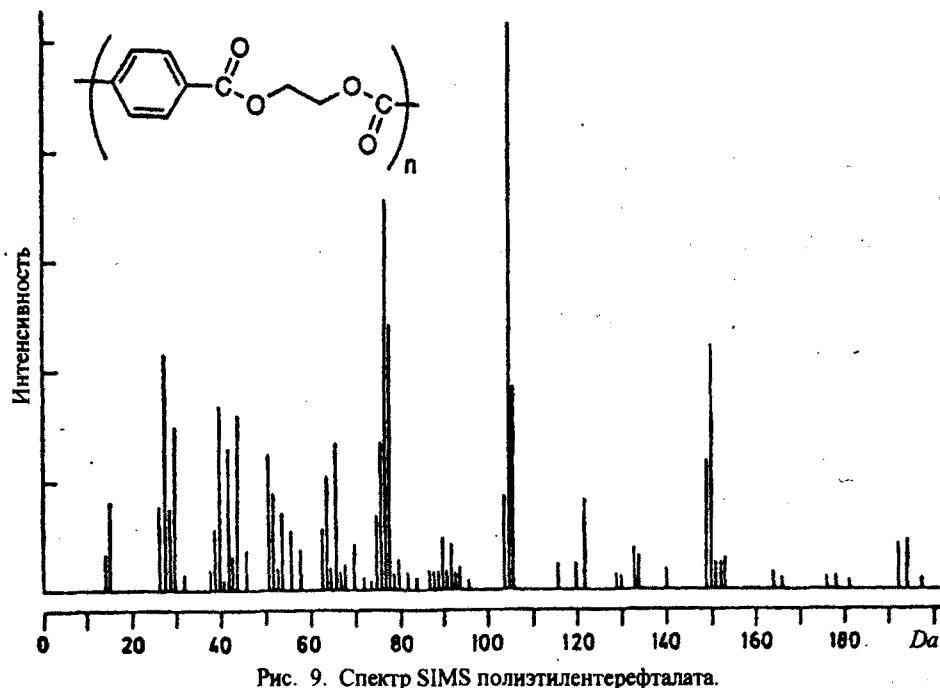


Рис. 9. Спектр SIMS полиэтилентерефталата.

Описанные спектры – это спектры положительных ионов. Спектры отрицательных ионов также могут дать кое-какую информацию, например, в случаях с полиэфиром и поликарбонатом. Последние нововведения в SIMS ориентируются в основном в двух направлениях: изображение ионов и улучшение чувствительности и разрешенности, в частности для повышенных масс. Хорошая пространственная разрешенность может быть достигнута фокусировкой пучка первичных ионов на очень малую площадь поверхности ($\leq 0,5 \mu\text{мм}^2$).

Большой прогресс в технике SIMS был достигнут благодаря введению анализатора TOF (*time of flight*), который измеряет пульсы ионов.

2.3. Инфракрасная спектроскопия. Спектроскопия инфракрасной абсорбции дает информацию о молекулярной структуре (функциональные группы) полимерных материалов [14, 17, 18]. Обычным методом анализа поверхности является ATR (*attenuated total reflection*), принцип которого изображен на рис. 10.

Инфракрасное излучение, полностью отраженное в оптическом элементе с высоким коэффициентом преломления, проникает на малую глубину образцов, помещенных по обеим сторонам оптического элемента. Если образец поглощает часть энергии, соответствующей собственной частоте, то энер-

гия будет потеряна на эту долю. Потеря или ослабление энергии зависит также от целого ряда факторов: коэффициента абсорбции и концентрации образца, коэффициентов преломления образца (n_2) и кристалла (n_1), угла падения, числа отражений и состояния поляризации пучка.

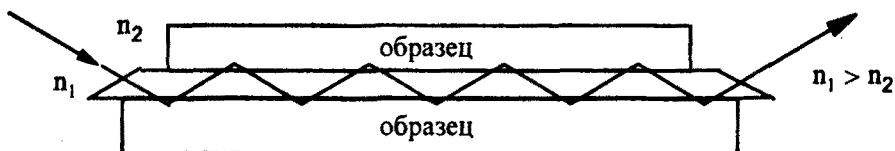


Рис. 10. Схематическое изображение метода ATR.

Имеется большая схожесть между спектром, полученным методом ATR, и спектром абсорбции, зарегистрированным трансмиссионным методом. Тем не менее, в области длинных волн полоски ATR относительно более интенсивные. Спектр ATR для ПЭЭК представлен на рис. 11 [9, 14].

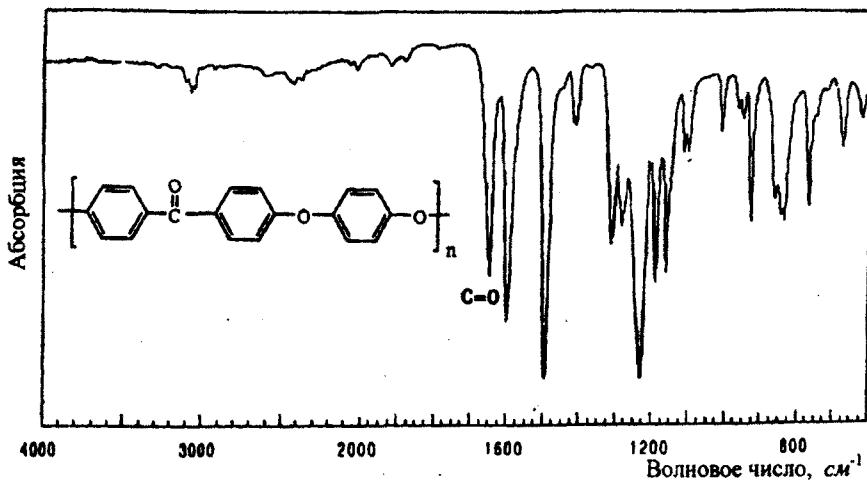


Рис. 11. Спектр АТР полиэфирэфиркетона.

Глубина анализируемой поверхности варьирует от 1 до 10 мкм в зависимости от длины волны и угла падения. В противоположность XPS и SIMS, ИК-спектроскопия не требует вакуума.

3. Различные виды микроскопии.

3.1. SEM (scanning electron microscopy) – сканирующая электронная микроскопия. Тончайший пучок электронов с энергией от 20 до 40 кэВ направляется на поверхность образца в микроскопе, который прочесывает ее согласно модели параллельных линий [9, 19]. Под влиянием электронов на поверхности образца происходят различные феномены, наиболее значительные из них (рис. 12) – отщепление вторичных электронов с энергией в десятки эВ и отражение первичных электронов с большей энергией. Угол падения первичного пучка меняется из-за шероховатости поверхности

(топологической структуры образца), чем и объясняются разные интенсивности этих двух типов электронов.

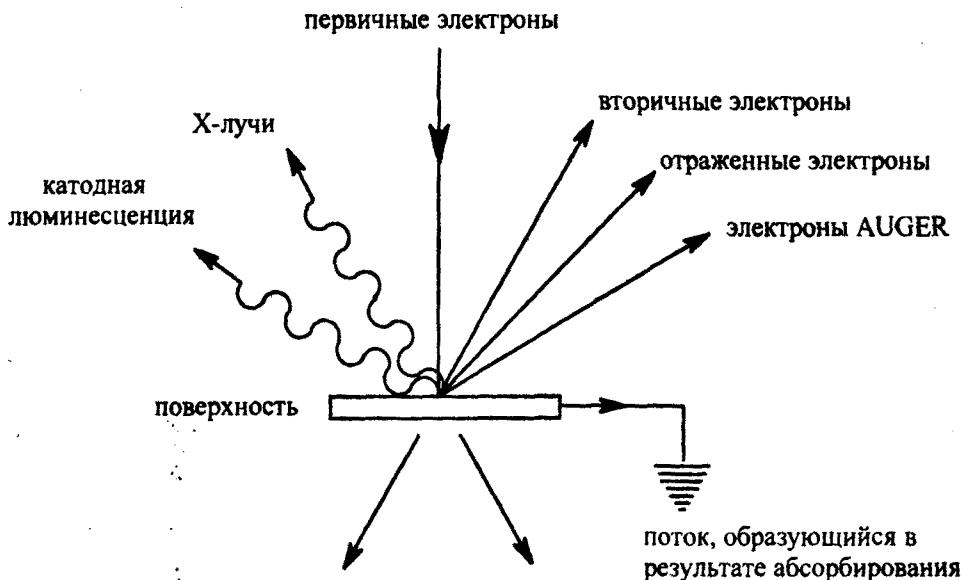


Рис. 12. Схема электронной бомбардировки поверхности.

Поток электронов собирается с целью увеличения его интенсивности перед отправкой в катодную трубку, синхронизированную с прочесыванием пучка, что позволяет восстановить картину анализируемой поверхности в трех измерениях.

Преимуществом микроскопии SEM является простота подготовки образцов. Тем не менее, лишь образцы-проводники могут быть проанализированы этим методом. В противном случае поверхность образца покрывают тонким слоем ($\sim 100\text{ нм}$) металла (золото, сплав золото–палладий, алюминий), чтобы предотвратить скопление зарядов от электронного пучка, бомбардирующего поверхность. Техника SEM позволяет произвести топографический и морфологический анализ твердой поверхности. При этом может быть произведено увеличение образца в 20–200000 раз с разрешением порядка 50–250 Å. Анализ SEM производится в вакууме. На рис. 13 представлена SEM-картина микропористой мембранны полизилентерефталата, используемой в качестве носителя для культивирования клеток [20]. Этим методом можно определить средний диаметр пор и их количество на единицу поверхности.

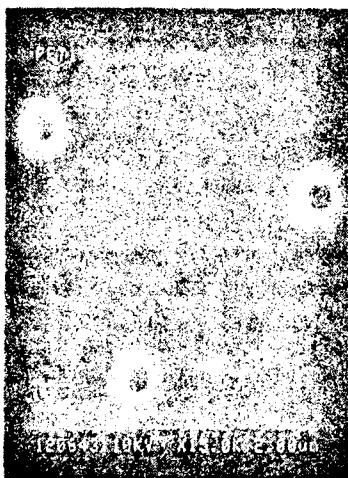


Рис. 13. SEM-рисунок микропористой мембранны полизилентерефталата (средний диаметр пор – 0,49 мкм, количество пор на единицу поверхности – $1,45 \cdot 10^6 \text{ пор}/\text{см}^2$).

3.2. STM и AFM микроскопии. Современные разновидности микроскопии поверхности это STM (*scanning tunneling microscopy*) – туннельная сканирующая микроскопия и AFM (*atomic force microscopy*) – микроскопия близких взаимодействий. Эти методы дают топологическую картину поверхности с разрешающей способностью порядка атомных масштабов. При STM измеряют генерируемый электрический ток в то время, когда образец, поддерживаемый при определенном потенциале, прочесывается тончайшим металлическим острием (изготовленным чаще всего из сплава платина–иридий). Полученный туннельный поток отображает атомную топографию поверхности. Первые исследования STM были осуществлены в ультравакууме. В настоящее время разрабатываются другие вариации этой техники, которые позволяют исследовать вещество в воздухе или в жидкости. Тем не менее, техника STM ограничена использованием лишь образцов из проводящего материала.

В противоположность этому, техника AFM [9, 21] позволяет получать картины поверхностей независимо от того, являются ли они проводниками или нет.

На рисунке 14 представлен принцип работы микроскопа AFM. Острие зафиксировано на носителе с отражающей поверхностью. Образец помещен на пьезосканер, который взаимосвязан с контрольным блоком. Эта взаимосвязь обеспечивает постоянный контроль над силой взаимодействия между острием и поверхностью образца. При прочесывании поверхности острие совершает вертикальные перемещения в соответствии с шероховатостью поверхности, тем самым сохраняя силу взаимодействия постоянной.

Эти движения приводят к отклонению носителя (Δz), измеряя

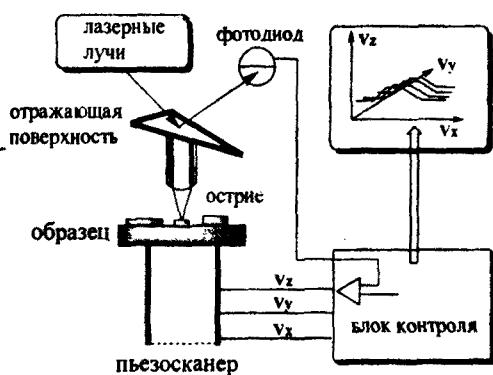


Рис. 14. Упрощенная схема микроскопа AFM.

которое можно установить силу воздействия на острие согласно уравнению Гука:

$$F = -k\Delta z, \quad (5)$$

где k – коэффициент взаимодействия.

Перемещение носителя определяется оптическим методом, при котором отраженные лазерные лучи, попадая на фотодиод, генерируют поток, пропорциональный позиции носителя.

Если острие устанавливается в нескольких ангстремах от поверхности, то между ними возникают отталкивающие силы (контактный режим). Если же острие устанавливается в нескольких десятках ангстремов от поверхности и колеблется с частотой большей собственной частоты, то острие и поверхность притягиваются (бесконтактный режим). Эта техника хорошо адаптирована для изучения мягких материалов, таких как некоторые полимеры и биологические образцы. В качестве примера мы приводим картины поверхности блок-сополимера полиметилметакрилат-полистирола (рис. 15) [22].

4. Функциональные дозировки. Спектроскопические методы позволяют выявить при-
сутствие некоторых структурных формиро-
ваний на поверхности полимерных материалов.
Однако они не дают никаких сведений относи-
тельно реакционноспо-
собности функциональ-
ных групп на поверх-
ности.

Рис. 15. Картинки AFM поверхности блок-сополимера поли-
метилметакрилат-полистирола.

ности, которые изучаются в реакциях химической дериватизации, осуществляемых в зоне твердое вещество–газ или, чаще, твердое вещество–жидкость. С этой целью используются классические реакции органической химии: ацилирование гидроксильных и аминовых групп, превращение карбонильных групп в основание Шиффа, этерификация кислотных групп или их взаимодействие с аминами согласно технике пептидического синтеза [23]. Реактивность полимерной поверхности зависит от экспериментальных условий ее дериватизации: полярной или аполярной природы растворителей и реагентов, их концентрации, температуры и времени контакта. Агент дериватизации должен содержать маркер, который позволяет количественно анализировать дериватизированную поверхность.

4.1. Анализ XPS. Дериватизация полимерных поверхностей посредст-

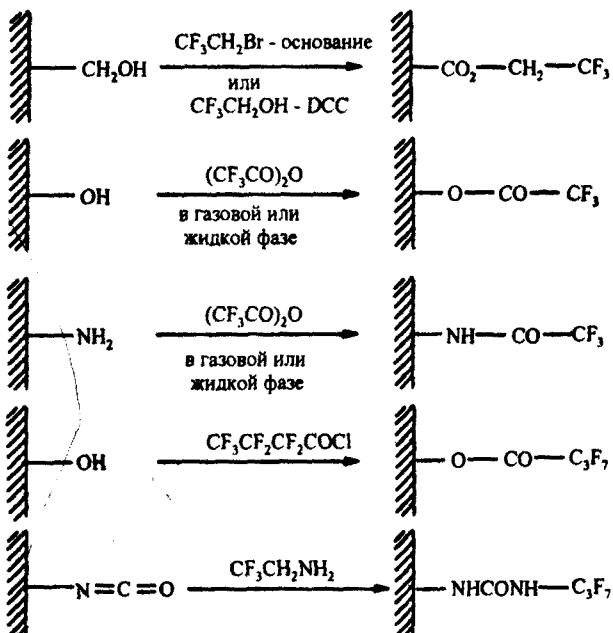


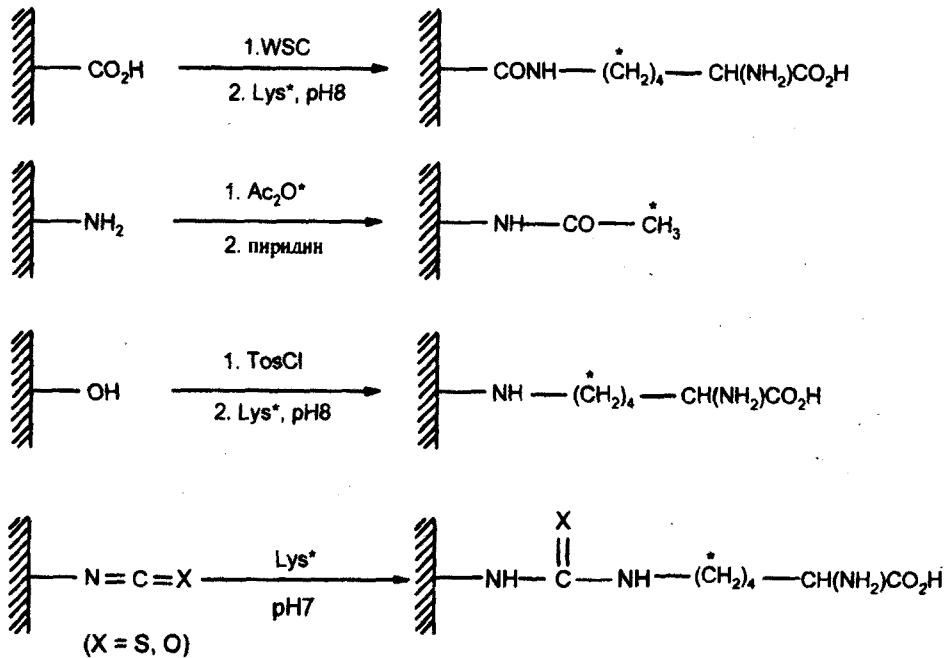
Схема 1. Примеры маркировки фтором полимерных поверх-
ностей.

вом фторированных молекул наиболее часто ис-
пользуемая техника для
количественного анализа
реактивности поверхно-
стных групп при методе XPS
[9].

Поскольку исходный
полимер не содержит
атомов фтора, отношение
атомов F/C, измеренное
опытным путем на дерива-
тизированной поверхно-
сти, прямо пропорцио-
нально числу функцио-
нальных групп, которые
вошли во взаимодействие
с молекулой-зондом при
экспериментальных усло-
виях, свойственных мар-
кировке [24]. На схеме 1

представлены несколько типичных реакций маркировки фтором полимерных поверхностей.

4.2. Анализ LSC (*liquid scintillation counting*) – расчет по сцинтилляции жидкости. Интересная техника радиомаркировки разработана сотрудниками Лувенского католического университета Бельгии [9, 22], при которой тритированные зонды фиксируются ковалентным способом на реактивных группах полимерных поверхностей (схема 2).



WSC (water soluble carbodiimide, карбодимид, растворимый в воде); Lys* – L-[4,5-³H]-лизин; Ac_2O^* – [2,2'-³H] $(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$.

Схема 2. Примеры маркировки полимерных поверхностей с применением тритированных зондов.

Когда в качестве зонда используется L-[4,5-³H]-лизин, экспериментальные условия маркировки очень близки к таким, которые применяются при прививке биологически активных молекул (пептидов, белков) на поверхность полимеров. Следовательно, эффективность (уровень сцепления) стратегии активной биосовместимости полимерного материала может быть оценена на основе радиоактивности, приписываемой маркированному тритированному лизину образцу.

Используется техника LSC, которая позволяет вычислять радиоактивность, выброшенную маркированными тритием частицами. Распад трития сопровождается вялым β -излучением. Это – β -электроны, выброшенные во время распада. Они трудно определимы, так как пробегают малые дистанции в результате их взаимодействия с материей. Учитывая это, нужно уменьшить до минимума расстояние между источником и детектором излучения.

С этой целью радиоактивный образец помещается в сцинтилирующую жидкость, которая содержит растворитель, передающий энергию β -излучения светящемуся веществу. Оно трансформирует эту энергию в фотоны (рис. 16). Столкновение β -частицы с молекулой растворителя провоцирует ее

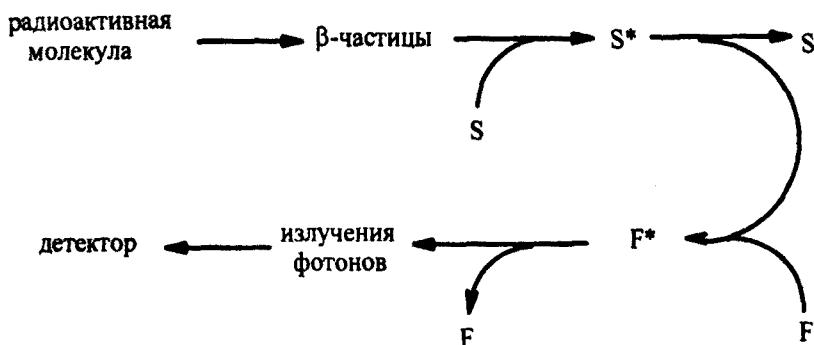


Рис. 16. Схема регистрации радиоактивности трития методом LSC.

переход в возбужденное состояние. При возвращении в стабильное состояние излучаются фотоны, число которых пропорционально энергии маркированной частицы, фиксированной на поверхности. Следовательно, достаточно произвести замер электрических импульсов, порожденных столкновением продуцированных фотонов с фотокатодом полимультиплексора.

4.3 Тандемный анализ LSC/XPS. Синтез смешанных зондов [24], содержащих одновременно атомы фтора и трития, позволяет анализировать образцы методами LSC и XPS (схема 3).

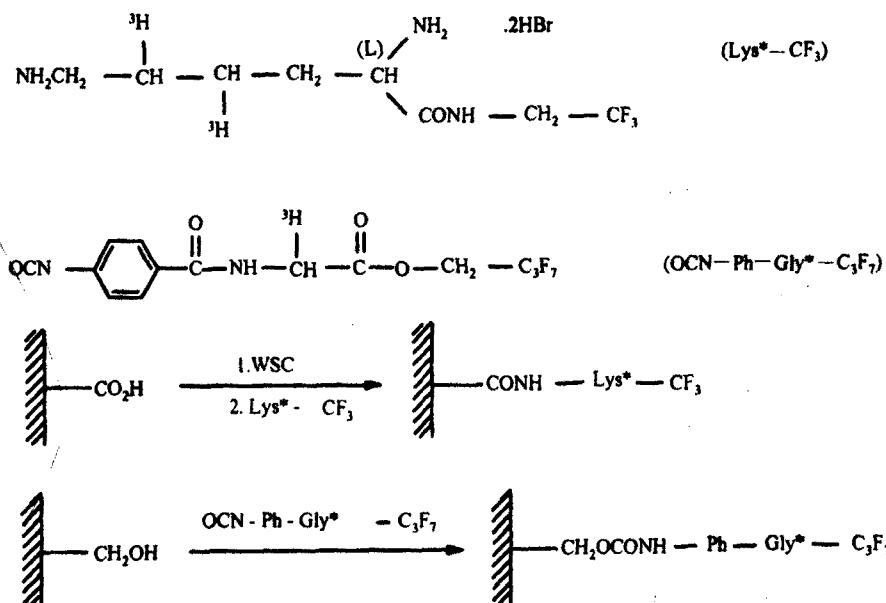


Схема 3. Использование смешанных зондов при анализе гидроксильных и кислотных групп на поверхности полизилентерефталата.

Эти дополнительные анализы особенно полезны для характеристики реактивности поверхности микропористых мембран. Действительно, при анализе XPS исследуется атомный состав (соотношение F/C) видимой поверхности образца на глубину 50–100 Å, тогда как анализ LSC дает число всех “маркировщиков”, фиксированных на тотальной открытой поверхности (видимая и внутренняя поверхности пор).

ЛИТЕРАТУРА

1. Feast W.J., Munro H.S. *Polymer Surfaces and Interfaces*. I, Chichester: John Wiley and Sons, 1987.
2. Feast W.J., Munro H.S., Richards R.W. *Polymer Surfaces and Interfaces*. II, Chichester: John Wiley and Sons, 1993.
3. Garbassi F., Morra M., Occillo E. *Polymer Surfaces, from Physics to Technology*. Chichester: John Wiley and Sons, 1994.
4. Marchand-Brynaert J. – Recent Res. Devel. In Polymer Science, 1998, v. 2, p. 335–362.
5. Noiset O., Schneider Y.-J., Marchand-Brynaert J. – J. Biomater. Sci. Polymer Edn., 1999, v. 10, p. 657–677.
6. Noiset O., Schneider Y.-J., Marchand-Brynaert J. – Journal of Polymer Science. Part A: Polymer Chemistry, 1997, v. 35, p. 3779–3790.
7. Walls J.M. *Methods of Surface Analysis, Techniques and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
8. Lagues M. *L'Actualite Chimique*, Janv.–fev., 1990, p. 17–35.
9. Marchand-Brynaert J. – *Chimie Nouvelle*, 1996, v. 14, № 55, p. 1613–1620.
10. Wettability, Surfactant Science Series. v. 49, J.S. Berg (Editor). New York: Marcel Dekker, 1993.
11. Hercules D.M., Hercules S.H. – J. Chem. Educ., 1984, v. 61, p. 402–409.
12. Hercules D.M., Hercules S.H. – Там же, p. 483–489.
13. Marchand-Brynaert J., Pantano G., Noiset O. – *Polymer*, 1997, v. 38, № 6, p. 1387–1394.
14. Henneuse C., Goret B. and Marchand-Brynaert J. – *Polymer*, 1998, v. 39, № 4, p. 835–844.
15. Henneuse-Boxus C., Poleunis C., De Ro A., Adriaensen Y., Bertrand P. and Marchand-Brynaert J. – *Surf. Interface Anal.* 1999, v. 27, p. 142–152.
16. Hercules D.M., Hercules S.H. – J. Chem. Educ., 1984, v. 61, p. 592–599.
17. Scheuing D.R. – ACS Symposium Series, 1991, p. 447.
18. Mira-Bella F.M. Jr. *Internal Reflection Spectroscopy, Theory and Applications*. New York: Marcel Dekker, 1992.
19. Watt I.M. *The principles and Practice of electron microscopy*. Cambridge: University Press, 1985.
20. Meugenot P., Marchand-Brynaert J. – *Macromolecules*, 1996, v. 29, p. 3552–3559.
21. Leckband D. – *Nature*, 1995, v. 376, p. 617–618.
22. Hambardzumyan A., Biltresse S., Dufrene Y. and Marchand-Brynaert J. – *J. Colloid Interface Sci.*, 2002, v. 252, p. 443–449.
23. Boxus T., Deldime-Rubbens M., Meugenot P., Schneider Y.-J., Marchand-Brynaert J. – *Polym. Adv. Technol.*, 1996, v. 7, p. 589–598.
24. Deldime M., Dewez J.-L., Schneider Y.-J., Marchand-Brynaert J. – *Appl. Surf. Sci.*, 1995, v. 90, p. 1–14.

ՊԻՆԴ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄԱՍԻՐՄԱՆ ՈՐՈՇ
ԺԱՍՏԱԿԱԿԻՑ ՄԵԹՈԴՆԵՐ

Ամփոփում

Աշխատանքում ներկայացված են պինդ մակերևույթների ուսումնասիրման ժամանակակից մեթոդներ, որոնք հնարավորություն են տալիս կատարել մակերևութային շերտի քանակական և որակական անալիզ: Շերտի հաստությունը չի գերազանցում մի քանի անգույքները, իսկ մակերեսը նաև ունենալի կարգի մեծություն է: Նմանատիպ անալիզի դեպքում գործ ունենք նյութի չնշին քանակների հետ ($\leq 10^{-13} \text{ g/cm}^2$), որոնց համար հայտնի դասական մեթոդները կիրառելի չեն, քանզի ուսումնասիրվող նմուշի ծավալից ստացվող ազդանշանները, որպես կանոն, լինելով անհամեմատ ավելի հզոր, խանգարում են մակերևույթից ստացված բույլ ազդանշանների հայտնաբերմանը:

Ներկայացված մեթոդները մեծ կիրառություն ունեն պոլիմերների, մասնավորապես կենսապոլիմերների մակերևույթների ուսումնասիրման բնագավառում:

A. J. HAMBARDZUMYAN, Sh. A. MARKARIAN

SOME MODERN METHODS OF SOLIDE SURFACES ANALYSES

Summary

In the present article some modern techniques, which allow qualitative and quantitative analyses in nm scale of solid surfaces with a thickness equal to some atomic layers are described. For an analysis of thin layers of surfaces classical methods are not applicable, because a very small quantity of material is used ($\leq 10^{-13} \text{ g/cm}^2$) and the signal coming from surface layer is covered by a large signal of the bulk.

Described methods are widely applied in the study of polymers' surfaces, specially, in analyses of biomaterial surfaces.

Математика

УДК 517. 55

А. И. ПЕТРОСЯН

О ВЕСОВЫХ КЛАССАХ ЦЕЛЫХ ФУНКЦИЙ В ПРОСТРАНСТВЕ \mathbb{C}^n

В статье вводятся весовые классы $A_\omega^p(\mathbb{C}^n)$ целых функций нескольких комплексных переменных. Эти классы зависят от параметр-функции $\omega(x)$ и сколь угодно широки. Для функций, принадлежащих $A_\omega^p(\mathbb{C}^n)$, получено интегральное представление.

1. В работе [1] введены весовые классы $A_\omega^p(B)$ функций, голоморфных в единичном шаре B в пространстве \mathbb{C}^n . Эти классы сколь угодно широки, ибо зависят от параметр-функции $\omega(x)$ ($0 \leq x < 1$) со сколь угодно быстрым убыванием при $x \rightarrow 1 - 0$. Целью настоящей работы является введение классов $A_\omega^p(\mathbb{C}^n)$ целых функций и получение для них интегрального представления. Приводимые теоремы являются многомерными ω -аналогами результатов М.М. Джрабашяна [2, 3], положивших начало теории классов A_ω^p (изначальное обозначение $H^p(\alpha)$) в единичном круге.

Примененный аналитический аппарат позволяет распространить на случай пространства \mathbb{C}^n результаты, полученные в [4] для одномерного случая.

Ниже будем пользоваться следующими обозначениями:
 $\langle z, w \rangle = \sum_{k=1}^n z_k \bar{w}_k$ – скалярное произведение для точек $z, w \in \mathbb{C}^n$, а
 $|z| = \sqrt{\langle z, z \rangle}$ – соответствующая норма; $B = \{z \in \mathbb{C}^n : |z| < 1\}$ – открытый единичный шар в \mathbb{C}^n ; $S = \partial B = \{z \in \mathbb{C}^n : |z| = 1\}$ – его граница, являющаяся единичной сферой в \mathbb{C}^n ; ν – мера Лебега в \mathbb{C}^n , нормированная условием $\nu(B) = 1$; σ – борелевская мера на S , инвариантная относительно унитарных преобразований пространства \mathbb{C}^n и удовлетворяющая условию $\sigma(S) = 1$. С каждым мультииндексом $s = (s_1, \dots, s_n)$ будем связывать числа $s! = \prod_{k=1}^n s_k!$ и

$|s| = \sum_{k=1}^n s_k$, а также голоморфный моном $z^s = \prod_{k=1}^n z_k^{s_k}$.

2. Приведем некоторые определения и результаты из [1].

Через Ω обозначается множество параметр-функций $\omega(x)$, определенных на интервале $[0,1]$ и удовлетворяющих там условиям:

$$1) 0 < \int_0^1 x^m d\omega(x) < \infty \text{ для любого } \delta \in [0,1];$$

$$2) \Delta_m \equiv \Delta_m(\omega) = - \int_0^1 x^m d\omega(x) \neq 0, \infty, \quad m = 0, 1, \dots;$$

$$3) \liminf_{m \rightarrow \infty} \sqrt[m]{|\Delta_m|} \geq 1.$$

Далее, для каждой функции $\omega \in \Omega$ определяется ассоциированная с ней мера $d\mu_\omega(w) = -d\omega(r^2)d\sigma(\zeta)$, где $w = r\zeta$ – полярная форма точки $w \in B$, (т. е. $r = |w|$, $\zeta \in S$).

Через $L_\omega^p(B)$ обозначается класс функций, измеримых по мере $d\mu_\omega$ в шаре B , для которых

$$\|f\|_{p,\omega} = \left\{ \int_B |f(w)|^p d\mu_\omega(w) \right\}^{1/p} < +\infty, \quad 0 < p < \infty, \quad (1)$$

а через $A_\omega^p(B)$ – подмножество $L_\omega^p(B)$, состоящее из функций, голоморфных в B . Для заданного $\omega \in \Omega$ вводится ядро-функция

$$C_\omega(z, w) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\langle z, w \rangle^k}{\gamma_k \Delta_k(\omega)}, \quad \text{где} \quad \gamma_k = \frac{(n-1)! k!}{(n-1+k)!}. \quad (2)$$

В [1] доказано следующее утверждение:

Теорема 1. Пусть $f \in A_\omega^p(B)$. Тогда для $z \in B$

$$f(z) = \int_B f(w) C_\omega(z, w) d\mu_\omega(w), \quad (3)$$

$$f(z) = -\overline{f(0)} + 2 \int_B \{Re f(w)\} C_\omega(z, w) d\mu_\omega(w). \quad (4)$$

Отметим один частный случай формулы (3). Пусть

$$\omega(x) = \int_x^1 t^{n-1} (1-t)^\alpha dt, \quad \alpha > -1.$$

Тогда

$$\Delta_m = - \int_0^1 x^m d\omega(x) = \int_0^1 x^{n+m-1} (1-x)^\alpha dx = \frac{\Gamma(n+m) \Gamma(1+\alpha)}{\Gamma(n+m+1+\alpha)}.$$

Используя выражение для элемента нормированного объема $d\nu$ в полярных координатах [5], будем иметь

$$d\mu_\omega(w) = -d\omega(r^2)d\sigma(\zeta) = 2r^{2n-1} (1-r^2)^\alpha dr d\sigma(\zeta) = \frac{1}{n} (1-r^2)^\alpha d\nu(w). \quad (5)$$

Из (1) и (5) следует, что формула (3) в рассматриваемом случае принимает вид

$$f(z) = \frac{\Gamma(n+1+\alpha)}{\Gamma(n+1) \Gamma(1+\alpha)} \int_B f(w) \frac{(1-|w|^2)^\alpha}{(1-\langle z, w \rangle)^{n+1+\alpha}} d\nu(w).$$

Эту формулу можно найти в [5].

3. Обозначим через Ω^∞ множество параметр-функций $\omega(t)$, строго убывающих на полуоси $[0, +\infty)$, таких, что $\omega(0) = 1$ и

$$\Delta_k^\infty(\omega) = - \int_0^{+\infty} t^k d\omega(t) < +\infty \quad \text{для любого } k = 0, 1, 2, \dots$$

Введем классы целых функций $A_\omega^p(\mathbb{C}^n)$ ($1 \leq p < +\infty$), удовлетворяющих условию

$$\|f\|_{p,\omega} = \left\{ \int_{\mathbb{C}^n} |f(w)|^p d\mu_\omega(w) \right\}^{1/p} < +\infty, \quad (6)$$

где $d\mu_\omega(r\zeta) = -d\omega(r^2) d\sigma(\zeta)$. Соответствующее этой мере лебегово пространство обозначим через $L_\omega^p(\mathbb{C}^n)$.

Далее построим ω -ядро

$$C_\omega^\infty(z, w) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\langle z, w \rangle^k}{\gamma_k \Delta_k^\infty(\omega)}, \quad \text{где } \gamma_k = \frac{(n-1)! k!}{(n-1+k)!}. \quad (7)$$

Теорема 2. Пусть $f \in A_\omega^2(\mathbb{C}^n)$, где $\omega \in \Omega^\infty$. Тогда для $z \in \mathbb{C}^n$

$$f(z) = \int_{\mathbb{C}^n} f(w) C_\omega^\infty(z, w) d\mu_\omega(w), \quad (8)$$

$$f(z) = -\overline{f(0)} + \int_{\mathbb{C}^n} \{Re f(w)\} C_\omega^\infty(z, w) d\mu_\omega(w). \quad (9)$$

Доказательство. Для произвольного $r > 0$ введем функцию $\omega_r(t) = \omega(r^2 t)$ ($0 \leq t \leq 1$) и обозначим $\Delta_k^r(\omega) = - \int_0^{r^2} t^k d\omega(t)$. Легко видеть, что $\lim_{k \rightarrow \infty} \sqrt[k]{\Delta_k^r(\omega)} = r^2$. Очевидно, что $\Delta_k^r(\omega_r) = r^{-2k} \Delta_k^r(\omega)$ и $\lim_{k \rightarrow \infty} \sqrt[k]{\Delta_k^r(\omega_r)} = 1$.

Следовательно, $\omega_r \in \Omega$. С другой стороны, $f(rz) \in A_{\omega_r}^2$ ($\forall |z| < 1$). Поэтому обе формулы (3) и (4) для $f(rz)$ справедливы. Заметив, что

$$C_{\omega_r}\left(\frac{z}{r}, \frac{w}{r}\right) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\langle z, w \rangle^k}{\gamma_k r^2 \Delta_k^\infty(\omega)} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\langle z, w \rangle^k}{\gamma_k \Delta_k^r(\omega)} \equiv C_\omega^r(z, w), \quad |z| < r^2,$$

и $d\mu_{\omega_r}\left(\frac{w}{r}\right) = d\mu_\omega(w)$, перепишем (3) в виде

$$f(z) = \int_{|w| < r} f(w) C_\omega^r(z, w) d\mu_\omega(w), \quad |z| < r. \quad (10)$$

Чтобы получить (8), нужно доказать, что для любой фиксированной точки $z \in \mathbb{C}^n$ имеет место равенство

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \int_{|w| < r} f(w) C_\omega^r(z, w) d\mu_\omega(w) = \int_{\mathbb{C}^n} f(w) C_\omega^\infty(z, w) d\mu_\omega(w). \quad (11)$$

Для этого заметим, что $\Delta_k^r(\omega) \uparrow$. Тогда $\liminf_{k \rightarrow \infty} \sqrt[k]{\Delta_k^\infty(\omega)} \geq r^2$ для любого $r > 0$

и, следовательно, $\lim_{k \rightarrow \infty} \sqrt[k]{\Delta_k^\infty(\omega)} = +\infty$. Итак, радиус сходимости степенного ряда $C_\omega^\infty(z, \cdot)$ бесконечен, т. е. $C_\omega^\infty(z, \cdot)$ является целой функцией. Используя неравенство Буняковского, будем иметь

$$\begin{aligned}
\int_{C''} |f(w)C_w^\infty(z, w)| d\mu_\omega(w) &\leq \|f\|_{2, \omega} \left\{ \int_{C''} |C_w^\infty(z, w)|^2 d\mu_\omega(w) \right\}^{\frac{1}{2}} = \\
&= \|f\|_{2, \omega} \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{(\gamma_k \Delta_k^\infty)^2} \int_{C''} |\langle z, \rho \zeta \rangle^{2k}| d\mu_\omega(\rho \zeta) \right\}^{\frac{1}{2}} = \\
&= \|f\|_{2, \omega} \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{(\gamma_k \Delta_k^\infty)^2} \int_0^\infty \rho^{2k} d\omega(\rho^2) \int_S |\langle z, \zeta \rangle|^{2k} d\sigma(\zeta) \right\}^{\frac{1}{2}}.
\end{aligned}$$

Далее, из формулы, аналогичной биному Ньютона для n переменных, следует

$$\begin{aligned}
\int_S |\langle z, \zeta \rangle|^{2k} d\sigma(\zeta) &= \int_S \sum_{|\alpha|=k} \sum_{|\beta|=k} \frac{|\alpha|! |\beta|!}{\alpha! \beta!} z^\alpha \bar{\zeta}^\alpha \bar{z}^\beta \zeta^\beta d\sigma(\zeta) = \\
&= \sum_{|\alpha|=k} \left(\frac{|\alpha|!}{\alpha!} \right)^2 \frac{(n-1)! \alpha!}{(n-1+|\alpha|)!} z^\alpha \bar{z}^\alpha = \sum_{|\alpha|=k} \frac{|\alpha|!}{\alpha!} z^\alpha \bar{z}^\alpha \gamma_{|\alpha|} = \gamma_k \langle z, z \rangle^k.
\end{aligned} \tag{12}$$

Следовательно,

$$\begin{aligned}
\int_{C''} |f(w)C_w^\infty(z, w)| d\mu_\omega(w) &\leq \\
&\leq \|f\|_{2, \omega} \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{(\gamma_k \Delta_k^\infty)^2} \Delta_k^\infty \gamma_k \langle z, z \rangle^k \right\}^{\frac{1}{2}} = \|f\|_{2, \omega} \sqrt{C_w^\infty(z, z)}.
\end{aligned} \tag{13}$$

Таким образом, предельное соотношение (11) равносильно равенству

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \int_{|w|< r} f(w) [C_w^r(z, w) - C_w^\infty(z, w)] d\mu_\omega(w) = 0.$$

Докажем это равенство. Обозначим $|z|=r_0$ и заметим, что если $r_0 + 1 < r_1 < r < +\infty$, то будем иметь

$$\begin{aligned}
I(r) &\equiv \left| \int_{|w|< r} f(w) (C_w^r(z, w) - C_w^\infty(z, w)) d\mu_\omega(w) \right| \leq \\
&\leq \int_{|w|< r_1} |f(w)(C_w^r(z, w) - C_w^\infty(z, w))| d\mu_\omega(w) + \\
&+ \int_{r_1 < |w| < r} |f(w)C_w^r(z, w)| d\mu_\omega(w) + \\
&+ \int_{|w|>r} |f(w)C_w^\infty(z, w)| d\mu_\omega(w) \equiv I_1(r) + I_2(r) + I_3(r).
\end{aligned}$$

Для оценки слагаемого $I_2(r)$ еще раз применяем неравенство Буняковского:

$$\begin{aligned}
I_2(r) &\leq \left\{ \int_{r_1 < |w| < r} |f(w)|^2 d\mu_\omega(w) \int_{r_1 < |w| < r} |C_w^r(z, w)|^2 d\mu_\omega(w) \right\}^{\frac{1}{2}} = \\
&= \left\{ \int_{r_1 < |w| < r} |f(w)|^2 d\mu_\omega(w) \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{(\gamma_k \Delta_k^r)^2} \int_{r_1 < |w| < r} |\langle z, w \rangle|^{2k} d\mu_\omega(w) \right\}^{\frac{1}{2}}.
\end{aligned} \tag{14}$$

Далее, согласно (12),

$$\begin{aligned} \int_{r_1 < |w| < r} |\langle z, w \rangle|^{2k} d\mu_\omega(w) &= \int_S |\langle z, \zeta \rangle|^{2k} d\sigma(\zeta) \int_{r_1}^r \rho^{2k} |d\omega(\rho^2)| = \\ &= \gamma_k \langle z, z \rangle^k \int_{r_1}^r \rho^{2k} |d\omega(\rho^2)|. \end{aligned} \quad (15)$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{(\gamma_k \Delta_k^r)^2} \int_{r_1 < |w| < r} |\langle z, w \rangle|^{2k} d\mu_\omega(w) &\leq \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{(\gamma_k \Delta_k^r)^2} \sum_{|\alpha|=k} |z^\alpha|^2 \frac{|\alpha|!}{\alpha!} \gamma_{|\alpha|} \Delta_{|\alpha|}^r = \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\langle z, z \rangle^k}{\gamma_k \Delta_k^r} \leq \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\langle z, z \rangle^k}{\gamma_k \Delta_k^{r_0+1}} = C_\omega^{r_0+1}(z, z) < +\infty. \end{aligned}$$

Поэтому $I_2(r) < \varepsilon/3$ для заданного $\varepsilon > 0$ при достаточно большом r_1 . С другой стороны, из (13) следует, что $I_3(r) < \varepsilon/3$ также для достаточно большого r_1 . Далее, для фиксированного r_1 получаем

$$\begin{aligned} I_1(r) &\leq \|f\|_{2,\omega} \left\{ \int_{|w| < r_1} |C_\omega^r(z, w) - C_\omega^\infty(z, w)|^2 d\mu_\omega(w) \right\}^{1/2} = \\ &= \|f\|_{2,\omega} \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{1}{\gamma_k \Delta_k^r} - \frac{1}{\gamma_k \Delta_k^\infty} \right)^2 \int_{|w| < r_1} |\langle z, w \rangle|^{2k} d\mu_\omega(w) \right\}^{1/2}. \end{aligned} \quad (16)$$

Следовательно, ввиду (15), имеем

$$I_1(r) \leq \|f\|_{2,\omega} \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{1}{\Delta_k^r} - \frac{1}{\Delta_k^\infty} \right)^2 \langle z, z \rangle^k \int_{r_1}^r \rho^{2|\alpha|} |d\omega(\rho^2)| \right\}^{1/2}.$$

При этом ряд в правой части имеет сходящуюся мажоранту, не зависящую от r . В самом деле,

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{1}{\Delta_k^r} - \frac{1}{\Delta_k^\infty} \right)^2 \langle z, z \rangle^k \int_{r_1}^r \rho^{2k} |d\omega(\rho^2)| &\leq \sum_{k=0}^{\infty} \langle z, z \rangle^k \left(\frac{2}{\Delta_k^r} \right)^2 \Delta_k^r \leq \\ &\leq 4 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\langle z, z \rangle^k}{\Delta_k^r} = 4C_\omega^r(z, z) < +\infty. \end{aligned}$$

Следовательно, правая часть (16) стремится к нулю при $r \rightarrow +\infty$, и поэтому $I_1(r) < \varepsilon/3$ для достаточно большого r . Итак, мы получаем, что $I(r) \rightarrow 0$ при $r \rightarrow +\infty$. Отсюда следует справедливость (8). Для доказательства (9) применим вышеприведенные рассуждения к формуле (4) для $F(rz)$. ►

4. Ядро $C_\omega^\infty(z, w)$ порождает оператор ортогонального проектирования из $L_\omega^2(\mathbb{C}^n)$ на подпространство $A_\omega^2(\mathbb{C}^n)$. А именно, имеет место следующая

Теорема 3. Пусть

$$Q_\omega f(z) = \int_{\mathbb{C}^n} f(w) C_\omega^\infty(z, w) d\mu_\omega(w), \quad z \in \mathbb{C}^n,$$

где $f \in L_\omega^2(\mathbb{C}^n)$. Тогда Q_ω является ортогональным проектором из $L_\omega^2(\mathbb{C}^n)$ на $A_\omega^2(\mathbb{C}^n)$.

Доказательство. Пусть $L_\omega^2(\mathbb{C}^n) = A_\omega^2(\mathbb{C}^n) \oplus [A_\omega^2(\mathbb{C}^n)]^\perp$ и $f = f_1 + f_2$ – соответствующее разложение функции $f \in L_\omega^2(\mathbb{C}^n)$. Имеем $Q_\omega f = Q_\omega f_1 + Q_\omega f_2$. По теореме 2, $Q_\omega f_1 = f_1$. С другой стороны,

$$Q_\omega f_2(z) = \int_{\mathbb{C}^n} f_2(w) C_\omega^\infty(z, w) d\mu_\omega(w) = \left\langle f_2, \overline{C_\omega^\infty(z, \cdot)} \right\rangle_\omega = 0,$$

где $\langle \cdot, \cdot \rangle_\omega$ – скалярное произведение в $L_\omega^2(\mathbb{C}^n)$. Равенство нулю следует из того, что при фиксированном $z \in \mathbb{C}^n$ функция $C_\omega^\infty(z, w) = \overline{C_\omega^\infty(w, z)}$ является целой относительно w , а f_2 ортогональна к $A_\omega^2(\mathbb{C}^n)$. Итак, $Q_\omega f = f_1$ для произвольной функции $f \in L_\omega^2(\mathbb{C}^n)$, а это и означает, что Q_ω – проектор из $L_\omega^2(\mathbb{C}^n)$ на $A_\omega^2(\mathbb{C}^n)$. ▶

Кафедра теории функций

Поступила 30.06.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Petrosyan A.I. – Journal of Analysis and Applications, 2005, v. 3, № 1, p. 47–53.
2. Джрбашян М.М. – ДАН Армянской ССР, 1945, т. 3, № 1, с. 3–9.
3. Джрбашян. М.М. К проблеме представимости аналитических функций. Сообщ. Института матем. и мех. АН Армянской ССР, 1948, т. 2, с. 3–40.
4. Jerbashian A.M. – Complex Variables, 2005, v. 50, № 3, p. 155–183.
5. Рудин У. Теория функций в единичном шаре из \mathbb{C}^n . М.: Мир, 1984.

Ա. Ի. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

\mathbb{C}^n ՏՎՐԱՑՈՒԹՅԱՆ ՄԵՋ ԱՄԲՈՂՋ ՖՈՒՆԿՑԻԱՆԵՐԻ ԿԸՆԱՅԻՆ ԴԱՍԵՐԻ ՍԱՄԻՆ

Ամփոփում

Աշխատանքում ներմուծվում են մի քանի կոմպլեքս փոփոխականների ամբողջ ֆունկցիաների $A_\omega^p(\mathbb{C}^n)$ կշռային դասեր: Այդ դասերը կախված են $\omega(x)$ պարամետր-ֆունկցիայից և կամայական չափով լայն են: $A_\omega^2(\mathbb{C}^n)$ -ին պատկանող ֆունկցիաների համար արտածվում է ինտեգրալային ներկայացում:

A. I. PETROSYAN

ON WEIGHTED CLASSES OF ENTIRE FUNCTIONS IN \mathbb{C}^n

Summary

In the paper the weighted classes $A_\omega^p(\mathbb{C}^n)$ of entire functions of several complex variables are introduced. These classes depend on parameter-function $\omega(x)$ and they are arbitrarily large. For functions belonging to $A_\omega^2(\mathbb{C}^n)$ the integral representation is obtained.

Математика

УДК 517.984.5

А. А. АСАТՐՅԱՆ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧЕЧНОГО СПЕКТРА ОПЕРАТОРА
ШТУРМА-ЛИУВИЛЛЯ С ПОТЕНЦИАЛОМ, ИМЕЮЩИМ
ОПРЕДЕЛЕННОЕ ПОВЕДЕНИЕ НА БЕСКОНЕЧНОСТИ**

В пространстве $L^2(\mathbb{R})$ рассматривается оператор Штурма-Лиувилля L с потенциалом, имеющим определенное поведение на бесконечности. Доказывается, что собственные значения оператора L (если таковые имеются) простые и их число конечно.

Рассмотрим на $\mathbb{R} = (-\infty, \infty)$ дифференциальную операцию l , заданную формулой $l(y) = -y'' + qy$, где коэффициент (потенциал) q – вещественная измеримая функция от переменной $x \in \mathbb{R}$, удовлетворяющая условию

$$\int_{-\infty}^0 |q(x) - a^-| dx + \int_0^\infty |q(x) - a^+| dx < \infty, \quad (1)$$

с некоторыми постоянными $a^\pm \in \mathbb{R}$.

Действующий в пространстве $L^2(\mathbb{R})$ оператор Штурма-Лиувилля L определим следующим образом (см. [1], с. 192). Область определения D оператора L состоит из функций $y \in L^2(\mathbb{R})$, имеющих абсолютно непрерывные на каждом отрезке $[\alpha, \beta] \subset \mathbb{R}$ производные и $l(y) \in L^2(\mathbb{R})$. Для $y \in D$ по определению полагается $Ly = l(y)$.

В работе [2] доказано, что оператор L самосопряжен и имеет ограниченный точечный спектр, предельные точки которого (если таковые имеются) принадлежат множеству $\{a^+, a^-\}$. Нижеследующие две теоремы дополняют эти результаты.

При $a^+ = a^- = 0$ точечный спектр оператора L был исследован Л.Д. Фаддеевым (см. [3]; [4], с. 269), а в случае $a^+ = a^- \neq 0$ исследование сводится к вышеуказанному случаю. Поэтому будем считать $a^+ \neq a^-$.

Обозначим $\mu_1 = \min\{a^+, a^-\}$, $\mu_2 = \max\{a^+, a^-\}$, $\lambda_j^\pm(\mu) = (-1)^{j-1} \sqrt{\mu - a^\pm}$, где $\mu \in C$, $j = 1, 2$ (для корня берется главное значение).

Теорема 1. При условии (1) собственные значения оператора L простые и лежат в интервале $(-\infty, \mu_1]$.

Доказательство. Как известно (см. [2]), для каждого $\mu \in C \setminus \{a^+\}$ уравнение $l(y) = \mu y$ имеет линейно независимые решения $y_1^+(x, \mu), y_2^+(x, \mu)$, для которых при $x \rightarrow \infty$ выполняются асимптотические равенства

$$y_j^+(x, \mu) = e^{ix\lambda_j^+(\mu)} [1 + o(1)] \quad (j=1, 2). \quad (2)$$

Кроме того, при $\mu \in C \setminus \{a^-\}$ уравнение $l(y) = \mu y$ имеет линейно независимые решения $y_1^-(x, \mu), y_2^-(x, \mu)$, для которых при $x \rightarrow -\infty$ выполняются асимптотические равенства

$$y_j^-(x, \mu) = e^{ix\lambda_j^-(\mu)} [1 + o(1)] \quad (j=1, 2). \quad (3)$$

Из формул (2), (3) следует, что при $\mu \in (\mu_1, \infty)$ уравнение $l(y) = \mu y$ не имеет нетривиальных решений, принадлежащих $L^2(R)$. Следовательно, собственные значения оператора L лежат в интервале $(-\infty, \mu_1]$. Те же формулы показывают, что при $\mu \in (-\infty, \mu_1]$ по меньшей мере одно из решений $y_1^+(x, \mu), y_2^+(x, \mu), y_1^-(x, \mu), y_2^-(x, \mu)$ не принадлежит $L^2(R)$. Отсюда вытекает, что собственные значения оператора L простые, поскольку в противном случае все решения уравнения $l(y) = \mu y$ принадлежали бы $L^2(R)$.

Теорема доказана.

Известно (см. [4], с. 162–166), что если функция q для каждого $a \in R$ удовлетворяет условию $\int_a^\infty (1+|x|)|q(x) - a^+| dx < \infty$ с некоторым числом $a^+ \in R$, то для всякого числа $\lambda \in C$, $\operatorname{Im} \lambda \geq 0$, уравнение $l(y) = (\lambda^2 + a^+)y$ имеет решение $y^+(x, \lambda)$, представимое в виде

$$y^+(x, \lambda) = e^{i\lambda x} + \int_x^\infty e^{it\lambda} K^+(x, t) dt \quad (-\infty < x < \infty). \quad (4)$$

При этом ядро $K^+(x, t)$ ($-\infty < x \leq t < \infty$) не зависит от λ , вещественно, непрерывно по совокупности переменных x, t и удовлетворяет оценке

$$|K^+(x, t)| \leq \frac{1}{2} h^+ \left(\frac{x+t}{2} \right) \exp \left[h^+(x) - h^+ \left(\frac{x+t}{2} \right) \right] \quad (-\infty < x \leq t < \infty), \quad (5)$$

где

$$h^+(x) = \int_x^\infty |q(t) - a^+| dt, \quad h_1^+(x) = \int_x^\infty h^+(t) dt \quad (-\infty < x < \infty).$$

Используя представление (4) и оценку (5), нетрудно доказать, что решение $y^+(x, \lambda)$ ($x \in \mathbb{R}, \operatorname{Im} \lambda \geq 0$) непрерывно по совокупности переменных x, λ .

Если же измеримая функция q для каждого $a \in \mathbb{R}$ удовлетворяет условию $\int_{-\infty}^0 (1+|x|)|q(x)-a^-| dx < \infty$ с некоторым числом $a^- \in \mathbb{R}$, то для всякого числа $\lambda \in \mathbb{C}$, $\operatorname{Im} \lambda \leq 0$, уравнение $l(y) = (\lambda^2 + a^-)y$ имеет решение $y^-(x, \lambda)$ ($x \in \mathbb{R}$, $\operatorname{Im} \lambda \leq 0$), представимое в виде

$$y^-(x, \lambda) = e^{i\lambda x} + \int_{-\infty}^x e^{i\lambda t} K^-(x, t) dt \quad (-\infty < x < \infty),$$

причем справедливы утверждения, аналогичные вышесказанным.

Теорема 2. Пусть функция q удовлетворяет условию

$$\int_{-\infty}^0 (1-x)|q(x)-a^-| dx + \int_0^\infty (1+x)|q(x)-a^+| dx < \infty \quad (6)$$

с некоторыми вещественными постоянными a^\pm . Тогда собственные значения оператора L (если таковые имеются) лежат в интервале $(-\infty, \mu_1)$ и их число конечно.

Доказательство. Сначала докажем, что число μ_1 не является собственным значением оператора L . С этой целью установим, что при условии (6) уравнения $l(y) = a^\pm y$ не имеют нетривиальных решений, принадлежащих $L^2(\mathbb{R})$.

Рассмотрим случай уравнения $l(y) = a^+ y$ (другой случай исследуется аналогично). Известно, что это уравнение имеет фундаментальную систему решений $y_j^+(x)$ ($x \in \mathbb{R}; j = 1, 2$), для которых при $x \rightarrow \infty$ справедливы асимптотические равенства $y_1^+(x) = 1 + o(1)$, $y_2^+(x) = x[1 + o(1)]$. Последние показывают, что никакая нетривиальная линейная комбинация функций y_1^+, y_2^+ не принадлежит $L^2(\mathbb{R})$. Поэтому уравнение $l(y) = a^+ y$ не имеет нетривиальных решений, принадлежащих $L^2(\mathbb{R})$.

Теперь покажем, что число собственных значений оператора L конечно. Допустим противное. Как выше отмечалось, собственные значения оператора L образуют ограниченное множество, предельные точки которого (если таковые имеются) принадлежат множеству $\{a^+, a^-\}$. Согласно теореме 1, собственные значения оператора L лежат в интервале $(-\infty, \mu_1]$, и потому для них предельной точкой может быть только число μ_1 . Следовательно, существует строго возрастающая последовательность собственных значений $\{\theta_k\}_{k=1}^\infty$, которая сходится к μ_1 . Для каждого натурального k числа $\lambda_k^+(\theta_k)$ и

$\lambda_2^-(\theta_k)$ лежат соответственно в верхней и нижней частях мнимой оси, а функции

$$y_k(x) = y^+(x, \lambda_1^+(\theta_k)) \quad (7)$$

и $y^-(x, \lambda_2^-(\theta_k))$ вещественны и являются собственными функциями, соответствующими собственному значению θ_k . Следовательно, существуют числа $c_k \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$ ($k = 1, 2, \dots$) такие, что

$$y_k(x) = c_k y^-(x, \lambda_2^-(\theta_k)) \quad (k = 1, 2, \dots). \quad (8)$$

Поскольку собственные функции, соответствующие разным собственным значениям, ортогональны, то

$$(y_k, y_{k+1})_{L^2(\mathbb{R})} = \int_{-\infty}^{\infty} y_k(x) y_{k+1}(x) dx = 0 \quad (k = 1, 2, \dots). \quad (9)$$

Поэтому для завершения доказательства достаточно показать, что для некоторых k равенство (9) нарушается.

Так как $\theta_k \xrightarrow[k \rightarrow \infty]{} \mu_1$, то $\lambda_1^+(\theta_k) \xrightarrow[k \rightarrow \infty]{} \lambda_1^+(\mu_1)$, $\lambda_2^-(\theta_k) \xrightarrow[k \rightarrow \infty]{} \lambda_2^-(\mu_1)$. Следовательно, существует такое число $M > 0$, что

$$|\lambda_1^+(\theta_k)| \leq M, |\lambda_2^-(\theta_k)| \leq M \quad (k = 1, 2, \dots). \quad (10)$$

В силу (4), (5) и аналогичных соотношений для $y^-(x, \lambda)$ имеют место представления

$$y^+(x, \lambda) = e^{i\lambda x} [1 + r^+(x, \lambda)] \quad (x \in \mathbb{R}, \operatorname{Im} \lambda \geq 0),$$

$$y^-(x, \lambda) = e^{i\lambda x} [1 + r^-(x, \lambda)] \quad (x \in \mathbb{R}, \operatorname{Im} \lambda \leq 0),$$

где

$$r^+(x, \lambda) \xrightarrow[x \rightarrow \infty]{} 0 \quad (\operatorname{Im} \lambda \geq 0), \quad (11)$$

$$r^-(x, \lambda) \xrightarrow[x \rightarrow \infty]{} 0 \quad (\operatorname{Im} \lambda \geq 0) \quad (12)$$

(знак $\xrightarrow{x \rightarrow \infty}$ означает равномерную сходимость). С учетом (11), (12) число $A > 0$ выберем так, чтобы

$$|r^+(x, \lambda)| \leq \frac{1}{2} \quad (x \geq A, \operatorname{Im} \lambda \geq 0),$$

$$|r^-(x, \lambda)| \leq \frac{1}{2} \quad (x \leq -A, \operatorname{Im} \lambda \leq 0).$$

Тогда справедливы неравенства

$$y^+(x, \lambda_1^+(\theta_k)) y^+(x, \lambda_1^+(\theta_{k+1})) \geq \frac{e^{i[\lambda_1^+(\theta_k) + \lambda_1^+(\theta_{k+1})]x}}{2} \quad (x \geq A, k = 1, 2, \dots), \quad (13)$$

$$y^-(x, \lambda_2^-(\theta_k)) y^-(x, \lambda_2^-(\theta_{k+1})) \geq \frac{e^{i[\lambda_2^-(\theta_k) + \lambda_2^-(\theta_{k+1})]x}}{2} \quad (x \leq -A, k = 1, 2, \dots). \quad (14)$$

Имеем

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} y_k(x) y_{k+1}(x) dx &= \int_{-\infty}^{-A} y_k(x) y_{k+1}(x) dx + \int_{-A}^{A} y_k(x) y_{k+1}(x) dx + \\ &\quad + \int_A^{\infty} y_k(x) y_{k+1}(x) dx. \end{aligned} \quad (15)$$

Оценим снизу каждое слагаемое правой части (15).

Из (7), (13), (10) получаем

$$\int_A^{\infty} y_k(x) y_{k+1}(x) dx \geq \frac{e^{-2AM}}{8M} \quad (k=1, 2, \dots). \quad (16)$$

Из (14), (10) аналогично следует, что

$$\int_{-\infty}^{-A} y^-(x, \lambda_2^-(\theta_k)) y^-(x, \lambda_2^-(\theta_{k+1})) dx \geq \frac{e^{-2AM}}{8M} \quad (k=1, 2, \dots). \quad (17)$$

Пользуясь соотношениями (7), (8) и непрерывностью функций $y^\pm(x, \lambda)$, нетрудно убедиться, что последовательность $\{c_k\}$ имеет предел $c \neq 0$. Тогда $\lim_{k \rightarrow \infty} (c_k c_{k+1}) = c^2 > 0$ и, следовательно, существует такое натуральное число k_1 , что $c_k c_{k+1} \geq \frac{c^2}{2}$ ($k \geq k_1$). Отсюда и из (8), (17) вытекает, что

$$\int_{-\infty}^{-A} y_k(x) y_{k+1}(x) dx \geq \frac{c^2 e^{-2AM}}{16M} \quad (k \geq k_1). \quad (18)$$

Из (15), (16), (18) получаем

$$\int_{-\infty}^{\infty} y_k(x) y_{k+1}(x) dx \geq \frac{2+c^2}{16M} e^{-2AM} + \int_{-A}^A y_k(x) y_{k+1}(x) dx \quad (k \geq k_1). \quad (19)$$

Из равномерной непрерывности функции $y^+(x, \lambda)$ на компакте

$$G = \{(x, \lambda) : -A \leq x \leq A, |\lambda| \leq M, \operatorname{Im} \lambda \geq 0\} \subset \mathbb{R} \times \mathbb{C}$$

и из соотношения $\lambda_1^+(\theta_k) \xrightarrow[k \rightarrow \infty]{} \lambda_1^+(\mu_1)$ следует, что

$$y_k(x) y_{k+1}(x) \xrightarrow[x \rightarrow \infty]{} [y^+(x, \lambda_1^+(\mu_1))]^2 \quad (-A \leq x \leq A).$$

Отсюда имеем, что $\lim_{k \rightarrow \infty} \int_{-A}^A y_k(x) y_{k+1}(x) dx = \int_{-A}^A [y^+(x, \lambda_1^+(\mu_1))]^2 dx \geq 0$.

Поэтому выражение в правой части (19) при $k \rightarrow \infty$ имеет положительный предел. Следовательно, номер $k_0 \geq k_1$ можно выбрать так, чтобы при $k \geq k_0$ указанное выражение было положительным. Тогда из (19) получим неравенство $\int_{-\infty}^{\infty} y_k(x) y_{k+1}(x) dx > 0$ ($k \geq k_0$), которое показывает, что при $k \geq k_0$ равенство (9) нарушается.

Теорема доказана.

Автор приносит глубокую благодарность профессору И.Г. Хачатряну за постановку задачи и полезные обсуждения результатов.

Кафедра дифференциальных уравнений

Поступила 01.07.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Наймарк М.А. Линейные дифференциальные операторы. М.: Наука, 1969.
2. Петросян А.Г. – Ученые записки ЕГУ, 2003, № 3, с. 8–15.
3. Фаддеев Л.Д. – Труды Мат. ин-та АН СССР, 1964, № 73, с. 314–336.
4. Марченко В.А. Операторы Штурма–Лиувилля и их приложения. Киев: Наукова думка, 1977.

Հ. Ա. ԱՍԱՏՐՅԱՆ

ԱՆՎԵՐՋՈՒԹՅՈՒՆՈՒՄ ՈՐՈՇԱԿԻ ՎԱՐՁ ՈՒՍԵՑՈՂ ՊՈՏԵՆՑԻԱԼՎ
ԾՏՈՒՐՄ-ԼԻՈՒՎԻԼԻ ՕՊԵՐԱՏՈՐԻ ԿԵՏԱՅԻՆ ՍՊԵԿՏՐԻ
ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ամփոփում

$L^2(\mathbb{R})$ տարածությունում դիտարկվում է անվերջությունում որոշակի վարձ ունեցող պոտենցիալով Ծուրմ–Լիուվիլի L օպերատորը: Ապացուցվում է, որ L օպերատորի սեփական արժեքները պարզ են և նրանց թիվը վերջավոր է:

H. A. ASATRYAN

ANALYSIS OF THE POINT SPECTRUM OF THE STURM-LIOUVILLE OPERATOR WITH CERTAIN BEHAVIOR OF POTENTIAL AT INFINITY

Summary

In the space $L^2(\mathbb{R})$ the Sturm–Liouville operator L with certain behavior of potential at infinity is considered. We prove that the eigenvalues of L are simple and are finite in number.

Математика

УДК 518:517.944/947

Ю. Г. ДАДАЯН

ВАРИАЦИОННО-РАЗНОСТНЫЕ СХЕМЫ НА ПОКООРДИНАТНО
СГУЩАЮЩИХСЯ СЕТКАХ ДЛЯ БИГАРМОНИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

Работа посвящена изучению поведения решений первой краевой задачи для бигармонического уравнения в окрестности угловых точек. Доказывается, что обобщенное решение рассматриваемой задачи можно представить в виде, позволяющем строить вариационно-разностные схемы на нерегулярной сетке. Получены предельные по порядку оценки скорости сходимости.

1. Постановка задачи. В области Ω с границей S , состоящей из конечного числа гладких кривых, пересекающихся под углами, отличными от 0 и 2π (имеются в виду внутренние углы), рассмотрим уравнение

$$\frac{\partial^4 U}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 U}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 U}{\partial y^4} = f, \quad f \in L_2(\Omega) \quad (1)$$

с краевыми условиями

$$U|_S = 0, \quad \left. \frac{\partial U}{\partial \nu} \right|_S = 0. \quad (2)$$

В работе принятые следующие обозначения: $W_2^k(\Omega)$ – пространства Соболева; $W_2^0(\Omega)$ – множество функций из $W_2^2(\Omega)$, удовлетворяющих условиям (2); C , с индексами или без них, – различные положительные постоянные в оценках.

Умножая скалярно уравнение (1) на функцию $\Phi \in W_2^0(\Omega)$ и интегрируя по частям, получим интегральное тождество

$$L_\Omega(U, \Phi) = \int_{\Omega} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \right) d\Omega = \int_{\Omega} f \Phi d\Omega. \quad (3)$$

Обобщенным решением задачи (1)–(2) назовем функцию $U(x, y)$ из $W_2^0(\Omega)$, удовлетворяющую интегральному тождеству (3) для произвольной функции $\Phi \in W_2^0(\Omega)$. Предположим, что справедливо неравенство

$$L_\Omega(U, U) \geq C \|U\|_{2,\Omega}^2 \quad \forall U \in W_2^2(\Omega). \quad (4)$$

Отсюда, очевидно, следует единственность обобщенного решения.

Если $f \in L_2(\Omega)$, то обобщенное решение краевой задачи (1)–(2), в предположении достаточной гладкости границы области, существует и принадлежит пространству $W_2^4(\Omega)$, причем (см. [1]) $\|U\|_{4,\Omega} \leq C \|f\|_{0,\Omega}$.

2. Поведение обобщенного решения в окрестности угловой точки. При наличии угловых точек у границы области обобщенное решение задачи (1)–(2) не принадлежит пространству $W_2^4(\Omega)$ (см. [2]).

Для этой задачи справедливо следующее утверждение: существует обобщенное решение $U \in W_2^0(\Omega)$, представимое в виде

$$U = w + \sum_{n=1}^k \gamma_n \psi_n, \quad (5)$$

где $w \in W_2^4(\Omega)$, γ_n – некоторые постоянные, k – натуральное число, $\psi_n \in W_2^2(\Omega)$ не зависят от правой части уравнения (1) и такие, что:

- 1) каждой особой точке соответствует не более семи функций ψ_n ;
- 2) каждую из функций ψ_n можно считать отличной от нуля лишь в окрестности особой точки, которой она соответствует;
- 3) функции ψ_n удовлетворяют граничным условиям (2). Кроме того,

справедлива оценка $\|w\|_{4,\Omega}^2 + \sum_{n=1}^k |\gamma_n|^2 \leq C \|f\|_{0,\Omega}^2$.

Функции ψ_n в представлении (5) будем называть функциями особенностей. Знание явного вида функций ψ_n в (5) позволит строить вариационно-разностные схемы (ВСР), имеющие ту же скорость сходимости, что и для задач без особенностей (см. [3, 4]).

Как определить явный вид функций в (5)?

Пусть область Ω имеет одну угловую точку, которая находится в начале координат. Предположим также, что центр единичного круга также находится в начале координат. Пусть пересечение Ω с единичным кругом есть сектор ω раствора 2β и оси полярной системы координат ($x = r \cos \theta$, $y = r \sin \theta$) расположены так, что сектор в ней задается условиями: $0 < r < 1$, $-\beta < \theta < \beta$.

Рассмотрим в ω следующую задачу:

$$\frac{\partial^4 U}{\partial r^4} + \frac{2}{r} \frac{\partial^3 U}{\partial r^3} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r^3} \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial^4 U}{\partial r^2 \partial \theta^2} + \frac{4}{r^4} \frac{\partial^2 U}{\partial \theta^2} + \frac{1}{r^4} \frac{\partial^4 U}{\partial \theta^4} = 0, \quad (6)$$

$$U(r, \beta) = U(r, -\beta) = \left. \frac{\partial U}{\partial \theta} \right|_{\theta=\beta} = \left. \frac{\partial U}{\partial \theta} \right|_{\theta=-\beta} = 0. \quad (7)$$

Будем искать решение задачи (6)–(7) в виде $U = r^\lambda \Phi(\theta)$. Подставляя U в уравнение (6), получим уравнение

$$\Phi''(\theta) + (\lambda^2 + (\lambda - 2)^2)\Phi''(\theta) + \lambda^2(\lambda - 2)^2\Phi(\theta) = 0 \quad (8)$$

с краевыми условиями

$$\Phi(\beta) = \Phi(-\beta) = \Phi'(\beta) = \Phi'(-\beta) = 0. \quad (9)$$

Нетрудно показать, что числа $\pm \lambda i$ и $\pm(\lambda - 2)i$ являются решениями характеристического уравнения, соответствующего уравнению (8). Поэтому функция $\Phi_1(\theta) = C_1 \cos \lambda \theta + C_2 \cos(\lambda - 2)\theta$ удовлетворяет уравнению (8). Из условий (9) получим:

$$\begin{cases} C_1 \cos \lambda \beta + C_2 \cos(\lambda - 2)\beta = 0, \\ -C_1 \lambda \sin \lambda \beta - C_2 (\lambda - 2) \sin(\lambda - 2)\beta = 0. \end{cases}$$

Эта однородная система относительно C_1 и C_2 имеет ненулевое решение, если λ – корень определителя этой системы, то есть

$$-(\lambda - 2) \sin(\lambda - 2)\beta \cos \lambda \beta + \lambda \sin \lambda \beta \cos(\lambda - 2)\beta = 0$$

или

$$\sin \gamma z + z \sin \gamma = 0, \quad (10)$$

где $\gamma = 2\beta$, $z = \lambda - 1$.

Так как $\Phi_2(\theta) = C_3 \sin \lambda \theta + C_4 \sin(\lambda - 2)\theta$ также является решением уравнения (8), то аналогично получим

$$\sin \gamma z - z \sin \gamma = 0. \quad (11)$$

Уравнение (10) и (11) могут быть записаны в виде $\sin^2 \gamma z - z^2 \sin^2 \gamma = 0$. Вводя обозначение $x = \gamma z$, имеем

$$\sin^2 x - \frac{\sin^2 \gamma}{\gamma^2} x^2 = 0. \quad (12)$$

Полученное трансцендентное уравнение относительно λ легко решается графически.

Покажем теперь, что при $\lambda < 3$ решение задачи (6)–(7) не принадлежит $W_2^4(\omega)$. Действительно,

$$\|U\|_{4,\omega}^2 \geq \int_{\omega} \left(\frac{\partial^4 U}{\partial r^4} \right)^2 r dr d\theta = \lambda(\lambda - 1)(\lambda - 2)(\lambda - 3) \int_{0-\beta}^{\beta} \int \int r^{2\lambda-7} \Phi^2(\theta) d\theta dr.$$

Поскольку при $\lambda < 3$ последний интеграл расходится, то $U \notin W_2^4(\omega)$. Аналогично получим, что если $\lambda > 1$, то $U \in W_2^2(\omega)$.

Построим графики $y = |\sin x|$ и $y = \left| \frac{\sin \gamma}{\gamma} x \right|$, учитывая, что $x = (\lambda - 1)\gamma$

и $1 < \lambda < 3$. Ясно, что для любого γ надо брать те корни уравнения (12), которые принадлежат промежутку $(0, 2\gamma)$. Такие корни существуют (например, $x = \gamma$). Из условия $(\lambda - 1)\gamma = \lambda$ получим, что $\lambda = 2$. Так как

$0 < x < 4\pi$, то нетрудно убедиться в том, что соответствующие графики пересекаются не более, чем в семи точках.

3. Покоординатное сгущение сетки вблизи особых точек. Пусть, ради простоты, граница Ω имеет только одну угловую точку с внутренним углом $\frac{3\pi}{2}$, расположенную в начале координат. Предположим, что в окрестности особой точки граница области прямолинейна. Пусть при этом отрицательные оси OX и OY направлены по линиям границы. Координатную ось OX (соответственно OY) и параллельные ей прямые будем называть горизонтальными (вертикальными) прямыми. Пусть $h = \frac{1}{N}$ – достаточно ма-

лый параметр. Отметим на оси OX точки $x_i = (ih)^{\alpha} \operatorname{sign}(i)$, $i = 0, \pm 1, \dots, \pm N$, и $x_i = ih \operatorname{sign}(i)$, $i = \pm(N+1), \pm(N+2), \dots$, где $0 < \alpha < 1$. Через отмеченные точки проведем вертикальные прямые. Аналогичным образом на оси OY отметим точки $y_j = x_j$ ($j = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) и проведем горизонтальные прямые. В результате плоскость (x, y) разобьем на прямоугольники $\Pi_{i,j} = [x_{i-1} \leq x \leq x_i; y_{j-1} \leq y \leq y_j]$, которые назовем ячейками сетки. Обозначим $h_i = x_i - x_{i-1}$. Точки с координатами (x_i, y_j) являются узлами сетки. Нетрудно показать, что

$$C_1(ih)^{\alpha} \leq \frac{h_i}{h} \leq C_2(ih)^{\alpha}, \quad (13)$$

где C_1 и C_2 не зависят как от i , так и от h .

Рассмотрим наименьшее объединение ячеек сетки, содержащее Ω . Это множество замкнуто. Отбрасывая его границу, получим область, которую назовем сеточной. Обозначим ее через Ω_{ex}^h . Через R_h обозначим множество узлов, принадлежащих Ω_{ex}^h . Если граница области имеет несколько угловых точек, то сетка строится так, как в [5].

4. Эрмитово восполнение. Для описания восполнения, которое называется эрмитовым [1], рассмотрим две функции:

$$\phi(t) = \begin{cases} (1 + 2|t|)(1 - |t|)^2, & |t| \leq 1, \\ 0, & |t| > 1, \end{cases} \quad \psi(t) = \begin{cases} t(1 - |t|)^2, & |t| \leq 1, \\ 0, & |t| > 1. \end{cases}$$

Чтобы описать эрмитово восполнение, рассмотрим набор из четырех стандартных функций, заданных во всем пространстве R^2 :

$$\Phi^1(S, t) = \phi(S)\phi(t), \quad \Phi^2(S, t) = \psi(S)\phi(t),$$

$$\Phi^3(S, t) = \phi(S)\psi(t), \quad \Phi^4(S, t) = \psi(S)\psi(t).$$

Каждому узлу $(x_i, y_j) \in R_h$ поставим в соответствие четыре функции

$$\Phi_{ij}^k(x, y) = \Phi^k\left(\frac{x - x_i}{h_i}, \frac{y - y_j}{h_j}\right), \quad k = 1, 2, 3, 4.$$

Пусть в области Ω задана дважды непрерывно дифференцируемая функция $U(x, y)$. Продолжим функцию U на все R^2 с сохранением класса и нормы. Затем в каждом узле $(x_i, y_j) \in R_h$ положим

$$U_{ij} = U(x_i, y_j), \quad p_{ij} = h_i \frac{\partial U}{\partial x}\Big|_{(x_i, y_j)}, \quad q_{ij} = h_j \frac{\partial U}{\partial y}\Big|_{(x_i, y_j)}, \quad r_{ij} = h_i h_j \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}\Big|_{(x_i, y_j)}.$$

Эрмитово восполнение $U(x, y)$ в Ω_{ex}^h задается следующим образом:

$$\tilde{U}(x, y) = \sum_{(x_i, y_j) \in R_h} \left(U_{ij} \Phi_{ij}^1(x, y) + p_{ij} \Phi_{ij}^2(x, y) + q_{ij} \Phi_{ij}^3(x, y) + r_{ij} \Phi_{ij}^4(x, y) \right).$$

Из определения функций $\Phi_{ij}^k(x, y)$, $k = 1, 2, 3, 4$, следует, что функция $\tilde{U}(x, y) \in W_2^2(\Omega_{ex}^h)$ и удовлетворяет следующим условиям:

$$\tilde{U}(x_i, y_j) = U_{ij}, \quad h_i \frac{\partial \tilde{U}}{\partial x}\Big|_{(x_i, y_j)} = p_{ij}, \quad h_j \frac{\partial \tilde{U}}{\partial y}\Big|_{(x_i, y_j)} = q_{ij}, \quad h_i h_j \frac{\partial^2 \tilde{U}}{\partial x \partial y}\Big|_{(x_i, y_j)} = r_{ij}.$$

Множество функций $\tilde{V}(x, y)$, представимых в виде

$$\tilde{V}(x, y) = \sum_{(x_i, y_j) \in R_h} \left(V_{ij} \Phi_{ij}^1(x, y) + \alpha_{ij} \Phi_{ij}^2(x, y) + \beta_{ij} \Phi_{ij}^3(x, y) + \gamma_{ij} \Phi_{ij}^4(x, y) \right),$$

образует в $W_2^2(\Omega_{ex}^h)$ конечномерное подпространство. Обозначим его через H_h . Функции Φ_{ij}^k образуют в H_h базис. В работе [6] была доказана следующая теорема.

Теорема 1. Если $U \in W_2^4(\Omega_{ex}^h)$, то для любой ячейки $\Pi_{ij} \in \Omega_{ex}^h$ справедлива оценка

$$\|U - \tilde{U}\|_{2, \Pi_{ij}}^2 \leq C(h_i^4 + h_i^2 h_j^2 + h_j^4) \|U\|_{4, \Pi_{ij}}^2.$$

Теорема 2. Если $U(x, y)$ есть обобщенное решение задачи (1)–(2), имеющее вид (5), а $\tilde{U}(x, y)$ – эрмитово восполнение функции $U(x, y)$ в Ω_{ex}^h , то справедлива оценка

$$\|U - \tilde{U}\|_{2, \Omega_{ex}^h}^2 \leq Ch^4 \left(\|w\|_{4, \Omega_{ex}^h}^2 + \sum_n |\gamma_n|^2 \right). \quad (14)$$

Доказательство. Пусть Ω_- – множество всех прямоугольников, имеющих одну или две стороны, равные h , и $\Pi = \Omega_{ex}^h \setminus \Omega_-$. Тогда

$$\|U - \tilde{U}\|_{2, \Omega_{ex}^h}^2 = \|U - \tilde{U}\|_{2, \Omega_-}^2 + \|U - \tilde{U}\|_{2, \Pi}^2.$$

Так как $\psi_n = 0$ в Ω_- , то, учитывая теорему 1, получим

$$\|U - \tilde{U}\|_{2,\Omega}^2 = \|w - \tilde{w}\|_{2,\Omega}^2 \leq Ch^4 \|w\|_{4,\Omega}^2. \quad (15)$$

Предположим теперь, что $\Pi_{ij} \in \Pi$, но ни одна вершина прямоугольника Π_{ij} не совпадает с началом координат. Тогда

$$\begin{aligned} \|U - \tilde{U}\|_{2,\Pi_{ij}}^2 &\leq C(h_i^4 + h_j^4) \sum_{(4)} \int_{\Pi_{ij}} \left(|D^4 w|^2 + \sum_n \gamma_n^2 |D^4 \psi_n|^2 \right) dx dy \leq \\ &\leq C(h_i^4 + h_j^4) \left(\|w\|_{4,\Pi_{ij}}^2 + \sum_n \sum_{(4)} \gamma_n^2 \int_{\Pi_{ij}} |D^4 \psi_n|^2 dx dy \right). \end{aligned}$$

Так как в Π_{ij} имеем $|D^4 \psi_n|^2 \leq Cr^{2(\lambda_n-4)} \leq C \left((ih)^{\frac{2}{\alpha}} + (jh)^{\frac{2}{\alpha}} \right)^{\lambda_n-4}$, то с учетом

$$(13) \text{ получим } \int_{\Pi_{ij}} |D^4 \psi_n|^2 dx dy \leq C \left(i^{\frac{2}{\alpha}} + j^{\frac{2}{\alpha}} \right)^{\lambda_n-4} h^{\frac{2(\lambda_n-4)}{\alpha}} h^{\alpha} i^{\alpha-1} j^{\alpha-1}.$$

Таким образом,

$$\|U - \tilde{U}\|_{2,\Pi_{ij}}^2 \leq Ch^{\frac{4}{\alpha}} \left(\|w\|_{4,\Pi_{ij}}^2 + \left(i^{\frac{4}{\alpha}-4} + j^{\frac{4}{\alpha}-4} \right) \sum_n \gamma_n^2 \left(i^{\frac{2}{\alpha}} + j^{\frac{2}{\alpha}} \right)^{\lambda_n-4} i^{\alpha-1} j^{\alpha-1} h^{\frac{2(\lambda_n-3)}{\alpha}} \right). \quad (16)$$

Пусть Π_0 есть один из тех квадратов множества Π , одна из вершин которых совпадает с началом координат. Тогда по теореме 1 имеем

$$\begin{aligned} \|w - \tilde{w}\|_{2,\Pi_0}^2 &\leq Ch^{\frac{4}{\alpha}} \|w\|_{4,\Pi_0}^2, \\ \|\psi_n\|_{2,\Pi_0}^2 &\leq C \int_0^{\frac{h}{\alpha}} r^{2(\lambda_n-2)} dr \leq Ch^{\frac{2(\lambda_n-1)}{\alpha}}, \quad \|\tilde{\psi}_n\|_{2,\Pi_0}^2 \leq Ch^{\frac{2(\lambda_n-1)}{\alpha}}. \end{aligned}$$

Тем самым

$$\|U - \tilde{U}\|_{2,\Pi_0}^2 \leq Ch^{\frac{4}{\alpha}} \|w\|_{4,\Pi_0}^2 + \sum_n \gamma_n^2 h^{\frac{2(\lambda_n-1)}{\alpha}}. \quad (17)$$

Суммируя неравенства (16) и (17) для всех $\Pi_{ij} \in \Pi$, приходим к неравенству

$$\|U - \tilde{U}\|_{2,\Pi}^2 \leq Ch^4 \|w\|_{4,\Pi}^2 + \sum_n \gamma_n^2 h^{\frac{2(\lambda_n-1)}{\alpha}} (1+S), \text{ где}$$

$$S = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \left(i^{\frac{2}{\alpha}} + j^{\frac{2}{\alpha}} \right)^{\lambda_n-4} i^{\alpha-1} j^{\alpha-1} \left(i^{\frac{4}{\alpha}-4} + j^{\frac{4}{\alpha}-4} \right) \leq$$

$$\leq C \int_0^N \int_0^N \left(\xi^{\frac{2}{\alpha}} + \eta^{\frac{2}{\alpha}} \right)^{\lambda_n-4} \xi^{\alpha-1} \eta^{\alpha-1} \left(\xi^{\frac{4}{\alpha}-4} + \eta^{\frac{4}{\alpha}-4} \right) d\xi d\eta.$$

Переходя к полярной системе координат (r, θ) и расширяя область интегрирования, получим

$$S \leq C \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\pi} \int_0^{N\sqrt{2}} r^{\frac{2(\lambda_n-4)}{\alpha}} r^{\frac{2}{\alpha}-2} r^{\frac{4}{\alpha}-4} r dr \leq Ch^{4-\frac{2(\lambda_n-1)}{\alpha}}$$

(заметим, что $N\sqrt{2} = O(h^{-1})$). Поскольку при $\alpha < \frac{\min \lambda_n - 1}{2}$ последний интеграл сходится, то

$$\|U - \tilde{U}\|_{2,\Omega}^2 \leq Ch^4 \left(\|w\|_{4,\Omega}^2 + \sum_n \gamma_n^2 \right). \quad (18)$$

Складывая почленно неравенства (15), (18), получим утверждение теоремы 2.

5. Построение ВРС и оценка скорости сходимости. Напомним, что обобщенным решением задачи (1)–(2) мы назвали функцию $U \in \overset{0}{W}_2^2(\Omega)$, удовлетворяющую тождеству

$$L_\Omega(U, \Phi) = \int_{\Omega} f \Phi d\Omega \quad \forall \Phi \in \overset{0}{W}_2^2(\Omega). \quad (19)$$

Приближенным решением задачи (1)–(2) назовем функцию $\tilde{V} \in H_h$, удовлетворяющую интегральному тождеству

$$L_\Omega(\tilde{V}, \tilde{\Phi}) = \int_{\Omega} f \tilde{\Phi} d\Omega \quad \forall \tilde{\Phi} \in H_h. \quad (20)$$

Систему сеточных уравнений для нахождения параметров, определяющих \tilde{V} , запишем в виде $L_\Omega(\tilde{V}, \Phi_{ij}^k) = \int_{\Omega} f \Phi_{ij}^k dx dy$, где Φ_{ij}^k ($k = 1, 2, 3, 4$) – базисные функции эрмитова восполнения, отвечающие произвольному узлу (x_i, y_j) из R_h . Если вместо Φ в тождестве (19) возьмем произвольную функцию $\tilde{\Phi} \in H_h$, то из (19) и (20) получим

$$L(U - \tilde{V}, \tilde{\Phi}) = 0.$$

Полагая в последнем равенстве $\tilde{\Phi} = \tilde{U} - \tilde{V}$, после несложных преобразований получим

$$L_\Omega(U - \tilde{V}, U - \tilde{V}) = L_\Omega(U - \tilde{V}, U - \tilde{U}). \quad (21)$$

По неравенству Коши–Буняковского, правая часть последнего равенства оценивается следующим образом:

$$L_\Omega(U - \tilde{V}, U - \tilde{U}) \leq C \|U - \tilde{V}\|_{2,\Omega} \|U - \tilde{U}\|_{2,\Omega}. \quad (22)$$

Применяя к левой части неравенство (4), получим

$$L_\Omega(U - \tilde{V}, U - \tilde{V}) \geq C \|U - \tilde{V}\|_{2,\Omega}^2. \quad (23)$$

Из равенства (21) и неравенств (22), (23) получим

$$\|U - \tilde{V}\|_{2,\Omega} \leq C \|U - \tilde{U}\|_{2,\Omega}.$$

Отсюда с учетом оценки (14) следует, что

$$\|U - \tilde{V}\|_{2,\Omega}^2 \leq Ch^4 \left(\|w\|_{4,\Omega_\alpha^h}^2 + \sum_n \gamma_n^2 \right) \leq Ch^4 \|f\|_{0,\Omega}^2.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Оганесян Л.А., Руховец Л.А. Вариационно-разностные методы решения эллиптических уравнений. Ер.: Изд-во АН Арм. ССР, 1979.
2. Кондратьев В.А. – Тр. Моск. матем. общ-ва, 1967, т. 16, с. 285–290.
3. Оганесян Л.А. – ЖВММФ, 1972, т. 12, № 5.
4. Оганесян Л.А., Зунделевич С.В. – ЖВММФ, 1975, т. 15, № 2.
5. Дадаян Ю.Г., Оганесян Л.А. – ДАН Арм. ССР, 1980, т. LXXI, № 5, с. 275–281.
6. Дадаян Ю.Г. Проблемы динамики взаимодействия деформируемых сред. Ер.: Изд-во «Гитутюн» НАН РА, 2005, с. 180–186.

Յու. Գ. ԴԱԴԱՅԱՆ

ՎԱՐԻԱՑԻՈՆ-ՏԱՐԲԵՐԱԿԱՆ ՍԽԵՄԱՆԵՐ ԲԻՀԱՐՄՈՆԻԿ
ՀԱՎԱՍԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱՐ ԸՆՏ ԿՈՐԴԻՆԱՏՆԵՐԻ ԽՏԱՑՎՈՂ ՑԱՆՑՈՒՄ

Ամփոփում

Աշխատանքը նվիրված է բիհարմոնիկ հավասարման համար առաջին եզրային խնդրի լուծման վարքի ուսումնասիրությանը անկյունային կետերի շրջակայրում: Ապացուցված է, որ դիտարկված խնդրի ընդիանրացված լուծումը կարելի է ներկայացնել այնպիսի տեսքով, որը հնարավորություն կ լրա կառուցել վարիացիոն-տարբերական սխեմա ոչ կանոնավոր ցանցում: Չուզամիտության արագության համար ստացված են բար կարգի սահմանային գնահատականներ:

Yu. G. DADAYAN

VARIATION-DIFFERENCE SCHEMES ON COORDINATE CONDENSED GRIDS FOR BIHARMONIK EQUATION

Summary

The paper is devoted to the study of behavior of the solution of first boundary problem for biharmonik equation in the neighborhood of angular point. It is proved that the solution of the problem can be represented in a certain form which allows constructing variation-difference schemes on non-regular grids. Exact estimations for convergence rate are obtained.

Математика

УДК 519.6

А. Б. ГРИГОРЯН

АЛГЕБРАИЧЕСКИЙ МНОГОСЕТОЧНЫЙ ПЕРЕОБУСЛАВЛИВАТЕЛЬ
ДЛЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С КРАЕВЫМИ УСЛОВИЯМИ
СМЕШАННОГО ТИПА

I. ДВУХСЕТОЧНЫЕ ПЕРЕОБУСЛАВЛИВАТЕЛИ

Работа, состоящая из двух частей, посвящена построению алгебраических многосеточных переобуславливателей для матриц жесткости, возникающих при конечноэлементной аппроксимации эллиптических уравнений в прямоугольных областях. На одной части границы области стоит условие Дирихле, а на другой – краевое условие третьего рода. В первой части работы излагается построение последовательности двухсеточных переобуславливателей, являющейся основой для построения многосеточного переобуславливателя.

1. Введение. В настоящей работе описывается построение алгебраического многосеточного переобуславливателя для матрицы жесткости, возникающей при конечноэлементной дискретизации двумерной модельной эллиптической задачи. В основе построения лежит техника разбиения области на малые подструктуры, впервые предложенная в [1], а затем получившая свое дальнейшее развитие в работах [2–5] и др. Во всех этих статьях рассматривались краевые условия типа Дирихле–Неймана. Поэтому интерес представляет возможность распространения упомянутого подхода на случай, когда на одной части границы области стоит условие Дирихле, а на другой – краевое условие третьего рода.

2. Постановка модельной эллиптической граничной задачи. Рассмотрим в плоскости с декартовыми координатами $x = (x_1, x_2)$ область Ω с границей $\partial\Omega$, являющуюся объединением некоторого числа прямоугольников P_m , $m = 1, 2, \dots, l$, со сторонами, параллельными координатным осям. При этом любые два прямоугольника либо не пересекаются, либо имеют только общую вершину или сторону (рис. 1).

Определим Γ_0 или как пустое множество, или как замкнутое подмножество границы $\partial\Omega$, состоящее из сторон прямоугольников P_m . Далее, пусть $\Gamma_1 = \partial\Omega \setminus \Gamma_0$. Обозначим через $H_0^1(\Omega)$ подпространство пространства

Соболева $H^1(\Omega)$, состоящее из функций, обращающихся в нуль на Γ_0 .

Рассмотрим вариационную формулировку следующей модельной эллиптической граничной задачи: для заданной функции $f \in L_2(\Omega)$ найти

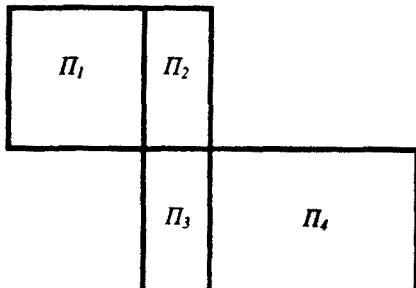


Рис. 1. Пример области Ω ($l = 4$).

функцию $u \in H_0^1(\Omega)$ такую, что

$$b(u, v) = (f, v)_\Omega \quad \forall v \in H_0^1(\Omega), \quad (2.1)$$

где

$$\begin{aligned} b(u, v) &\equiv \int_{\Omega} c \nabla u \nabla v dx + \int_{\Gamma_1} \sigma u v d\gamma, \\ (f, v)_\Omega &\equiv \int_{\Omega} f v dx. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Предполагается, что c – положительная, постоянная в каждом прямоугольнике P_m функция, то есть $c(x) \equiv c_m$ для $x \in P_m$. Аналогично σ – положительная, постоянная на каждом звене ломаной Γ_1 функция. Под звеньями ломаной Γ_1 мы понимаем стороны прямоугольников P_m , из которых состоит эта ломаная. Пусть $[z]$ – некоторое звено ломаной Γ_1 . Значение функции σ на этом звене обозначим через $\sigma[z]$.

3. Иерархические сетки. Пусть прямоугольники P_m , $m = 1, 2, \dots, l$, таковы, что в каждом из них можно построить квадратную сетку с некоторым шагом h_0 , общим для всех прямоугольников. Тем самым во всей области Ω будет построена начальная квадратная сетка ω_0 с шагом h_0 . Процесс построения иерархической последовательности квадратных сеток основан на следующей процедуре измельчения: каждая ячейка имеющейся сетки с помощью отрезков, соединяющих середины противоположных сторон, разбивается на четыре квадрата. Ограничимся некоторым целым числом $p \geq 1$. Руководствуясь приведенным выше правилом измельчения сетки, исходя из ω_0 ,

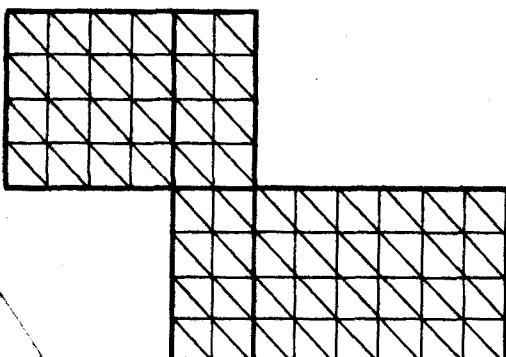


Рис. 2. Триангуляция области Ω .

измельчения сетки, построим последовательность квадратных сеток ω_k , $k = 0, 1, 2, \dots, p$. Будем говорить, что сетка ω_k соответствует k -му уровню измельчения сетки. Таким образом, p -му уровню соответствует самая мелкая сетка ω_p , а нулевому уровню – самая грубая сетка ω_0 . Через h_k обозначим шаг сетки ω_k . По построению, $h_k = 2^{-k} h_0$.

На всех уровнях измельчения квадратных сеток осуществим триангуляцию области Ω путем разбиения каждой ячейки квадратной сетки с помо-

щую диагонали, образующей тупой угол с осью Ox_1 , на два прямоугольных треугольника (рис. 2). Тем самым мы получим последовательность вложенных триангуляций τ_k области Ω , где $k = 0, 1, 2, \dots, p$.

Для значений $k = 0, 1, 2, \dots, p$ введем следующие обозначения: N_k – множество узлов сетки ω_k , принадлежащих $\bar{\Omega} \setminus \Gamma_0$; n_k – число узлов в множестве N_k ; G_k – пространство сеточных функций, заданных на множестве N_k ; V_k – пространство непрерывных в области $\bar{\Omega}$ функций, линейных на каждом треугольнике триангуляции τ_k и обращающихся в нуль на Γ_0 .

Между сеточными функциями из G_k и кусочно-линейными функциями из V_k имеет место естественное взаимно однозначное соответствие. А именно, функции $\hat{u} \in V_k$ ставится в соответствие сеточная функция $u \in G_k$, i -ая компонента которой равна значению функции \hat{u} в i -ом узле множества N_k . При этом говорят, что функция \hat{u} является *восполнением* сеточной функции u в пространстве функций V_k : $\hat{u} = \text{proj}(u \in G_k : V_k)$.

Как было уже сказано выше, ломаная Γ_1 есть объединение звеньев $[z]$. Далее, на всех уровнях k , где $0 \leq k \leq p$, каждое звено $[z]$, а значит и вся ломаная Γ_1 , есть объединение *сегментов* $\langle a, b \rangle$, являющихся сторонами треугольников триангуляции τ_k (a и b – вершины треугольников, лежащих на Γ_1). Обозначим через $\Gamma_1^k[z]$ и Γ_1^k множества сегментов k -го уровня, принадлежащих звену $[z]$ и всей ломаной Γ_1 соответственно.

Введем некоторые понятия и термины, которые понадобятся нам в ходе дальнейшего изложения. Рассмотрим k -й уровень измельчения сетки, где $0 \leq k \leq p$. Треугольники триангуляции τ_k назовем *линейными треугольными элементами* k -го уровня или LT-элементами (*linear triangular element*). Квадратные ячейки сетки, разбитые в процессе триангуляции на два треугольника, назовем *сдвоенными линейными треугольными элементами* k -го уровня или DLT-элементами (*doubled LT*) (рис. 3, а). Фактически DLT-элемент является объединением двух LT-элементов. Для всех значений $k = 0, 1, 2, \dots, p$ обозначим через d_k множество DLT-элементов k -го уровня.

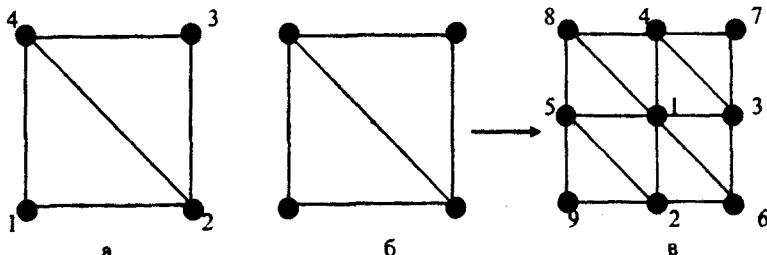


Рис. 3. а – DLT-элемент; б – DLT-элемент $e \in d_{k-1}$; в – соответствующий DLT-суперэлемент $E \in D_k$.

Рассмотрим некоторый DLT-элемент $e \in d_{k-1}$, где $1 \leq k \leq p$. На следующем этапе измельчения сетки он разбивается на четыре DLT-элемента k -го уровня, как показано на рис. 3 (б, в). В результате DLT-элемент $e \in d_{k-1}$ превращается на k -ом уровне в DLT-суперэлемент E . Для всех значений $k = 1, 2, 3, \dots, p$ обозначим через D_k множество DLT-суперэлементов k -го уровня.

Пусть $1 \leq k \leq p$. Разобьем множество узлов N_k на три непересекающихся подмножества

$$N_k = N_k^{(1)} \cup N_k^{(2)} \cup N_k^{(3)}, \quad (3.1)$$

где $N_k^{(1)}$ – множество узлов, являющихся центрами DLT-суперэлементов (рис. 3, в, узел 1), $N_k^{(2)}$ – множество узлов, являющихся серединами сторон DLT-суперэлементов (узлы 2, 3, 4, 5), $N_k^{(3)}$ – множество узлов, являющихся вершинами DLT-суперэлементов (узлы 6, 7, 8, 9). По определению, $N_k^{(1)} \cup N_k^{(2)} = N_k \setminus N_{k-1}$, $N_k^{(3)} = N_{k-1}$. Если через $n_k^{(i)}$ обозначить число узлов в множестве $N_k^{(i)}$, то $n_k^{(1)} + n_k^{(2)} = n_k - n_{k-1}$, $n_k^{(3)} = n_{k-1}$. В соответствии с разбиением (3.1) примем следующий порядок нумерации узлов множества N_k : сначала нумеруются узлы множества $N_k^{(1)}$, затем узлы $N_k^{(2)}$ и, наконец, узлы $N_k^{(3)}$.

Для значений $k = 1, 2, 3, \dots, p$ в соответствии с принятым правилом нумерации узлов произвольную сеточную функцию $u \in G_k$ можно представить в виде

$$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix}, \quad u_i \in G_k^{(i)}, \quad i = 1, 2, 3,$$

где $G_k^{(i)}$ – пространство сеточных функций, заданных на множестве узлов $N_k^{(i)}$.

4. Конечноэлементная система уравнений. Сформулируем теперь конечноэлементную задачу, соответствующую задаче (2.1)–(2.2): для заданной функции $f \in L_2(\Omega)$ найти функцию $\hat{u} \in V_p$ такую, что

$$b(\hat{u}, \hat{v}) = (f, \hat{v})_{\Omega} \quad \forall \hat{v} \in V_p. \quad (4.1)$$

Задача (4.1) приводит к системе сеточных уравнений

$$Au = g \quad (4.2)$$

с симметричной положительно определенной матрицей $A = A^{(p)}$ порядка n_p и с правой частью $g \in G_p$. При этом справедливы равенства

$$v^T Au = b(\hat{u}, \hat{v}) \quad \forall u, v \in G_p, \quad (4.3)$$

$$v^T g = (f, \hat{v})_G \quad \forall v \in G_p. \quad (4.4)$$

В (4.3) и (4.4) имеем $\hat{u} = \text{prol}(u : V_p)$, $\hat{v} = \text{prol}(v : V_p)$.

Рассмотрим k -й уровень измельчения сетки, где $0 \leq k \leq p$. Приведем два вспомогательных утверждения, играющих важную роль в дальнейших построениях.

Для произвольного DLT-элемента $e \in d_k$, нумерация узлов которого дана на рис. 3, а, определим билинейный функционал

$$\begin{aligned} \phi_e(u, v) &\equiv (u_2 - u_1)(v_2 - v_1) + (u_3 - u_2)(v_3 - v_2) + \\ &+ (u_4 - u_3)(v_4 - v_3) + (u_1 - u_4)(v_1 - v_4), \end{aligned} \quad (4.5)$$

где u_i и v_i есть значения функций u и v в узле с номером i ($i = 1, 2, 3, 4$). Следующее утверждение, приведенное в работе [1], легко устанавливается с помощью прямых вычислений.

Лемма 4.1. Для любых функций $\hat{u}, \hat{v} \in V_k$ имеет место равенство

$$\int_e \nabla \hat{u} \nabla \hat{v} dx = \frac{1}{2} \phi_e(\hat{u}, \hat{v}). \quad (4.6)$$

Пусть $\langle a, b \rangle \in \Gamma_1^k$ есть некоторый сегмент ломаной Γ_1 (см. п. 3). Введем в рассмотрение билинейные функционалы

$$\rho_{\langle a, b \rangle}(u, v) = (u(a) - u(b))(v(a) - v(b)) \quad (4.7)$$

и

$$\psi_{\langle a, b \rangle}(u, v) = (u(a) + u(b))(v(a) + v(b)), \quad (4.8)$$

где $u(a)$, $u(b)$ и $v(a)$, $v(b)$ есть значения функций u и v соответственно в узлах a , b . Справедливость следующего утверждения также легко устанавливается с помощью прямых вычислений.

Лемма 4.2. Для любых функций $\hat{u}, \hat{v} \in V_k$ имеет место равенство

$$\int_{\langle a, b \rangle} \hat{u} \hat{v} d\gamma = \frac{h_k}{12} [\rho_{\langle a, b \rangle}(\hat{u}, \hat{v}) + 3\psi_{\langle a, b \rangle}(\hat{u}, \hat{v})]. \quad (4.9)$$

Запишем равенство (4.3), посредством которого определяется матрица $A^{(p)}$, в виде

$$v^T A^{(p)} u = \sum_{e \in d_p} c_e \int_e \nabla \hat{u} \nabla \hat{v} dx + \sum_{[z]} \sum_{\langle a, b \rangle \in \Gamma_1^p[z]} \sigma[z] \int_{\langle a, b \rangle} \hat{u} \hat{v} d\gamma$$

(через c_e обозначено сужение функции c на DLT-элементе e).

Пользуясь леммами 4.1 и 4.2, из последнего равенства получим, что матрица $A^{(p)}$ удовлетворяет соотношению

$$v^T A^{(p)} u = \frac{1}{2} \sum_{e \in d_p} c_e \phi_e(\hat{u}, \hat{v}) + \sum_{[z]} \sum_{\langle a, b \rangle \in \Gamma_1^p[z]} [r^p[z] \rho_{\langle a, b \rangle}(\hat{u}, \hat{v}) + s^p[z] \psi_{\langle a, b \rangle}(\hat{u}, \hat{v})] \quad (4.10)$$

для всех $u, v \in G_p$, где

$$r^p[z] = \frac{h_p}{12} \sigma[z], \quad s^p[z] = \frac{h_p}{4} \sigma[z]. \quad (4.11)$$

5. Двухсеточные переобуславливатели. Основываясь на полученном соотношении (4.10), которому удовлетворяет матрица $A \equiv A^{(p)}$, построим последовательность матриц конечноэлементного типа

$$A^{(p)}, A^{(p-1)}, \dots, A^{(1)}, A^{(0)} \quad (5.1)$$

и соответствующую последовательность переобуславливателей

$$B^{(p)}, B^{(p-1)}, \dots, B^{(1)}, \quad (5.2)$$

ассоциированных с сетками ω_k , $k = p, p-1, \dots, 0$.

Пусть для некоторого значения k , где $1 \leq k \leq p$, имеется матрица $A^{(k)}$, определяемая с помощью соотношения

$$v^T A^{(k)} u = \frac{1}{2} \sum_{e \in d_k} c_e \phi_e(\hat{u}, \hat{v}) + \sum_{[z]} \sum_{\langle a, b \rangle \in \Gamma_1^k[z]} \left[r^k[z] \rho_{\langle a, b \rangle}(\hat{u}, \hat{v}) + s^k[z] \psi_{\langle a, b \rangle}(\hat{u}, \hat{v}) \right], \quad (5.3)$$

которое предполагается выполненным для всех $u, v \in G_k$ ($\hat{u} = \text{prol}(u : V_k)$, $\hat{v} = \text{prol}(v : V_k)$). Положительные величины $r^k[z]$ и $s^k[z]$, ассоциированные со звеньями ломаной Γ_1 , считаются заданными.

Для DLT-суперэлемента $E \in D_k$, нумерация узлов которого дана на рис. 3, в, определим билинейные функционалы

$$\begin{aligned} \Phi_E(u, v) \equiv & (u_2 - u_9)(v_2 - v_9) + (u_2 - u_6)(v_2 - v_6) + (u_3 - u_6)(v_3 - v_6) + \\ & + (u_3 - u_7)(v_3 - v_7) + (u_4 - u_7)(v_4 - v_7) + (u_4 - u_8)(v_4 - v_8) + \\ & + (u_5 - u_8)(v_5 - v_8) + (u_5 - u_9)(v_5 - v_9) \end{aligned} \quad (5.4)$$

и

$$\Phi_E^0(u, v) \equiv \sum_{j=2}^5 (u_j - u_j)(v_j - v_j). \quad (5.5)$$

Вернемся к соотношению (5.3). Осуществляя в правой части группировку DLT-элементов из d_k в суперэлементы множества D_k , получим соотношение

$$\begin{aligned} v^T A^{(k)} u = & \frac{1}{2} \sum_{E \in D_k} c_E [\Phi_E(\hat{u}, \hat{v}) + 2\Phi_E^0(\hat{u}, \hat{v})] + \\ & + \sum_{[z]} \sum_{\langle a, b \rangle \in \Gamma_1^k[z]} \left[r^k[z] \rho_{\langle a, b \rangle}(\hat{u}, \hat{v}) + s^k[z] \psi_{\langle a, b \rangle}(\hat{u}, \hat{v}) \right], \end{aligned} \quad (5.6)$$

справедливое для всех $u, v \in G_k$ (через c_E обозначено сужение коэффициента c на суперэлемент E). В соответствии с правилом нумерации узлов множества N_k , определенным в п. 3, матрица $A^{(k)}$ представима в блочном виде

$$A^{(k)} = \begin{bmatrix} A_{11}^{(k)} & A_{12}^{(k)} & 0 \\ A_{21}^{(k)} & A_{22}^{(k)} & A_{23}^{(k)} \\ 0 & A_{32}^{(k)} & A_{33}^{(k)} \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

с $n_k^{(i)} \times n_k^{(j)}$ -блоками $A_{ij}^{(k)}$. При этом блоки $A_{ii}^{(k)}$, $i = 1, 2, 3$, являются невырожденными диагональными матрицами.

Определим сначала матрицу $\bar{B}^{(k)}$ порядка n_k с помощью соотношения

$$v^T \bar{B}^{(k)} u = \frac{1}{2} \sum_{E \in D_k} c_E \Phi_E(\hat{u}, \hat{v}) + \mu \sum_{[z]} \sum_{< a, b > \in \Gamma_1^{(k)} [z]} \left[r^k[z] \rho_{< a, b >}(\hat{u}, \hat{v}) + s^k[z] \psi_{< a, b >}(\hat{u}, \hat{v}) \right], \quad (5.8)$$

справедливого для всех $u, v \in G_k$ (величина μ , $0 < \mu \leq 1$, будет определена ниже). В силу определения матрица $\bar{B}^{(k)}$ имеет следующую структуру:

$$\bar{B}^{(k)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & B_{22}^{(k)} & B_{23}^{(k)} \\ 0 & B_{32}^{(k)} & B_{33}^{(k)} \end{bmatrix}, \quad (5.9)$$

где блоки $B_{22}^{(k)}$ и $B_{33}^{(k)}$ являются невырожденными диагональными матрицами. Далее определим матрицу

$$B^{(k)} = \begin{bmatrix} A_{11}^{(k)} & A_{12}^{(k)} & 0 \\ A_{21}^{(k)} & B_{22}^{(k)} + A_{21}^{(k)} A_{11}^{(k)-1} A_{12}^{(k)} & B_{23}^{(k)} \\ 0 & B_{32}^{(k)} & B_{33}^{(k)} \end{bmatrix}, \quad (5.10)$$

которую будем рассматривать в качестве *переобуславливателя* для матрицы $A^{(k)}$.

Рассмотрим матрицу

$$S_{33}^{(k)} \equiv B_{33}^{(k)} - B_{32}^{(k)} B_{22}^{(k)-1} B_{23}^{(k)}. \quad (5.11)$$

Докажем сначала следующее вспомогательное утверждение.

Лемма 5.1. Пусть сеточная функция $u = [u_1^T \quad u_2^T \quad u_3^T]^T \in G_k$ удовлетворяет соотношению

$$B_{22}^{(k)} u_2 + B_{23}^{(k)} u_3 = 0 \quad (5.12)$$

и $\hat{u} = prol(u : V_k)$. Тогда для любого узла $\beta \in \omega_k \setminus \omega_{k-1}$:

a) если $\beta \in \Gamma_1$, то

$$\hat{u}(\beta) = \frac{c_E + 2\mu(r^k[z] - s^k[z])}{2c_E + 4\mu(r^k[z] + s^k[z])} (\hat{u}(\alpha_1) + \hat{u}(\alpha_2)); \quad (5.13)$$

b) если $\beta \notin \Gamma_1$, то

$$\hat{u}(\beta) = \frac{1}{2} (\hat{u}(\alpha_1) + \hat{u}(\alpha_2)), \quad (5.14)$$

где α_1 и α_2 – соседние с β узлы сетки ω_k , являющиеся одновременно узлами сетки ω_{k-1} .

Доказательство. Пусть $\beta \in \Gamma_1$ и принадлежит некоторому звену $[z]$. Так как узел $\beta \in \omega_k \setminus \omega_{k-1}$, то по построению он не совпадает ни с одним из концов этого звена. Выберем сеточную функцию $w \in G_k$ следующим образом: положим ее равной единице в узле β и равной нулю в остальных узлах

множества N_k . Соответственно $\hat{w} = \text{prol}(w : V_k)$. В силу структуры (5.9) матрицы $\bar{B}^{(k)}$ и условия (5.12) очевидно, что $w^T \bar{B}^{(k)} u = 0$. С другой стороны, в силу выбора сеточных функций w из (5.8) имеем

$$w^T \bar{B}^{(k)} u = \frac{c_E}{2} (2\hat{u}(\beta) - \hat{u}(\alpha_1) - \hat{u}(\alpha_2)) + \mu r^{(k)}[z] (2\hat{u}(\beta) - \hat{u}(\alpha_1) - \hat{u}(\alpha_2)) + \\ + \mu s^{(k)}[z] (2\hat{u}(\beta) + \hat{u}(\alpha_1) + \hat{u}(\alpha_2)).$$

Приравнивая к нулю правую часть последнего равенства, получим (5.13). Соотношение (5.14) выводится аналогично. Лемма доказана.

Возвратимся к матрице $S_{33}^{(k)}$, определенной в (5.11). Возьмем произвольные сеточные функции $u_3, v_3 \in G_k^{(3)}$. Пусть $u = [0 \ u_2^T \ u_3^T]^T$, где $u_2 \in G_k^{(2)}$ определяется из условия (5.12), и $v = [0 \ 0 \ v_3^T]^T$. Тогда

$$v_3^T S_{33}^{(k)} u_3 = v^T \bar{B}^{(k)} u,$$

и согласно (5.8) имеем

$$v_3^T S_{33}^{(k)} u_3 \neq \frac{1}{2} \left[\sum_{E \in D_k} c_E \Phi_E(\hat{u}, \hat{v}) + 2\mu \sum_{[z]} \sum_{\langle a, b \rangle \in \Gamma_1^{k-1}[z]} (r^k[z] \rho_{\langle a, b \rangle}(\hat{u}, \hat{v}) + s^k[z] \psi_{\langle a, b \rangle}(\hat{u}, \hat{v})) \right].$$

Отсюда, пользуясь леммой 5.1, в результате преобразований первого слагаемого в правой части последнего равенства получим

$$v_3^T S_{33}^{(k)} u_3 = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} \sum_{e \in d_{k-1}} c_e \varphi_e(\hat{u}_3, \hat{v}_3) + \sum_{[z]} \sum_{\langle a_1, a_2 \rangle \in \Gamma_1^{k-1}[z]} \frac{2\mu c_e s^k[z]}{c_e + 2\mu(r^k[z] + s^k[z])} \times \right. \\ \left. \times \psi_{\langle a_1, a_2 \rangle}(\hat{u}_3, \hat{v}_3) + 2\mu \sum_{[z]} \sum_{\langle a, b \rangle \in \Gamma_1^{k-1}[z]} (r^k[z] \rho_{\langle a, b \rangle}(\hat{u}, \hat{v}) + s^k[z] \psi_{\langle a, b \rangle}(\hat{u}, \hat{v})) \right],$$

где $e \in d_{k-1}$ есть DLT-элемент $(k-1)$ -го уровня, который на следующем этапе измельчения сетки переходит в DLT-суперэлемент E , и $\hat{u}_3 = \text{prol}(u_3 : V_{k-1})$, $\hat{v}_3 = \text{prol}(v_3 : V_{k-1})$. Далее, опять же пользуясь леммой 5.1, в силу определения сеточных функций u и v получим равенство

$$v_3^T S_{33}^{(k)} u_3 = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} \sum_{e \in d_{k-1}} c_e \varphi_e(\hat{u}_3, \hat{v}_3) + \right. \\ + \sum_{[z]} \sum_{\langle a_1, a_2 \rangle \in \Gamma_1^{k-1}[z]} \frac{2\mu c_e s^k[z]}{c_e + 2\mu(r^k[z] + s^k[z])} \psi_{\langle a_1, a_2 \rangle}(\hat{u}_3, \hat{v}_3) + \\ + \sum_{[z]} \sum_{\langle a_1, a_2 \rangle \in \Gamma_1^{k-1}[z]} \mu(r^k[z] + s^k[z]) \rho_{\langle a_1, a_2 \rangle}(\hat{u}_3, \hat{v}_3) + \\ \left. + \sum_{[z]} \sum_{\langle a_1, a_2 \rangle \in \Gamma_1^{k-1}[z]} \frac{2\mu s^k[z](c_e + 4\mu r^k[z])}{c_e + 2\mu(r^k[z] + s^k[z])} \psi_{\langle a_1, a_2 \rangle}(\hat{u}_3, \hat{v}_3) \right].$$

Осуществив в правой части последнего равенства приведение подобных членов, получим, что матрица $S_{33}^{(k)}$ удовлетворяет соотношению

$$v_3^T S_{33}^{(k)} u_3 = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} \sum_{e \in d_{k-1}} c_e \varphi_e(\hat{u}_3, \hat{v}_3) + \right. \\ \left. + \sum_{[z]} \sum_{\langle a, b \rangle \in \Gamma_1^{k-1}[z]} \left(r^{k-1}[z] \rho_{\langle a, b \rangle}(\hat{u}_3, \hat{v}_3) + s^{k-1}[z] \psi_{\langle a, b \rangle}(\hat{u}_3, \hat{v}_3) \right) \right] \quad (5.15)$$

для всех $u_3, v_3 \in G_k^{(3)}$, где

$$r^{k-1}[z] = \mu(r^k[z] + s^k[z]), \quad (5.16)$$

$$s^{k-1}[z] = \frac{4\mu s^k[z](c_e + 2\mu r^k[z])}{c_e + 2\mu(r^k[z] + s^k[z])}. \quad (5.17)$$

Итак, имея матрицу $A^{(k)}$, определенную посредством соотношения (5.3), мы построили для нее переобуславливатель $B^{(k)}$ (см. (5.10)). Далее, для матрицы $S_{33}^{(k)}$, определенной в (5.11), было получено соотношение (5.15). Сравнивая (5.15) с (5.3), определим матрицу

$$A^{(k-1)} = 2S_{33}^{(k)}, \quad (5.18)$$

ассоциированную с сеткой ω_{k-1} . Основываясь на равенстве (5.18), назовем матрицу $B^{(k)}$ двухсеточным переобуславливателем для матрицы $A^{(k)}$. С учетом (5.11) и (5.18) блочное представление (5.10) переобуславливателя $B^{(k)}$ можно записать в следующем виде:

$$B^{(k)} = \begin{bmatrix} A_{11}^{(k)} & A_{12}^{(k)} & 0 \\ A_{21}^{(k)} & B_{22}^{(k)} + A_{21}^{(k)} A_{11}^{(k)-1} A_{12}^{(k)} & B_{23}^{(k)} \\ 0 & B_{32}^{(k)} & \frac{1}{2} A^{(k-1)} + B_{32}^{(k)} B_{22}^{(k)-1} B_{23}^{(k)} \end{bmatrix}. \quad (5.19)$$

Таким образом, имея исходную конечноэлементную матрицу $A \equiv A^{(p)}$ системы сеточных уравнений (4.2) на самой мелкой сетке, мы построили последовательность (5.1) конечноэлементных матриц и соответствующую последовательность двухсеточных переобуславливателей (5.2). Рассмотрим теперь вопрос об установлении границ спектра матриц $B^{(k)-1} A^{(k)}$. Справедливо следующее утверждение.

Теорема 5.1. Для всех значений $k = 1, 2, \dots, p$, независимо от значений коэффициента c и функции σ из (2.2) в подобласти Π_n и на звеньях ломаной Γ_1 соответственно, собственные числа матриц $B^{(k)-1} A^{(k)}$ принадлежат отрезку $[1, \max(3, \mu^{-1})]$.

Доказательство. Рассмотрим обобщенную задачу на собственные значения

$$A^{(k)} u = \lambda B^{(k)} u. \quad (5.20)$$

Как нетрудно заметить, из блочных представлений (5.7) и (5.10) матриц $A^{(k)}$

и $B^{(k)}$ соответственно $\lambda = 1$ является собственным числом задачи (5.20). Далее, при дополнительном условии $\lambda \neq 1$ задача (5.20) сводится к спектральной задаче

$$A^{(k)}u = \lambda \bar{B}^{(k)}u. \quad (5.21)$$

Из соотношений (5.6) и (5.8) очевидно, что

$$u^T A^{(k)}u \geq u^T \bar{B}^{(k)}u \quad \forall u \in G_k$$

(напомним, что по сделанному выше предположению $0 < \mu \leq 1$). Тем самым все собственные числа задачи (5.21) удовлетворяют условию $\lambda \geq 1$.

Перейдем теперь к верхней оценке собственных чисел задачи (5.21). Для произвольной сеточной функции $u \neq 0$ согласно (5.6) и (5.8) имеем

$$\frac{u^T A^{(k)}u}{u^T \bar{B}^{(k)}u} = \frac{\frac{1}{2} \sum_{E \in D_k} c_E [\Phi_E(\hat{u}, \hat{u}) + 2 \Phi_E^0(\hat{u}, \hat{u})] + I(\hat{u}, \hat{u})}{\frac{1}{2} \sum_{E \in D_k} c_E \Phi_E(\hat{u}, \hat{u}) + \mu I(\hat{u}, \hat{u})},$$

где $I(\hat{u}, \hat{u}) \equiv \sum_{[z]} \sum_{\langle a, b \rangle \in \Gamma_z^k} [r^k[z] \rho_{\langle a, b \rangle}(\hat{u}, \hat{u}) + s^k[z] \psi_{\langle a, b \rangle}(\hat{u}, \hat{u})]$.

Если $\hat{u} \equiv \text{const} \neq 0$, то из определений (5.4) и (5.5) билинейных функционалов следует, что $\Phi_E(\hat{u}, \hat{u}) = \Phi_E^0(\hat{u}, \hat{u}) = 0$. Одновременно $I(\hat{u}, \hat{u}) \neq 0$. Поэтому

$$\frac{u^T A^{(k)}u}{u^T \bar{B}^{(k)}u} = \frac{1}{\mu}.$$

Если же $\hat{u} \neq \text{const}$, то $\frac{u^T A^{(k)}u}{u^T \bar{B}^{(k)}u} \leq \max \left(\frac{\frac{1}{2} \sum_{E \in D_k} c_E [\Phi_E(\hat{u}, \hat{u}) + 2 \Phi_E^0(\hat{u}, \hat{u})]}{\frac{1}{2} \sum_{E \in D_k} c_E \Phi_E(\hat{u}, \hat{u})}, \frac{1}{\mu} \right).$

Используя технику перехода на суперэлементный уровень, разработанную в работах [1,2], можно доказать, что

$$\frac{\frac{1}{2} \sum_{E \in D_k} c_E [\Phi_E(\hat{u}, \hat{u}) + 2 \Phi_E^0(\hat{u}, \hat{u})]}{\frac{1}{2} \sum_{E \in D_k} c_E \Phi_E(\hat{u}, \hat{u})} \leq 3.$$

При этом отметим, что эта оценка была фактически получена в работе [1]. Тем самым мы получаем верхнюю оценку $\max(3, \mu^{-1})$ для собственных чисел задачи (5.21). \square

Как показывает простой анализ, для ограничения роста величин $r^k[z]$ и $s^k[z]$ при неограниченном возрастании числа уровней измельчения сетки при определении матриц $\bar{B}^{(k)}$ (см. (5.8)) достаточно взять $\mu = 0,5$. Действительно, в этом случае рекуррентные формулы (4.11), (5.16) и (5.17) примут следующий вид:

$$r^p[z] = \frac{h_p}{12} \sigma[z], \quad s^p[z] = \frac{h_p}{4} \sigma[z];$$

$$r^{k-1}[z] = \frac{1}{2} (r^k[z] + s^k[z]), \quad s^{k-1}[z] = \frac{2s^k[z](c[z] + r^k[z])}{c[z] + r^k[z] + s^k[z]}, \quad k = p, p-1, \dots, 1, \quad (5.22)$$

где $c[z]$ – значение коэффициента c в том прямоугольнике Π_m , стороной которого является звено $[z]$.

Обозначим $\sigma_* = \max_{[z]} \sigma[z]$. Из (4.11) имеем

$$r^p[z] \leq q 2^{-p}, \quad s^p[z] \leq 3q 2^{-p},$$

где $q = \frac{h_0 \sigma_*}{12}$ (h_0 – шаг самой грубой сетки ω_0). Пользуясь формулами (5.22), легко получить оценки $r^{p-j}[z] \leq q 2^{-p+j}$, $s^{p-j}[z] \leq 3q 2^{-p+j}$, $j = 0, 1, \dots, p$. Тем самым $r^k[z] \leq q$, $s^k[z] \leq 3q$, $k = 0, 1, \dots, p$.

После выбора величины $\mu = 0,5$ полученное выше утверждение теоремы 5.1 можно сформулировать следующим образом.

Теорема 5.1A. Для всех значений $k = 1, 2, \dots, p$, независимо от значений коэффициента c и функции σ из (2.2) в подобластях Π_m и на звеньях ломаной Γ_1 соответственно, собственные числа матриц $B^{(k)^{-1}} A^{(k)}$ принадлежат отрезку $[1, 3]$.

Заключение. Итак, в предыдущих параграфах на иерархических сетках были построены последовательность конечноэлементных матриц $A^{(p)}, A^{(p-1)}, \dots, A^{(1)}, A^{(0)}$ и соответствующая последовательность двухсеточных переобуславливателей $B^{(p)}, B^{(p-1)}, \dots, B^{(1)}$. При этом отметим, что, в отличие от традиционных многосеточных конструкций, здесь при переходе с мелкой сетки на более грубую происходит искажение конечноэлементных операторов на части границы, где стоит третье краевое условие; они не являются (за исключением $A^{(p)}$) конечноэлементными аналогами оператора дифференциальной задачи. Однако за счет выбора параметра $\mu = 0,5$ в (5.8) удалось получить те же границы спектра переобусловленных конечноэлементных матриц, что и для случая краевых условий Дирихле–Неймана. В последующей, второй части настоящей работы будет построен многосеточный переобуславливатель для исходной матрицы жесткости A .

ЛИТЕРАТУРА

1. Kuznetsov Yu.A. – Sov. J. Numer. Anal. Math. Modelling, 1989, v. 4, № 5, p. 351–379.
2. Nakopian Yu.R. and Kuznetsov Yu.A. – Sov. J. Numer. Anal. Math. Modelling, 1991, v. 6, № 6, p. 453–483.

3. Axelsson O., Hakopian Yu.R. and Kuznetsov Yu.A. – IMA J. Numer. Anal., 1997, v. 17, p. 125–149.
4. Hakopian Yu.R. and Hovhannisan H.A. – Algebra, Geometry & their Applications (Seminar Proceedings. Yerevan State University). 2002, v. 2, p. 58–72.
5. Hakopian Yu.R. and Hovhannisan H.A. – Computer Science and Information Technologies. Proceedings of CSIT'03 Conference, Yerevan, 2003, p. 327–330.

Ա. Բ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

**ՀԱՆՐԱՀԱԾՎԱԿԱՆ ԲԱԶՄԱՑԱՆՑԱՅԻՆ ՎԵՐԱՊԱՅՄԱՆԱՎՈՐԻՉ
ԽԱՌՔ ՏԻՊԻ ԵԶՐԱՅԻՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՎ ԷԼԻՊՍԱԿԱՆ
ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ՀԱՍԱՐ**

I. ԵՐԿՅԱՆՑԱՅԻՆ ՎԵՐԱՊԱՅՄԱՆԱՎՈՐԻՉՆԵՐ

Ամփոփում

Աշխատանքը, որը բաղկացած է երկու մասից, նվիրված է ուղղանկյուն տիրույթում էլիպսական հավասարումների վերջավոր տարրային մոտարկման դեպքում առաջացող կոչտուրյան մատրիցների համար հանրահաշվական բազմացանցային վերապայմանավորիչների կառուցմանը: Եզրագծի մի մասի վրա դրված է Դիրիխլեի պայմանը, իսկ մյուսի վրա՝ երրորդ սեռի եզրային պայմանը: Աշխատանքի առաջին մասում շարադրված է երկցանցային վերապայմանավորիչների հաջորդականության կառուցումը, որը հիմք է հանդիսանում բազմացանցային վերապայմանավորիչի կառուցման համար:

A. B. GRIGORYAN

**ALGEBRAIC MULTIGRID PRECONDITIONER FOR ELLIPTIC PROBLEMS
WITH MIXED TYPE BOUNDARY CONDITIONS**
I. TWO-GRID PRECONDITIONERS

Summary

The present paper, consisting of two parts, is devoted to constructing algebraic multigrid preconditioners for stiffness matrices arising in finite element approximation of elliptic problems in rectangular domain. The Dirichlet condition is placed on one part of the boundary and third type condition on the rest of the boundary. In the first part of the paper a sequence of two-grid preconditioners is described on the base of which the multigrid preconditioner will be constructed.

Ինֆորմատիկա

УДК 517.19

Գ. Ա. ՄԿՐՏՉՅԱՆ

ՄԱԶՍԻՄԱԼ ԵՐԿԱՐՈՒԹՅԱՆ ՍԱՀՄԱՆԱՓԱԿՈՒՄԸ ՀԱՇՎԻ ԱՌՆՈՂ ԳԼՈԲԱԼ ՈՒՂԵԳԾՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄԸ

Ներածություն:Գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների նախագծման տեխնոլոգիայի զարգացմանը գուգընթաց միացումներում առաջացող հապաղման էֆեկտը կարևորագույններից մեկն է: Հարկ է լինում գրեթե բոլոր կրիտիկական շղթաներին ուժեղացուցիչներ (բուֆեր) ավելացնել՝ հապաղման դեպքում ազդանշանը ընդունելի դարձնելու նպատակով: Իր հերթին՝ յուրաքանչյուր այդպիսի ուժեղացուցիչ ավելացնելը մեծացնում է սխեմայի չափերը կամ՝ դարձնում այն ավելի խիտ, ինչը և բացասաբար է ազդում սխեմայի արդյունավետության վրա: Այդ իսկ պատճառով բուֆերների տեղադրման համար փնտրվում է ոչ խիտ տարածք: Սակայն հաճախ նույնիսկ այդպիսի տարածքներ գտնելն անհնար է դառնում խիտ սխեմաներում, եթե զլորալ ուղեգծման ալգորիթմը հաշվի չի առնում նման հնարավորություններ:

Այս թե ինչու նվազագույն քանակով բուֆեր պահանջող զլորալ ուղեգումը մեծ հետաքրքրություն է առաջացնում [1-3]: Գլոբալ ուղեգծումը կառուցվում է այնպես, որ հետագայում հնարավոր լինի բուֆերներ ավելացնել այդ շղթաներին: Ներկա հողվածում դիտարկվում է այդպիսի ուղեգծման կառուցման ալգորիթմ բուֆերների տեղադրման համար հնարավոր ազատ տարածքների նախատեսմամբ: Այն հիմնված է կարճագույն ճանապարհ գտնելու ալգորիթմի վրա, որով փորձ է արկում մինիմալացնել կառուցվող ուղեգծման ծանի գումարային կշիռը: Դա կախված է այն տարածքների խտություններից, որտեղով անցնում է ուղեգծումը, ինչպես նաև բուֆերների զրացուցակը տիրույթների խտություններից: Վերջում ներկայացվում են փորձարարական արդյունքները և դրանց համեմատությունը այլ ալգորիթմների արդյունքների հետ:

Աշխատանքում օգտագործվել են Ծիրվանիի [4] և Կանգի [5] գրքերում սահմանված տերմինները:

Լրացուցիչ սահմանումներ և խնդրի դրվածքը: Խնդիրը տրված ուղեգծման համար լսվագույն ձևով բուֆերներ տեղադրելը չէ միայն, այլ նաև այնպիսի զլորալ ուղեգծման կառուցումը, որի համար գոյություն ունենա հապաղման ընդունելի արժեք ապահովող բուֆերների գոնե մեկ տեղադրում: Աշխատանքում օգտագործվել է հապաղումը զնահատելու արագ և հարմար գնահատական: Ալգորիթմը հնարավոր է հեշտությամբ ծևափոխել ավելի

ճշգրիտ գնահատականներ (օրինակ՝ Էլմորի գնահատականը [6]) ստանալու նպատակով:

Կառուցենք գլոբալ ուղեգծման $G(V, E)$ գրաֆը հետևյալ կերպ:

- Ամրող սխեմայի եռաչափ տիրույթը տրոհենք գլոբալ ուղեգծման վանդակների՝

$$CMap = \{c_{ijk} / 0 \leq i < C_{num}, 0 \leq j < R_{num}, 0 \leq k < L_{num}\},$$

որտեղ C_{num} -ը և R_{num} -ը համապատասխանաբար սյուների և տողերի նախօրոք տրված քանակներն են, իսկ L_{num} -ը ուղեգծման շերտերի քանակն է:

- Յուրաքանչյուր վանդակին համապատասխանեցնենք մեկական զագար G գրաֆում՝

$$V = \{v_{ijk} / 0 \leq i < C_{num}, 0 \leq j < R_{num}, 0 \leq k < L_{num}\};$$

- Բոլոր հարևան վանդակների համար G գրաֆում ավելացնենք կող այդ վանդակներին համապատասխան զագարների միջև՝

$$E = \{(v_{i,j,k}, v_{i+1,j,k}) / 0 \leq i < C_{num} - 1, 0 \leq j < R_{num}, 0 \leq k < L_{num}\} \cup$$

$$\cup \{(v_{i,j,k}, v_{i,j+1,k}) / 0 \leq i < C_{num}, 0 \leq j < R_{num} - 1, 0 \leq k < L_{num}\} \cup$$

$$\cup \{(v_{i,j,k}, v_{i,j,k+1}) / 0 \leq i < C_{num}, 0 \leq j < R_{num}, 0 \leq k < L_{num} - 1\};$$

$G(V, E)$ գրաֆի ամեն մի $e = (v_{i_1,j_1,k_1}, v_{i_2,j_2,k_2})$ կողին համապատասխանեցնենք արժեքների $\{length_e, C_e, L_e\}$ եղակ, որտեղ՝

- $length_e$ -ն կողի երկարությունն է, որը հավասար է համապատասխան c_{i_1,j_1,k_1} և c_{i_2,j_2,k_2} վանդակների կենտրոնների միջև եղած մանիետենյան հեռավորությանը (մենք կրիստարկենք այն դեպքը, եթե կողերի երկարությունները հավասար են միևնույն L_e նախօրոք տրված թվին ($length(e) = L_e, e \in E$));

- C_e -ն կողի բողունակությունն է, որը ցույց է տալիս մաքսիմալ շղթաների քանակը, որոնք կարող են անցնել c_{i_1,j_1,k_1} վանդակից c_{i_2,j_2,k_2} վանդակ;

- L_e -ն կողի զբաղվածությունն է, որը ցույց է տալիս այն շղթաների քանակը, որոնք արդեն անցնում են c_{i_1,j_1,k_1} վանդակից c_{i_2,j_2,k_2} վանդակ:

Սահմանում: e կողի խտություն ասելով կհասկանանք L_e/C_e հարաբերությունը:

Ամեն մի c_{ij} վանդակում կա որոշակի ազատ տարածք, որը կարող է օգտագործվել բոլորներ տեղադրելու համար: Այստեղ դիտարկվում է միայն զրոյական շերտը ժամանակակից տեխնիկական հնարավորությունների սահմանափակության պատճառով:

Սահմանում: Տարածքային խտության Քարտեզը (Area Congestion Map) ճիշտ $C_{num} \times R_{num}$ էլեմենտ պարունակող $ACM = \{ACM_{ij} / 0 \leq i < C_{num}, 0 \leq j < R_{num}\}$ բազմություն է, որի յուրաքանչյուր ACM_{ij} էլեմենտն իրենից

ներկայացնում է արժեքների $ACM_{ij} = \{C_{ij}^{ACM}, L_{ij}^{ACM}\}$ զույգ, որտեղ C_{ij}^{ACM} -ը ցույց է տալիս բոլորների առավելագույն քանակը, որ հնարավոր է տեղադրել c_{ij} տիրույթում, իսկ L_{ij}^{ACM} -ը՝ նույն տիրույթում արդեն տեղադրված բոլորների քանակը:

Սահմանում: ACM_{ij} էլեմենտի խտություն ասելով՝ կհասկանանք $L_{ij}^{ACM} / C_{ij}^{ACM}$ հարաբերությունը:

$G(V, E)$ գրաֆում շղթան ներկայացվում է որպես գրաֆի գագաթների բազմություն՝ $N = \{t_0, t_1, \dots, t_n\} \subset V$, որտեղ առաջին t_0 գագաթը համապատասխանում է սնուցող կոնտակտին (աղբյուրին): t_0, t_1, \dots, t_n գագաթները կանվանենք շղթայի տերմինալներ:

Սահմանում: $T \subset G$ ուղեգծման ծառի [5] շառավիղն է, որը աղբյուրից դեպի ամենահեռու տերմինալը ընկած ճանապարհի երկարությունն է:

Դիցուք $T(V_T, E_T)$ -ն ուղեգծման ծառ է $G(V, E)$ գրաֆում և $B \subseteq V_T$ այն գագաթների բազմությունն է (հետագայում կանվանենք բոլորների կետեր), որտեղ անհրաժեշտ է տեղադրել բոլորներ T ծառի համար, որպեսզի այն բավարարի հապաղման վրա դրված սահմանափակումներին:

Սահմանում: $T(V_T, E_T)$ ծառի կշիռ ասելով՝ կհասկանանք հետևյալ գումարը.

$$cost(T(V_T, E_T)) = \sum_{e \in E_T} cost_e(e) + \sum_{v_{ij} \in B} cost_v(v_{ij}),$$

որտեղ $cost_e(e)$ -ն e էլեմենտի կշիռն է, որը կախված է այդ էլեմենտի խտությունից, իսկ $cost_v(v_{ij})$ -ն տեղադրված բոլորների կշիռն է, որը կախված է ACM_{ij} էլեմենտի խտությունից:

Դիցուք $T' \subseteq T$ -ն T ուղեգծման ծառի որևէ ենթածառ է: T' ենթածառի $t_0^{T'}$ արմատը V_T բազմությունից t_0 -ին ամենամոտ ընկած գագաթն է: T' ենթածառի շառավիղը հավասար է $\max_{v \in V_T} dist(v, t_0^{T'})$, որտեղ $dist(v, t_0^{T'})$ -ը T ծառում v և $t_0^{T'}$ գագաթների միջև ընկած ճանապարհի երկարությունն է:

Այսպիսով, խնդիրը հետևյալն է. տրված N շղթայի, G գրաֆի և ACM -ի համար կառուցել նվազագույն կշիռ ունեցող T ուղեգծման ծառ համապատասխան բոլորների կետերով այնպիս, որ այդպիսիք չպարունակող բոլոր առավելագույն $T' \subseteq T$ ենթածառների շառավիղները լինեն նախօրոք տրված R_{\max} արժեքից փոքր:

Առաջարկված ալգորիթմ: Այն հիմնված է գրաֆում երկու գագաթների միջև կարճագույն ճանապարհի գտնելու ալգորիթմի վրա: Մշակվել է գրաֆի գագաթներին նիշեր համապատասխանեցնելու հատուկ եղանակ:

Կատարենք, որ v գագաթը նշված է, եթե նրան համապատասխանեցված է արժեքների $w_v^i = \{len_v^i, cost_v^i, prev_v^i\}$ եղյակների $W_v \neq \emptyset$ բազմություն: Յուրաքանչյուր եղյակի վերջին $prev_v^i$ արժեքը կամ մատնանշում է մեկ այլ v գագաթ և այդ v գագաթի նիշին պատկանող եղյակ, կամ ունի գրոյական արժեք:

Յուրաքանչյուր W_v նիշ ունի կշիռ, որը հավասար է այդ նիշի էլեմենտ-ներից փոքրագույն կշիռ ունեցող էլեմենտի կշիռին:

$w_v^i \in W_v$ եռյակը կանվանենք ավելցուկային, եթե $w_v^i \in W_v^{red} \subseteq W_v$, որտեղ

$$W_v^{red} = \{w_v^i / w_v^i \in W_v \text{ & } ((\exists w_v^j \in W_v, cost_v^j \leq cost_v^i, len_v^j \leq len_v^i) \vee (len_v^i \geq R_{max}))\};$$

Ալգորիթմի աշխատանքի ընթացքում յուրաքանչյուր v գագար կարող է լինել հետևյալ վիճակներից մեկում.

- նշված և դիտարկված,
- նշված և չդիտարկված,
- չնշված և չդիտարկված:

Ալգորիթմի սկզբում փնտրվող T ծառը բաղկացած է միայն մեկ t_0 գագարից: Այնուհետև, կատարելով հետևյալ քայլերը, T -ին հերքով միացվում են մնացած $\{t_1, \dots, t_n\} \subseteq N$ գագարները, որի արդյունքում շրջայի համար կառուցվում է վերջնական ուղեգծումը:

Ալգորիթմ:

1. G գրաֆի բոլոր գագարները չնշված և չդիտարկված են:
2. T ենթածանի բոլոր v գագարները ստանում են $W_v = \{\{0, 0, \{0, 0\}\}\}$

նիշ:

3. Բոլոր նշված և չդիտարկված գագարներից ընտրվում է փոքրագույն արժեքով նիշ ունեցող որևէ v_{min} գագար:

4. v_{min} գագարի հարեւան յուրաքանչյուր v' չդիտարկված գագար ստանում է նոր $W_{v'} = W_v \cup W_{v_{min}}^{v_{min}}$ նիշ, որտեղ՝

• W_v -ը v' գագարի նիշի նախորդ արժեքն է, եթե v' -ը արդեն նշված էր, և դատարկ է՝ հակառակ դեպքում;

• $W_{v_{min}}^{v_{min}}$ -ը նշող էլեմենտների բազմություն է, որն ստացվում է $W_{v_{min}}$ նիշից և $e_{v_{min} v'} = (v_{min}, v')$ կողից հետևյալ կերպ՝

$$W_{v_{min}}^{v_{min}} = \left\{ \left\{ len_{v_{min}}^i + length_{e_{v_{min} v'}}, cost_{v_{min}}^i + cost_e(e_{v_{min} v'}), \{w_{v_{min}}^i, v_{min}\} \right\} / w_{v_{min}}^i \in W_{v_{min}} \right\} \cup$$

$$\cup \left\{ \left\{ length_{e_{v_{min} v'}}, cost_{v_{min}}^i + cost_e(e_{v_{min} v'}) + cost_e(v_{min}), \{w_{v_{min}}^i, v_{min}\} \right\} / w_{v_{min}}^i \in W_v \right\};$$

5. $W_{v'}-ից$ հեռացվում են մինիմալ քանակով ավելցուկային էլեմենտներ այնպես, որ $W_{v'}^{red}$ -ը դառնա դատարկ:

6. v_{min} գագարը ստանում է նշված և դիտարկված վիճակ:

7. Եթե $v_{min} \notin N$, ապա վերադառնում ենք 3-ին: Հակառակ դեպքում՝ $W_{v_{min}}$ նիշից ընտրվում է փոքրագույն կշիռ պարունակող որևէ $w_{v_{min}}^i$ եռյակ և կառուցվում է v_{min} գագարը T ծառին միացնող $P_{v_{min}}^i$ ճանապարհ եռյակների նախորդ արժեքի հիման վրա: Կառուցված $P_{v_{min}}^i$ ճանապարհը ավելացվում է T ենթածանին և միացվում է նրան v_{min} տերմինալը:

• Նիշի յուրաքանչյուր էլեմենտի $prev^i$ կոմպոնենտը կամ ինֆորմացիա է պահում մեկ այլ նիշի որևէ էլեմենտի մասին, կամ ունի գրոյական արժեք: Օգտվելով դրանից՝ յուրաքանչյուր w^i նիշի համար հնարավոր է կառուցել P^i ճանապարհ, որը v գագաթը միացնում է T ծառին: Ընդ որում այդ էլեմենտի $cost^i$ կոմպոնենտը ցույց է տալիս P^i ճանապարհի արժեքը, իսկ len^i կոմպոնենտը՝ $T \cup P^i$ ծառում v գագաթին ամենամոտ բուժերի կամ սնուցող տերմինալի հեռավորությունը v գագաթից: 4-րդ քայլում v_{min} գագաթը դիտարկելիս նրան կից յուրաքանչյուր v' չդիտարկված գագաթի նիշին նոր էլեմենտներ են ավելացվում, որոնք կառուցվում են v_{min} -ի նիշի էլեմենտներից՝ յուրաքանչյուրից երկուական, հետևյալ կերպ:

1. Ենթադրվում է, որ v_{min} գագաթում բուժեր չի տեղադրվում (նոր նիշի len^i -ը հավասար է $len^i_{v_{min}}$ գումարած կողի երկարությունը, իսկ $cost^i$ -ը՝ նախորդի $cost^i_{v_{min}}$ գումարած կողի կշիռը):

2. Ենթադրվում է, որ v_{min} գագաթում մեկ բուժեր է տեղադրվում (նոր նիշի len^i -ը հավասար է կողի երկարությանը, $cost^i$ -ը՝ նախորդի $cost^i_{v_{min}}$ գումարած v_{min} գագաթում բուժեր տեղադրելու արժեքը և կողի կշիռը):

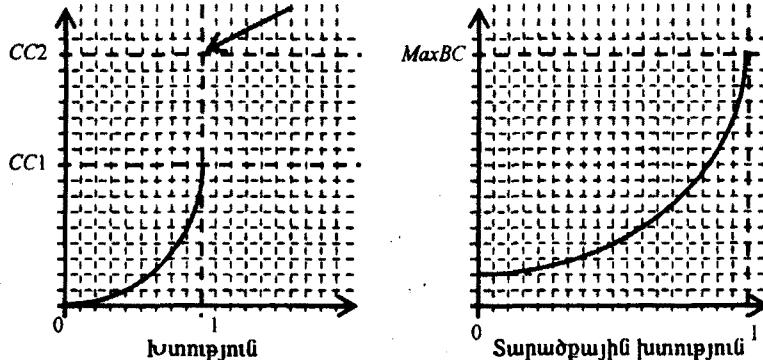
$$\text{Պարում 1: } |W_v \setminus W_v^{red}| \leq]R_{max} / L_e[\text{ բոլոր } v \in V \text{-ի համար:}$$

Հիմնավորում: Քանի որ $|W_v \setminus W_v^{red}| -ից կամայական երկու էլեմենտ անհամենատելի են (հակառակ դեպքում նրանցից մեկը կդառնար ավելցուկային), ապա կարող ենք պնդել, որ եթե $w \in W_v$, $w' \in W_v$ և $w_{len} = w'_{len}$, ապա կամ $w \in W_v^{red}$, կամ $w' \in W_v^{red}$: Այսուղից՝ $w, w' \in W_v \setminus W_v^{red} \Rightarrow w_{len} \neq w'_{len}$: Ուստի $|W_v \setminus W_v^{red}| -ը մեծ չէ տարբեր len արժեքը ունեցող ճակատային գագաթների քանակից: Եվ քանի որ գրաֆի էջերի երկարությունները հավասար են L_e -ի, ապա $|W_v \setminus W_v^{red}| -ը փոքր կամ հավասար է $[0, R_{max}]$ միջակայքում իրարից առնվազն L_e հեռավորության վրա գտնվող կետերի քանակին: Ակնհայտ է, որ այդպիսի կետերի քանակը ոչ ավելին է, քան $\{0, L_e, 2 \times L_e, 3 \times L_e, \dots, K \times L_e\}$, $K \times L_e < R_{max}$ հաջորդական էլեմենտների քանակը: Այսպիսով, ստացանք $|W_v \setminus W_v^{red}| \leq]R_{max} / L_e[$:$$$

Ալգորիթմում օգտագործվել են $cost_v(e)$ և $cost_v(v)$ էվրիստիկ ֆունկցիաները: Առաջինը օգտագործվել է շղթայի գրաֆի համապատասխան կողով անցնելու արժեքը գնահատելու համար: Այն կախված է համապատասխան ոեզիոնի խոռորդությունից (նկարի ձախ պատկերը): Այդ կախվածությունը ցույց տվող ֆունկցիան $[0, 1]$ հատվածում գծային չէ (մենք չենք ուզում խոշընդուտել շղթայի ուղեգծումը ոչ խիտ ոեզիոններում), և խոռորդությունը 1-ին ձգտելիս այն ձգտում է նախօրոք տրված $CC1$ -ին: $[1, \infty]$ միջակայքում այն դառնում է գծային և այս դեպքում հնարավոր է խոսափել խիտ և գերխիտ ոեզիոններից:

Երկրորդը վերաբերում է ուղղիոնում բուֆեր տեղադրելու արժեքին: Այն կախված է այդ ուղղության տարածքային խտությունից (նկարի աջ պատկերը): Այդ կախվածությունը ևս գծային չէ, և խտությունը 1-ին ճգնաժամ այն ճգնում է նախօրոր տրված *MaxBC* արժեքին:

Ուղեգծման մեկ խտերացիայի ընթացքում *CC1*, *CC2* և *MaxBC* արժեքները չեն փոխվում: Սակայն ուղեգծման ամբողջ պրոցեսում դրանք կարող են վերահաշվարկվել յուրաքանչյուր խտերացիայի համար:



Ալգորիթմում օգտագործվել են հետևյալ ֆունկցիաները.

$$\begin{aligned} cost_e(v_i, v_j) = & \quad ManhattanDist(v_i, v_j) \times (\{L_{(v_i, v_j)} / C_{(v_i, v_j)}\})^2 \times CC1 + \\ & + ManhattanDist(v_i, v_j) \times (\{L_{(v_i, v_j)} / C_{(v_i, v_j)}\}) \times CC2, \\ cost_v(v_j) = & MaxBC \times \max(0.1, (\{L_{v_j}^{ACM} / C_{v_j}^{ACM}\})^2): \end{aligned}$$

Սանակոր դեպքում, եթե շրան բաղկացած է երկու կոնտակտից, ալգորիթմն ավարտվում է այն պահին, եթե տերմինալին համապատասխան գագաթը դառնում է նշված և դիտարկված: Քանի որ ալգորիթմը միշտ ընտրում է փոքրագույն կշռով նիշ ունեցող գագաթը և գագաթին նոր նիշ վերագրելիս այդ գագաթի նիշի կշռով չի փոքրացնում, ապա ակնհայտ է, որ այդպես կառուցված ճանապարհի արժեքը կլինի փոքրագույնը:

Պնդում 2: Ներկայացված ալգորիթմը տալիս է օպտիմալ լուծում երկու կոնտակտներից բաղկացած շրաների համար:

Այժմ զնահատենք ալգորիթմի բարդությունը: Ալգորիթմը կոնտակտները միացնում է ծառին հերթով՝ ամեն միացնան համար կիրառելով նոյն բարդության ալգորիթմ: Ուստի նրա բարդությունը $(N_{pin} - 1) \times O_{path}$ է, որտեղ N_{pin} -ը կոնտակտների քանակն է, իսկ O_{path} -ը՝ մեկ միացում գտնելու բարդությունը: Գործնականում մեկ միացում կատարելու համար ալգորիթմը դիտարկում է գրաֆի գագաթների որոշակի սահմանափակ ենթաքազմությունը: Սակայն վատագույն դեպքում այն կդիտարկի ամբողջ գրաֆը՝ $|V|$ գագաթ: Մեկ գագաթ դիտարկելիս այն կառաջացնի ոչ ավելի քան $12 \times R_{max} / L_e$ նոր էլեմենտ նիշերին ավելացնելու համար: Ամեն մի նորաստեղծ էլեմենտի համար այն պեսք է վերահաշվարկի համապատասխան գագաթի տեղը հերթում: Այս քայլի բարդությունը $\log(Q_{num})$ է, որտեղ Q_{num} -ը հերթում էլեմենտների քանակն է, որը չի գերազանցում $|V|$ -ն: Այսպիսով, այդ քայլի բարդությունը

$\log(|V|)$ է, իսկ ամբողջ ալգորիթմինը՝ $|V| \times (N_{pin} - 1) \times (12 \times (R_{max}/L_e) \times \log(|V|))$:

Պարզություն 3: N_{pin} կոնտակտ պարունակող շղթայի համար ներկայացված ալգորիթմի բարդությունը $O(|V| \times N_{pin} \times (R_{max}/L_e) \times \log(|V|))$ է:

Գործնականում R_{max} -ը կարող է բավականաչափ մեծ լինել և, հետևաբար, R_{max}/L_e -ն ևս մեծ կլինի: Այդ դեպքում ալգորիթմի արագագործությունը մեծացնելու նպատակով մեկ այլ՝ $W_{R_{max}}$, պարամետր է օգտագործվում, որը սահմանափակում է մեկ գագարի սիջի էլեմենտների քանակը: Եթե այն դառնում է ավելի մեծ, որոշակի էլեմենտիկայի հիման վրա ավելորդ էլեմենտները հեռացվում են: Օրինակ, եթե ունենք երկու այդպիսի անհամեմատելի էլեմենտ, որոնց *len* արժեքների տարրերությունը փոքր է, իսկ *cost*-երի տարրերությունը մեծ է, ապա մեծ *cost*-ով կարող է հեռացվել: Նման ձևով կարելի է նաև հեռացնել համեմատաբար մեծ *len* արժեք ունեցող էլեմենտները:

Գործնականորեն, կիրառելով $W_{R_{max}}$ պարամետրն ու օգտագործելով Look Ahead Cost տեխնիկան [7], ալգորիթմի բարդությունը կարելի է փոքրացնել մինչև $O(|V| \times W_{R_{max}} \times \log(|V| \times W_{R_{max}}))$:

Փորձարարական արդյունքներ: Ներկայացված ալգորիթմը կարող է օգտագործվել սխեմայի բոլոր շղթաները այնպես ուղեգծելու համար, որ հետագայում բոլոր ահնարաժեշտ շղթաների համար հնարավոր լինի բոլորներ տեղադրել: Մեր դեպքում օգտագործվել է հետևյալ հոսքը:

1. Կառուցել $G(V, E)$ գլոբալ ուղեգծման գրաֆը և *ACM* տարածքային խոռոչյան քարտեզը:

2. Կարգավորել շղթաները՝ հաշվի առնելով նրանց կրիտիկականությունը, տերմինալիների քանակը և շղթայի տերմինալիներն ընդգրկող փոքրագույն ուղղանկյան մակերեսը:

3. Հերքով ուղեգծել շղթաները նկարագրված ալգորիթմով՝ ընդիուպ մինչև գերհագեցում խոռոչյան և տարածքային խոռոչյան քարտեզներում:

4. Կրկին ուղեգծել բոլոր գերհագեցած ուղղիներով անցնող շղթաները՝ արգելելով գերհագեցումը այդ քարտեզներում:

Մեզ հաջողվեց գտնել փորձնական սխեմաներ և ուղեգծման գործող ծրագիր միայն *Labyrinth* [8] ուղեգծման ալգորիթմի համար: *Labyrinth* համակարգը հիմնված է կարճագույն ճանապարհ գտնելու ալգորիթմի վրա: Նրա սկզբնական փուլում շղթան տրոհվում է երկու կոնտակտ պարունակող ներքաշղթաների, որոնք հետագայում հերքով ուղեգծվում են:

Ստացված ալգորիթմի արդյունքները հնարավոր չի ենթադրում համեմատել մաքսիմալ երկարության սահմանափակումը բավարարող ուղեգծման այլ ալգորիթմների հետ դրանց բացակայության պատճառով: Չանչի որ *Labyrinth* համակարգը բոլորների հնարավոր դիրքերը հաշվի չի առնում, նրա արդյունքների զգալի մասը պիտանի չէ բոլորների միջոցով հապաղման խնդիրը լուծելու համար: Համենայն դեպքում, մենք կարողացանք համեմատել այլ էական պարամետրեր, ինչպիսիք են գլոբալ ուղեգծման գումարային

երկարությունը (wirelength), ամենամեծ խտություն ունեցող ռեզիստրի խտությունը (max congestion) և գերհագեցած ռեզիստրի գերհագեցվածությունների գումարը (overflow) (աղյ. 1): Այսուսակների առաջին սյունը ցույց է տալիս սխեմայի անվանումը, գլոբալ ուղեգծման ռեզիստրի քանակը և շղթաների քանակը:

Աղյուսակ 1

Benchmark	Labyrinth				Max Length GR			
	wirelength	max. congestion	overflow	time (sec)	wirelength	max. congestion	overflow	time (sec)
ibm01, 64x64, 11507 nets	73253	1,33333	474	65	68754	1,28571	252	130
ibm02, 80x64, 19291 nets	183196	1,36364	370	133	178964	1,05882	21	380
ibm03, 80x64, 21621 nets	163009	1,2	231	134	161051	1,1	6	301
ibm04, 96x64, 26163 nets	185752	1,45	1147	240	185560	1,3913	1364	526
ibm05, 128x64, 27777 nets	420583	1	0	313	438294	0,928571	0	657
ibm06, 128,64, 33354 nets	317820	1,1	148	379	301386	1,1	30	965
ibm07, 192x64, 44394 nets	227551	1	0	414	245299	0,904732	0	1077
ibm08, 192x64, 47944 nets	91430	0,666667	0	150	104478	0,428571	0	428
ibm09, 256x64, 50393 nets	45950	0.5	0	109	60109	0,357143	0	304
ibm10, 256x64, 72759 nets	651557	1,18519	408	1510	638687	1,18519	198	3432

Աղյուսակ 2-ը համեմատում է խտության քարտեզների որոշ պարամետրեր՝ գերհագեցած վանդակների տոկոսը, 20%-ից ավելի գերհագեցում ունեցող վանդակների տոկոսը և 50%-ից ավելի գերհագեցում ունեցող վանդակների տոկոսը:

Աղյուսակ 2

Benchmark	Labyrinth			Max Length GR		
	>0%	>20%	>50%	>0%	>20%	>50%
ibm01, 64x64, 11507 nets	4,4891%	8,94E-34%	8,92E-34%	2,9638%	6,73E-34%	0,00E+00%
ibm02, 80x64, 19291 nets	2,6149%	6,32E-34%	1,23E-33%	0,2575%	2,80E-45%	5,21E-33%
ibm03, 80x64, 21621 nets	1,8324%	7,04E-34%	1,78E-33%	0,1189%	3,92E-44%	1,29E-33%
ibm04, 96x64, 26163 nets	4,8813%	6,23E-34%	2,40E-33%	5,5491%	8,72E-33%	0,00E+00%
ibm05, 128x64, 27777 nets	0,0000%	4,20E-44%	6,72E-33%	0,0000%	1,11E-43%	1,81E-33%
ibm06, 128,64, 33354 nets	0,8090%	2,54E-33%	4,54E-34%	0,2100%	7,63E-33%	3,14E-33%
ibm07, 192x64, 44394 nets	0,0000%	5,91E-33%	5,91E-33%	0,0000%	3,16E-33%	3,60E-33%
ibm08, 192x64, 47944 nets	0,0000%	3,07E-33%	3,09E-33%	0,0000%	4,69E-32%	2,23E-33%
ibm09, 256x64, 50393 nets	0,0000%	2,34E-33%	1,89E-43%	0,0000%	2,55E-33%	4,54E-34%
ibm10, 256x64, 72759 nets	1,0047%	1,92E-32%	6,48E-32%	0,2096%	1,19E-31%	2,28E-43%

Երկու ծրագրային փաթեթները համեմատվել են Intel® Xeon™ 2,4GHz մերենաների օգնությամբ Linux համակարգում:

Դիսկրետ մաքեմատիկայի ամրություն

Ստացվել է 31.07.2005

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ

1. Minghorng L., Wong D.F. Maze Routing with Buffer Insertion and Wiresizing, DAC, Los Angeles, CA, 2000, p. 374–378.
2. Alpert Ch., Kahng A.B., Bao Liu, Ion Mandoiu, and Zelikovsky A. Minimum-Buffered Routing of Non-Critical Nets for Slew Rate and Reliability Control. Proc. IEEE-ACM Intl. Conf. on Computer-Aided Design, San-Jose, CA, 2001, p. 408–415.
3. Cong J. and Xin Yuan Routing Tree Construction Under Fixed Buffer Locations. Proc. IEEE-ACM Intl. Conf. on Computer-Aided Design, Los Angeles, CA, 2000, p. 379–384.
4. Shervani N.A. Algorithms for VLSI Physical Design Automation. 3rd edition, Kluwer Academic Publishers, 1999.
5. Kahng A.B., Robins G. On Optimal Interconnections for VLSI. Kluwler Academic Publishers, 2001.
6. Elmore W.C. – J. Appl. Phys., 1948, v. 19, p. 55–63.
7. Mkrtchyan G.A. – Information Technologies and Management, 2005, № 2.
8. Kastner R., Bozogzadeh E. and Sarrafzadeh M. An exact algorithm for coupling-free routing. Proc. Int. Symp. on Physical Design, Sonoma, CA, 2001, p. 10–15.

Г. А. МКРТЧЯН

ГЛОБАЛЬНАЯ ТРАССИРОВКА, УЧИТЫВАЮЩАЯ ОГРАНИЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ

Резюме

Для достижения приемлемой задержки во время проектирования быстродействующих схем в каждую критическую цепь вставляются усилители, которые влияют на плотность размещения глобальной трассировки, порой делая их непригодными. Данная статья рассматривает проблему построения глобальной трассировки, которая учитывает возможные места для усилителей в схемах с повышенной плотностью.

G. A. MKRTCHYAN

MAX LENGTH DRIVEN GLOBAL ROUTING

Summary

In order to maintain signal integrity and reasonable delay in high frequent designs, each critical net must undergo buffer insertion. At the same time a big number of nets in such designs create restrictions in terms of algorithms' run time. This paper studies the problem of constructing minimum cost buffered routing trees in high utilized and congested designs with possible buffer locations.

Механика

УДК 517.934

В. Н. ГРИШКАН

**О СТАБИЛИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИИ ВРАЩАТЕЛЬНЫМ
ДВИЖЕНИЕМ ТВЕРДОГО ТЕЛА**

В данной работе решаются задачи оптимальной стабилизации и оптимального управления движением твердого тела, вращающегося вокруг неподвижной точки, с помощью маховиков. Показано, что эта система не вполне управляема только гироскопическими силами. К системе прибавлены диссипативные силы, возникающие при вращательном движении маховиков. Рассматриваются линейные системы и для них найдены оптимально стабилизирующие и управляющие воздействия.

1. Постановка задачи. Рассмотрим твердое тело с неподвижной точкой O в центре масс, по главным осям инерции которого расположены оси трех однородных симметричных маховиков, приводящихся во вращение специальными двигателями. Предположим, что внешних сил, действующих на тело, нет и все главные моменты инерции тела известны. Введем следующие обозначения: $Oxyz$ – подвижная система осей координат, жестко связанная с телом и совмещенная с его главными осями инерции; p, q, r – проекции абсолютной мгновенной угловой скорости вращения тела на x, y, z соответственно; $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ – относительные угловые скорости вращения маховиков. Попробуем с помощью маховиков стабилизировать вращательное движение тела вокруг центра масс и управлять им.

Теорема об изменении момента количества движения в интегрированном виде будет следующая:

$$\begin{cases} G_x = I_{xx}p + I_{1xx}(\omega_1 + p) = D_1 = \text{const}, \\ G_y = I_{yy}q + I_{2yy}(\omega_2 + q) = D_2 = \text{const}, \\ G_z = I_{zz}r + I_{3zz}(\omega_3 + r) = D_3 = \text{const}, \end{cases} \quad (1)$$

где $I_{1xx}, I_{2yy}, I_{3zz}$ – моменты инерций маховиков, а I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} – моменты инерций тела. Так как величины $I_{1xx}, I_{2yy}, I_{3zz}$ считаются малыми по сравнению с I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} соответственно, то можно принять $I_{1xx} \pm I_{3zz} \approx I_{xx}$,

$I_{yy} \pm I_{2yy} \approx I_{yy}$, $I_{xx} \pm I_{3zz} \approx I_{xx}$. Тогда динамические уравнения Эйлера [1] примут следующий вид:

$$\begin{cases} A\dot{p} + (C - B)qr = br\omega_2 - cq\omega_3, \\ B\dot{q} + (A - C)pr = cp\omega_3 - ar\omega_1, \\ C\dot{r} + (B - A)pq = aq\omega_1 - bp\omega_2, \end{cases} \quad (2)$$

где $A = I_{xx}$, $B = I_{yy}$, $C = I_{zz}$, $a = I_{1xx}$, $b = I_{2yy}$, $c = I_{3zz}$. Умножив уравнения системы (2) на p , q , r соответственно и просуммировав их, получим уравнение

$$Ap^2 + Bq^2 + Cr^2 = const, \quad (3)$$

которое является интегралом энергии.

Известно, что если система допускает первый интеграл независимо от управляющих воздействий, то она не вполне управляема [2].

2. Стабилизация движения. Добавим к системе компоненты диссипативных сил, возникающих при вращательном движении маховиков: $-k_1 p$, $-k_2 q$, $-k_3 r$ (где $-k_i$, $i = 1, 2, 3$, – коэффициенты диссипации). Составим уравнения возмущенного движения, которые после линеаризации будут иметь следующий вид:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = S_0x_1 + S_1x_2 + S_2x_3 + S_4\omega_2 + S_5\omega_3, \\ \dot{x}_2 = L_0x_2 + L_1x_1 + L_2x_3 + L_4\omega_3 + L_5\omega_1, \\ \dot{x}_3 = H_0x_3 + H_1x_1 + H_2x_2 + H_4\omega_1 + H_5\omega_2, \end{cases} \quad (4)$$

где $\dot{x}_1 = p - \alpha$, $\dot{x}_2 = q - \beta$, $\dot{x}_3 = r - \gamma$; $S_0 = -k_1/A$, $S_1 = (B - C)\gamma/A$, $S_2 = (B - C)\beta/A$, $S_4 = \gamma b/A$, $S_5 = -c\beta/A$; $L_0 = -k_2/B$, $L_1 = (C - A)\gamma/B$, $L_2 = (C - A)\alpha/B$, $L_4 = c\alpha/B$, $L_5 = -ay/B$; $H_0 = -k_3/C$, $H_1 = (A - B)\beta/C$, $H_2 = (A - B)\alpha/C$, $H_4 = a\beta/C$, $H_5 = -b\alpha/C$, а α, β, γ являются отклонениями от p, q, r соответственно.

Для системы (4) матрица управляемости K_u будет [3]:

$$K_u = \begin{bmatrix} 0 & S_4 & S_5 & L_5S_1 + H_4S_2 & H_5S_2 + S_4S_0 & L_4S_1 + S_5S_0 \\ L_5 & 0 & L_4 & H_4L_2 + L_5L_0 & S_4L_1 + H_5L_2 & S_5L_1 + L_4L_0 \\ H_4 & H_5 & 0 & H_4H_0 + L_5H_2 & H_5H_0 + H_1S_4 & L_4H_2 + S_5H_1 \\ & & & L_5S_1S_2 + H_4S_2S_0 & H_5S_2S_2 + S_4S_0S_0 & L_4S_1S_1 + S_5S_0S_0 \\ & & & H_4L_2L_2 + L_5L_0L_0 & S_4L_1L_1 + H_5L_2L_2 & S_5L_1L_1 + L_4L_0L_0 \\ & & & H_4H_0H_0 + L_5H_2H_2 & H_5H_0H_0 + S_4H_1H_1 & L_4H_2H_2 + S_5H_1H_1 \end{bmatrix}.$$

Так как $rank[K_u] = 3$, то система (4) становится вполне управляемой величинами $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ [3].

Поставим следующую задачу оптимальной стабилизации: требуется найти оптимально управляющие воздействия $\omega_1^0, \omega_2^0, \omega_3^0$ такие, чтобы для решения $x = x(t)$ системы (4) выполнялось $\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = 0$ и минимизировался

функционал $I[\omega] = \int_0^{\infty} (x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2) dt$, который имеет значение полной энергии.

Функцию Ляпунова целесообразно искать в следующем виде:

$$V = \frac{1}{2}(c_{11}x_1^2 + 2c_{12}x_1x_2 + 2c_{13}x_1x_3 + 2c_{23}x_2x_3 + c_{22}x_2^2 + c_{33}x_3^2).$$

Тогда уравнение Белмана [4] будет:

$$\begin{aligned} B[x, \omega] = & (c_{11}x_1 + c_{12}x_2 + c_{13}x_3)(s_0x_1 + s_1x_2 + s_2x_3 + s_4\omega_2 + s_5\omega_3) + \\ & +(c_{22}x_2 + c_{12}x_1 + c_{23}x_3)(l_0x_2 + l_1x_1 + l_2x_3 + l_4\omega_2 + l_5\omega_1) + (c_{33}x_3 + c_{13}x_1 + c_{23}x_2) \times (5) \\ & \times (h_0x_3 + h_1x_1 + h_2x_2 + h_4\omega_1 + h_5\omega_2) + x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 = 0. \end{aligned}$$

Кроме этого, оптимально управляющие воздействия $\omega_1^0, \omega_2^0, \omega_3^0$ должны удовлетворять соотношению [4]

$$\frac{\partial B[x, \omega]}{\partial \omega_i^0} = 0, \quad i = 1, 2, 3. \quad (6)$$

Из уравнения (6) следует, что

$$\begin{aligned} \omega_1^0 &= T_1(c_{22}x_2 + c_{12}x_1 + c_{23}x_3) + T_2(c_{33}x_3 + c_{13}x_1 + c_{23}x_2), \\ \omega_2^0 &= T_3(c_{11}x_1 + c_{12}x_2 + c_{13}x_3) + T_4(c_{33}x_3 + c_{13}x_1 + c_{23}x_2), \\ \omega_3^0 &= T_5(c_{11}x_1 + c_{12}x_2 + c_{13}x_3) + T_6(c_{22}x_2 + c_{12}x_1 + c_{23}x_3), \end{aligned} \quad (7)$$

где $T_1 = -L_5/2$, $T_2 = -H_4/2$, $T_3 = -S_4/2$, $T_4 = -H_5/2$, $T_5 = -S_5/2$, $T_6 = -L_4/2$.

Подставляя уравнения (7) в (5), определяем коэффициенты c_{ij} .

3. Управление движением. Кинематические уравнение Эйлера [1] запишем в виде:

$$\begin{cases} p = \dot{\psi} \sin \theta \sin \varphi + \dot{\theta} \cos \varphi, \\ q = \dot{\psi} \sin \theta \cos \varphi - \dot{\theta} \sin \varphi, \\ r = \dot{\psi} \cos \theta + \dot{\varphi}, \end{cases} \quad (8)$$

где φ, ψ, θ – углы Эйлера. Для задачи управления в уравнениях (1) возьмем $\omega_2 = \omega_3 = 0$. Подставляя уравнения (8) в (1), решаем полученную систему относительно $\dot{\varphi}, \dot{\psi}, \dot{\theta}$. Затем, разлагая в ряд Тейлора в окрестности точки $(\varphi_0, \psi_0, \theta_0)$ и линеаризовав ее, получим:

$$\begin{cases} \dot{\varphi} = R_1\varphi + R_2\theta + R_3\omega_1 + R_4, \\ \dot{\psi} = R_5\varphi + R_6\theta + R_7\omega_1 + R_8, \\ \dot{\theta} = R_9\varphi + R_{10}\omega_1 + R_{11}, \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{где } R_1 = -\frac{D_1}{A+a} \left(\frac{\cos \varphi_0 \cos \theta_0}{\sin \theta_0} + \varphi_0 \frac{\sin \varphi_0 \cos \theta_0}{\sin \theta_0} + \theta_0 \frac{\cos \varphi_0}{\sin^2 \theta_0} \right) -$$

$$-\frac{D_2}{B+b} \left(-\frac{\sin \varphi_0 \cos \theta_0}{\sin \theta_0} + \varphi_0 \frac{\cos \varphi_0 \cos \theta_0}{\sin \theta_0} + \theta_0 \frac{\sin \varphi_0}{\sin^2 \theta_0} \right),$$

$$R_2 = -\frac{D_1}{A+a} \left(-\frac{\sin \varphi_0}{\sin^2 \theta_0} + \varphi_0 \frac{\cos \varphi_0}{\sin^2 \theta_0} + 2\theta_0 \frac{\sin \varphi_0 \cos \theta_0}{\sin^3 \theta_0} \right) -$$

$$-\frac{D_2}{B+b} \left(-\frac{\cos \varphi_0}{\sin^2 \theta_0} + \varphi_0 \frac{\sin \varphi_0}{\sin^2 \theta_0} + 2\theta_0 \frac{\cos \varphi_0 \cos \theta_0}{\sin^3 \theta_0} \right),$$

$$R_3 = -\frac{a}{A+a} \left(\frac{\sin \varphi_0 \cos \theta_0}{\sin \theta_0} - \varphi_0 \frac{\cos \varphi_0 \cos \theta_0}{\sin \theta_0} + \theta_0 \frac{\sin \varphi_0}{\sin^2 \theta_0} - \right.$$

$$\left. -\frac{1}{2} \varphi_0^2 \frac{\sin \varphi_0 \cos \theta_0}{\sin \theta_0} - \varphi_0 \theta_0 \frac{\cos \varphi_0}{\sin^2 \theta_0} \right) - \frac{a}{A+a} \frac{\sin \varphi_0 \cos \theta_0}{\sin^3 \theta_0} \theta_0^2,$$

$$R_4 = -\frac{D_1}{A+a} \left(\frac{\sin \varphi_0 \cos \theta_0}{\sin \theta_0} - \varphi_0 \frac{\cos \varphi_0 \cos \theta_0}{\sin \theta_0} + \theta_0 \frac{\sin \varphi_0}{\sin^2 \theta_0} - \right.$$

$$\left. -\frac{1}{2} \varphi_0^2 \frac{\sin \varphi_0 \cos \theta_0}{\sin \theta_0} - \varphi_0 \theta_0 \frac{\cos \varphi_0}{\sin^2 \theta_0} \right) - \frac{D_1}{A+a} \frac{\sin \varphi_0 \cos \theta_0}{\sin^3 \theta_0} \theta_0^2 -$$

$$-\frac{D_2}{B+b} \left(\frac{\cos \varphi_0 \cos \theta_0}{\sin \theta_0} + \varphi_0 \frac{\sin \varphi_0 \cos \theta_0}{\sin \theta_0} + \theta_0 \frac{\cos \varphi_0}{\sin^2 \theta_0} - \right.$$

$$\left. -\frac{1}{2} \varphi_0^2 \frac{\cos \varphi_0 \cos \theta_0}{\sin \theta_0} - \varphi_0 \theta_0 \frac{\sin \varphi_0}{\sin^2 \theta_0} \right) - \frac{D_2}{B+b} \frac{\cos \varphi_0 \cos \theta_0}{\sin^3 \theta_0} \theta_0^2 + \frac{D_3}{C+c},$$

$$R_5 = \frac{D_1}{A+a} \left(\frac{\cos \varphi_0}{\sin \theta_0} + \varphi_0 \frac{\sin \varphi_0}{\sin \theta_0} - \theta_0 \frac{\cos \varphi_0}{\cos \theta_0} \right) + \frac{D_2}{B+b} \left(\frac{\sin \varphi_0}{\sin \theta_0} + \varphi_0 \frac{\cos \varphi_0}{\sin \theta_0} + \theta_0 \frac{\sin \varphi_0}{\cos \theta_0} \right),$$

$$R_6 = \frac{D_1}{A+a} \left(\frac{\sin \varphi_0}{\cos \theta_0} - \varphi_0 \frac{\cos \varphi_0}{\cos \theta_0} + \theta_0 \frac{\sin \varphi_0}{\sin \theta_0} \right) + \frac{D_2}{B+b} \left(\frac{\cos \varphi_0}{\cos \theta_0} + \varphi_0 \frac{\sin \varphi_0}{\cos \theta_0} + \theta_0 \frac{\cos \varphi_0}{\sin \theta_0} \right),$$

$$R_7 = -\frac{a}{A+a} \left(\frac{\sin \varphi_0}{\sin \theta_0} - \varphi_0 \frac{\cos \varphi_0}{\sin \theta_0} - \theta_0 \frac{\sin \varphi_0}{\cos \theta_0} - \frac{1}{2} \varphi_0^2 \frac{\sin \varphi_0}{\sin \theta_0} + \varphi_0 \theta_0 \frac{\cos \varphi_0}{\cos \theta_0} - \frac{1}{2} \theta_0^2 \frac{\sin \varphi_0}{\sin \theta_0} \right),$$

$$R_8 = -\frac{D_1}{A+a} \left(\frac{\sin \varphi_0}{\sin \theta_0} - \varphi_0 \frac{\cos \varphi_0}{\sin \theta_0} - \theta_0 \frac{\sin \varphi_0}{\cos \theta_0} - \frac{1}{2} \varphi_0^2 \frac{\sin \varphi_0}{\sin \theta_0} + \varphi_0 \theta_0 \frac{\cos \varphi_0}{\cos \theta_0} - \frac{1}{2} \theta_0^2 \frac{\sin \varphi_0}{\sin \theta_0} \right) +$$

$$+\frac{D_2}{B+b} \left(\frac{\cos \varphi_0}{\sin \theta_0} + \varphi_0 \frac{\sin \varphi_0}{\sin \theta_0} - \theta_0 \frac{\cos \varphi_0}{\cos \theta_0} - \frac{1}{2} \varphi_0^2 \frac{\cos \varphi_0}{\sin \theta_0} - \varphi_0 \theta_0 \frac{\sin \varphi_0}{\cos \theta_0} - \frac{1}{2} \theta_0^2 \frac{\cos \varphi_0}{\sin \theta_0} \right),$$

$$R_9 = \frac{D_1}{A+a} (-\sin \varphi_0 + \varphi_0 \cos \varphi_0) - \frac{D_2}{B+b} (\cos \varphi_0 + \varphi_0 \sin \varphi_0),$$

$$R_{10} = -\frac{a}{A+a} \left(\cos \varphi_0 + \varphi_0 \sin \varphi_0 - \frac{1}{2} \varphi_0^2 \cos \varphi_0 \right),$$

$$R_{11} = \frac{D_1}{A+a} \left(\cos \varphi_0 + \varphi_0 \sin \varphi_0 - \frac{1}{2} \varphi_0^2 \cos \varphi_0 \right) - \frac{D_2}{B+b} \left(\sin \varphi_0 - \varphi_0 \cos \varphi_0 - \frac{1}{2} \varphi_0^2 \sin \varphi_0 \right).$$

Для системы (9) матрица управляемости K_u будет [3]:

$$K_u = \begin{bmatrix} R_3 & R_1 R_3 + R_2 R_{10} & R_1^2 R_3 + R_2^2 R_{10} \\ R_7 & R_3 R_5 + R_6 R_{10} & R_5^2 R_3 + R_6^2 R_{10} \\ R_{10} & R_3 R_9 & R_9^2 R_3 \end{bmatrix}.$$

Так как $\text{rank}[K_u] = 3$, то система (9) будет вполне управляемой с помощью ω_1 [3].

Сформулируем следующую задачу: найти оптимальное управляющее воздействие ω_1^0 , которое приведет систему (9) от начальной позиции $(\varphi_0, \psi_0, \theta_0)$ к позиции $(\varphi_1, \psi_1, \theta_1)$, минимизируя функционал

$$\chi[\omega_1] = \int_{t_0}^{t_1} \omega_1^2 d\tau.$$

Этот функционал имеет своеобразное значение энергии.

Задачу решаем по методу проблемы моментов [5]. Из формулы Коши получаются следующие три интегральных условия:

$$\int_{t_0}^{t_1} h_1(\tau) \omega_1(\tau) d\tau = \int_{t_0}^{t_1} (a_1 e^{\alpha(t_1-\tau)} + a_2 e^{\beta(t_1-\tau)}) \omega_1(\tau) d\tau = C_1,$$

$$\int_{t_0}^{t_1} h_1(\tau) \omega_1(\tau) d\tau = \int_{t_0}^{t_1} (a_3 e^{\alpha(t_1-\tau)} + a_4 e^{\beta(t_1-\tau)} + a_5) \omega_1(\tau) d\tau = C_2,$$

$$\int_{t_0}^{t_1} h_1(\tau) \omega_1(\tau) d\tau = \int_{t_0}^{t_1} (a_6 e^{\alpha(t_1-\tau)} + a_7 e^{\beta(t_1-\tau)}) \omega_1(\tau) d\tau = C_3,$$

где $\alpha = \frac{R_1 + \sqrt{R_1^2 + 4R_2 R_9}}{2}$, $\beta = \frac{R_1 - \sqrt{R_1^2 + 4R_2 R_9}}{2}$,

$$a_1 = \frac{(-\beta + R_1)R_3 + R_2 R_{10}}{\alpha - \beta}, \quad a_2 = \frac{(\alpha - R_1)R_3 - R_2 R_{10}}{\alpha - \beta},$$

$$a_3 = \frac{(R_2 R_5 + (\alpha - R_1)R_6)((-\beta + R_1)R_3 + R_2 R_{10})}{\alpha(\alpha - \beta)R_2},$$

$$a_4 = -\frac{(R_2 R_5 + (\beta - R_1)R_6)((-\alpha + R_1)R_3 + R_2 R_{10})}{\beta(\alpha - \beta)R_2},$$

$$a_5 = \frac{1}{\alpha\beta R_2} ((\alpha - R_1)(-\beta + R_1)R_3 R_6 + R_2^2 R_5 R_{10} -$$

$$-R_7((\alpha + \beta - R_1)R_3 R_5 - \alpha\beta R_7 + R_1 R_6 R_{10})),$$

$$a_6 = \frac{(\alpha - R_1)((-\beta + R_1)R_3 + R_2 R_{10})}{(\alpha - \beta)R_2}, \quad a_7 = -\frac{(\beta - R_1)((-\alpha + R_1)R_3 + R_2 R_{10})}{(\alpha - \beta)R_2}.$$

Затем, минимизируя функционал

$$\rho_0^2 = \min_{\sum l_i c_i = l_0} \int (h_1(\tau)l_1 + h_2(\tau)l_2 + h_3(\tau)l_3)^2 d\tau,$$

получим оптимальное значение $\omega_1^0(\tau)$, которое определяется формулой

$$\omega_1^0(\tau) = \frac{1}{\rho_0^2} h^0(\tau),$$

где $h^0(\tau) = h_1(\tau)l_1^0 + h_2(\tau)l_2^0 + h_3(\tau)l_3^0$, а l_i^0 – минимизирующие величины в ρ_0^2 .

Явный вид функции $\omega_1^0(\tau)$ будет:

$$\omega_1^0(\tau) = \left(\frac{l_1^0 a_1}{\rho_0^2} + \frac{l_2^0 a_3}{\rho_0^2} + \frac{l_3^0 a_6}{\rho_0^2} \right) e^{\alpha(l_1 - \tau)} + \left(\frac{l_1^0 a_2}{\rho_0^2} + \frac{l_2^0 a_4}{\rho_0^2} + \frac{l_3^0 a_7}{\rho_0^2} \right) e^{\beta(l_1 - \tau)} + \frac{l_1^0 a_5}{\rho_0^2}.$$

Кафедра теоретической механики

Поступила 18.06.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики. М.: Наука, 1969.
2. Румянцев В.В. – Космические исследования, 1968, т. 6, вып. 5.
3. Ли Э.Б., Маркус Л. Основы теории оптимального управления. М.: Наука, 1972.
4. Красовский Н.Н. Проблемы стабилизации управляемых движений. Доп. 4 в кн. Малкина И.Г. Теория устойчивости движения. М.: Наука, 1969.
5. Красовский Н.Н. Управление динамической системой. М.: Наука, 1985.

Վ. Ն. ԳՐԻՇԿՅԱՆ

ՊԻՆԴ ՄԱՐՄԻՆ ՊՏՏԱԿԱՆ ԾԱՐԺՄԱՆ ՂԵԿԱՎԱՐՄԱՆ ԵՎ ՍՏԱԲԻԼԻՑԱՑԻԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ամփոփում

Դիտարկված է անշարժ կետի շուրջը պտտական շարժում կատարող պինդ մարմին, որի ներսում տեղադրված են բափանիվներ: Ցույց է տրված, որ համակարգը միայն գիրուվողակի ուժեղի միջոցով լրիվ դեկավարելի չէ: Համակարգին ավելացված են բափանիվների պտույտից առաջացող դիմիպատիվ ուժեր: Գծային համակարգերի համար որոշված են օպտիմալ դեկավարող և ստարիլացնող ազդեցությունները:

V. N. GRISHKYAN

ABOUT STABILIZATION AND CONTROL OF A ROTATION OF A RIGID BODY

Summary

In this paper the problems of optimum stabilization and optimum traffic control of rigid body rotating around a motionless point with the help of flywheels is solved. It is shown, that the system is not quite controlled only by gyroscopic forces. The dissipative forces arising from the rotation of flywheels are added to the system. Linear systems are considered and for them optimum stabilizing and controlling operations are found.

Физика

УДК 535.13

Т. А. АБРАМЯН

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ДИЭЛЕКТРИК-МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК

Изучаются особенности распространения световой волны в окрестности конусообразной головки оптического волокна, которая покрыта тонким слоем алюминия. При выходе вершины волокна из поверхности жидкости регистрируется резкий всплеск выходной мощности. Поскольку этот процесс очень существенно зависит от положения вершины волокна, то с его помощью можно обнаружить очень слабые колебания поверхности жидкости.

Ряд особенностей оптического волокна, к числу которых относятся многоканальность, интерференционная чувствительность, устойчивость относительно электромагнитных помех, маленький вес, небольшие размеры, удобное расположение в пространстве, позволяют создать на его основе различные сенсоры высокого разрешения [1–8]. В частности интересными свойствами обладает покрытая металлическим слоем конусообразная головка оптического волокна, которая изначально была создана в качестве зонда нанометрического оптического сканирующего микроскопа ближнего поля. Однако в дальнейшем оказалось, что ее уникальные возможности можно использовать также для создания оптических сенсоров [9–10].

В настоящей работе изучаются особенности распространения световой волны в окрестности конусообразной головки оптического волокна, которая покрыта тонкими слоями металла и прозрачного диэлектрика (рис. 1).

В предложенной структуре существуют два волноводных канала.

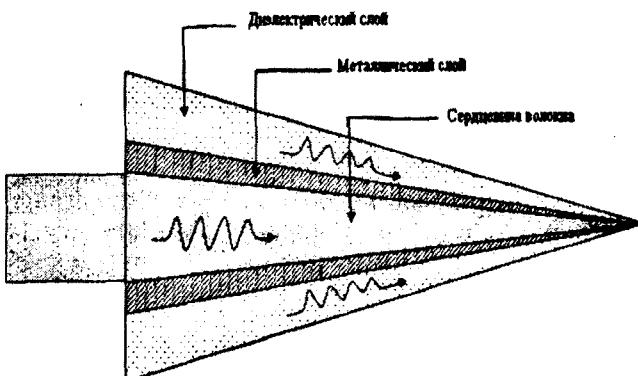


Рис. 1. Продольное сечение конусообразной головки оптического волокна.

Первый из них – внутренний канал, где волна распространяется через сердцевину оптического волокна. В ходе распространения через второй, внешний канал волна локализуется в диэлектрическом слое. Если разделяющий эти каналы металлический слой достаточно тонкий, то указанные моды могут связываться. Тогда волновая энергия может перекачиваться из одной моды в другую. Однако это может иметь место, когда волновые векторы внутренней и внешней мод выравниваются. Необходимо отметить также другую особенность исследуемой системы. Волна, которая распространяется по внутреннему каналу, практически полностью отражается от конца волокна, в то время как энергия волны, распространяющейся по внешнему каналу, излучается из вершины волокна. Таким образом, во время эксперимента можно реализовать случай, когда световая волна вводится во внутренний канал, а излучение регистрируется из внешнего канала.

В процессе выхода вершины волокна из жидкости можно получить диэлектрический слой с меняющейся толщиной. Из-за поверхностного натяжения жидкости на вершине волокна формируется мениск. При выходе вершины волокна из поверхности жидкости форма мениска меняется. Поскольку волновой вектор внешней моды существенно зависит от толщины диэлектрического слоя и, следовательно, от формы мениска, то можно найти область, где выравниваются волновые векторы внешней и внутренней мод. В этой области происходит перекачка волновой энергии из одной моды в другую.

В работе изучается возможность резонансного возбуждения внешней волноводной моды в окрестности конусообразной головки оптического волокна, которая покрыта тонкими слоями алюминия и глицерина. Цель эксперимента – обнаружить перекачку волновой энергии из внутренней моды во внешнюю. В результате резонансного возбуждения внешней моды резко возрастает мощность выходного излучения, что и регистрируется.

Эксперимент и обсуждение. Экспериментальная схема представлена на рис. 2.

Излучение полупроводникового лазера с мощностью 30mW и длиной волн 690nm через линзы направляется в оптический волновод диаметром 100мкм .

Конусообразная головка волокна создается описанным в [11] способом. Угол конуса на вершине волокна составляет 16° . Покрыт он слоем алюминия толщиной 80нм . В качестве жидкости используется глицерин. Перемещение

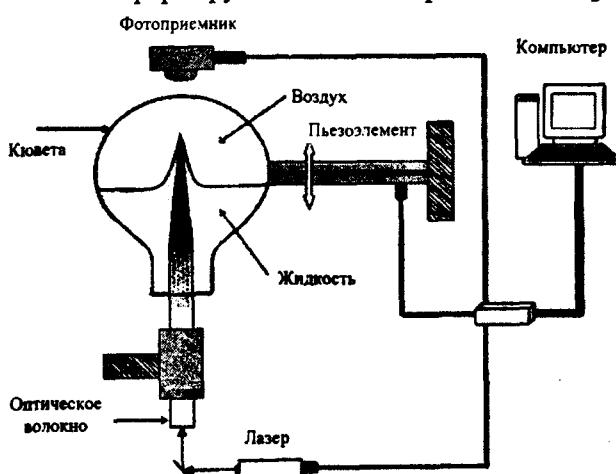


Рис. 2. Схема эксперимента.

вершины в кювете происходит с помощью пьезоэлектрической системы с шагом 10 нм. На каждом шаге выходная мощность измеряется 300 раз и усредняется.

На рис. 3 представлена зависимость выходной мощности излучения от положения вершины относительно поверхности жидкости. В ходе перемещения вершина волокна выходит из жидкости. При этом регистрируется резкий всплеск выходной мощности, что может иметь место в условиях резонансной перекачки волновой энергии из внутренней моды во внешнюю. Этот процесс очень сильно зависит от положения вершины волокна относительно поверхности жидкости. Следовательно, с его помощью можно регистрировать колебания поверхности жидкости с амплитудой до нескольких десятков нанометров. Надо отметить, что тензоэлектрические или пьезоэлектрические приборы позволяют обнаружить только колебания поверхностей твердых тел.

Предложенный метод исследования слабых колебаний поверхности жидкости можно применять при изучении гидродинамических процессов. В частности для моделирования процессов, происходящих на водных поверхностях Земли.

Обсуждаемое явление может также служить основой для обнаружения очень слабых сейсмических волн.

Кафедра радиофизики сверхвысоких
частот и телекоммуникаций

Поступила 11.11.2005

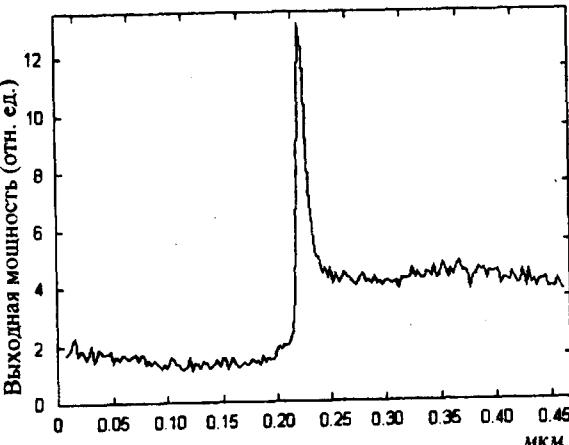


Рис. 3. Зависимость выходной мощности от положения вершины волокна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Udd E. – Rev. Sci. Instrum., 1995, v. 66, p. 4015.
2. Kersey A.D. – Opt. Fiber Technol., 1996, v. 2, p. 291.
3. Jackson D.A. – J. Phys. E. Sci. Instrum., 1985, v. 18, p. 981.
4. Sirkis J.S. Fibre Optic Sensors for Construction Materials and Bridges, 1998, p. 44.
5. Kersey A.D., Berkoff T.A. and Morey W.W. – Opt. Lett., 1993, v. 18, p. 1370–1372.
6. Lissak B., Arie A. and Tur M. – Opt. Lett., 1988, v. 23, p. 1930–1932.
7. Seat H.C., Ouisse E., Morteau E. and Metivier V. – Meas. Sci. Technol., 2003, v. 14, p. 710–716.
8. Christmas S.P. and Jackson D.A. – Meas. Sci. Technol., 2001, v. 12, p. 897–900.
9. Kawata S., Ohtsu M. and Lrie M. Nano-Optics. Springer: Optical Sciences, 2002.

10. Kawata S. Near-field optics and surface plasmon-polaritons. Springer, 2001.
11. Stockle R., Fokas C., Deckert V., Zenobi R., Sick B., Hecht B. and Wild Urs P. – Appl. Phys. Lett., 1999, v. 75, p. 160.

S. A. ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ

ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿ-ՄԵՏԱԼ-ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿ ԿՈՆԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ամփոփում

Ուսումնասիրվել են լուսային ալիքի տարածման առանձնահատկությունները հեղուկի մակերևույթից օպտիկական մանրաթելի մետաղապատ կոնածու զլյախիլի դուրս գալու ընթացքում: Այդ պրոցեսում գրանցվում է ելքային հզորության կտրուկ առկայություն:

Երևույթը հնարավորություն է տալիս գրանցել հեղուկի մակերևույթի քոյլ տատանումները՝ ընդիուպ մինչև մի քանի տասնյակ նանոմետր լայնույթով:

T. A. ABRAHAMYAN

THE OPTICAL PROPERTIES OF CONICAL STRUCTURE DIELECTRIC-METAL-DIELECTRIC

Summary

The features of propagation of light wave on a metal-coated conical tip of optical fiber is considered. During the experiment we detected an output radiation from the tip, when the tip came out from the liquid. The peak of output optical intensity is obtained. This process very essentially depends on the position of the fibre top with the help of which it is possible to find out very weak vibrations of the surface of the liquid.

Химия

УДК 531.1+547.554+661.185+661.312

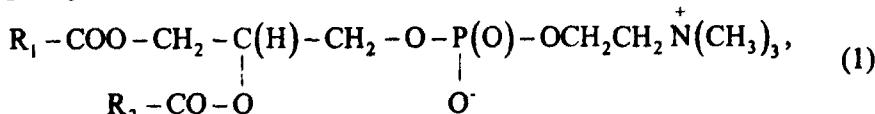
Н. М. БЕЙЛЕРЯН, М. З. АСАТУРЯН

**ВЛИЯНИЕ ДОДЕЦИЛСУЛЬФАТА НАТРИЯ И ХЛОРИДА
ДОДЕЦИЛТРИМЕТИЛАММОНИЯ НА СКОРОСТЬ РЕАКЦИИ
 $H_2O_2 + HOO^-$, ПРОТЕКАЮЩЕЙ В ОБРАТНЫХ ЭМУЛЬСИЯХ,
СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ЛЕЦИТИНОМ**

Показано, что скорость реакции $H_2O_2 + HOO^-$ (W_p) увеличивается при замене водного раствора на обратную эмульсию, стабилизированную лецитином. В этом случае реакция между водорастворимыми реагентами протекает в ядре мицелл. Одной из особенностей лецитина является то, что он поверхностно-активное вещество (ПАВ) цвиттерионного типа. Обе его заряженные головки имеют положительное действие на W_p . Это доказано изучением зависимости W_p от степени их экранирования при добавлении различных количеств ПАВ, в одном случае – анионного (додецилсульфат натрия), в другом – катионного (додецилтритиламмоний хлорид) поочередно. Согласно полученным кинетическим данным, положительно заряженная головка более активна.

При производстве различных веществ следует решить несколько очень важных вопросов, которые идеально решаются в живой природе. Это относится к биологическим процессам, протекающим в клетках. Последние окружены очень тонкими биологическими мембранами, которые считаются молекулярно-организованными системами. Ныне принятая жидкостно-мозаическая структура мембран, предложенная в 1972 г. Сингером и Никельсоном [1]. Структура мембран напоминает структуру мицелл, получаемых растворением различных поверхностно-активных веществ (ПАВ) в соответствующих растворителях, в частности в воде. В живой природе ПАВ, участвующие в образовании мицелл, состоят из полярной «головки» и двух гидрофобных «хвостов»; их представляют так: .

Примером служит фосфатидил холин [лецитин (Лец)]:

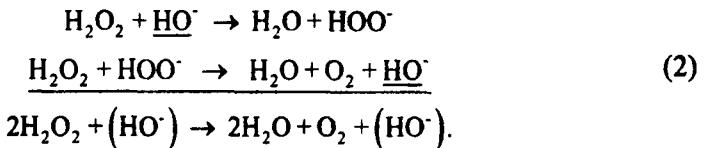


где R_1 – остаток насыщенной (напр., $C_{17}H_{35}$), а R_2 – ненасыщенной жирных кислот. Это вещество является ПАВ цвиттерионного типа. Оно растворимо в

«масле», например в толуоле, циклогексане (ЦГ) и т.д., способно образовывать так называемые обращенные (обратные) эмульсии типа «вода в масле».

С учетом сказанного можно заключить, что молекулярно-организованные системы являются своеобразными средами, в которых можно осуществлять разные химические реакции с целью получения результатов, заслуживающих внимания. Нами использованы именно стабилизированные лецитином обращенные эмульсии в качестве реакционной среды.

Как модельная реакция выбрана система $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{HO}^-$. Суммарная реакция состоит из следующих актов:



Выбор H_2O_2 как объекта исследования весьма обоснован. Дело в том, что он играет существенную роль в природных процессах, способствующих самоочистке природных водных бассейнов [2, 3], при фотосинтезе кислорода [4], как агент, вызывающий окислительный стресс при патогенезе ряда заболеваний, напр. диабета [5]. H_2O_2 имеет большое применение в промышленности как отбеливающее средство [6, 7]. Он давно известен как сильный антисептик [8].

При изучении этого процесса нами показано [9], что независимо от природы ПАВ зависимость скорости реакции (W_p) от $[\text{ПАВ}]_o$ изображается кривой, проходящей через минимум при $[\text{ПАВ}]_o = \text{ККМ}$ (критическая концентрация мицеллообразования). Было заключено, что прямые мицеллы типа «масло в воде» являются благоприятными средами для реакции $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{HO}^-$. В той же работе установлено также, что обращенные мицеллы оказывают более положительное действие на W_p . Они были получены с использованием АОТ (сульфонат натрия бис-2-этилгексил янтарной кислоты) и Лец. Последний оказался более активным. Этот факт нами объяснялся тем, что Лец, будучи цвиттерионным ПАВ (1), способствует активизации как H_2O_2 на отрицательно (-) заряженной головке $\left(\begin{array}{c} -\text{P}(\text{O})-\text{O}^\cdot \\ | \end{array} \right)$, так и HO^- на положительно (+) заряженной головке $\left(\begin{array}{c} \text{N}^+ \\ | \end{array} \right)$.

Чтобы проверить эту гипотезу изучалось действие додецилсульфата натрия (ДДС) как анионного ПАВ и хлорида додецилtrimетиламмония (ДТАХ) как катионного ПАВ, которые в принципе могут экранировать и (+) заряженные, и (-) заряженные головки. Данная работа посвящена проверке правдоподобности выдвинутой гипотезы путем проведения вышеупомянутых опытов.

Экспериментальная часть. На основании (2), газометрически определяли объем выделившегося кислорода (V_{O_2} , мл) в течение времени, а из ки-

нетической кривой определяли W_p (мл/мин). Подробности проведения экспериментов описаны в [10]. Объем реактора 4,0 мл. Погрешность в определении W_p не больше 2%. Исходные растворы: $[H_2O_2]_0 = 1M$, $[NaOH]_0 = 1M$, $[Леп]_0 = 0,017M$ (>ККМ) в ЦГ – раствор А, $[ДДС]_0 = 8 \cdot 10^{-3} M$ (=ККМ) – раствор Б, $[ДТАХ]_0 = 8 \cdot 10^{-3} M$ (чуть меньше ККМ) – раствор В [11].

Температура поддерживалась постоянной и равной $25 \pm 0,2^\circ C$ ($T=298K$).

Результаты и обсуждение. Все опыты проводились в одном и том же реакторе, т.к. природа поверхности имеет определяющее действие на кинетику распада H_2O_2 [8]. Перед каждым опытом ставился «слепой опыт» без добавок, чтобы убедиться в адекватности всех начальных условий. Специальным опытом было установлено, что присутствие одного ЦГ практически не влияет на скорость реакции $H_2O_2 + HO^-$. Полученные кинетические данные проиллюстрированы на соответствующих кривых рисунка 1.

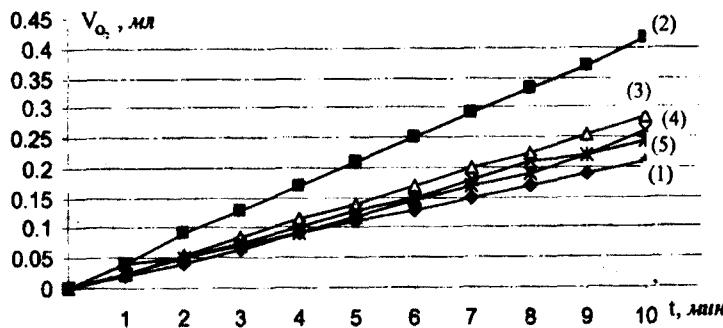


Рис. 1. Кинетические кривые распада H_2O_2 при различных степенях экранирования положительно заряженной головки. Для всех опытов к 0,6 мл $[H_2O_2]_0 + 0,3$ мл $[NaOH]_0$ добавляется: (1) 2,1 мл $H_2O + 1$ мл ЦГ; (2) 2,1 мл $H_2O + 1,0$ мл из раствора А (степень экранирования $a=0$); (3) 0,7 мл из раствора Б + 1,4 мл $H_2O + 1$ мл из раствора А ($a=33\%$); (4) 1,4 мл из раствора Б + 0,7 мл $H_2O + 1$ мл из раствора А ($a=66,7\%$); (5) 2,1 мл из раствора Б + 1 мл из раствора А ($a=100\%$).

Как следует из рис. 1, все кинетические кривые – прямые линии. Тангенс угла наклона этих прямых равен W_p , выраженной в мл/мин.

Согласно [10], W_p максимальна при $[H_2O_2]_0 / [HO^-] = 2:1$. По схеме (2) HO^- не расходуется, т.о. в течение времени отношение $[H_2O_2]_0 / [HO^-]$ уменьшается. Это приводит к тому, что идет реакция



Казарновским [12] установлено, что по отношению к распаду H_2O_2 дианион O_2^{2-} менее активен, чем анион HO^- . По этой причине при относительно больших глубинах реакции создается новая ситуация, приводящая к ее замедлению из-за замены HO^- на O_2^{2-} . Для того, чтобы избежать этого осложнения, мы вынуждены ограничиваться малыми превращениями.

- На основании рис. 1 составлена табл. 1.

Таблица 1

Зависимость W_p от степени экранирования положительно заряженных головок

a, %	0	33	67	100	без добавок
10 W_p , мл/мин	0,41	0,29	0,26	0,24	0,21

Из этих данных следует, что, во-первых, в обращенных мицеллах W_p почти в два раза больше, чем в водных растворах, во-вторых, экранирование (+) заряженных головок действительно приводит к уменьшению положительного действия Лец.

Вторая серия опытов относится к изучению влияния степени экранирования (-) заряженных головок в молекуле Лец добавками различных количеств ДТАХ.

Ввиду того, что полученные закономерности однотипные, приводятся итоговые результаты (табл. 2).

Таблица 2

Зависимость W_p от степени экранирования отрицательно заряженных головок

a, %	0	33	67	100	без добавок
10 W_p , мл/мин	0,41	0,36	0,32	0,30	0,21

Итоговые данные таблиц 1 и 2 представлены на рис. 2. Из приведенных двух кривых однозначно следует, что обе головки действительно положительно действуют на реакцию $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{HO}^-$, причем (+) заряженная головка более активна.

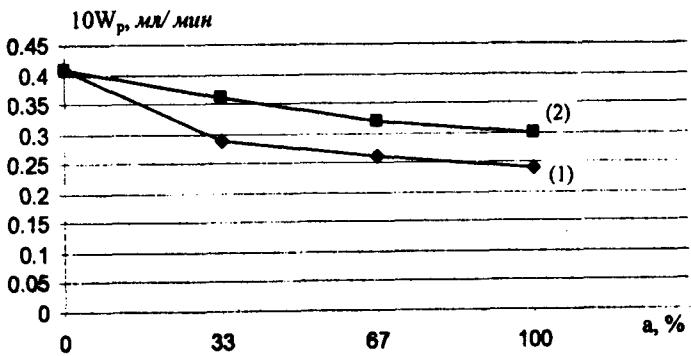


Рис. 2. Зависимости скорости реакции от степени экранирования положительно заряженной головки (кр. 1) и отрицательно заряженной головки (кр. 2).

Интересные данные получены при 100%-ом экранировании обеих головок (табл. 3).

Эти кинетические данные удовлетворяют уравнению прямой линии, проходящей через начало координат, из которой следует, что $W_p = 0,030 \text{ мл/мин}$.

Таблица 3

t, мин	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V, мл	0	0,03	0,065	0,09	0,12	0,15	0,18	0,215	0,245	0,275	0,305

Условия опытов: 0,6мл [H₂O₂]₀+0,3мл [NaOH]₀+1,05мл раствора Б+1,05мл раствора В+0,5мл раствора А+0,5мл ЦГ.

С учетом этих данных можно убедиться в том, что хотя наблюдается некоторое уменьшение W_p, тем не менее она больше, чем в случае, когда в системе полностью отсутствуют мицеллы ПАВ. Принимая во внимание факт о том, что ККМ смесей ПАВ значительно меньше ККМ отдельно взятых ПАВ [13–15], можем утверждать, что и в данном случае реакционная среда в основном состоит из мицелл. В пользу этого предположения говорят и следующие кинетические данные, полученные в отсутствие Лец и в присутствии эквимолярной смеси ДДС+ДТАХ (табл. 4).

Таблица 4

t, мин	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V, мл	0	0,03	0,055	0,085	0,11	0,14	0,17	0,2	0,22	0,25	0,28

Условия опытов: 0,6мл [H₂O₂]₀+0,3мл [NaOH]₀+1мл воды+1,05мл раствора Б+1,05мл раствора В.

Таким образом можно заключить, что ядро мицелл типа «вода в масле» – благоприятная среда для проведения реакции H₂O₂ + HOО⁻, кроме того, гипотеза о том, что обе заряженные головки в молекуле Лец оказывают положительное действие на скорость реакции H₂O₂ + HOО⁻, правдоподобна, причем (+) заряженная головка более активна.

Кафедра физической и коллоидной химии

Поступила 23.06.2005

ЛИТЕРАТУРА

- Лелинджер А. Основы биохимии. Т. I. М.: Мир, 1985.
- Скурлатов Ю.И. – Успехи химии, 1991, т. 60, вып. 3, с. 575.
- Штамм Е.В., Пурмаль А.П., Скурлатов Ю.И. – Успехи химии, 1991, т. 60, с. 2373.
- Самуилов В.Д. – Биохимия, 1997, т. 62, вып. 5, с. 531.
- Vincent A.D., Russell I.W., Low P.H., Feldman E.L. – Endocrine Reviews, 2004, v. 25, № 4, p. 612.
- Chang P.B.L., Joung Th.M. – Water Research, 2000, v. 34, № 8, p. 2233.
- Mohey El-Dein A., Libra J.A., Wiesmann U. – Water Science and Technology, 2001, v. 44, № 5, p. 295.
- Шамб У., Сеттерфилд В., Вентворс Р. Перекись водорода. М.: ИЛ, 1958.
- Бейлерян Н.М., Асатуриян М.З. – Ученые записки ЕГУ, 2005, № 1, с. 58.
- Beylerian N.M., Asatryan M.Z. – Oxid. Commun., 2004, v. 27, № 2, p. 269.
- Поверхностно-активные вещества. Справочник под ред. Абрамзона А.А., Л.: Химия, 1979.
- Казарновский И.А. – ДАН СССР, 1952, т. 86, с. 717 и 1975, т. 221, с. 353.
- Вережников В.Н., Кашлинская П.Е., Гараева Н.Г. – Колл. ж., 1974, т. 36, с. 493.

14. Арутюнян Р.С., Атанесян Е.Н., Бейлерян Н.М. – Ученые записки ЕГУ, 1977, № 2, с. 88.
 15. Harrington K.L., Kaler E.W. – J. Phys. Chem., 1993, v. 97, p. 13792.

Ն. Մ. ԲԵՅԼԵՐՅԱՆ, Մ. Զ. ԱՍԱՏՈՒՐՅԱՆ

ՆԱՏՐԻՈՒՄԻ ԴՈԴԵՑԻԼՈՒՖԱՏԻ ԵՎ ԴՈԴԵՑԻԼՏՐԻՄԵԹԻԼ-
 ԱՍՊՈՆԻՈՒՄԻ ՔԼՈՐԻԴԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԼԵՑԻՏԻՆՎ
 ԿԱՅՈՒՏԱՑՎԱԾ ԾՐՁՎԱԾ ԷՄՈՒԼՍԻԱՅՈՒՄ ԸՆԹԱՑՈՂ
 $H_2O_2 + HOO^-$ ՌԵԱԿՑԻԱՅԻ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ

Ամփոփում

Ցույց է տված, որ $H_2O_2 + HOO^-$ ռեակցիայի արագությունը լեցիտինով կայունացված շրջկած է նույսիայում ավելի մեծ է, քան ջրային լուծույթում: Այս դեպքում ռեակցիան ընթանում է միցելերի միջուկում: Լեցիտինի առանձնահատկություններից մեկն այն է, որ դա ցվիտերինային մակերևութային ակտիվ նյութ է (ՍԱՆ): Դրա մոլեկուլում գյուրյուն ունեցող դրական և բացասական լիցք կրող գլխիկները դրական ազդեցություն ունեն նշված ռեակցիայի արագության վրա: Այս եզրակացության հաստատման համար որոշակի քանակներով անիոնային (նատրիումի դրդեցիլուոլֆատ) և կատիոնային (դրդեցիլորիմեթիլամոնիումի քլորիդ) ՍԱՆ-երի հավելույթների միջոցով յուրաքանչյուր գլխիկը տարբեր աստիճաններով էլիմանացվել է և զազաշափական մերդով որոշվել է ռեակցիայի արագության կախումը էլիմանացման աստիճանից: Հատ ստացված կիմետրիկական տվյալների՝ երկու տիպի գլխիկներն են ակտիվ են, բայց առավել ակտիվ է դրական լիցք կրող:

N. M. BEYLERIAN, M. Z. ASATURYAN

THE INFLUENCE OF SODIUM DODECYL SULFATE AND DODECYL- TRIMETHYLAMMONIUM CHLORIDE ON THE $H_2O_2 + HOO^-$ REACTION RATE IN INVERSE EMULSIONS STABILIZED BY LECITIN

Summary

It is shown that the $H_2O_2 + HOO^-$ reaction rate is more in inverse emulsions stabilized by lecithin (Le) than in water solutions. In this case the reaction occurs in micelles nucleus. One of the Le's peculiarities is that it is a zwitterion type surfactant. In its molecule there are (-) and (+) charged «heads» which act on the cited reaction rate. This conclusion is verified adding different quantities of anionic (sodium dodecyl sulfate) and cationic (dodecyltrimethylammonium chloride) surfactants isolating in turn both charged heads with different extents and studying the reaction rate dependence on the isolation degree. The reaction rate is determined measuring the volume of the evolved oxygen. According to obtained kinetic data both «heads» are active, but the (+) charged head is more active.

Химия

УДК 541.8:541.135

Л. Г. МЕЛИК-ОГАНДЖАНЯН, Л. А. НЕРСЕСЯН, Ш. А. МАРКАРЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
ВИТАМИНА Е С ДИМЕТИЛ-, ДИЭТИЛСУЛЬФОКСИДАМИ МЕТОДОМ
ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Исследованы ИК-спектры поглощения витамина Е в присутствии диметил-, диэтилсульфоксидов в четыреххлористом углероде (CCl_4). Показано, что комплексообразование витамина Е с диметил-, диэтилсульфоксидами происходит за счет образования водородной связи между водородом гидроксильной группы витамина Е и кислородом сульфоксидной группы сульфоксидов.

Определены константы равновесия (K_p) комплексов витамина Е с диметилсульфоксидом ($K_p=13,2\text{ л/моль}$) и диэтилсульфоксидом ($K_p=18,2\text{ л/моль}$) при $23^{\circ}C$.

Введение. Известно, что витамины группы Е или токоферолы регулируют множество жизненно важных процессов, а его недостаток в организме человека приводит к нарушению деятельности многих органов и тканей [1] и характеризуется торможением превращения метионина в цистин. Витамин Е восстанавливает этот процесс и увеличивает содержание глутатиона в печени. Это приобретает практический интерес, поскольку в условиях дефицитного питания цистин становится незаменимой аминокислотой, экзогенная потребность в которой возрастает. Токоферолы активно участвуют в метаболизме растений, в фотосинтезе, а окисленные их формы выполняют функции переносчиков кислорода к цитохрому. Сейчас, наряду с интенсивной разработкой способов получения токоферолов и их производных [2], активно исследуются и механизмы их действия на многие функции живого организма [3, 4]. Велика роль токоферола в регуляции процесса перекисного окисления липидов – взаимодействия со свободными радикалами, он эффективно подавляет образование перекисей [5, 6].

В последнее время возрос интерес к исследованию комплексных соединений витамина Е с металлоорганическими соединениями, бензохиноном [7, 8].

Многие исследователи считают, что биологическая активность токоферолов зависит от комплекса функциональных групп соединения. Известны

также данные о совместном использовании диметилсульфоксида (ДМСО) с антибиотиками, сульфаниламидными препаратами при лечении многих болезней [9, 10].

Имея ввиду биологическую активность как витамина Е, так и ДМСО, можем ожидать синергический эффект их действия при совместном использовании. Механизм этого взаимодействия до сих пор еще не изучен.

Поэтому целью нашей работы было изучение взаимодействия витамина Е с диметил-, диэтилсульфоксидами методом ИК-спектроскопии.

Экспериментальная часть. ИК-спектры исследуемых образцов регистрировали с помощью спектрометров Specord 75 IR и Nicolet\FT-IR NEXUS в области $4000\text{--}400\text{cm}^{-1}$. Для обработки спектров Фурье использовали программу OMNIK.

Использовались неразборные кюветы разной толщины с окнами из NaCl и KBr. Спектры регистрировали при температуре 23°C . Все растворители были тщательно очищены. ДМСО сушили над LiH и перегоняли через молекулярное сито, а диэтилсульфоксид (ДЭСО) был синтезирован и очищен согласно [11]. Витамин Е получен конденсацией триметил-*p*-гидрохинона с изофитолом. Чистота синтезированного α -токоферола проверялась методами ЯМР, ИК, ГЖХ.

При исследовании взаимодействия витамина Е с диалкилсульфоксидами особое внимание нами было уделено полосам поглощения сульфоксидной группы ($\text{S}=\text{O}$) в диалкилсульфоксидах и гидроксильной группы (OH) витамина Е, так как именно они подвержены изменениям при комплексообразовании.

Изучены растворы витамина Е в гексане, циклогексане, толуоле, ацетонитриле, хлороформе, тетрахлоруглероде в интервале концентраций $0,004\text{--}0,12\text{моль/л}$. Эталоном сравнения служила кювета с растворителем.

Результаты и обсуждение. Установлено, что во всех растворителях при концентрациях витамина Е (ВЕ) $0,004\text{--}0,06\text{моль/л}$ в спектре наблюдается одиночная узкая полоса поглощения валентного колебания свободных OH-групп, однако в тетрахлоруглероде при концентрации ВЕ больше $0,02\text{моль/л}$ кроме нее наблюдается еще и полоса поглощения связанных в димеры OH-групп в области 3580cm^{-1} . Следует отметить также, что при концентрации ВЕ выше $0,06\text{моль/л}$ во всех растворителях наблюдается широкая полоса поглощения в области $3480\text{--}3420\text{cm}^{-1}$, соответствующая более сложным ассоциатам ВЕ, поэтому спектральные характеристики, приведенные в таблице, охватывают интервал концентраций $0,004\text{--}0,06\text{моль/л}$.

*Спектральные характеристики витамина Е в различных растворителях
($C_{\text{BE}}=4 \cdot 10^{-3}\text{--}6 \cdot 10^{-2}\text{моль/л}$)*

Растворители	$\nu_{\text{OHсвоб.}} \text{cm}^{-1}$	$\epsilon, \text{л/моль}\cdot\text{см}$
хлороформ	3613	45,2
циклогексан	3635	49
ацетонитрил	3627	54,3
гексан	3638	56,2
толуол	3600	72,2
тетрахлоруглерод	3628	76

Коэффициенты экстинкции рассчитаны по наклонам прямых зависимостей оптических плотностей свободных OH-групп ВЕ от его концентрации.

Далее нами были сняты ИК-спектры растворов сульфоксидов в CCl_4 в интервале концентраций 0,01–0,1 моль/л. Установлено, что в указанном интервале концентраций сохраняется закон Бера. Полоса поглощения свободной группы S=O в растворе ДМСО наблюдалась при 1072cm^{-1} , а в растворе ДЭСО при 1066cm^{-1} .

Для изучения комплексообразования между сульфоксидами и витамином Е в CCl_4 концентрацию ВЕ оставляли постоянной, равной 0,02 моль/л, а концентрацию сульфоксидов меняли от 0,01 до 0,1 моль/л. Эталоном сравнения служил 0,02M раствор ВЕ в CCl_4 .

В ИК-спектрах систем ВЕ–диалкилсульфоксиды проявляется широкая полоса поглощения OH-группы с максимумом в области 3342cm^{-1} для системы ВЕ–ДМСО– CCl_4 и 3332cm^{-1} для ВЕ–ДЭСО– CCl_4 . Эти полосы обнаруживаются при концентрациях сульфоксидов 0,01 моль/л и выше и обусловлены образованием комплекса с водородной связью между кислородом S=O-группы сульфоксидов и водородом OH-группы витамина Е (поскольку в спектрах чистых растворов как сульфоксидов, так и ВЕ эти полосы отсутствовали). Аналогичная картина наблюдалась и при нашем исследовании взаимодействия холестерина с ДМСО и ДЭСО [12] с той лишь разницей, что полосы поглощения их комплексов находились в более высокочастотной области.

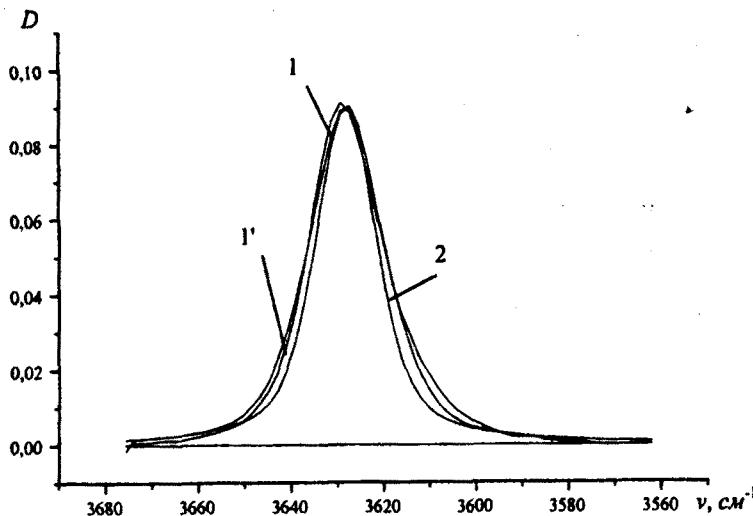


Рис. 1. Полосы поглощения свободных гидроксильных групп в 0,008M растворе витамина Е в CCl_4 : 1 – экспериментальная кривая; 1' – теоретическая; 2 – результат разделения спектров на составляющие.

Для определения константы комплексообразования ВЕ с ДМСО и ДЭСО нами выбраны такие концентрации реагирующих веществ, при которых преимущественно сохраняется их мономерная форма.

Константу равновесия образования водородного комплекса ВЕ с ДМСО и ДЭСО рассчитывали по следующей формуле [13]:

$$K_p = \frac{1-\alpha}{\alpha [C_{\text{сульфоксид}}^0 - C_{BE}^0 (1-\alpha)]}, \quad (1)$$

$$\alpha = C_{BE} / C_{BE}^0 = D / D_0, \quad (2)$$

где D_0 и D – оптические плотности в максимуме полосы поглощения ν_{OH} мономерных молекул ВЕ до и после прибавления в раствор ДМСО или ДЭСО; C_{BE} и C_{BE}^0 – равновесная и исходная концентрация мономерных молекул ВЕ; $C_{\text{сульфоксида}}^0$ – исходная концентрация ДМСО или ДЭСО.

Для определения D_0 снимали спектры растворов ВЕ в CCl_4 ($C_{BE}^0 = 0,008 \text{ моль/л}$) при $23^\circ C$, кюветой сравнения служил растворитель, $D_0 = 0,09$ (рис. 1).

Для расчета D при той же температуре снимали спектры поглощения комплексов в тройных системах ВЕ–ДМСО– CCl_4 и ВЕ–ДЭСО– CCl_4 , в которых концентрация ВЕ составляла $0,008 \text{ моль/л}$, а концентрация сульфоксидов – $0,04 \text{ моль/л}$. В кювete сравнения был раствор сульфоксида той же концентрации, что и в измерительной кювете.

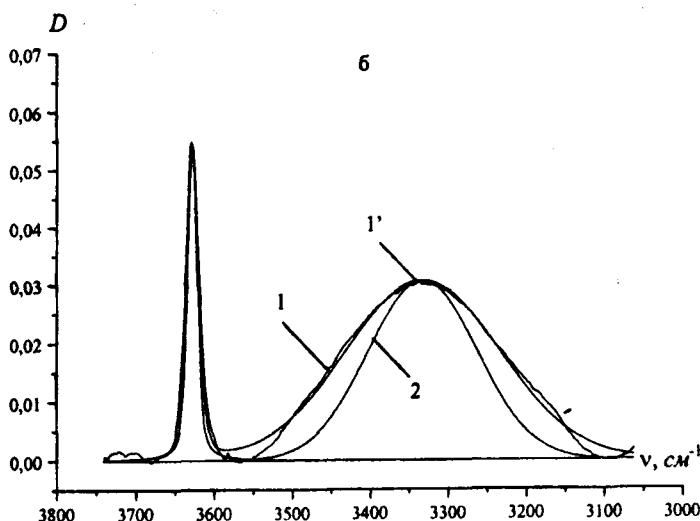


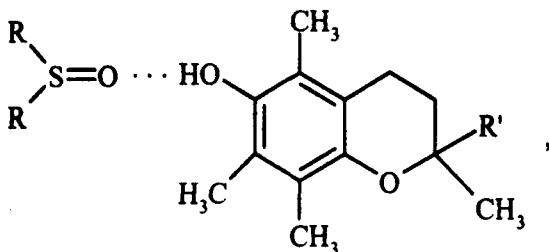
Рис. 2. Полосы поглощения свободных и связанных гидроксильных групп в комплексах ДМСО–ВЕ (а) и ДЭСО–ВЕ (б): 1 – экспериментальная кривая; 1' – теоретическая; 2 – результат разделения спектров на составляющие.

в кювете сравнения был раствор сульфоксида той же концентрации, что и в измерительной кювете.

На рис. 2 приведены полосы поглощения свободных и связанных OH-групп для комплексов ДМСО–ВЕ (а) и ДЭСО–ВЕ (б) в CCl_4 . Подставляя полученные значения D в (2), получаем $\alpha=0,67$ для комплекса ДМСО–ВЕ и $\alpha=0,6$ для комплекса ДЭСО–ВЕ, с помощью которых по (1) рассчитываем

константы комплексообразования: $K_p=13,2\text{л}/\text{моль}$ для комплекса ДМСО–ВЕ и $K_p=18,2\text{л}/\text{моль}$ для комплекса ДЭСО–ВЕ.

С помощью программы Link Fit спектры были разложены на составляющие. Как видно из рис. 2, в области полос поглощения свободных и связанных в комплексы с ДМСО и ДЭСО гидроксильных групп наблюдалась полоса с одним максимумом при 3342cm^{-1} для комплекса ДМСО–ВЕ и при 3332cm^{-1} для комплекса ДЭСО–ВЕ, что, очевидно, можно объяснить образованием комплекса с соотношением компонентов 1:1:



где $R = \text{CH}_3$ или C_2H_5 , а $R' = (-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3)_3-\text{CH}_3$.



Исследование спектров эквимолярных растворов сульфоксидов с витамином Е в соотношении $0,04M:0,04M$ показало, что максимумы полос поглощения гидроксильных групп, связанных в комплексы с сульфоксидами, наблюдались при тех же значениях: $\nu_{\text{max}}=3342\text{cm}^{-1}$ (ДМСО) и 3332cm^{-1} (ДЭСО). Сдвиг частоты OH-группы для комплекса ДМСО–ВЕ составлял 28cm^{-1} , а для комплекса ДЭСО–ВЕ – 29cm^{-1} , об образовании комплекса свидетельствует и сдвиг частоты S=O-группы в низкочастотную область: для комплекса ДМСО–ВЕ он составил 22cm^{-1} , а для комплекса ДЭСО–ВЕ – 26cm^{-1} .

При более высоких концентрациях реагирующих веществ возможны комплексы и других составов.

ЛИТЕРАТУРА

- Надиров Н.К. Токоферолы – биологически активные вещества. М.: Знание, 1981.
- Rosenau T. and Habicher W.D. – Tetrahedron Letters, 1997, v. 38, № 34, p. 5959–5960.
- Masahiro T. – Nagoya Med. J., 1981, v. 25, p. 85–89.
- Меерсон Ф.З., Белкина Л.М., Уголов А.А. – Кардиология, 1980, т. 20, с. 81–86.
- Иванов И.И., Мерзляк М.Н., Тарусов Б.Н. Биоантиокислители. М.: Наука, 1975, с.30–52.
- Bowry V.W. and Stocker R. – J. Am. Chem. Soc., 1993, v. 115, p. 6029–6044.
- Radski S. and Krausz P. – Monatshefte fur Chemie, 1995, v. 126, p. 51–59.
- Xiang-Yuan Li., Chun-Xiu Hu., Meng-Long Li., Zhi-Gang Liu. – J. of Molecular Structure (Theochem), 2004, v. 674, p. 257–266.
- Даниленко М.В., Туркевич Н.М. Клиническое применение ДМСО. Киев, 1976, с. 17–44.
- Govronski J.K., Polonski and Lighter D.A. – Tetrahedron, 1990, v. 46, № 24, p. 8053–8066.

11. **Маркарян Ш.А., Тадевосян Н.Ц.** Получение и очистка ДЭСО. Патент РА, 2002, № Р20000141.
12. **Мелик-Оганян Л.Г., Маркарян Ш.А.** – Ж. прикл. спектр., 2001, т. 68, № 5, с. 670–672.
13. **Пилигин В.С., Васин С.В.** – ЖХХ, 1979, т. 49, с. 2056–2063.

Լ. Գ. ՄԵԼԻՔ-ՕՀԱՆՅԱՆՆԵԱՆ, Լ. Ա. ՆԵՐՍԵՍՅԱՆ, Շ. Ա. ՄԱՐԿԱՐՅԱՆ

**ԵՎԻՏԱՄԻՆԻ ԵՎ ԴԻՄԵԹԻԼ-, ԴԻԷԹԻԼՍՈՒՓՈՖՈԽՈԴԻ ՄԻՋԵՎ
ՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ՓՈԽԱԶԴԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒ-
ԹՅՈՒՆԸ ԻԿ ՍՊԵԿՏՐՈՍԿՈՊԻԱՅԻ ՄԵԹՈԴՈՎ**

Ամփոփում

Ուսումնասիրվել են Ե վիտամինի կլանման և սպեկտրները տեսրաբլորածիսածնի մեջ դիմեթիլ-, դիէթիլսուփօքսիդների առկայությամբ:

Ցույց է տրվել, որ կոմպլեքսագոյացումը Ե վիտամինի և սուլֆօքսիդի միջև տեղի է ունենում Ե վիտամինի հիդրօքսիլ խմբի ջրածնի և սուլֆօքսիդային խմբի թթվածնի միջև առաջացած ջրածնական կապի հաշվին:

23°C ջերմաստիճանում որոշվել են առաջացած կոմպլեքսների հավասարակշռության հաստատութերը (K_p), ըստ որում՝ Ե վիտամինի դիմեթիլսուլֆօքսիդային կոմպլեքսի $K_p=13,2/l/mol$, իսկ դիէթիլսուլֆօքսիդային կոպլեքսի $K_p=18,2/l/mol$:

L. G. MELIK-OHANJANIAN, L. A. NERSESIAN, Sh. A. MARKARIAN

INVESTIGATION OF THE INTERMOLECULAR INTERACTION OF VITAMIN E WITH DIMETHYL-, DIETHYLSULPHOXIDS BY IR-SPECTROSCOPY

Summary

Absorbed IR spectrums of vitamin E in presence of dimethyl-, diethyl-sulphoxides in CCl_4 have been investigated. It has been shown that complex-formation of vitamin E with sulphoxides is the result of formation of hydrogen bond between hydrogen of vitamin E hydroxyl group and oxygen of the sulphoxides $\text{S}=\text{O}$ group.

It have been established the equilibrium constants (K) of vitamin E complexes with dimethyl sulphoxide ($K=13,2 l/mol$) and diethylsulphoxide ($K=18,2 l/mol$) at 23°C .

Химия

УДК 541.49:546.56

Э. Е. КАПАНЦЯН, Г. М. ЗЕЙТАГЯН, Р. А. САРКИСЯН, С. К. ГРИГОРЯН

КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ ХРОМА(III) С САЛИЦИЛАТОМ НАТРИЯ
В ВОДНОМ РАСТВОРЕ

Спектрофотометрическим методом изучено комплексообразование хрома(III) с салицилатом натрия. Установлено, что имеет место ступенчатое комплексообразование. Определены состав и константы неустойчивости образующихся комплексов.

В растворах d-элементы способны к образованию гидролитических полиядерных соединений и гидрокомплексов различного состава, определяющих реакционную способность этих элементов [1]. Сведения об ионном состоянии элементов, в частности Cr^{3+} , в растворах необходимы для изучения химизма образования и прочности их комплексных соединений с различными лигандами [2, 3].

В настоящей работе изучено состояние иона хрома(III) в сернокислых растворах, а также его комплексообразование с гидросалицилатом натрия.

Экспериментальная часть и обсуждение. Опыты проводились при температуре 293К. Спектры поглощения снимались на спектрофотометре СФ-46 с использованием кварцевых кювет с $l=1,0\text{ см}$ в интервале длин волн 270–320нм.

Установлено, что в интервале концентраций H_2SO_4 0,02–0,08N оптическая плотность растворов прямо пропорциональна концентрации хрома при ее изменении от $1 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-2}\text{ моль/л}$, а это указывает на отсутствие полимеризации хрома при таких концентрациях.

При изучении комплексообразования необходимо выбрать участок кислотности, при котором исследуемый ион металла находится в мономерном состоянии. С этой целью изучалось изменение оптической плотности растворов при постоянном значении концентрации хрома ($2 \cdot 10^{-4}\text{ моль/л}$) и переменной концентрации серной кислоты (рис. 1) при $\lambda=310\text{нм}$, т.к. при этой длине волны наблюдается максимальное поглощение. Оптимальная кислотность приходится на $\text{C}_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ в интервале 0,048–0,07моль/л.

Для определения состава комплекса использовали метод изомолярных серий [4]. Нами использованы эквимолярные концентрации растворов Cr(III) и гидросалицилата натрия – $2 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Готовили серию растворов, сохраняя постоянными общий объем (50 мл) и суммарную концентрацию ($C_{Cr^{3+}} + C_{HSal} = const$). На основании опытных данных получена диаграмма состава образующегося комплекса (рис. 2), где значение максимального поглощения показывает, что мольное соотношение $HOC_6H_4COO^-/Cr^{3+}$ равно 3:1.

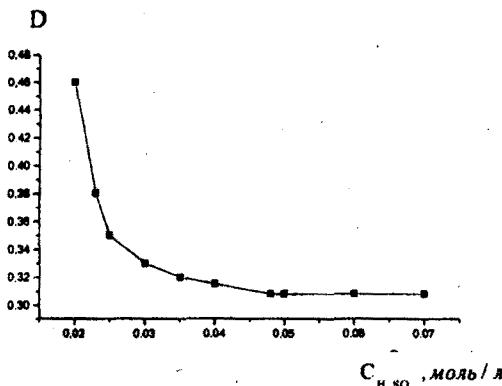


Рис. 1. Зависимость оптической плотности от концентрации серной кислоты $\lambda=310\text{нм}$.

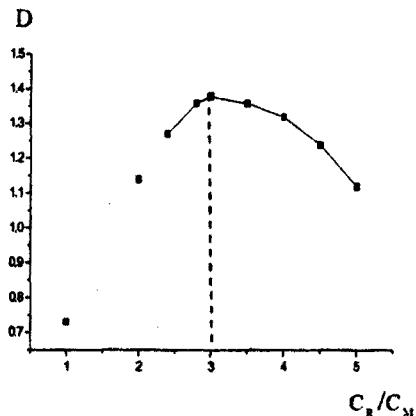


Рис. 2. Диаграмма состава комплекса в системе $Cr^{3+}-HSal^-$.

Для подтверждения достоверности этого соотношения использовали также метод сдвига равновесия. Согласно реакции $MeR_n \rightleftharpoons Me^{n+} + nR^-$, константа неустойчивости комплекса MeR_n (n – число координированных молекул) будет следующей:

$$K = \frac{[Me^{n+}][R^-]^n}{[MeR_n]} \quad (1)$$

Логарифмируя выражение (1), получим

$$\lg \frac{[MeR_n]}{[Me^{n+}]} = n \lg [R] - \lg K \quad (2)$$

Выражение $\lg \frac{[MeR_n]}{[Me^{n+}]}$ можно заменить $\lg \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{max} - \varepsilon}$, где ε – коэффициент молярного поглощения комплекса при определенном значении концентрации лиганда, ε_{max} – при полном насыщении лигандом.

Из графической зависимости $\lg \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{max} - \varepsilon} = f(\lg [R])$ можно вычислить n по тангенсу угла наклона прямой:

$$n = \lg \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{max} - \varepsilon} / \lg (R) = \operatorname{tg} \alpha \quad (3)$$

Готовили серию растворов с постоянной концентрацией Cr(III) ($1 \cdot 10^{-4}$ моль/л) и серной кислоты (0,05 моль/л) и переменной концентрацией гидросалицилата натрия. На основании опытных данных рассчитаны молярные коэффициенты поглощения растворов и построен график насыщения, т.е. $\epsilon \cdot 10^{-3}$

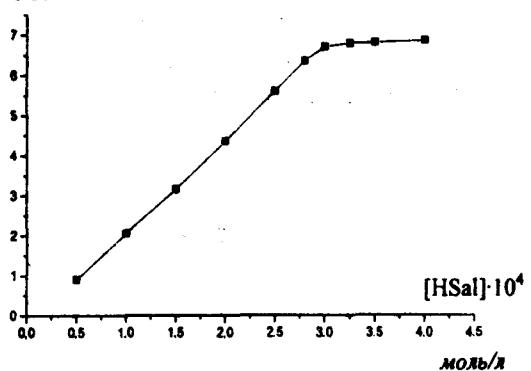


Рис. 3. Зависимость $\epsilon = f(C_R)$, $\lambda = 310\text{nm}$.
представлены в таблице. 1. При начальных условиях $[Cr^{3+}]_0 = 1 \cdot 10^{-4}$ моль/л, $\epsilon_{max} = 6,9 \cdot 10^3$ л/моль·см и табличных данных получаем среднее значение для $K = 2,5 \cdot 10^{-14}$.

зависимости $\epsilon = f(C_R)$ при $\lambda = 310\text{nm}$ (см. рис. 3).

Из рисунка следует, что $\epsilon_{max} = 6,9 \cdot 10^3$ л/моль·см, а это соответствует образованию комплекса $[Cr(HSal)]_3^0$. На основании опытных данных рассчитаны число лигандов, связанных с комплексообразователем, и общая константа неустойчивости образующегося комплекса (K). Рассчитанные по уравнениям (2) и (3) данные

Таблица 1

Расчетные данные для определения числа связанных лигандов и константы неустойчивости комплекса

$[HSal]$, моль/л	$lg[HSal]$	ϵ , л/моль·см	$\frac{\epsilon}{\epsilon_{max} - \epsilon}$	$lg \frac{\epsilon}{\epsilon_{max} - \epsilon}$	$\frac{\epsilon_{max} - \epsilon}{\epsilon}$	$K = \frac{\epsilon_{max} - \epsilon}{\epsilon} \times \frac{1}{[HSal]^3[H^+]^2}$
$0,5 \cdot 10^{-4}$	4,3	$0,96 \cdot 10^3$	0,16	-0,79	6,18	$0,77 \cdot 10^{-14}$
$1,0 \cdot 10^{-4}$	4,0	$2,24 \cdot 10^3$	0,84	-0,32	2,08	$2,08 \cdot 10^{-14}$
$1,5 \cdot 10^{-4}$	3,82	$3,01 \cdot 10^3$	0,77	-0,11	1,29	$4,34 \cdot 10^{-14}$
$2,0 \cdot 10^{-4}$	3,69	$4,03 \cdot 10^3$	1,4	0,14	0,71	$5,68 \cdot 10^{-14}$
$2,5 \cdot 10^{-4}$	3,6	$5,66 \cdot 10^3$	4,56	0,66	0,22	$3,43 \cdot 10^{-14}$
$3,0 \cdot 10^{-4}$	3,52	$6,68 \cdot 10^3$	30,36	1,48	0,033	$0,89 \cdot 10^{-14}$
$3,5 \cdot 10^{-4}$	3,45	$6,78 \cdot 10^3$	56,5	1,75	0,018	$0,79 \cdot 10^{-14}$

По расчетным данным на рисунке 4 представлена зависимость $lg \frac{\epsilon}{\epsilon_{max} - \epsilon} = f(-lg[HSal])$, на основании которой число координируемых молекул равно 3.

Ступенчатые константы неустойчивости определялись по методу соответственных растворов [5]. При этом сравниваются два раствора, которые содержат ионы Cr^{3+} и $HSal^-$ разных концентраций, имеют одинаковые значения функции образования \bar{n} , следовательно, и среднего коэффициента молярного поглощения.

Равновесную концентрацию лиганда рассчитывали по формуле

$$[R] = \frac{C'_R C_{Me}'' - C'' R C_{Me}'}{C_{Me}'' - C_{Me}'}, \quad (4)$$

а функцию образования по формуле

$$\bar{n} = \frac{C''_R - C'_R}{C_{Me}'' - C_{Me}'}, \quad (5)$$

где C'_R , C''_R , C_{Me}' , C_{Me}'' – концентрации лиганда и металла первой и второй серий растворов соответственно (моль/л).

$\lg \epsilon / (\epsilon_{max} - \epsilon)$

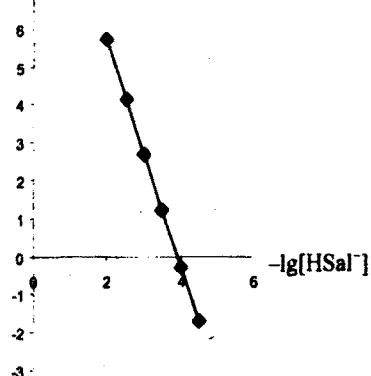


Рис. 4. Зависимость $\lg \epsilon / (\epsilon_{max} - \epsilon) = f(-\lg [HSal^-])$.

Готовили две серии растворов. Концентрацию Cr^{3+} поддерживали постоянной, в первой серии равной $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л, а во второй серии – $1,4 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Концентрацию гидросалицилата изменяли в пределах $0,2$ – $1,6 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Общий объем растворов сохраняли 10 мл. Строили график зависимости $\epsilon = f(C_R)$ (рис. 5).

Точки пересечения горизонтальных прямых с кривыми 1, 2 дают значения C_R и C'_R . По формулам (4) и (5) рассчитывали равновесную концентрацию иона $[HSal^-]$ и функцию образования. Расчетные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2

Расчетные данные для определения констант неустойчивости

C_R	C'_R	\bar{n}	$[HSal^-]$, моль/л	$-\lg [HSal^-]$
0,4	0,58	0,36	$0,04 \cdot 10^{-4}$	5,3
0,62	0,9	0,56	$0,09 \cdot 10^{-4}$	5,04
1,05	1,5	0,9	$0,15 \cdot 10^{-4}$	4,82
1,7	2,4	1,4	$0,3 \cdot 10^{-4}$	4,52
2,1	3,0	1,8	$0,3 \cdot 10^{-4}$	4,52
2,3	3,3	2,0	$0,3 \cdot 10^{-4}$	4,52
2,75	3,9	2,3	$0,51 \cdot 10^{-4}$	4,29
3,0	4,2	2,4	$0,6 \cdot 10^{-4}$	4,22
3,4	4,8	2,8	$0,6 \cdot 10^{-4}$	4,22
3,65	5,1	2,9	$0,75 \cdot 10^{-4}$	4,12
3,92	5,4	3,1	$0,9 \cdot 10^{-4}$	4,04
4,3	5,9	3,2	$1,1 \cdot 10^{-4}$	3,9

На рис. 6 приведена зависимость функции образования от логарифма равновесной концентрации лиганда $[HSal^-]$. На кривой выбраны значения \bar{n} и найдены соответствующие им логарифмы ступенчатой константы неустойчивости p_k , равные $-\lg [HSal^-]$:

$\bar{n}_1 = 0,5$	$pK_1 = 4,95$	$k_1 = 0,11 \cdot 10^{-4}$
$\bar{n}_2 = 1,5$	$pK_2 = 4,45$	$k_2 = 0,355 \cdot 10^{-4}$
$\bar{n}_3 = 2,5$	$pK_3 = 4,26$	$k_3 = 0,54 \cdot 10^{-4}$

Общая константа неустойчивости: $K = k_1 k_2 k_3 = 2,11 \cdot 10^{-14}$.

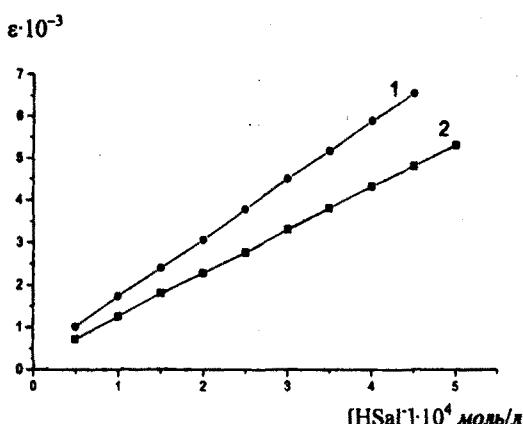


Рис. 5. Зависимость $\epsilon = f(C_R)$, $\lambda = 310\text{ нм}$.

1. $C_{Me} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$; 2. $C_{Me} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$.

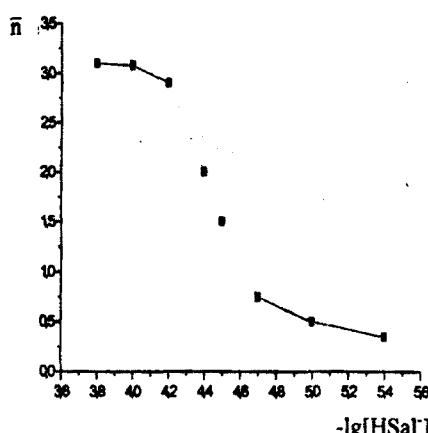
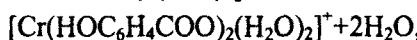
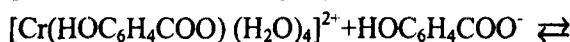
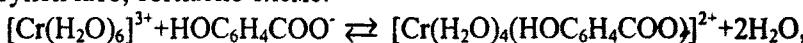
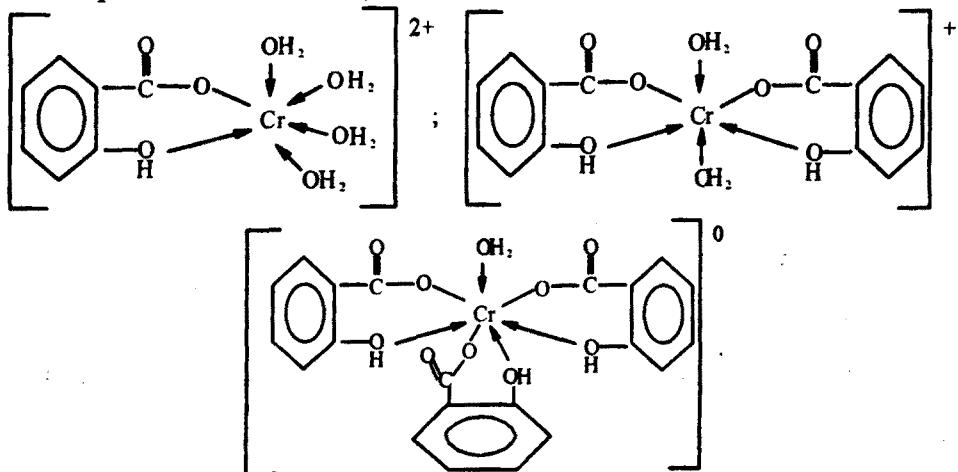


Рис. 6. Зависимость $\bar{n} = f(-\lg[HSal^-])$.

Заключение. При кислотности 0,05 моль/л образуется хромсалицилатный комплекс с мольным соотношением 1:3. Комплексообразование протекает ступенчато, согласно схеме:



Строение полученных комплексов можно представить в следующем виде: при соотношениях 1:1, 1:2, 1:3 соответственно



Получено также, что общие константы неустойчивости комплекса (1:3), рассчитанные по методу сдвига равновесия ($K=2,5 \cdot 10^{-14}$) и методу соответственных растворов ($K=2,11 \cdot 10^{-14}$), имеют близкие значения.

Кафедра неорганической химии

Поступила 01.07.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия. М.: Высшая школа, 2002.
2. Яглинский В.А., Шабанов А.М. Влияние хрома и других химических веществ на организм человека и животных. Алма-Ата, 1979.
3. Молочников Л.С., Серебренникова И.Н. и др. – ЖХХ, 1990, т. 30, вып. 9, с. 2295.
4. Практическое руководство по химии комплексных соединений (под ред. Попель А.А.) Казань: Изд-во Казанского университета, 1979.
5. Новаковский М.С. Лабораторные работы по химии комплексных соединений. Харьков: Изд-во Харьковского университета, 1972.

Ե. Ե. ՂԱՓԱՆՏՍՅԱՆ, Գ. Մ. ԶԵՅԹԱՂՅԱՆ, Ռ. Ա. ՍԱՐԳԻՍՅԱՆ, Ս. Կ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ՉՐՈՍ(III)-Ի ԿԼՍՄԼԵՔՍԱԳՈՅՎԱՑՈՒԽԸ ՆԱՏԲԻՈՒԽԻ ՍԱԼԻՖԵԼԱՌԻ
ՀԵՏ ՉՐԱՅՅԻՆ ԼՈՒԾՈՒՅԹՈՒՄ

Ամփոփում

Սպեկտրալուսաչափական մեթոդով ուսումնասիրված է քրոմ (III)-ի կոմպլեքսագոյացումը նատրիումի սալիցիլատի հետ: Հաստատված է, որ տեղի է ունենում աստիճանական կոմպլեքսագոյացում: Որոշված են առաջացած կոմպլեքսների բաղադրությունը և անկայունության հաստատուների արժեքները:

E. E. GHAPANTSYAN, G. M. ZEYTAGHYAN, R.A. SARKISYAN, S. K. GRIGORYAN

COMPLEX FORMATION OF CHROME(III) WITH SODIUM SALICYLATE IN WATER (AQUA) SOLUTION

Summary

The complex formation of chrome(III) with sodium salicylate in water (aqua) solution is studied by spectrophotometric method. It is established that a step-by-step complex formation takes place. The contents and constants of instability of the formed complexes are defined.

Химия

УДК 546.98+543.25+668.8

А. Р. МКРТЧЯН, Г. Г. ДАРБИНЯН, Г. Н. ШАПОШНИКОВА, А. Г. ХАЧАТРЯН

АМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАЛЛАДИЯ(II)
АЛЛИЛТИОМОЧЕВИНОЙ

Изучено взаимодействие палладия(II) с аллилтиомочевиной (АТМ) методом амперометрии. Мольное соотношение реагирующих компонентов $[Pd(II)]:[ATM]=1:4$.

Изучены условия протекания электродных процессов на солянокислом и сернокислом фонах. Определены концентрации палладия(II), подчиняющиеся основному закону амперометрии. Метод амперометрического определения палладия(II) аллилтиомочевиной применен для его определения в электролите палладирования.

Для определения микроколичеств палладия применяются различные методы анализа. Описан атомно-спектральный метод совместного определения золота, серебра и палладия, находящихся в форме комплексных аммиакатов. Определение основано на различной устойчивости аммиакатов [1]. Методом пламенной фотометрии, после предварительного концентрирования, возможно определение ионов никеля, кадмия, меди, кобальта и палладия в природных водах и столовой соли в виде пиrrолидиндитиокарбаминатного комплекса [2].

Для разложения органических проб предложено микроволновое вскрытие. При определении палладия методом атомно-адсорбционной спектроскопии проводят предварительное соосаждение палладия с ртутью. Метод применен для определения Pd, Pt и Ru в биологических пробах [3]. Методика осциллографического определения палладия(II) в виде комплекса с Тропеолином описана в работе [4]. Установлены оптимальные условия определения, подтвержден состав комплексного соединения 1:2. Метод применен для определения палладия в конденсаторах. Силикагели, модифицированные меркапто- и дисульфидными группами, используются как для концентрирования, так и для определения палладия [5]. В аналитической химии палладия особое место занимают серосодержащие реагенты. Жидкие мембранны на основе дифенилтиомочевины позволяют проводить глубокое разделение платины и палладия, основанное на различиях механизма комплексообразования [6].

Ранее нами были опубликованы работы, посвященные исследованию взаимодействия палладия(II) с тиомочевиной (ТМ), фенилтиомочевиной (ФТМ), N,N-дифенил- и N,N'-дифенилтиомочевинами (N,N-ДФТМ и N,N'-ДФТМ), предложены спектрофотометрические и амперометрические методы определения палладия вышеназванными реагентами [7–9]. Настоящая работа посвящена разработке амперометрического метода определения палладия с использованием в качестве реагента производного тиомочевины – аллилтиомочевины (АТМ).

Экспериментальная часть. Стандартный раствор палладия(II) готовили согласно методике, описанной в [7]. Рабочие растворы АТМ готовили растворением точно рассчитанной навески реагента в дистиллированной воде. Амперометрическое титрование проводили на собранной амперометрической схеме. В качестве индикаторных электродов были применены платиновая проволока длиной 4мм и электрод, приготовленный из спектрально-чистого графита ($S=1\text{cm}^2$). Электрод сравнения – меркуриодидный.

Как известно, амперометрическое титрование проводят при постоянном значении потенциала индикаторного электрода. Изучение вольт-амперных характеристик АТМ, полученных на платиновом электроде, показало, что в анодной области как на фоне соляной, так и на фоне серной кислот наблюдается волна окисления, высота которой зависит от кислотности раствора.

На вольт-амперных кривых, снятых как в «прямом», так и в «обратном» направлении, отмечаются адсорбционные явления, характерные для платинового электрода.

Аналогичные явления были отмечены и в случае применения ТМ, ФТМ и N,N- и N,N'-ДФТМ. Однако наличие аллильной группы, также способной к окислению, делает полученные данные невоспроизводимыми, что препятствует применению тока окисления АТМ для амперометрического определения палладия. Кроме платинового, в электрохимических методах анализа широко применяется графитовый электрод, имеющий ряд преимуществ перед платиновым: отсутствуют процессы адсорбции, создается возможность работы в области отрицательных значений потенциала, поверхность электрода легко подвергается очистке, а большая рабочая поверхность электрода способствует повышению чувствительности определения. Вольт-амперные кривые АТМ, полученные на графитовом электроде, создают возможность амперометрического титрования палладия по току окисления АТМ при $E=+1,2V$. Учитывая то обстоятельство, что палладий востанавливается как на платиновом, так и на графитовом электродах, возможно проводить титрование также при $E=0V$ (платиновый электрод) и $E=+2V$ (графитовый электрод). Кривые амперометрического титрования будут иметь вид соответственно \diagup -образного (анодного) или \diagdown -образного (катодного) процессов.

Перегиб на кривых амперометрического титрования палладия(II) АТМ отмечается при мольных соотношениях реагирующих компонентов, равных 1:4, а состав образующегося соединения можно представить в виде $[\text{Pd}(\text{ATM})_4]\text{Cl}_2$ или $[\text{Pd}(\text{ATM})_4]\text{SO}_4$. Титрование проводили в широком интервале кислотности 0,5–5,0M по соляной и серной кислотам. На фоне соляной кислоты полученные данные менее воспроизводимы вследствие образования прочного хлоридного комплекса палладия(II) и мешающего влияния

хлорид-ионов, окисляющихся в анодной области также, как и АТМ. В дальнейшем все титрования проводили в среде 2,0M серной кислоты.

Для определения концентраций палладия, подчиняющихся основному закону амперометрии, в оптимальных условиях проводили титрование различных количеств палладия(II). Данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

Электрод	E, В	Электродный процесс	Интервал определяемых концентраций палладия(II)
платиновый	0,0	катодный	$1,2 \cdot 10^{-3} - 3,0 \cdot 10^{-5}$
графитовый	+0,2	катодный	$1,5 \cdot 10^{-3} - 3,0 \cdot 10^{-5}$
графитовый	+1,2	анодный	$1,2 \cdot 10^{-3} - 3,0 \cdot 10^{-5}$

Сравнивая полученные данные с результатами определения палладия(II) при помощи ФТМ, N,N- и N-N'-ДФТМ, следует отметить, что, несмотря на несколько большую чувствительность определения палладия вышеуказанными реагентами, их практическое применение немного ограничено вследствие их растворимости только лишь в этаноле или в смеси этанола и ацетона.

Аллилтиомочевина была применена в качестве реагента для амперометрического определения палладия в электролите палладирования. С этой целью к аликовотной части анализируемого раствора добавляли серную кислоту (до 2,0M в конечном разбавлении), доводили до метки (25,0мл) дистиллированной водой и титровали рабочим раствором аллилтиомочевины при E=+1,2В с применением графитового электрода. Данные, полученные методом добавки с результатами математической обработки приведены в табл. 2.

Таблица 2

Правильность результатов анализа (метод добавок) ($n=5$; $P=0,95$; $V=25\text{мл}$; $t_{\alpha}=2,78$)

$C_{\text{станд.}}$ мг/мл	$C_{\text{станд}} + C_i$, мг/мл	\bar{C}	$S = \sqrt{\frac{\sum (C_i - \bar{C})^2}{n-1}}$	$S_r = \frac{S}{\bar{C}} \cdot 100\%$	$S_{\bar{C}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$	$\Delta = \frac{t_{\alpha} \cdot S_{\bar{C}}}{\bar{C}} \cdot 100\%$
0,1085	0,2232 0,2232 0,2263 0,2294 0,2325	0,1184	$4,0350 \cdot 10^{-3}$	3,41	$1,8 \cdot 10^{-3}$	4,10

Как следует из приведенных данных, метод амперометрического титрования палладия аллилтиомочевиной обладает достаточной точностью, воспроизводимостью и может быть предложен для определения палладия(II) в электролите палладирования.

Кафедра аналитической химии

Поступила 01.07.2005

ЛИТЕРАТУРА

- Рязанова Л.Н., Филатова Д.Г. Тезисы докладов XVII Менделеевского съезда по общей и прикладной химии (Казань, 21–26 сентября 2003 г.). Казань: Центр оперативной печати, 2003, с. 223 (РЖХ 04.04–19Г, 151).

2. Narin I., Soylak M. – Anal. Chim. Acta, 2003, v. 493, № 2, p. 205–212 (РЖХ 04.05–19Г, 180).
3. Zimmerman S., Messerschmidt Y. – Anal. Chim. Acta, 2003, v. 498, № 1–2, p. 93–104 (РЖХ 04.10–19 Г, 192).
4. Левицкая Г.Д., Тимошук С.В., Грицай В.М. – ЖАХ, 2003, т. 58, № 11, с. 1188–1191.
5. Лосев В.Н., Кудрина Ю.В., Трофимчук А.К. – ЖАХ, 2003, т. 58, № 7, с. 692–693.
6. Садырбаева Т.Ж. – Вестник Казахского Национального университета, 2003, № 3, с. 309–313.
7. Мкртчян А.Р., Дарбинян Г.Г., Шапошникова Г.Н., Хачатрян А.Г. – Информационные технологии и управление. Еր.: Энциклопедия-Арменика, 2003, т. 1, № 2, с. 194.
8. Мкртчян А.Р., Шапошникова Г.Н., Хачатрян А.Г. – Ученые записки ЕГУ, 2004, № 3, с. 65–68.
9. Мкртчян А.Р., Дарбинян Г.Г., Шапошникова Г.Н., Хачатрян А.Г. – Ученые записки ЕГУ, 2005, № 1, с. 139–142..

Ա. Ռ. ՄԿՐՏՉՅԱՆ, Հ. Գ. ԴԱՐԲԻՆՅԱՆ, Գ. Ն. ՇԱՓՈՇՆԻԿՈՎԱ, Հ. Գ. ԽԱՇՏՐՅԱՆ

ՊԱԼԱԴԻՈՒՄ(II)-ի ԱՄՊԵՐԱՉԱՓԱԿԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄ ԱԼԻԼԹԻՈՍԻՉԱՆՅՈՒԹՈՎ

Ամփոփում

Ամպերաչափական եղանակով ուսումնասիրվել է պալադիումի փոխազդեցույթունը ալիլ-թիոսիկանյութի (ԱԹՄ) հետ: Փոխագործ քաղաքիչների մոլային հարաբերությունը $[Pd(II)]:[ATM] = 1:4$

Որոշվել են աղաքարվային և ծծմբաքրվային միջավայրերում էլեկտրոդային և քիմիական ռեակցիաների ընթացքի համար օպտիմալ պայմաններ: Ալիլթիոսիկանյութով պալադիում(II)-ի ամպերաչափական որոշման եղանակը կիրառվել է պալադիումապատման էլեկտրոլիտում նրա որոշման համար:

A. R. MKRTCHYAN, G. G. DARBINYAN, G. N. SHAPOSHNIKOVA, H. G. KHACHATRYAN

AMPEROMETRIC DETERMINATION OF PALLADIUM(II) BY MEANS OF ALLYLTHIOUREA

Summary

The interaction of palladium(II) with allylthiourea has been studied by means of amperometry method. The molar ratio of the reacting components is $[Pd(II)]:[ATM]=1:4$.

Conditions for carrying electrode processes on hydrochloric and sulfuric acid backgrounds have been studied. Palladium(II) concentrations submitting to the amperometry main law have been determined.

Elaborated method for amperometric determination of palladium(II) by means of allylthiourea has been applied for its speciation in palladium-plating electrolytes.

Химия

УДК 547.294.314.07

С. А. ДАДАЯН

СИНТЕЗ НОВОГО ХИРАЛЬНОГО РЕАГЕНТА (*S*)-N-(2-БЕНЗОИЛ-ФЕНИЛ)-1-(*n*-БЕНЗИЛОКСИБЕНЗИЛ)ПИРРОЛИДИН-2-КАРБОКСАМИДА И ЕГО Ni(II)-КОМПЛЕКСОВ ОСНОВАНИЯ ШИФФА С АМИНОКИСЛОТАМИ

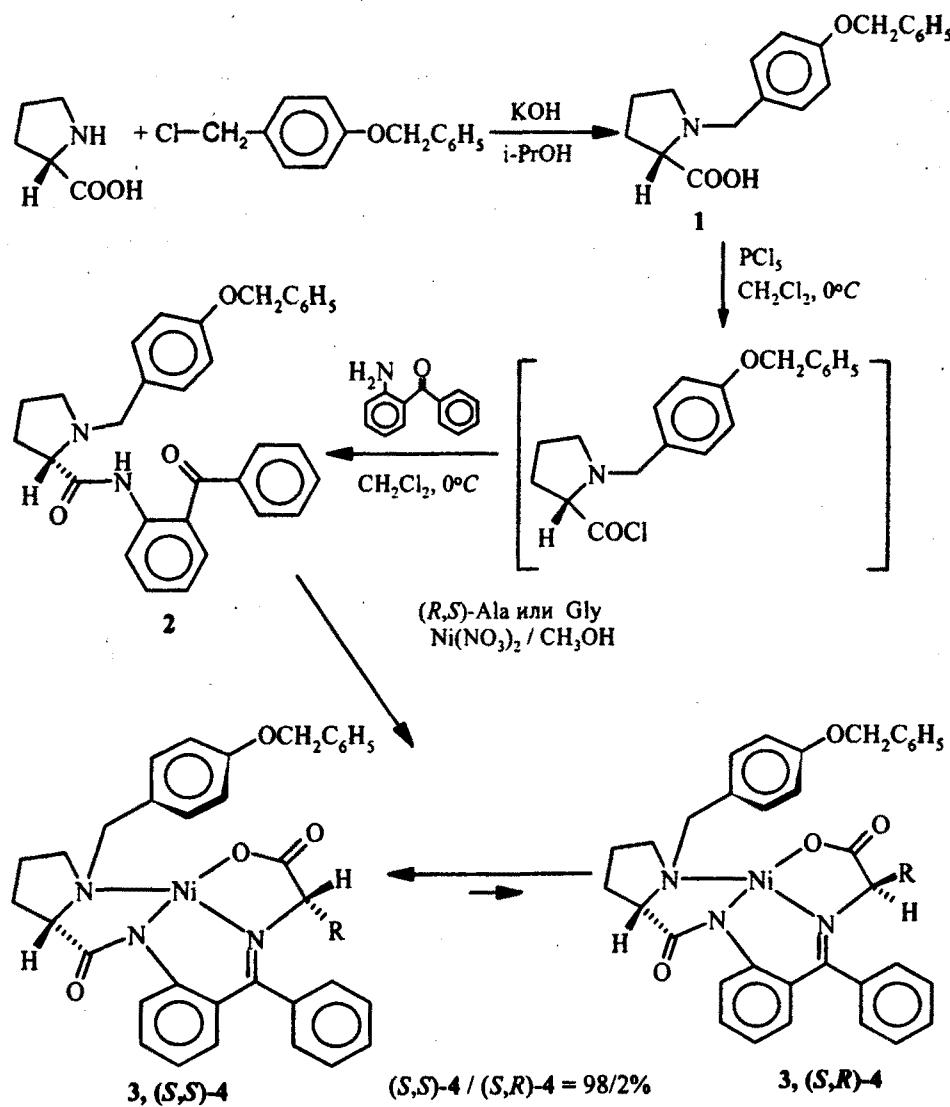
Разработаны методы синтеза нового хиального вспомогательного реагента (*S*)-N-(2-бензоилфенил)-1-(*n*-бензилоксибензил)пирролидин-2-карбоксамида и его хиальных Ni(II)-комплексов оснований Шиффа с глицином и аланином.

Оптически активные α -аминокислоты являются важными компонентами многих физиологически активных препаратов [1, 2], для получения которых динамично развивается направление асимметрического синтеза, основанного на использовании различных хиальных катализаторов и вспомогательных реагентов [3, 4].

Ранее были синтезированы хиальные карбонильные производные природной аминокислоты (*S*)-пролина – (*S*)-N-(2-бензоилфенил)-1-бензилпирролидин-2-карбоксамид ((*S*)-BPB) и (*S*)-N-(2-бензоилфенил)-1-(3,4-ди-хлорбензил)пирролидин-2-карбоксамид ((*S*)-DCBPB) – и исследованы в реакциях асимметрического синтеза α -аминокислот в качестве хиальных вспомогательных реагентов [5, 6]. Было показано, что при переходе от незамещенного хиального реагента (*S*)-BPB к хиальному реагенту (*S*)-DCBPB, содержащему два электроноакцепторных заместителя в фенильном кольце N-бензилпролинового остатка, наблюдается резкое увеличение стереоселективности и уменьшение продолжительности асимметрических реакций синтеза α -аминокислот.

В настоящей работе сообщается о синтезе нового модифицированного хиального реагента (*S*)-N-(2-бензоилфенил)-1-(*n*-бензилоксибензил)пирролидин-2-карбоксамида ((*S*)-BOBPB) и его хиальных Ni(II)-комплексов оснований Шиффа с аминокислотами (глицином и аланином), содержащих электроноакцепторную оксибензильную группу в положении 4 N-бензилпролинового остатка. Хиальный реагент (*S*)-BOBPB и его аминокислотные комплексы были синтезированы согласно методикам [7], ранее разработанным для

синтеза незамещенного хирального реагента (*S*)-BOBPB и его аминокислотных комплексов (см. схему).



где R=H в $\text{Ni}(\text{II})\text{-}(S)\text{-BOBPB-Gly}$, **3**;

R=CH₃ в $\text{Ni}(\text{II})\text{-}(S)\text{-BOBPB-(S)-Ala}$, **(S,S)-4** и $\text{Ni}(\text{II})\text{-}(S)\text{-BOBPB-(R)-Ala}$, **(S,R)-4**.

Для этого на первом этапе при взаимодействии (*S*)-пролина с *n*-бензилоксибензилхлоридом был синтезирован (*S*)-*N*-(*n*-бензилоксибензил)пролин (**1**), конденсация которого с 2-аминобензофенонон через промежуточное образование хлорангидрида под действием PCl_5 в среде CH_2Cl_2 при 0°C приводит к образованию хирального реагента (*S*)-*N*-(2-бензоилфенил)-1-(*n*-бензилоксибензил)пирролидин-2-карбоксамида ((*S*)-BOBPB, **2**).

Модифицированный хиральный реагент (*S*)-BOBPB легко вступает в реакцию комплексообразования с ионом $\text{Ni}(\text{II})$ и аминокислотами (глицином

и аланином) в среде $\text{CH}_3\text{OH}-\text{KOH}$ при температуре 55–60°C с образованием хиральных Ni(II)-комплексов оснований Шиффа (*S*)-BOBРВ с глицином (Ni^{II} -*(S)*-BOBРВ-Gly, 3) и аланином (Ni^{II} -*(S)*-BOBРВ-*(S)*-Ala, (*S,S*)-4 и Ni^{II} -*(S)*-BOBРВ-*(R)*-Ala, (*S,R*)-4) (см. схему).

Как и следовало ожидать, при получении комплекса хиральной аминокислоты аланина образуется смесь двух диастереоизомерных комплексов (*S,S*)- и (*S,R*)-абсолютных конфигураций, которые легко разделяются друг от друга на SiO_2 в системе растворителей $\text{CHCl}_3-(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ (5:1). Так как реакция комплексообразования осуществляется в сильноосновной среде при нагревании, то эпимеризация аминокислотного остатка через образование промежуточного плоского карбаниона и установление термодинамического равновесия между диастереоизомерными комплексами происходит достаточно быстро. Термодинамическое соотношение диастереоизомеров комплекса аланина определялось методом ^1H ЯМР по соотношению интегралов сигналов ароматических протонов в области 8–9 м.д., а также спектрофотометрически – после хроматографирования диастереоизомерных комплексов. Результаты приведены в таблице. Для сравнения в ней представлены также данные ранее полученных аналогичных комплексов аланина на основе незамещенного (*S*)-BPВ и 3,4-дихлорзамещенного (*S*)-3,4-DCBPВ.

Результаты реакции комплексообразования аланина в $\text{CH}_3\text{OH}-\text{KOH}$ при 55–60°C

Комплекс	<i>(S,S)/(S,R)</i> , % *	Время, ч	Выход, %
Ni(II)- <i>(S)</i> -BPВ-Ala	94/6	3	90
Ni(II)- <i>(S)</i> -3,4-DCBPВ-Ala	97/3	2	81
Ni(II)- <i>(S)</i> -BOBРВ-Ala	98/2	2	83

* – усредненные данные ^1H ЯМР и спектрофотометрических исследований.

Как видно из таблицы, реакция комплексообразования (*S*)-аланина проходит с большей стереоселективностью в случае применения нового синтезированного модифицированного хирального реагента (*S*)-BOBРВ. При переходе от комплексов на основе (*S*)-BPВ к комплексам с (*S*)-BOBРВ наблюдается увеличение стереоселективности от 88 до 96%.

Для установления абсолютной конфигурации α -углеродного атома аминокислотного остатка основного диастереоизомерного комплекса аланина измеряли его удельное оптическое вращение ($[\alpha]_D^{20}$) и сравнивали с данными ранее полученных аналогично построенных комплексов (*S*)-аланина на основе хиральных реагентов (*S*)-BPВ и (*S*)-3,4-DCBPВ. Положительное значение $[\alpha]_D^{20}$ свидетельствует об (*S*)-абсолютной конфигурации основного диастереоизомерного комплекса аланина ((*S,S*)-4).

Таким образом, как и следовало ожидать, включение объемного электроакцепторного оксибензильного заместителя в положении 4 фенильного кольца N-бензилпролинового остатка приводит к более эффективному экранированию координационной плоскости металла и увеличению энантиоселективности комплексов. Несомненно, что можно ожидать резкое увеличение стереоселективности и сокращение продолжительности реакции асимметрического синтеза α -аминокислот при применении комплексов на основе синтезированного модифицированного хирального вспомогательного реагента

(S)-BOBPB и его можно рекомендовать для асимметрического синтеза α -и β -замещенных α -аминокислот самого разного строения.

Экспериментальная часть. Спектры ^1H ЯМР регистрировались на приборе Varian Mercury-300 при использовании в качестве растворителя DMSO. Оптическое вращение измеряли на поляриметре Perkin-Elmer 341. Все использованные растворители были свежеперегнанными [8]. В работе использовались аминокислоты и другие реагенты фирмы Aldrich и Реахим. *n*-Бензилоксибензилхлорид синтезировали согласно [9].

Синтез (S)-N-(*n*-бензилоксибензил)пролина (1). К раствору 10,2г (0,09моль) (S)-пролина в 40мл i-PrOH добавляли 15,2г (0,27моль) KOH и до его полного растворения перемешивали при 40–50°C. После этого добавляли по каплям (в течение 30мин) 25,0г (0,108моль) *n*-бензилоксибензилхлорида. Перемешивание продолжали еще 15 часов при комнатной температуре. За ходом реакции следили методом TCX (SiO_2 , $\text{CHCl}_3-\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (1:1)). Реакционную смесь нейтрализовывали 6*N* HCl до pH 6–7, добавляли 25мл CHCl_3 , и оставляли на ночь. Выпавший осадок (KCl) отфильтровывали и промывали CHCl_3 . Фильтрат упаривали досуха, остаток обрабатывали $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$. Выпавший осадок отфильтровывали, сушили на воздухе. Выход 67% (18,75г, 0,06моль). $T_{\text{пл}}=168–170^\circ\text{C}$. $[\alpha]_D^{20}=-14,9^\circ$ (c=1; $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). Найдено, %: C 71,1; H 6,64; N 4,59. $\text{C}_{19}\text{H}_{21}\text{NO}_3$. Вычислено, %: C 73,33; H 6,75; N 4,50. ^1H ЯМР (DMSO, δ , м.д.): 1,78 м (2Н, β -Н, γ -Н Pro); 1,95 м (1Н, γ -Н Pro); 2,09 м (1Н, β -Н Pro); 2,41 м (1Н, δ -Н Pro); 2,95 м (1Н, δ -Н Pro); 3,21 м (1Н, α -Н Pro); 3,51 и 3,95 д (AB, 2Н, N-CH₂-Ph, $J_{\text{AB}}=13,08\text{Гц}$); 4,9 и 5,1 д (AB, 2Н, O-CH₂-Ph, $J_{\text{AB}}=13,5\text{Гц}$); 6,7–7,5 м (9Н Ar).

Синтез (S)-N-(2-бензоилфенил)-1-(*n*-бензилоксибензил)пирролидин-2-карбоксамида (2). К раствору 10,3г (0,033моль) *n*-бензилоксибензилпролина в 10–15мл CH_2Cl_2 при 0°C добавляли 6,9г (0,033моль) PCl_5 , перемешивали 10–15мин, при этом температура реакционной смеси поднималась до 5°C. Затем реакционную смесь охлаждали до 0°C, порциями добавляли 6,51г (0,033моль) 2-аминобензофенона и перемешивали при комнатной температуре почти до полной конверсии 2-аминобензофенона (~15ч). За ходом реакции следили методом TCX (SiO_2 , $\text{C}_6\text{H}_6-(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$ (1:1)). Реакционную смесь упаривали, последовательно обрабатывали ацетоном и водой. Получившиеся кристаллы растворяли в 5мл 12*N* HCl, затем после разбавления раствора 15мл H_2O отфильтровывали выпавший осадок чистого хлоргидрата (S)-BOBPB и сушили под вакуумом. Получено 12,68г (0,024моль) (S)-BOBPB (73%). $T_{\text{пл}}=126–128^\circ\text{C}$. $[\alpha]_D^{20}=-54,7^\circ$ (c=1; CH_3OH). Найдено, %: C 72,10; H 6,05; N 4,95. $\text{C}_{32}\text{H}_{30}\text{O}_3\text{N}_2 \times \text{HCl}$. Вычислено, %: C 72,93; H 5,89; N 5,32. ^1H ЯМР (DMSO, δ , м.д.): 1,41 м (1Н, β -Н Pro); 1,75 м (1Н, γ -Н Pro); 2,01 м (1Н, γ -Н Pro); 2,39 м (1Н, β -Н Pro); 3,01 м (2Н, δ -Н Pro); 3,25 м (1Н, α -Н Pro); 4,1 и 4,3 д (AB, 2Н, N-CH₂-Ph, $J_{\text{AB}}=12,8\text{Гц}$); 4,9 и 5,2 д (AB, 2Н, O-CH₂-Ph, $J_{\text{AB}}=11,7\text{Гц}$); 6,8–8,0 м (18Н Ar).

Синтез Ni(II)-комплексов основания Шиффа (S)-BOBPB с аминокислотами (3, (S,S)-4). К суспензии 5,26г (0,01моль) (S)-BOBPB, 1,5г (0,02моль) глицина (или 1,8г (S,R)-аланина) и 5,82г (0,02моль) $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ в 15мл CH_3OH добавляли раствор 4,48г (0,08моль) KOH в 10мл CH_3OH . Переме-

шивали при 55–60⁰С час (в случае (S,R)-аланина – 2ч). За ходом реакции следили методом ТСХ (SiO_2 , $\text{CHCl}_3-(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ (1:1)) по исчезновению пятна исходного (S)-BOBPB (под УФ-лучами). После окончания реакции реакционную смесь нейтрализовывали CH_3COOH до рН 5–6 и разбавляли 100мл H_2O . Выпавший осадок отфильтровывали и перекристаллизовывали комплекс 3 из смеси $\text{C}_6\text{H}_{14}-\text{CHCl}_3$ (1:1) (в случае комплекса (S,S)-4 из CH_3OH).

Небольшое количество выпавшего осадка комплекса аланина (до кристаллизации) хроматографировали на SiO_2 ($20 \times 30\text{cm}^2$, $\text{CHCl}_3-(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ (3:1)).

Соотношение (S,S)- и (S,R)-диастереоизомеров комплексов аланина определялось методом ¹Н ЯМР-анализа их смеси до кристаллизации, а также спектрофотометрическим методом при длине волны 320–340нм после их хроматографирования.

Ni(II)-(S)-BOBPB-Gly (3): Выход 74% (4,46г, 0,007моль). $T_{\text{пл}}=150-152^{\circ}\text{C}$. $[\alpha]_D^{20}=+1056^{\circ}$ (c=0,1; CH_3OH). Найдено, %: С 67,78; Н 5,05; N 6,88. $\text{C}_{34}\text{H}_{31}\text{O}_4\text{N}_3\text{Ni}$. Вычислено, %: С 67,58; Н 5,14; N 6,96. ¹Н ЯМР (CDCl_3 , δ, м.д.): 2,15 м (2Н, β-Н, γ-Н Pro); 2,45 м (1Н, γ-Н Pro); 2,57 м (1Н, β-Н Pro); 3,35 м (1Н, δ-Н Pro); 3,46 м (1Н, α-Н Pro); 3,58 и 4,45 д (AB, 2Н, N-CH₂-Ph, $J_{\text{AB}}=12,7\text{Гц}$); 3,68 м (1Н, δ-Н Pro); 3,68 и 3,79 д (AB, 2Н, CH₂-Gly, $J_{\text{AB}}=20,23\text{Гц}$); 4,85 и 5,0 д (AB, 2Н, O-CH₂-Ph, $J_{\text{AB}}=11,51\text{Гц}$); 6,65–8,35 м (18Н Ar).

Ni(II)-(S)-BOBOB-(S)-Ala ((S,S)-4): Выход 83% (5,18г, 0,008моль). $T_{\text{пл}}=190-192^{\circ}\text{C}$. $[\alpha]_D^{20}=+1683^{\circ}$ (c=0,1; CH_3OH). Найдено, %: С 68,05; Н 5,25; N 6,76. $\text{C}_{35}\text{H}_{33}\text{O}_4\text{N}_3\text{Ni}$. Вычислено, %: С 67,99; Н 5,34; N 6,80. ¹Н ЯМР (CDCl_3 , δ, м.д.): 1,58–1,68 д (AB, 3Н, Me-Ala, $J_{\text{AB}}=3,57\text{Гц}$); 2,05 м (1Н, β-Н, Pro); 2,25 м (1Н, γ-Н Pro); 2,55 м (1Н, γ-Н Pro); 2,75 м (1Н, β-Н Pro); 3,45 и 4,37 д (AB, 2Н, N-CH₂-Ph, $J_{\text{AB}}=12,8\text{Гц}$); 3,45 м (2Н, δ-Н Pro); 3,75 м (1Н, α-Н Pro); 3,92 кв (1Н, α-Н Ala); 4,82 и 4,91 д (AB, 2Н, O-CH₂-Ph, $J_{\text{AB}}=11,6\text{Гц}$); 6,6–8,2 м (18Н Ar).

Работа выполнена при финансовой поддержке Международного научно-технического центра (Грант ISTC № 2780).

Кафедра фармацевтической химии

Поступила 14.03.2005

ЛИТЕРАТУРА

- Чипенс Г.И., Славинская В.А., Силе Д.Е., Крейле Д.Л., Корчагова Э.Х., Страутиня А.К. – Изв. АН Латв. ССР. Сер. хим., 1985, т. 3, с. 259.
- Reinhold D.F., Sletzinger M. – Pat. USA № 3344023; C.A. 1968, v. 68, 96127z.
- Myers A.G., Gleason J.L., Yoon T. – J. Am. Chem. Soc., 1995, v. 117, p. 8488.
- Belokon' Yu.N. – Janssen Chemica Acta, 1992, v. 10, № 2, p. 4–13.
- Saghyan A.S., Geolchanyan A.V., Petrosyan S.G., Ghochikyan T.V., Haroutunyan V.S., Avetisyan A.A., Belokon' Yu.N., Fisher K. – Tetrahedron: Asymmetry, 2004, v. 15, p. 705.
- Сагян А.С., Петросян А.А., Амбарцумян А.А., Малеев В.И., Белоконь Ю.Н. – Химический журнал Армении, 2002, т. 55, № 3, с. 150–159.
- Belokon' Yu.N., Saghiyan A.S., Djamgaryan S.M., Bakhmutov V.I., Belikov V.M. – Tetrahedron, 1988, v. 44, № 17, p. 5507.
- Walter M., Ramaley L. – Analyt. Chem., 1973, v. 45, p. 307.
- Ishii H., Ishikawac A., Tohoghi C., Murakami K., Kawanobe E. – J. Am. Chem. Soc. Perkin I, 1982, p. 2051–2058.

ՆՈՐ ՔԻՐԱԼԱՅԻՆ ՌԵԱԳԵՆՏ (S)-N-(2-ԲԵՆԶՈՒՀԵՆԻԼ)-1-(4-ԲԵՆԶԻԼՕքսիբենզիլ)Պիրոլիդին-2-ԿԱՐԲՈՂՍԱՍԻԴԻ ԵՎ ՆՐԱ
Ni(II) ԻՈՆԻ ՀԵՏ ԱՄԻՆԱԹԹՈՒՆԵՐԻ ՇԻՖԻ ՀԻՄՔԵՐԻ
ԿՈՄՊԼԵԽՈՒՆԵՐԻ ՍԻՆԹԵԶԸ

Ամփոփում

Մշակվել է նոր մողիֆիկացված օժանդակ ռեագենտի՝ (S)-N-(2-բենզողիլֆենիլ)-1-(4-բենզիլօքսիբենզիլ)պիրոլիդին-2-կարբօքսամիդի և նրա Ni(II) իոնի հետ գլցինի ու ալանինի առաջացրած հարթ-քառակուսային կոմպլեքսների սինթեզի մեթոդներ: Ջիրալային ռեագենտ (S)-N-(2-բենզողիլֆենիլ)-1-(4-բենզիլօքսիբենզիլ)պիրոլիդին-2-կարբօքսամիդի սինթեզը իրականացվել CH_2Cl_2 -ի միջավայրում 0°C -ում 4-բենզիլ-օքսիբենզիլպրոլինի հետ 2-ամինաբենզոֆենոնի կոնդենսացումով, միջանկյալ քլորանիդորիդի ստացումով՝ PCl_5 -ի ներկայությամբ: Ստացված քիրալային ռեագենտի հիման վրա սինթեզվել է գլցին և ալանին ամինաբրուների Շիֆի հիմքերի հետ Ni(II) իոնի առաջացրած հարթ-քառակուսային կոմպլեքսները: Սինթեզն իրականացվել է մեթանոլի միջավայրում, ուժեղ հիմքի (KOH) առկայությամբ, $50\text{--}60^{\circ}\text{C}$ -ում: Ինչպես և սպասվում էր, քիրալային ռեագենտի ալանինային կոմպլեքսի սինթեզի ժամանակ առաջանում է S,S-4 և S,R-4 դիաստերեոիզոմերային կոմպլեքսների խառնուրդ, որոնց հարաբերակցությունը կազմում է 98/2:

S. A. DADAYAN

SYNTHESIS OF A NOVEL CHIRAL AUXILIARY (S)-N-(2-BENZOYL-PHENYL)-1-(4-BENZYLOXYBENZYL)PYRROLIDINE-2-CARBOXAMIDE AND ITS Ni(II) COMPLEXES OF SCHIFFS BASES WITH AMINO ACIDS

Summary

The method of synthesis of a new modified chiral auxiliary (S)-N-(2-benzoylphenyl)-1-(4-benzyloxybenzyl)pyrrolidine-2-carboxamide and plain-square Ni(II) complexes of Schiff's basis with glycine and alanine has been developed. The synthesis of chiral auxiliary has been carried out in the presence of CH_2Cl_2 at 0°C via condensation of 2-aminobenzophenone with *p*-benzyl-oxybenzylproline, through intermediate formation of chloranhydride in the presence of PCl_5 . On the basis of the synthesized chiral auxiliary plain-square Ni(II) complexes of it's Schiff's base of glycine and alanine has been synthesized. The synthesis was carried out in CH_3OH in the presence of strong base (KOH) at $55\text{--}60^{\circ}\text{C}$. As expected during the synthesis of the alanine complex a mixture of diastereoisomeric complexes S,S/S,R in a ratio 98/2 has been derived.

Биология

УДК 577.1:547.963.582.542.1

П. О. ВАРДЕВАНЯН, М. Р. ДАРБИНЯН, Ж. В. ЯВРОЯН, Л. А. МИНАСБЕКЯН

**ИЗМЕНЕНИЕ ФОСФОЛИПИДНОГО СОСТАВА ЯДЕРНОЙ МЕМБРАНЫ
И ХРОМАТИНА ПРОРАСТАЮЩИХ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ ПОД
ДЕЙСТВИЕМ ФАКТОРОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ**

Исследовано содержание фосфолипидов хроматина и ядерной мембраны проростков зародышей семян пшеницы. Показано, что исследуемые ядерные субфракции проростков зародышей пшеницы различаются по составу и количественному содержанию фосфолипидов. При обработке семян гиббереллином (ГК_3) происходит перераспределение фосфолипидов. Показано также, что под воздействием миллиметровых электромагнитных волн изменяются состав и количество фосфолипидов в препаратах ядерных мембран и хроматина проростков семян пшеницы. В исследуемых ядерных субфракциях чувствительность к воздействию факторов различной природы проявляют разные классы фосфолипидов.

Ядерно-мембранный структура играет важную роль в установлении динамического равновесия между ядром и цитоплазмой [1, 2]. Непосредственная связь структур внутренней ядерной мембраны с хроматином предполагает их возможное участие в изменении функциональной активности генома [3, 4]. В настоящее время уже доказано, что фосфолипиды ядерных структур имеют определенный вклад в регуляции генетической активности. Хорошо известно, что липиды ядер локализованы не только в мембранных структурах. Небольшое их количество является постоянной составной частью хроматина и может влиять на основные функции ядра – репликацию и транскрипцию ДНК путем изменения структуры ДНК, нуклеопротеиновых комплексов, гистонов и негистоновых белков или путем облегчения доступа РНК-полимераз к промоторной части гена [5, 6].

Фосфолипиды ядерных структур – ядерной мембраны и хроматина клеток растений – исследованы недостаточно. Поэтому изучение фосфолипидного состава ядерной мембраны и хроматина семян пшеницы при прорастании в присутствии экзогенного фитогормона и под воздействием миллиметровых электромагнитных волн (ММЭМВ) представляет определенный интерес для выявления механизмов экспрессии растительного генома.

Методы исследования. Для обработки семян экзогенным гиббереллином (ГК_3) в проточную воду добавляли фитогормон в расчете 125 мг на 1 л.

Для получения проростков, обработанных ММЭМВ, замоченные однодневные семена 20мин облучали с частотой 50,3ГГц при помощи генератора Г4-141 как описано в [7]. Данная частота совпадает с резонансной частотой колебаний гексагональных колец молекулярной структуры воды.

Ядра получали из обработанных и необработанных проростков зародышей пшеницы по модифицированному нами методу Блобела и Потера [8]. Замороженные в жидким азоте проростки измельчали в ступке до получения тонкого порошка, добавляли 0,25M сахараозу в 10мM Трис-HCl буфере (рН 7,4), содержащем 25мM KCl, 15мM MgCl₂, ТКМ и проводили соответствующие процедуры, описанные в работе [8]. Для получения ядерных мембран осадок ядер сусpendировали в 50мM Трис-HCl буфере (рН 7,4), содержащем 1% Тритон X-100, 400мM KCl, и далее проводили процедуры как было описано ранее в [8]. Осажденные ядерные мембранны отмывали 2-3-кратным ресуспендионием и последующим центрифугированием в течение 15мин при 27000 g в центрифуге ЦВР-1 (МРГУ-42, СССР) в растворе 0,25M сахараозы в ТКМ буфере.

Хроматин выделяли по методу, описанному в работе [9]. «Грубый» хроматин, полученный после осаждения сульфатом аммония, дважды промывали в 10мM Трис-HCl буфере (рН 7,4), содержащем 10мM NaCl, 3мM MgCl₂ и 0,1мM фенилметилсульфонилфторид.

Экстракцию фосфолипидов из ацетоновых порошков препаратов ядерных мембран и хроматина проводили смесью хлороформ-метанол (2:1) по методу Фолча [10]. Для фракционирования фосфолипидов использовали метод тонкослойной хроматографии (ТСХ) с применением пластинок с силикагелем L (*Chemapol*, Чехия). Хроматографию проводили в системе растворителей хлороформ-метанол-вода в соотношении 65:5:4. Для идентификации фосфолипидов были использованы стандартные препараты фосфатидилхолина (ФХ), фосфатидилэтаноламина (ФЭ) и кардиолипина (КЛ) (Sigma, США). Хроматограммы проявляли в парах йода. Количественное определение отдельных групп фосфолипидов после 2-часовой минерализации в присутствии смеси HClO₄ и HNO₃ проводили по неорганическому фосфору методом Эймса [11].

В таблицах представлены средние арифметические величины из 6 независимых экспериментов и их стандартные отклонения. Достоверность полученных данных оценивалась по критерию Стьюдента.

Результаты и обсуждение. В отличие от разнообразия механизмов контроля у животных, в растениях существуют более общие механизмы, изменяющие направление роста и развития растительного организма в ответ на изменение окружающей среды. В организме высших растений гормоны являются наиболее подходящей формой контроля, поскольку клетки-мишени рассеяны по всему организму и предполагается некоторая свобода их реакций на химическую стимуляцию в зависимости от чувствительности зоны воздействия к данному гормону. Так, гиберелловая кислота необходима для осуществления последних этапов прорастания зародыша семени, а именно, для собственного роста осевых органов зародыша.

К настоящему времени изучены фосфолипиды многих растительных

объектов [12,13], однако фосфолипидный состав растительного хроматина и ядерной мембранны изучен недостаточно.

Таблица 1

Содержание отдельных групп фосфолипидов (ФЛ) в препаратах ядерной мембранны контрольных, обработанных гиббереллином и облученных ММЭМВ с частотой 50,3ГГц проростков зародышей семян пшеницы (1 – мкгФЛ/мг сухого веса, 2 – % от суммы фосфолипидов)

Фосфолипиды	Контрольные		Обработанные ГК ₃		Обработанные ММЭМВ	
	1	2	1	2	1	2
фосфатидилхолин	0,39 ± 0,03	18,55	0,38 ± 0,02	19,09	0,33 ± 0,08	23,57
фосфатидилэтанол-амин	0,23 ± 0,01	11,08	*0,40 ± 0,03	20,10	0,28 ± 0,03	20
фосфатидилинозитол	0,18 ± 0,02	8,67	**0,13 ± 0,01	6,53	**0,34 ± 0,05	24,28
фосфатидилсерин	0,2 ± 0,02	9,40	**0,16 ± 0,01	8,04	0,27 ± 0,03	19,25
фосфатидная кислота	0,91 ± 0,02	43,86	*0,41 ± 0,02	20,60	*0,18 ± 0,08	12,85
кардиолипин	0,18 ± 0,02	8,44	*0,51 ± 0,03	25,63	н.о.	0
суммарные фосфолипиды	2,08	100	1,9	100	*1,4	100

В таблицах 1, 2: * – p < 0,05; ** – p < 0,1.

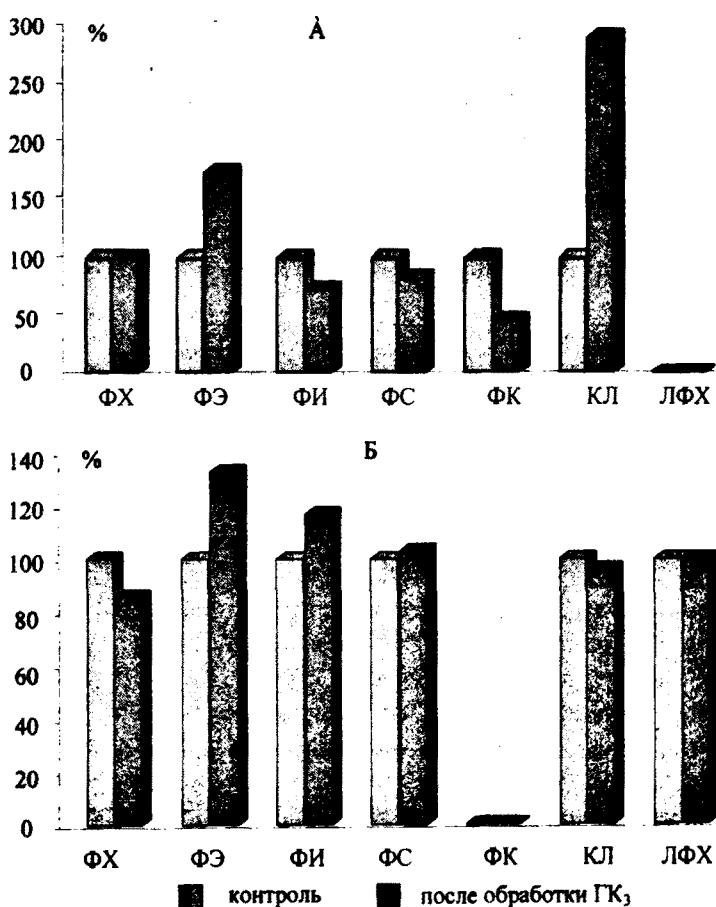
Таблица 2

Содержание отдельных групп фосфолипидов в препаратах хроматина контрольных, обработанных гиббереллином и облученных ММЭМВ с частотой 50,3ГГц проростков зародышей семян пшеницы (1 – мкгФЛ/мг сухого веса, 2 – % от суммы фосфолипидов)

Фосфолипиды	Контрольные		Обработанные ГК ₃		Обработанные ММЭМВ	
	1	2	1	2	1	2
фосфатидилхолин	0,59 ± 0,02	33,82	*0,50 ± 0,02	28,16	**0,42 ± 0,03	17,94
фосфатидилэтанол-амин	0,33 ± 0,02	20,10	**0,44 ± 0,02	24,41	**0,48 ± 0,03	20,51
фосфатидилинозитол	0,17 ± 0,01	10,06	**0,20 ± 0,02	11,37	*0,67 ± 0,07	28,63
фосфатидилсерин	0,37 ± 0,02	21,20	0,38 ± 0,02	21,16	0,46 ± 0,09	19,66
фосфатидная кислота	н.о.	0	н.о.	0	0,31 ± 0,06	13,24
кардиолипин	0,14 ± 0,01	8,10	0,13 ± 0,02	7,50	н.о.	0
лизофосфатидилхолин	0,14 ± 0,02	7,80	0,13 ± 0,02	7,40	н.о.	0
суммарные фосфолипиды	1,73 ± 0,02	100	1,786 ± 0,03	100	*2,34 ± 0,06	100

С этой целью нами применен метод ТСХ, результаты которого представлены в таблицах 1 и 2. Исследуемые нами препараты ядерных субфракций отличаются как по составу, так и по количественному содержанию отдельных классов фосфолипидов. В препаратах ядерных мембран проростков семян пшеницы обнаружены шесть фракций фосфолипидов, в том числе ФХ, ФЭ, фосфатидилинозитол (ФИ), фосфатидилсерин (ФС), фосфатидная кислота (ФК) и КЛ (табл. 1). Фосфолипиды хроматина 3-дневных проростков зародышей семян пшеницы также представлены шестью фракциями. Однако препараты ядерной мембранны и хроматина несколько отличаются по составу фосфолипидов (табл. 1, 2). Так, ФК, присутствующая в препаратах ядерных мембран, не обнаруживается среди фосфолипидов хроматина. Вместе с тем, в хроматине присутствует лизофосфатидилхолин (ЛФХ), который не обнаружен в ядерной мемbrane.

Известно, что самыми распространенными фосфолипидами в эукариотических клетках являются ФХ и ФЭ. Их количество может достигать соответственно до 50 и 25% всей фосфолипидной массы [14]. Результаты проведенных нами исследований показали, что ФХ и ФЭ представлены в обеих субфракциях ядра (табл. 1, 2). Интересно отметить, что другой холинсодержащий фосфолипид – сфингомиelin, который является основным компонентом внутриядерных структур клеток животных, не обнаружен ни в одном из исследуемых препаратов.



Диаграммы содержания фосфолипидов (%) ядерной мембраны (А) и хроматина (Б) 3-дневных проростков зародышей семян пшеницы под действием гиббереллина.

ет примерно 44% всей массы фосфолипидов, а в препаратах хроматина высоким содержанием отличаются ФХ (33,8%) и ФС (21,2%) (табл. 2). В ядерной мембране доля фосфатидилсерина составляет всего 9,4% общего содержания фосфолипидов.

Обработка ГК₃ неоднозначно отражается на содержании отдельных классов фосфолипидов в исследуемых препаратах субфракций ядра проростков семян пшеницы (см. рис. А). Как следует из полученных результатов, в препаратах ядерных мембран наблюдается достоверное повышение содержания ФЭ примерно на 70% и КЛ – на 190%. Количество ФХ не меняется, в то время как содержание остальных фосфолипидов – ФИ, ФС и ФК – сокращается на 28, 17 и 55% соответственно. Особого внимания заслуживает почти

держащий фосфолипид – сфингомиelin, который является основным компонентом внутриядерных структур клеток животных, не обнаружен ни в одном из исследуемых препаратов. По всей вероятности, это связано со спецификой растительных клеток. Препараты ядерной мембранны и хроматина проростков зародышей семян пшеницы отличаются также по количественному содержанию выявленных классов фосфолипидов. Так, для ядерной мембранны мажорной является ФК (табл. 1), которая составляет

двухкратное уменьшение содержания ФК, которая, как известно, является исходным материалом для синтеза остальных глицерофосфолипидов. Не исключено, что ГК₃ способен активировать утилизацию фосфатидной кислоты в процессах синтеза фосфолипидов, повышение содержания которых мы зарегистрировали [16].

Выявленные изменения в содержании отдельных классов фосфолипидов ядерных мембран после обработки семян ГК₃ сказываются также на их процентных долях (см. рис. А). Наблюдается повышение доли ФЭ (от 11 до 21,64%) в составе ядерной мембранны и почти 3-кратное повышение доли КЛ (от 8,44 до 25,06%). В результате резкого сокращения содержания ФК примерно в два раза уменьшается также доля данного фосфолипида (от 43,86 до 20,6%). Необходимо отметить, что, наряду с выявленными существенными изменениями в количественном содержании отдельных фосфолипидов в составе ядерной мембранны, их суммарное содержание также меняется (табл. 1).

Содержание отдельных фосфолипидов в хроматине зародышей семян пшеницы, проросших в присутствии ГК₃, также меняется. Однако, как свидетельствуют результаты, в отличие от ядерно-мембранный фракции, резких изменений не наблюдается (см. табл. 2 и рис. Б). Показано, что при обработке гиббереллином примерно на 30% повышается содержание ФЭ. Количество ФИ в хроматине также повышается на 18%, в отличие от препаратов ядерной мембранны, где наблюдалось сокращение содержания данного фосфолипида на 28% (табл. 1, 2, рис. А и Б).

В отличие от ядерной мембранны, в препаратах хроматина наблюдается уменьшение содержания ФХ примерно на 14%. Однако при этом не обнаружено изменение количества ЛФХ, который является продуктом деацетилирования ФХ. Следовательно, уменьшение содержания ФХ может быть результатом утилизации данного липида в процессах взаимопревращений фосфолипидов [16]. Количественный состав остальных фосфолипидов, обнаруженных в хроматине, а также их суммарное содержание не меняются при проращивании зародышей семян пшеницы в присутствии ГК₃ (табл. 2).

Нами также проведены эксперименты по изучению действия ММЭМВ на фосфолипидный состав ядерной мембранны и хроматина. В работе [15] показано, что воздействие внешних электростатических полей приводит к изменению липидных компонентов эритроцитарных мембран и значительно влияет на их функциональное состояние. Одним из регулирующих факторов многих свойств и соответственно функций мембран является микровязкость липидного матрикса. Липидная сбалансированность липопротеинового бислоя и его структурно-функциональное состояние обусловлены работой целого ряда мембрально-связанных липид-модифицирующих ферментных систем (деацетилазы, реацетилазы, диэстеразы, трансметилазы). Некоторые авторы предполагают, что одной из возможных причин биологической активности внешних полей является изменение активности мембрально-связанных липид-модифицирующих ферментов.

В экспериментах по исследованию влияния ММЭМВ на фосфолипидный состав ядерной мембранны и хроматина нами выявлены изменения соста-

ва и количества фосфолипидов в препаратах обеих субфракций (табл. 1, 2). Примечательно, что в них отсутствует КЛ. После воздействия ММЭМВ в препаратах ядерных мембран количество ФК уменьшается примерно на 80%, одновременно наблюдается достоверное повышение содержания ФИ (на 21,8%). Изменение остальных фосфолипидов не достоверно. В результате наблюдается снижение суммарного содержания фосфолипидов на 33% (табл.1).

При воздействии ММЭМВ в препаратах хроматина уменьшается содержание ФХ на 29%. При этом особого внимания заслуживает почти трехкратное повышение содержания ФИ (табл. 2). Как в препаратах ядерной мембраны, так и в препаратах хроматина после облучения нами не выявлен кардиолипин. В результате обнаруженных изменений суммарное содержание фосфолипидов хроматина увеличивается на 35%. Такие резкие изменения фосфолипидного состава при воздействии некогерентного электромагнитного излучения могут привести к изменению микровязкости ядерной мембраны и, возможно, к конформационным перестройкам на уровне хроматина.

Таким образом, при прорастании зародышей семян пшеницы в присутствии экзогенного гибереллина и под воздействием ММЭМВ наблюдаются значительные количественные сдвиги в содержании отдельных классов фосфолипидов в препаратах ядерных мембран и хроматина, что свидетельствует об изменении фосфолипидного обмена. Как можно предположить из полученных данных, воздействие факторов различной природы происходит по разным метаболическим путям. Перераспределение фосфолипидов ядерной мембраны и хроматина, в свою очередь, свидетельствует о возможном участии фосфолипидов в механизмах активации генетического аппарата.

Авторы выражают благодарность В.Р. Калантаряну за содействие в проведении экспериментов по облучению образцов.

Кафедра биофизики

Поступила 26.04.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Gorlich D., Prehn S., Laskey R., Hartman E. – Cell, 1994, v. 79, p. 767–778.
2. Englemeler L., Olivo J.Ch., Mattay I.W. – Curr. Biology, 1999, v. 9, № 1, p. 30–41.
3. Capitani S., Bertangnalo V., Mazzotti M., Santi P., Previati M., Antonucci A., Manzoli F.A. – FEBS Letter, 1989, v. 254, № 1, p. 194–198.
4. Cocco L., Martelli A.M., Gilmour S.R., Ognibene A., Manzoli A.A., Levine R.F. – Biochem. and Biophys. Res. Commun., 1989, v.159, № 2, p. 720–725.
5. Губский Ю.И., Левицкий Е.А., Примак Р.Г., Голубов М.И., Ножикова С.Н. – Укр. биохим. журнал, 1991, т. 63, № 2, с. 83.
6. Manzoli F.A., Capitani S., Maraldi N.M. – Minor components of the chromatin and their role in the release of template restriction. Cell Growth. Ed. Nicolini C. New York: Plenum, 1981, p. 463.
7. Vardevanyan P.O., Nerkararyan A.V., Parsadanyan M.A., Gevorkyan E.S. – International Conference «Unification and Optimization of Radiation monitoring on NPP», 2004, Yerevan, Proceedings, p.71–74.
8. Blobel G., Potter V.R. – Science, 1966, v. 154, p. 1662–1665.
9. Вардеванян П.О., Тирацуян С.Г., Вардеванян А.О., Бояджян Б.Г., Паносян Г.А. – Физиология растений, 1995, т. 42, № 2, с. 290–294.
10. Вардеванян П.О., Бояджян Б.Г., Тирацуян С.Г., Вардеванян А.О., Паносян Г.А. – Физиология растений, 1996, т. 43, № 4, с. 616–619.
11. Ames B.N. – Meth. Enzymol., 1966, v. 8, p. 115–118.

12. Vance C.P., Uhde-Stone C., Allan D.L. – New Phytologist, 2003, v. 157, № 3, p. 423–428.
13. Maathuis F.J.M., Filatov V., Herzyk P. et al. – The Plant Journal, 2003, v. 35, № 6, p. 675–681.
14. Hanneberry A.L., Wright M.M., McMaster Ch.R. – Mol. Biol. of the Cell, 2002, Sept., 13(9), p. 3148–3161.
15. Аրյуնի Г.Г., Батикян Т.Б., Тадевосян Ю.В. – Биохимия, 1999, т. 64, вып. 11, с. 1514–1518.
16. Zuniga G.E., Fernandez J., Cristi R., Alberdi M., Corcuera L.J. – Phytochemistry, 1990, v. 29, № 10, p. 3087.

Պ. Հ. ՎԱՐԴԵՎԱՆՅԱՆ, Մ. Ռ. ԴԱՐԲԻՆՅԱՆ, Ժ. Վ. ՅԱՎՐՈՅԱՆ, Լ. Ա. ՄԻՆԱՍԲԵԿՅԱՆ

ՑՈՐԵՍԻ ԾԼՈՂ ՍԵՐՄԵՐԻ ԿՈՐԻԶԱԹԱԼԱՆԹԻ ԵՎ ՔՐՈՍԱՏԻՆԻ
ՖՈՍՖՈԼԻՊԻԴԱՅԻՆ ԿԱԶՄԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆԸ ՏԱՐԲԵՐ
ԲՆՈՒՅԹԻ ԳՈՐԾՈՂՆՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՆԵՐՔՈ

Ամփոփում

Հետազոտված է ցորենի ծլող սերմերի կորիզային թաղանքի և քրոմատինի ֆոսֆոլիպիդային կազմը: Ցույց է տրված, որ կորիզային ենթաֆրակցիաները՝ կորիզաթաղանքը և քրոմատինը, տարբերվում են ֆոսֆոլիպիդների կազմով և պարունակությամբ: Սերմերը հիբերելինով (ΓK_3) մշակելով դեպքում նրանց կորիզային ենթաֆրակցիայում տեղի է ունենում ֆոսֆոլիպիդների վերաբաշխում ըստ պարունակության: Ցույց է տրված, որ ցորենի ծլող սերմերը միջինստրական ալիքներով ճառագայթելիս կորիզաթաղանքի և քրոմատինի ֆոսֆոլիպիդները տարբերվում են ոչ միայն ըստ կազմի, այլև ըստ նրանց պարունակության: Հետազոտված կորիզային սուբֆրակցիաներում տարբեր բնույթի գործողների նկատմամբ զգայունություն ցուցաբերում են ֆոսֆոլիպիդների տարբեր դասեր:

P. O. VARDEVANYAN, M. R. DARBINYAN, Zh. V. YAVROYAN, L. A. MINASBEKYAN

CHANGES IN THE PHOSPHOLIPID CONTENTS OF NUCLEAR MEMBRANE AND CHROMATIN OF GERMINATING CEREAL SEEDS UNDER INFLUENCE OF DIFFERENT FACTORS

Summary

The contents of chromatin phospholipid and nuclear membrane of germination cereal seeds have been investigated. It is shown, that the investigated nuclear sub fractions of cereal seedlings – nuclear membrane and chromatin differ in content and composition of phospholipids. At treatment of seeds with gibberellin (GA_3) has occurred the redistribution of phospholipids in content and composition. It is shown that specimens of nuclear membranes and chromatin of germinating cereal seeds differ both in content and composition of phospholipids. In studied nuclear sub fractions the sensibility to influence of factors of different nature show different classes of phospholipids.

Биология

УДК 575

М. Б. МАТЕВОСЯН, В. С. ПОГОСЯН, Э. А. АГАДЖАНЯН, А. Л. АТОЯНЦ,
Р. М. АРУΤՅՈՆՅԱՆ

**ОЦЕНКА ГЕНОТОКСИЧНОСТИ РАСТВОРОВ СОЛЕЙ ТЯЖЕЛЫХ
МЕТАЛЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕСТ-СИСТЕМ ТРАДЕСКАНЦИИ
(КЛОН 02)**

Выявлена частота индукции соматических рецессивных мутаций и микроядер под воздействием растворов солей тяжелых металлов $Pb(NO_3)_2$, $ZnSO_4$, $NiCl_2$, $CuCl_2$, $CrCl_3$ и оксида хрома CrO_3 с применением тест-систем традесканции (клон 02) – волосков тычиночных нитей и микроядер.

Показано, что ионы изучаемых тяжелых металлов генотоксичны. Они индуцируют соматические точечные мутации и вызывают кластогенный эффект в спорогенных клетках традесканции.

Для оценки мутагенной активности отдельных химических веществ, а именно тяжелых металлов (ТМ), целесообразно применение растительных тест-систем. Среди них наиболее чувствительными являются: подсчет волосков тычиночных нитей традесканции (Трад-ВТН) у гетерозиготных по окраске цветков, позволяющий улавливать точечные мутации при воздействии низких концентраций химических мутагенов, и микроядерный тест (Трад-МЯ), являющийся чувствительной системой для выявления кластогенности тех же мутагенов в спорогенных клетках [1–6]. На территории г. Еревана выявлена техногенная ассоциация четырнадцати тяжелых металлов [7], наблюдается повышенная концентрация свинца, цинка, меди, хрома, никеля и др., что и послужило поводом для моделирования их мутагенной активности.

Для этой цели с применением тестов Трад-ВТН и Трад-МЯ (клон 02) нами проведены модельные опыты для оценки мутагенности растворов солей тяжелых металлов.

Материал и методика. Нами были проведены исследования для выявления частоты индукции соматических рецессивных мутаций и микроядер растворами солей тяжелых металлов $CrCl_3$, $Pb(NO_3)_2$, $ZnSO_4$, $NiCl_2$, $CuCl_2$ и окисью хрома CrO_3 .

Обработка растений традесканции (клона 02) проводилась двумя методами: I – обработка соцветий (бутонов) с их погружением в исследуемый раствор солей тяжелых металлов [8]; II – обработка черенков традесканции с

образовавшимися цветочными бутонами [9]. В I случае соцветия (бутоны) обрабатывали в растворах солей разной концентрации в течение 18 часов (12/6 – дневной/ночной цикл в часах), во II – черенки с цветочными бутонами помещали в стеклянные стаканы с теми же растворами на 24 часа (18/6) при температуре 22–26°C.

После обработки в обоих случаях для применения теста Трад-ВТН черенки промывали и помещали в стеклянные емкости с водопроводной водой. Только после семидневного восстановительного периода проводили учет рецессивных (розовых) мутационных событий (РМС) в клетках ВТН и генетически неопределенных (бесцветных) мутационных событий (БМС) по общепринятой методике [2]. Расчеты проводили в среднем на 1000 волосков. Контролем служила бидистиллированная вода. Кроме соматических мутаций отмечались также некоторые морфологические изменения как в волосках тычиночных нитей (карликовые и ветвящиеся волоски), так и в цветках (изменение числа чашелистиков, лепестков и тычинок). Для анализа каждой пробы было проанализировано 10–20 тыс. волосков тычиночных нитей.

Аналогичные эксперименты по всем исследуемым растворам проводили и по тесту Трад-МЯ. Данный тест охватывает изменения, происходящие в процессе микроспорогенеза, особенно в тетрадах микроспор. Цветочные бутоны обрабатывались также, как и при Трад-ВТН, однако после обработки бутоны без прохождения периода восстановления фиксировались в ацетал-голе (3:1). Готовили временные препараты, окрашенные ацетокармином, и проводили подсчет микроядер на 100 тетрад по стандартной методике [9].

Для каждой пробы проанализировано по 4–5 тыс. тетрад. Полученные данные статистически обрабатывались с использованием t-критерия Стьюдента и компьютерной программы ANOVA.

Исследовалась зависимость частот РМС и БМС, а также числа МЯ в тетрадах спорогенных клеток от концентрации следующих ионов ТМ: Cr⁶⁺, Cr³⁺, Cu²⁺, Pb²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺ в концентрациях 1,25–10,00 mM.

Результаты и обсуждение. Как показывают данные таблицы 1, с повышением концентрации ионов Cu²⁺, Cr⁶⁺, Cr³⁺, Pb²⁺ частота РМС в волосках тычиночной нити традесканции увеличивается в 6–45 раз по сравнению со спонтанным уровнем.

Выявлено, что ионы одних и тех же металлов, имеющие разную валентность, различаются по мутагенной активности. Так, шестивалентный хром по сравнению с трехвалентным повышает частоту рецессивных мутаций в 1,5 раза. С повышением концентрации ионов Ni²⁺ частота РМС уменьшается. При воздействии иона Zn²⁺ с повышением его концентрации в пределах 1,25–3,75 mM частота РМС повышается, но снижается при концентрации 5,00 mM.

Обнаружена четкая зависимость частоты РМС от концентрации ионов Cr⁶⁺, Cr³⁺, Pb²⁺ в пределах 1,25–10,00 mM.

Выявлено, что при воздействии растворами солей ТМ, наряду с повышением РМС, в целом повышается и частота БМС. При увеличении концентрации Pb²⁺ и Zn²⁺ частота БМС линейно возрастает. Однако для ионов остальных 4-х металлов повышение частоты БМС происходит волнообразно.

Наивысшая концентрация 10,00 mM при воздействии ТМ, а именно ионов Cu²⁺, Ni²⁺ и Zn²⁺, приводит к гибели цветочных бутонов.

Помимо указанных мутаций, с повышением концентрации солей ТМ прослеживаются и другие типы нарушений: ветвление волосков тычиночных нитей, образование карликовых волосков, срастание тычиночных нитей, образование оголенных тычиночных нитей и пыльников без пыльцы, изменение числа тычинок, лепестков и чашелистиков в цветке.

Таблица 1

Частота соматических мутаций традесканции (клон 02), обработанной окисью хрома и солями тяжелых металлов разной концентрации

Вещество	Концентрация, mM	Число проанализированных волосков ±m	PMC/1000 волосков ±m	БМС/1000 волосков ±m	Невыжившие волоски, % ±m	Ветвление, % ±m
контроль		9818	0,1±0,10	0,9±0,30		0,2±0,14
CuCl_2	1,25	9752	0,61±0,25	0,20±0,14	0,50±0,22	0,10±0,10
	2,5	13342	1,60±0,34	1,30±0,31	1,40±0,32	0,90±0,25
	3,75	8417	1,70±0,90	0,80±0,30		0,10±0,10
	5,0	10901	2,10±0,43	5,10±0,68	2,20±0,44	1,80±0,40
	10,0	погибли				
NiCl_2	2,5	18419	0,80±0,20	3,10±0,40	0,40±0,14	
	3,75	11448	0,60±0,22	8,50±0,85	0,70±0,24	0,30±0,16
	5,0	17399	0,50±0,16	0,60±0,18		0,10±0,07
	10,0	погибли				
	1,25	21200	0,99±0,21	2,50±0,34	1,08±0,22	
ZnSO_4	2,5	15366	1,43±0,30	3,00±0,44		2,00±0,36
	3,75	22813	2,32±0,31	3,46±0,38		
	5,0	15301	0,30±0,14	4,00±0,51		
	10,0	погибли				
	2,5	15343	1,10±0,26	1,00±0,25	5,60±0,60	0,30±0,13
CrCl_3	3,75	20281	1,57±0,27	1,30±0,25	2,81±0,37	0,20±0,09
	5,0	18240	2,02±0,33	1,20±0,25	1,40±0,27	0,10±0,07
	10,0	11404	3,00±0,51	1,90±0,40	0,40±0,18	0,40±0,18
	2,5	20861	1,91±0,30	8,80±0,64	0,50±0,15	0,40±0,13
CrO_3	3,75	9131	2,81±0,55	1,70±0,43		0,10±0,10
	5,0	12647	3,24±0,50	7,80±0,78	0,70±0,23	1,60±0,35
	10,0	6709	4,32±0,80	5,50±0,90	0,40±0,24	1,80±0,51
	2,5	11362	1,50±0,36	1,00±0,29	0,30±0,16	
$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	3,75	22696	1,54±0,26	2,81±0,35	1,10±0,22	0,40±0,13
	5,0	12113	1,65±0,36	4,50±0,60	1,30±0,32	1,10±0,30
	10,0	15452	1,74±0,33	5,90±0,61	4,20±0,52	0,30±0,44

По данным теста Трад-МЯ (табл. 2), с повышением концентрации ионов Cr^{6+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} в пределах 1,25–10,00 mM по сравнению с контролем повышается и количество МЯ в тетрадах традесканции. Однако для всех ионов ТМ не наблюдается линейного повышения частоты МЯ. Аналогичная закономерность отмечена и в работах [4].

Таким образом, нами показано, что ионы изучаемых тяжелых металлов генотоксичны, они индуцируют соматические генные мутации ВТН и вызывают кластогенный эффект в спорогенных клетках микроспор традесканции.

Таблица 2

Частота МЯ в тетрадах микроспор традесканции (клон 02), обработанной окисью хрома и солями тяжелых металлов разной концентрации

Вещество	Концен-трация, mM	Число про-анализи-рованных тетрад	Число тетрад с микрояд-рами/100 тетрад	Процентное содержание тетрад с различным количеством микроядер						Общее число МЯ в тетрадах/100тетрад±m
				1	2	3	4	5	6	
контроль	5000	7,62	74,27	18,37	6,03	0,52	0,78			10,30±0,42
CuCl_2	1,25	4000	10,45	49,04	34,90	11,96	4,06			17,87±0,60
	2,5	4000	12,12	64,32	23,50	8,24	3,70	0,20		18,42±0,61
	3,75	4000	11,80	67,16	22,67	7,60	2,50			17,17±0,59
	5,0	4000	20,45	51,60	33,50	10,20	3,40	1,22		34,60±0,75
	10,0	4000	10,97	62,64	26,65	9,56	0,90	0,22		16,40±0,58
NiCl_2	2,5	4000	11,90	56,30	29,60	9,80	3,57	0,63		19,35±0,62
	3,75	4000	8,90	66,01	24,70	7,30	1,90			12,92±0,53
	5,0	4000	8,80	60,22	25,28	10,20	3,90	0,56		14,10±0,55
	10,0	4000	11,25	58,40	26,80	9,70	3,50	0,44		17,92±0,60
ZnSO_4	1,25	4000	11,05	61,90	30,76	10,85	0,90			17,65±0,60
	2,5	4000	11,46	63,21	26,43	9,20	1,50			16,75±0,59
	3,75	4000	12,10	61,50	26,00	8,26	4,13			21,75±0,65
	5,0	4000	10,65	50,70	34,59	12,50	3,30	1,18		18,65±0,61
	10,0	4000	10,60	46,46	34,20	12,02	5,18	2,10	0,23	20,20±0,63
CrCl_3	2,5	4000	10,70	67,75	20,79	9,34	1,80	0,20		15,62±0,57
	3,75	4000	12,50	70,80	22,40	6,00		0,80		17,10±0,59
	5,0	4000	13,95	72,20	20,07	3,94	2,30	0,70		19,22±0,62
	10,0	4000	14,65	66,21	20,98	5,10	3,90	1,36		21,40±0,64
CrO_3	2,5	4500	9,53	67,13	20,74	9,09	2,50	0,46		14,15±0,51
	3,75	4500	17,20	55,81	28,77	9,01	5,08	1,30		28,92±0,67
	5,0	5000	18,26	53,77	28,69	14,23	3,39			30,58±0,65
	10,0	5000	13,52	58,70	28,84	9,76	4,77	0,70	0,14	21,28±0,57
$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	2,5	4000	12,90	59,49	26,30	9,30	4,84			20,57±0,63
	3,75	4000	13,90	61,15	26,25	9,71	2,87			21,45±0,64
	5,0	4000	14,87	65,80	20,80	9,74	2,35	1,17		22,25±0,65
	10,0	4000	15,97	63,06	21,28	9,23	2,50	5,69		26,02±0,69

Полученные результаты позволяют моделировать действие повышенных концентраций цветных металлов в окружающей среде.

Лаборатория общей биологии,
подгруппа генетики и цитологии

Поступила 03.10.2005

ЛИТЕРАТУРА

- Steinkellner H., Mun-Sik K., Helma C., Echer S., Ma T.H., Horaka S., Kund M., Knasmuller S. – Environ. Mol. Mutagen, 1998, v. 31, № 2, p. 183–191.
- Ma T.H., Cabrera G.L. Cebulski-Wasilewska A., Chen R., Loarea F., Vandenberg A.L., Salamone M.F. – Mutat. Res., 1994, v. 310, p. 211–220.
- Ichikawa S. – Mut. Res., 1992, v. 270, p. 3–22.

4. Knasmüller S., Gottmann E., Steinkeiner H., Fomin A., Pickl C., Paschke A., Glid R., Kundi M. – Mut. Res., 1998, v. 420, p. 37–48.
5. Fomin A., Paschke A., Arndt U. Assessment of genotoxicity of mine-dump material using the Tradescantia stamen hair assay (Trad SHM) and the Tradescantia micronucleus (Trad MCN) bioassay, in: T.H.Ma (Ed), Workshop on Plant Bioassays for Detection of Environmental Genotoxins, Final Report UNEP, FP/0502–95–08, 1997.
6. Gill B.S., Sandhu R. – Mutat. Res., 1992, v. 270, p. 65–69.
7. Сагателян А.К., Аракелян С.А., Симонян Т.Ш. – Вопросы экологии и охраны окружающей среды, 1996, т. 2, с. 17–22. Деп.№ 82-Ар96.
8. Gichner T., Veleminsky J., Pokorhy V. – Mutat. Res., 1982, v. 103, p. 289–293.
9. Ma T.H., Cabrera G.L., Chen R., Gill B.S., Sandhu S.S., Vandenberg A.L., Salamone M.F. – Mutat. Res., 1994, v. 310, p. 221–230.

Մ. Բ. ՄԱԹԵՎՈՍՅԱՆ, Վ. Ս. ՊՈՂՈՍՅԱՆ, Է. Ա. ԱԳԱՋԱՆՅԱՆ, Ա. Լ. ԱԹՈՅԱՆՏ,
Ռ. Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

**ԾԱՆՐ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԱԴԵՐԻ ԼՈՒԾՈՒՅԹՆԵՐԻ ԳԵՆՈՏՈՔՍԻԿ
ԱԿՏԻՎՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ՏՐԱԴԵՍԿԱՆՑԻԱՅԻ 02 ԿԼՈՆԻ
ՏԵՍ-ՀԱՍՏԱԿԱՐԳԵՐԻ ԿԻՐԱԾՈՒԱՍՔ**

Ամփոփում

Տրադեսկանցիայի առէջարելերի մազիկների և միկրոկորիզների տեսահամակարգերի կիրառմամբ ուսումնասիրվել է տարբեր խտություն ունեցող ծանր մետաղների աղերի լուծույթների և քրոմի օքսիդի ազդեցությունը սոմատիկ ռեցեսիվ մուտացիաների և տեսրադներում միկրոկորիզների առաջացման հաճախականության վրա:

Ցույց է տրվել, որ հետազոտվող ծանր մետաղների իոնները գենոտոքսիկ են, նրանք մակածում են տրադեսկանցիայի առէջարելերի մազիկներում գենային մուտացիաներ, իսկ սպորոգեն բջիջներում առաջացնում են կլաստոգեն էֆեկտ:

M. B. MATEVOSYAN, V. S. POGHOSYAN, E. A. AGADJANYAN, A. L. ATOYANTS,
R. M. ARUTYUNYAN

ESTIMATION OF GENOTOXIC EFFECTS OF SALTS OF HEAVY METALS WITH APPLICATION OF TEST-SYSTEMS OF TRADESCANTIA (CLONE 02)

Summary

Induction of somatic recessive mutations and micronuclei by solutions of salts of heavy metals CrCl_3 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, ZnSO_4 , NiCl_2 , CuCl_2 and chrome oxide CrO_3 in test-systems of Tradescantia (clone 02) is investigated.

It is shown, that ions of investigated heavy metals are genotoxic. They induce somatic point mutations and clastogen effect in sporogenic cells of Tradescantia.

Биология

УДК 612. 821

В. Г. ГРИГОРЯН, Л. С. СТЕПАНЯН, А. Р. АГАБАБЯН, А. Ю. СТЕПАНЯН

**ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ АМПЛИТУДЫ КОМПОНЕНТА N₂₀₀
ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА
ПОДРОСТКОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИГРЫ
АГРЕССИВНОГО СОДЕРЖАНИЯ**

Исследовалась динамика изменения активности различных областей коры головного мозга с целью выявления структур, ответственных за процесс реализации игры агрессивного содержания с учетом исходной агрессивности испытуемых подростков.

Обнаружено, что у подростков с высоким исходным уровнем агрессивности наблюдается повышение величины амплитуды компонента N₂₀₀ во фронтальных областях и понижение в височных. В то же время показано, что у подростков с низким исходным уровнем агрессивности наблюдается понижение величины амплитуды компонента N₂₀₀ во фронтальных и повышение в височных областях.

Введение. Рост агрессивных тенденций в подростковой среде является одной из острейших социальных проблем нашего общества, где в последние годы наблюдается тенденция к возрастанию преступности. Важной составляющей данного вопроса является изучение различных факторов (внутренних и внешних), оказывающих влияние на формирование агрессивных форм поведения человека, одним из которых является увлечение подростками компьютерной техникой, в частности компьютерными играми. С одной стороны, это является положительным фактором, приводящим к развитию интеллекта детей и подростков, с другой стороны, в последнее время появляется все большее количество сообщений, предупреждающих об опасном влиянии компьютера на их психику.

В ряде работ [1–3] отмечается, что занятия с компьютером – это своего рода зависимость, которая выражается в таких психопатологических симптомах, как неспособность подростков переключаться на другие развлечения, уход в виртуальный мир и т. д. Особое место среди компьютерных игр отводится играм агрессивного содержания, которые являются одними из самых популярных среди подростков и детей, их негативное влияние отмечено рядом авторов [1–2].

Известно, что возникновение и развитие агрессивности человека основывается на определенных изменениях в центральной нервной системе, в частности в лимбической системе и коре головного мозга [4, 5]. По данным ряда авторов [5–8], формирование агрессивности человека в основном определяется участием трех мозговых структур: фронтальной зоны глазничной извилины, передней области коры поясной извилины и миндалевидного тела. Первые две обладают своеобразным сдерживающим влиянием, а в миндалевидном теле, активность которого отражается в височной коре, формируется чувство страха и другие отрицательные эмоции. Среди этих структур особое место придается роли лобной доли коры головного мозга, которая осуществляет интерпретацию внешней сенсорной информации, выбор ответных реакций и прогнозирование их последствий, что является одним из главных механизмов обеспечения адаптивного поведения.

Однако проблема мозгового обеспечения агрессивного поведения, в частности вопрос влияния компьютерных игр агрессивного содержания, мало изучена. Мы предположили, что использование агрессивных компьютерных игр, как фактора возможного развития агрессии, может служить моделью для диагностики сдвигов уровня агрессивности, а также для исследования нейрофизиологических механизмов агрессивного поведения и степени их влияния.

Целью данной работы является оценка динамики изменения активности различных областей коры для выявления степени вовлеченности корковых структур, ответственных за процесс реализации игры агрессивного содержания с учетом исходной агрессивности испытуемых подростков. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи: тестирование подростков на определение исходного уровня агрессивности и тревожности и сравнительная оценка активности во фронтальных, орбито-фронтальных, височных и передне-нижне-височных областях до и к концу выполнения задания.

Методика исследования. В исследованиях принимали участие 12 практически здоровых подростков в возрасте от 13 до 16 лет. Для выявления уровня агрессивности использовался опросник Басса–Дарки, а также такие проективные методики, как «Несуществующее животное», «Тест руки Вагнера». Тест Люшера, с помощью которого оценивался уровень тревожности испытуемых, проводился до начала игры на компьютере и сразу по окончании эксперимента. Для моделирования агрессогенного фактора испытуемым была предложена компьютерная игра с элементами насилия и актами убийств, которая выполнялась ими в течение 1 часа. Для диагностики уровня активности фронтальных, орбито-фронтальных, височных и передне-нижне-височных областей обоих полушарий головного мозга испытуемых регистрировались зрительные вызванные потенциалы (ВП) до начала эксперимента (T_0) и после одного часа игры на компьютере (T_1). Проводился сравнительный анализ амплитуды компонента N_{200} ВП.

Исследования проводились в затемненной, звукозаглушенной, скринированной камере в удобном для испытуемого полулежачем, расслабленном положении с закрытыми глазами. Регистрация вызванной электрической активности осуществлялась на 8-канальном энцефалографе фирмы Medicor (Венгрия), постоянная времени – 1с, полоса пропускания – 0,5–70Гц. Экспе-

римент управлялся компьютером, на дисплее которого регистрировалась и усреднялась вызванная электрическая активность на световое раздражение. Генератором светового импульса служил фотостимулятор FTS-21, в качестве зрительного стимула использовались световые вспышки средней интенсивности (0,4Дж с частотой 0,3Гц). Регистрация проводилась с помощью отводящих хлорсеребряных электродов диаметром 7–8мм, которые располагались в симметричных точках фронтальной, орбито-фронтальной, височной и передне-нижне-височной областей коры головного мозга обоих полушарий по системе 10/20. Индифферентный электрод располагался на мочке уха. ВП усреднялись по 32 индивидуальным реакциям с помощью специально разработанной компьютерной программы. Для автоматической регистрации, суммирования и анализа ВП использовались компьютерные программы EPREC и EPPROC.

В настоящей работе анализировались амплитудные характеристики V негативного компонента N₂₀₀ по классификации Циганека [9].

Результаты и обсуждение исследований. По результатам тестирования по опроснику Басса-Дарки испытуемые были разделены на 2 группы (по 6 человек): в первую группу вошли подростки с высоким коэффициентом агрессивности, а во вторую – с низким.

Результаты проведенного тестирования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели степени агрессивности и уровня тревожности у испытуемых исследуемых групп

Испытуемые	Индекс агрессивности по опроснику Басса-Дарки		Уровень тревожности			
			до эксперимента		после эксперимента	
	I группа	II группа	I группа	II группа	I группа	II группа
1	25	16	6	2	5	8
2	24	23	3	0	0	0
3	25	19	3	0	3	2
4	25	21	4	0	1	4
5	25	11	4	4	1	9
6	26	22	1	0	1	0

Как видно из табл. 1, у 83% испытуемых первой группы фоновый уровень тревожности (в среднем 3,5 усл. ед.) выше, чем у испытуемых второй группы (в среднем 1 усл. ед.). После выполнения предложенного задания у 67% испытуемых, вошедших в первую группу, тревожность понижается, в то время как у 67% испытуемых второй группы тревожность повышается.

Данные анализа амплитудных показателей компонента N₂₀₀ зрительных ВП представлены в таблицах 2 и 3.

Как видно из таблицы 2, у подростков первой группы наблюдается достоверное ($p<0,05$, $p<0,01$) повышение величины амплитуды компонента N₂₀₀ ВП, зарегистрированных во фронтальных и орбито-фронтальных областях коры мозга, и ее достоверное ($p<0,05$, $p<0,01$) понижение в височных и левой передне-нижне-височной областях.

Сравнительный анализ амплитудных показателей компонента N₂₀₀ ВП (см. табл. 3) показал, что у подростков второй группы наблюдается достовер-

ное ($p<0,05$) понижение величины амплитуды во фронтальных областях коры мозга и тенденция к понижению в орбито-фронтальных областях. Обнаружено также достоверное ($p<0,05$, $p<0,01$) повышение величины амплитуды компонента N_{200} ВП, зарегистрированных в височных и передне-нижне-височных областях (в правой передне-нижне-височной области – повышение на уровне тенденции).

Таблица 2

Изменения величины амплитуды компонента N_{200} ВП в областях левого и правого полушарий у испытуемых первой группы (в $\mu\text{кВ}$)

Испытуемые	Фронтальная область				Орбито-фронтальная область			
	левое, $p<0,05$		правое, $p<0,05$		левое, $p<0,01$		правое, $p<0,05$	
	T_0	T_1	T_0	T_1	T_0	T_1	T_0	
1	3,0	3,5	4,5	5,5	3,0	5,5	8,0	10,0
2	5,0	5,5	2,0	7,0	6,5	8,5	2,5	5,0
3	2,5	4,0	2,0	5,5	9,5	14,5	4,5	7,5
4	1,0	4,5	3,0	6,0	5,0	8,0	2,5	5,5
5	4,0	4,5	2,0	3,5	5,5	8,0	3,0	7,5
6	2,5	6,5	4,5	5,0	5,0	8,5	7,0	8,0
Среднее значение величины амплитуды ($M \pm m$)	$3,0 \pm 1,4$	$4,75 \pm 1,1$	$3,0 \pm 1,2$	$5,4 \pm 1,2$	$5,8 \pm 2,2$	$8,8 \pm 3,0$	$4,6 \pm 2,4$	$7,3 \pm 1,8$
Испытуемые	Височная область				Передне-нижне-височная область			
	левое, $p<0,01$		правое, $p<0,05$		левое, $p<0,05$		правое	
	T_0	T_1	T_0	T_1	T_0	T_1	T_0	T_1
1	5,0	4,0	9,0	4,5	4,5	2,0	6,5	8,0
2	6,0	5,5	7,0	2,0	3,5	1,5	8,5	5,5
3	6,0	5,0	6,0	5,0	2,5	2,0	8,0	5,5
4	5,0	4,0	4,5	3,5	2,5	1,0	5,0	4,5
5	9,5	8,5	7,5	3,5	2,5	1,5	5,0	3,0
6	7,0	6,5	5,0	4,5	2,0	1,5	6,5	5,5
Среднее значение величины амплитуды ($M \pm m$)	$6,4 \pm 1,7$	$5,7 \pm 1,6$	$6,5 \pm 1,7$	$3,8 \pm 1,1$	$2,9 \pm 0,9$	$1,6 \pm 0,4$	$6,6 \pm 1,5$	$5,4 \pm 1,6$

Межгрупповой сравнительный анализ исходного уровня активности исследуемых областей коры показал также, что у большинства испытуемых первой группы средняя фоновая амплитуда компонента N_{200} ВП левой ($3,0 \mu\text{кВ}$) и правой ($3,0 \mu\text{кВ}$) фронтальных областей достоверно ($p<0,05$) ниже таковой в левой ($6,3 \mu\text{кВ}$) и правой ($7,1 \mu\text{кВ}$) фронтальных областях у испытуемых второй группы.

Полученные в наших экспериментах данные по исходному уровню активности передних отделов коры (фронтальная и орбито-фронтальная области) соответствуют данным ряда авторов [5, 8], исследовавших мозг людей, склонных к агрессии. Ими показано, что в формировании и контроле уровня агрессивности ведущую роль играют эти передние отделы коры головного мозга.

Нами обнаружено, что у большинства подростков, участвовавших в экспериментах, наблюдаются сопряженные изменения во фронтальной и височной областях, отличающихся по своему знаку у испытуемых I и II групп. У испытуемых с высоким уровнем агрессивности наблюдается усиление активации во фронтальных и ослабление в височных областях коры головного мозга, что свидетельствует об усилении контроля над эмоциональной сферой со стороны структуры, отвечающей за осмысленные действия.

Таблица 3

Изменения величины амплитуды компонента N₂₀₀ в областях левого и правого полушарий у испытуемых второй группы (в мкВ)

Испытуемые	Фронтальная область				Орбито-фронтальная область			
	левое, p<0,05		правое, p<0,05		левое		правое	
	T ₀	T ₁	T ₀	T ₁	T ₀	T ₁	T ₀	T ₁
1	6,5	3,5	6,5	3,5	7,5	5,5	6,5	7,0
2	7,5	1,5	8,5	5,0	7,0	1,0	7,0	2,0
3	8,5	3,0	6,0	5,0	2,0	7,5	5,0	4,0
4	5,0	1,5	5,5	3,5	7,5	7,0	6,5	2,5
5	5,0	3,0	8,5	7,5	5,5	5,5	7,5	7,0
6	5,5	5,0	7,5	6,0	7,0	5,5	5,5	3,0
Среднее значение величины амплитуды (M±m)	6,3±1,4	2,9±1,3	7,1±1,3	5,1±1,5	5,3±2,6	5,3±2,3	6,3±0,9	4,3±2,2
Испытуемые	Височная область				Передне-нижне-височная область			
	левое, p<0,05		правое, p<0,01		левое, p<0,05		правое	
	T ₀	T ₁	T ₀	T ₁	T ₀	T ₁	T ₀	T ₁
1	5,0	6,5	3,5	8,0	5,5	6,5	3,0	6,5
2	5,5	5,5	7,0	8,0	3,0	4,5	7,0	5,0
3	3,5	4,5	4,0	7,0	1,0	6,0	4,5	8,5
4	4,0	4,5	5,5	9,5	2,0	6,0	7,5	2,5
5	4,0	4,5	6,0	7,0	3,5	4,0	2,5	7,0
6	6,0	6,5	3,0	5,0	3,0	4,0	4,5	5,0
Среднее значение величины амплитуды (M±m)	4,7±0,9	5,3±0,9	4,8±1,6	7,4±1,5	3,0±1,5	5,2±1,1	4,8±2,0	5,8±2,1

Полученные нами результаты соответствуют данным В.В. Шульговского, отмечающего регулирующую роль лобных отделов коры в формировании эмоций: при разрушении лобного полюса наблюдается стертость эмоций и неадекватное поведение [10]. В то же время, обнаруженнное нами понижение амплитуды компонента N₂₀₀ ВП лобных областей коры у испытуемых II группы под влиянием предложенной игры является свидетельством ослабления коркового контроля за отрицательными эмоциями и увеличения степени агрессивности под влиянием компьютерной игры агрессивного содержания, что соответствует результатам исследований Дж. Мюррея [8].

Таким образом, результаты наших исследований позволяют предположить, что существует отрицательная обратная зависимость между активнос-

тами во фронтальных и височных областях коры головного мозга под воздействием агрессивного фактора.

Выводы. Обнаружено, что у подростков с высоким исходным уровнем агрессивности наблюдается повышение величины амплитуды компонента N₂₀₀ во фронтальных областях и понижение в височных областях коры головного мозга.

Показано, что у подростков с низким исходным уровнем агрессивности наблюдается понижение величины амплитуды компонента N₂₀₀ во фронтальных и повышение в височных областях.

Таким образом, компьютерные игры агрессивного содержания оказывают неоднозначное влияние на подростков, отличающихся исходным уровнем агрессивности.

Кафедра физиологии человека и животных

Поступила 03.03.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Завражин С.А. – Вопросы психологии, 1993, № 5, с. 43–56.
2. Ильин Е.П. Мотивация и мотивы. М., 2000, 508 с.
3. Шапкин С.А. – Психологический журнал, 1999, т. 20, № 1, с. 86–102.
4. Davidson R.J., Jacson D.C., Kalin N.H. – Psychological Bulletin, 2000, v. 126, p. 890–906.
5. Davidson R.J., Pizzagalli D., Pascual Marqui R.D. et al. – The American J. Psych., 2001, v. 158, p. 405–415.
6. Frierson R L, Finkenbine R D. – J. Forensic Sci., 2004, v. 49, № 3, p. 604–609.
7. Moya-Albiol L. – Rev. Neurol., 2004, v. 38, № 11, p. 1067–1075.
8. Murray J.P. – Kansas Journal of Law, 1995, v. 4, № 3, p. 7–14.
9. Шагасс П. Вызванные потенциалы в норме и патологии. М., 1975, 341 с.
10. Шульговский В.В. Основы нейрофизиологии. М.: Аспект пресс, 2000, 277 с.

Վ.Հ.ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Լ.Ս.ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ, Հ.Ռ.ԱՂԱԲԱՐՅԱՆ, Ա.ՅՈՒ.ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ

ԴԵՌԱՀԱՆՆԵՐԻ ԳԼԽՈՒՂԵԴԻ ԿԵՂԵՎԻ ՀՐԱՀՐՎԱԾ
ՊՈՏԵՆՑԻԱԼՆԵՐԻ N₂₀₀ ԲԱՂԱԴՐԻՉԻ ԱՍՊՈԼԻՏՈՒԴԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ
ԴԻՆԱՄԻԿԱՆ ԱԳՐԵՍԻՎ ԲՆՈՒՅԹԻ ԽԱՎԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՏԱԿ

Ամփոփում

Ագրեսիվ խաղի իրականացման համար պատասխանառու կեղևային շրջանները հայտնաբերելու նպատակով հետազոտել ենք կեղևի տարրեր շրջանների ակտիվության փոփոխությունների դիմանմիկան՝ հաշվի առնելով դեռահաս փորձարկվողների ֆոնային ագրեսիվության աստիճանը:

Հայտնաբերված է, որ բարձր ֆոնային ագրեսիվություն ունեցող դեռահասների դեպքում առաջարկված խաղից հետո նկատվում է N₂₀₀ կոմպոնենտի ամպլիտուդի աճ ճակատային շրջաններում և նվազում՝ քունքային շրջաններում: Միևնույն ժամանակ ցույց է տրված, որ ցածր ֆոնային

ազրեսիվություն ունեցող դեռահասների դեպքում առաջարկված խաղից հետո նկատվում է N_{200} կոմպոնենտի ամպլիտուդի նվազում ճակատային շրջաններում և աճ՝ քունքային շրջաններում:

V. G. GRIGORYAN, L. S. STEPANYAN, H. R. AGHABABYAN, A. Yu. STEPANYAN

THE INFLUENCE OF AGGRESSIVE TASK PERFORMANCE ON
DYNAMIC CHANGES OF AMPLITUDE OF COMPONENT N_{200} OF THE
EVENT-RELATED POTENTIALS OF THE TEENAGERS' BRAIN
CORTEX

Summary

Dynamic changes of cortex various areas activity were investigated with the purpose of revealing the cortical structures responsible for realization of the aggressive game by examinees – teenagers with different degree of initial aggression.

The increase of component N_{200} amplitude in frontal areas and decrease of amplitude in temporal areas after presented game is observed at teenagers with a high level of initial aggression. At the same time, after presented game it is shown the decrease of component N_{200} amplitude in frontal areas and increase of amplitude in temporal areas at teenagers with a low level of initial aggression.

Биология

УДК 612.886+612.014.45

С. М. МИНАСЯН, С. Г. САРКИСЯН, М. Л. ЕГИАЗАРЯН

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИМПУЛЬСНОЙ АКТИВНОСТИ НЕЙРОНОВ МЕДИАЛЬНОГО ВЕСТИБУЛЯРНОГО ЯДРА ОДНОСТОРОННЕ ДЕЛАБИРИНТИРОВАННЫХ КРЫС

С использованием компьютерного метода регистрации и анализа данных исследовалась спонтанная импульсная активность (ИА) контра- и инсплатеральных нейронов медиального вестибулярного ядра (МВЯ) в различные дни (на 2-ые и 7-ые сутки) после односторонней делабиринтации (ОД). Оценивались распределения нейронов парного МВЯ по степени регулярности ИА, характеру динамики следования нейрональных потоков и модальности гистограмм межимпульсных интервалов. Рассчитывались средние значения основных статистических показателей ИА. Показано, что у интактных животных в основных характеристиках спонтанной импульсации нейронов асимметрии нет. Последняя выявляется на 2-ые и ослабевает на 7-ые сутки после ОД. Обсуждаются особенности и функциональное значение полученных результатов.

Различные внешние факторы, а также ряд патологических состояний организма, связанных с функциональными или морфологическими изменениями в вестибулярном анализаторе на любом участке его пути – от рецептора в лабиринте до центрального отдела в коре больших полушарий головного мозга, могут вызвать расстройство вестибулярной функции. В последнее время особое внимание уделяется периферической вестибулярной дисфункции, приводящей к дефициту возбуждения одного из лабиринтов, который в свою очередь приводит к имбалансу между вестибулярными ядрами.

При выключении функции лабиринта с одной стороны развивается хорошо известный синдром, проявляющийся головокружением, спонтанным нистагмом в здоровую сторону, реакцией отклонения в сторону медленной фазы нистагма, раздражением вегетативной нервной системы. Одновременно включаются компенсаторные механизмы, направленные на подавление перечисленных патологических расстройств [1, 2]. Изучение процесса компенсации будет тем успешнее, чем чаще будет проводиться исследование на деафферентированном животном.

Поэтому целью настоящей работы стало изучение функционирования

нервных элементов медиального вестибулярного ядра (МВЯ) делабиринтированных крыс.

Методы исследования. Эксперименты проводили в условиях острого опыта на 23 половозрелых белых крысах (весом 200–230г), наркотизированных нембуталом (40мг/кг, внутрибрюшинно). Односторонняя делабиринтация (ОД) с правой стороны осуществлялась методом Мокроусовой [3] (электропокоагуляцией током 8,0–8,5mA в течение 2мин). При пробуждении животного от наркоза наблюдалась клинические признаки ОД: появление тонического отклонения глаз – вниз на стороне разрушения и вверх на противоположной стороне; наличие спонтанного нистагма (быстрый компонент направлен в сторону интактного лабиринта); движения животного по кругу (манежные движения) в эту же сторону; врачательные движения головой и туловищем при висении животного головой вниз.

Импульсная активность (ИА) 447 нейронов МВЯ регистрировалась экстраклеточно стеклянными микроэлектродами с диаметром кончика 1–1,5мк, сопротивлением 3–5мОм, заполненными 2M раствором NaCl. Стереотаксическая ориентация электродов в МВЯ осуществлялась по координатам атласа Паксиноса [4]. ИА нейронов МВЯ животных с периферическим повреждением вестибулярного аппарата регистрировалась на 2-ые и 7-ые сутки. Всего на интактных животных зарегистрировано 79 лево- и 92 правосторонних нейронов МВЯ, а на 2-ые и 7-ые дни после ОД – соответственно 60 и 70 контра-, 69 и 77 ипсолатеральных нейронов МВЯ. В конце каждого эксперимента проводился гистологический контроль попадания кончика микроэлектрода в МВЯ.

С использованием подходов, примененных нами в предыдущих исследованиях [5], анализировались последовательные участки импульсной активности нейронов, включающие до 1200 потенциалов действия. По форме графиков скользящей частоты оценивалась стационарность ИА нейронов. В случае стационарности исследуемых выборок строились нормированные гистограммы межимпульсных интервалов (ГМИ) и аутокоррелограммы (АКГ) до 8-го порядка, отражающие вероятность формирования потенциалов действия в различные моменты времени. По форме АКГ проводилась классификация нейронов по трем степеням регулярности импульсного потока: I – регулярные нейроны; II – промежуточные по степени регулярности; III – регулярно разряжающиеся. Нестационарные нейроны были объединены в четвертую группу. Динамическая структура импульсных потоков определялась путем вычисления сериальных коэффициентов корреляции (СКК). Коэффициенты корреляции (КК) последовательных ГМИ рассчитывались для совокупности смежных интервалов, пар межимпульсных интервалов, взятых через один интервал, два и более – до КК 50-го порядка. Отличие КК от нуля оценивалось при уровне достоверности $p < 0,05$. Совокупность СКК и их графическое представление характеризовали динамику следования ГМИ в текущей импульсной активности. Было выявлено 4 типа СКК: для случайного, локального, пачечно-группового и монотонного следований ГМИ.

Для стационарных нейронов рассчитывалась средняя частота разрядов. По паттернам ГМИ были выделены моно-, би- и полимодальные ней-

роны. По частоте ИА исследованные нейроны подразделялись на 3 группы: I – низко- (с фоновой частотой до 10 Гц), II – средне- (11 – 30 Гц), III – высоко-частотные (свыше 30 Гц) нейроны.

Для оценки достоверности изменения распределения нейронов МВЯ в различные дни экспериментов использовался критерий χ^2 . Достоверность изменения средней частоты оценивалась по критерию Стьюдента.

Результаты и обсуждение. Результаты исследований свидетельствуют, что среди 79 лево- и 92 правосторонних нейронов, зарегистрированных у интактных животных, по степени регулярности импульсных потоков доминируют нерегулярные нейроны (51% и 56% соответственно). Несколько меньше промежуточных по степени регулярности ИА клеток (34% в левом, 29% в правом МВЯ). Нестационарные и регулярные единицы в обеих сторонах МВЯ представлены одинаковым количеством (по 11% и 4% соответственно). Различия в распределении лево- и правосторонних единиц МВЯ по степени регулярности фоновой ИА в норме носили недостоверный характер (рис. 1).

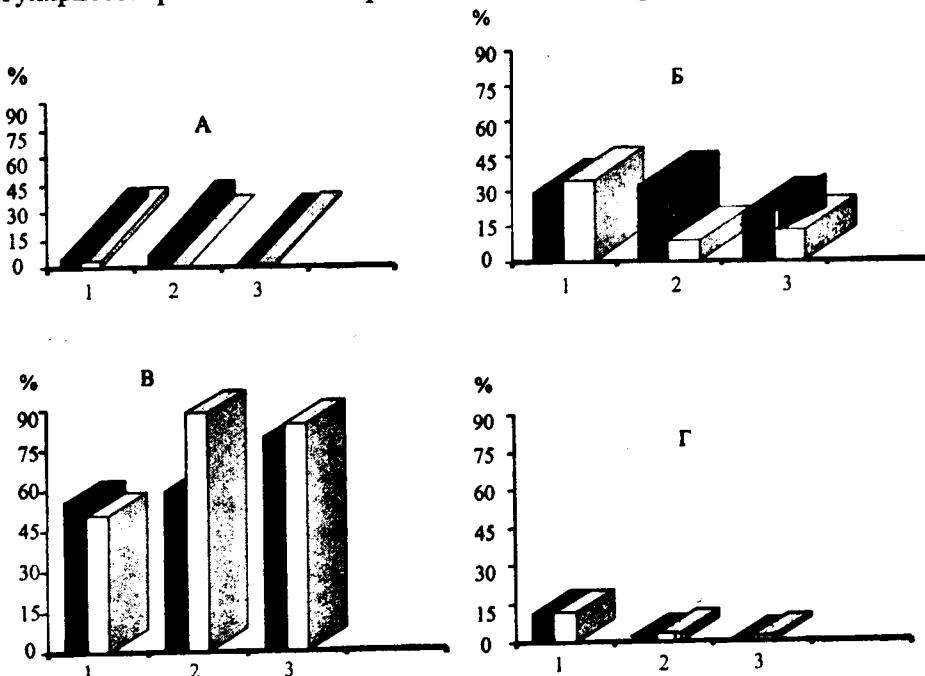


Рис. 1. Характер распределения иpsi- (■) и контраполатеральных (□) нейронов МВЯ по степени регулярности в различные дни после правосторонней лабиринтэктомии. А – регулярные, Б – промежуточные по степени регулярности, В – нерегулярные, Г – нестационарные нейроны; 1 – промежуточные по степени регулярности, 2, 3 – через 2 и 7 дней после односторонней лабиринтэктомии соответственно.

Анализ результатов проведенных исследований выявил, что ОД приводит к дисбалансу в распределении нейронов контра- и ипсилатерального МВЯ (к- и и-МВЯ) по степени регулярности. При этом на 2-ые сутки после ОД в к-МВЯ доминируют нерегулярно разряжающиеся нейроны, число которых превосходит аналогичные показатели и-МВЯ в 1,5 раза. В этот период количество регулярных и промежуточных по степени регулярности

фоновой ИА клеток в и-МВЯ соответственно в 7 и 4 раза больше, чем в интактной стороне ($p<0,001$). На 7-й день после ОД дисбаланс в распределении нейронов парного МВЯ урегулировался и статистически значимых изменений в этот период не наблюдалось (рис. 1).

Анализ распределения нейронов МВЯ по типам динамической активности у интактных животных выявил преобладание нейронов с локальными изменениями частоты разрядов (57% в левом и 49% в правом МВЯ). Клетки с пачечно-групповой активностью и монотонным изменением частоты в левостороннем МВЯ составляли 21% и 19%, а в правостороннем – 23% и 28% соответственно. Т.е. ОД не приводит к дисбалансу в распределении нейронов МВЯ по типам динамической активности.

В распределении нейронов МВЯ по модальности ГМИ у интактных животных доминировали полимодальные нейроны (67% в левом и 72% в правом МВЯ). Регистрация клеток к-МВЯ на вторые сутки после ОД (рис. 2) выявила увеличение в 1,3 раза полимодальных клеток и уменьшение соответственно в 3,9 и 1,9 раза количества моно- и бимодальных клеток по сравнению с поврежденной правой стороной ($p<0,001$).

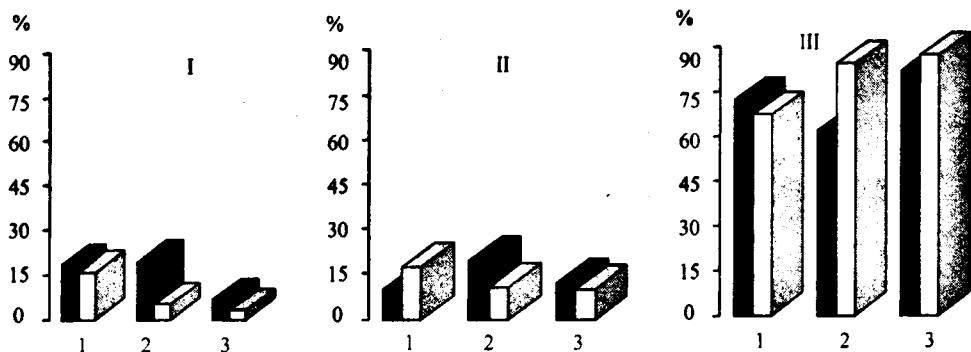


Рис. 2. Характер распределения ипси- (■) и контралатеральных (□) нейронов МВЯ по модальности гистограмм в различные сроки после правосторонней лабиринтэктомии. I – моно-, II – би-, III – полимодальные нейроны; 1 – показатели интактных животных; 2, 3 – через 2 и 7 дней после ОД соответственно.

Средняя частота нейронов в левом и правом МВЯ интактных животных составляла (в Гц) $23,6 \pm 1,5$ и $16,6 \pm 1,7$ соответственно. На рис. 3 представлена динамика средней частоты фоновых разрядов парного МВЯ в различные дни экспериментов. ОД вызывала усиление имеющегося дисбаланса средней частоты (Гц) – ее уменьшение на деафферентированной ($14,7 \pm 0,9$) и увеличение на интактной ($26,9 \pm 4,7$) стороне ($p<0,001$). Увеличение средней частоты происходило вследствие резкого возрастания количества высокочастотных единиц, которые в 5 раз превосходили таковые в поврежденной стороне. На 7-й день после ОД наблюдалось возвращение показателей средней частоты импульсации обеих сторон МВЯ к основному уровню (рис. 3).

Сравнительный анализ показателей ИА нейронов МВЯ показал, что у интактных животных основные характеристики лево- и правосторонних нейронов статистически не отличались. С одной стороны, у исследуемых животных синдромы нарушения движения и позы ослабевали уже на 2-ые сутки

после лабиринтэктомии, с другой же, одностороннее повреждение частично прекращало поступление в нервные центры специфической информации. После ОД достоверно изменялись показатели степени регулярности импульсных разрядов, модальности ГМИ, частотного распределения нейронов (на неповрежденной стороне увеличивалось число высокочастотных нейронов, а на оперированной оно соответственно уменьшалось), в результате чего наблюдался дисбаланс и в значениях средней частоты импульсации. Результаты наших исследований подтверждаются исследованиями последних лет, посвященных изучению нейрональной активности вестибулярных ядер и изменений, вызванных угловыми ускорениями в процессе вестибулярной компенсации [6–9]. Авторы отмечают, что возникновение межъядерного дисбаланса является неотъемлемой частью вестибулярной компенсации.

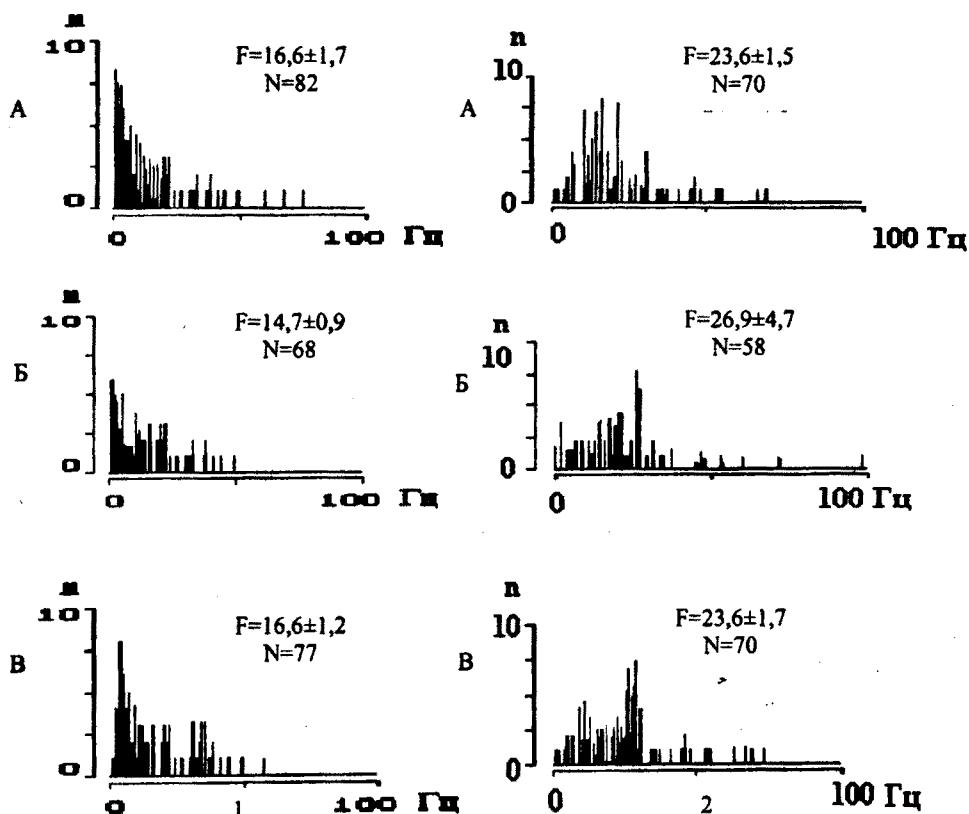


Рис. 3. Гистограммы средних частот испи- (1) и контралатерального (2) МВЯ в различные дни экспериментов. А – контроль, Б, В – через 2 и 7 дней после лабиринтэктомии соответственно; N – общее количество нейронов; n – количество нейронов на гистограммах; F – средняя частота разрядов (шаг гистограммирования 1Гц).

Согласно нашим экспериментальным данным, через 2 дня после периферического повреждения вестибулярного аппарата одновременно со снижением спонтанной активности нейронов на испилатеральной стороне наблюдалось увеличение частоты разрядов в к-МВЯ. Увеличение частоты импульсации нейронов на интактной стороне может быть результатом прекращения

тонического тормозного влияния через вестибулярные комиссуральные пути от вестибулярных ядер, расположенных на стороне повреждения [7, 9, 10]. ГАМК-рецепторы способствуют тормозному влиянию комиссуральных связей в ходе вестибулярной компенсации [10]. По сведениям других авторов [11, 12], начальным результатом ОД является двустороннее угнетение спонтанной активности вестибулярных ядер, которое на интактной стороне приписывается мозжечковому или перекрестному вестибулярному торможению. Позднее возникает асимметрия за счет еще большего снижения активности на деафферентированной стороне.

Анализ результатов полученных нами данных выявил одинаковый уровень нейродинамической активности обоих ядер МВЯ на 7-ые сутки после односторонней деафферентации. Существующие в литературе данные о длительности восстановления статических симптомов противоречивы. Одни авторы показывают, что у большинства видов млекопитающих они компенсируются спустя 52 часа после операции [6], другие же указывают на более дальние сроки [8]. Необходимо отметить, что процесс восстановления нейродинамической активности вестибулярных ядер связан с глубокими преобразованиями в нервной системе, включая изменения ферментативных систем. К числу вероятных факторов, способствующих развитию компенсации, М. Гото и соавт. [13] относят адаптацию в интактном вестибулярном нерве, а также сверхчувствительность деафферентированных вестибулярных ядер, связанную с денервацией. Одним из возможных механизмов пластических перестроек в вестибулярной системе во время ОД представляется аксонный спраутинг, возникающий в результате формирования новых функциональных синапсов на вакантных местах сомы и проксимальных дендритов вестибулярных нейронов [14].

Принято считать, что пластические перестройки внутрицентральных отношений происходят на основе изменений синаптических аппаратов за счет реорганизации межнейронных связей, вследствие чего можно предположить синапсомодифицирующее действие нейропептидных модуляторов. Вместе с тем, учитывая быстроту эффекта, можно предполагать, что в основе их действия лежит не преобразование синаптических связей, а активация уже существующих. Пластичность, лежащая в основе вестибулярной компенсации, представляет собой одну из наиболее важных характеристик нервной системы и определяется длительными модификациями синаптической эффективности и изменениями эндогенных свойств нейрона и его мембранны.

Кафедра физиологии человека и животных

Поступила 11.04.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Ris L., de Waele C., Serafin M., Vidal P., Godaux E. – J. Neurophysiol., 1995, v. 74, p. 2087–2099.
2. Dieringer N. – Prog. in Neurobiology, 1995, v. 46, p. 97–129.
3. Мокроусова А.В. – Росс. физиол. журнал СССР, 1980, т. LXVI, № 4, с. 599–602.
4. Paxinos G., Watson Ch. The Rat Brain in Stereotaxic Coordinate. Sydney: Acad. Press, 1986.
5. Sarkisyan S.H., Yeghlazaryan M.L., Minasyan S.M. – J. Neurophysiol., 2003, v. 35, № 4, p. 275–282.

6. Smith P.F., Curthoys I.S. – Brain Res. Rev., 1989, v. 14, p. 155–180.
7. Curthoys I.S., Halmagyi G.M. – J. Vestib. Res., 1995, v. 5, p. 67–107.
8. Ris L., Godaux E. – J. Neurophysiol., 1998, v. 80, p. 2352–2367.
9. Graham B., Dutia M. – Exp. Brain Res., 2001, v. 137, № 3–4, p. 387–396.
10. Balaban C., Beryozkin G. – Exp. Brain Res., 1998, v. 2, № 2, p. 200–212.
11. Kitahara T., Takeda N., Kubo T., Kiyama H. – Acta otolaryngol., 1998, v. 118a, p. 685–691.
12. Ris L., de Waele C., Serafini M., Vidal P., Godaux E. – J. Neurophysiol., 1995, v. 74, p. 2087–2099.
13. Goto M., Straka H., Dieringer N. – Exp. Brain Res., 2002, v. 147, № 3, p. 374–386.
14. Dieringer N., Precht W. – Exp. Brain Res., 1979, v. 36a, № 3, p. 311–328.

Ս. Մ. ՄԻՆԱՍՅԱՆ, Տ. Հ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Մ. Լ. ԵՂԻԱԶԱՐՅԱՆ

**ՄԻԱԿՈՂՄԱՆԻ ԼԱԲԻՐԻՆԹԵԿՏՈՍԻՎՅԻ ԵՆԹԱՐԿԱԾ ԱՊՆԵՏՆԵՐԻ
ՄԻՋԱՅԻՆ ԱՆԴԱՍԱԿԱՅԻՆ ԿՈՐԻՉԻ ԻՄՊՈԽՍԱՅԻՆ
ԱԿՏԻՎՈՒԹՅԱՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻ ՀԱՄԵՄԱԿԱՆ
ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Ամփոփում

Համակարգչային ծրագրով գրանցվել և վերլուծվել է բնականոն և միակողմանի լաբիրինթեկտոսմիայի ենթարկած սպիտակ առնետների իփսի- և կոնտրալատերալ միջային անդաստակային կորիզների (հ- և կ-ՄՎԿ) նեյրոնների իմպուլսային ակտիվությունը (ԻԱ): Ուսումնասիրվել են նեյրոնների կանոնավորության աստիճանը, դինամիկական ակտիվությունը, մոդալարությունը, հաճախորդյան միջին արժեքը: Ազակողման լաբիրինթեկտոսմիան 2 օր հետո նպաստում է ի- և կ-ՄՎԿ-երի նեյրոնների հիմնական ցուցանիշների միջև հավաստի փոփոխությունների դրսորմանը: Միակողմանի լաբիրինթեկտոսմիայից յոթ օր հետո աջ և ձախ կողմերում ՄՎԿ-ի նեյրոնների ԻԱ-ի հիմնական ցուցանիշների միջև չեն դիտվում հավաստի փոփոխություններ:

S. M. MINASYAN, S. H. SARGSYAN, M. L. YEGHIAZARYAN

THE COMPARATIVE ANALYSIS IMPULSE ACTIVITY OF A MEDIAL VESTIBULAR NUCLEUS NEURON'S IN CONDITIONS OF LABYRINTHECTOMY

Summary

With the use of new approaches and modern experimental methods of research the complex study of parameters background neuronal activity (BNA) of medial vestibular nucleus (MVN) in norm and various terms after unilateral labyrinthectomy. It is shown, that in 2 days after delabyrinthination the dynamic balance existing between vestibular nuclei of both parts in norm, is broken. The comparative analysis impulse activity in 7days unilateral labyrinthectomy has revealed an identical level neurodynamic activity kontra- and ipsilateral MVN.

Геология

УДК: 550.343

М. А. ГРИГОРЯН, Р. Р. ДУРГАРЯН, Л. Б. МИРЗОЯН

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА АФТЕРШОКОВОГО ПРОЦЕССА СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 1988 г.

В этой работе представлена количественная оценка процесса афтершокового распределения Спитакского землетрясения 1988 г. с магнитудой $M=7,0$ для определения параметров декластеризации каталога землетрясений. Для этого были сравнены суммарные высвобожденные энергии и суммарные количества землетрясений до сейсмического затишья перед главным толчком и после афтершокового периода за одинаковые интервалы времени. Полученные результаты для выделенной зоны были сравнены с эмпирическими формулами Омори, а также Узу и Секи.

Введение. Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г. имело магнитуду $M=7,0$, а его глубина составляла в среднем 10–15 км. Очаг его был расположен в зоне сочленения Гарнийского и Памбак-Севанского активных разломов и состоял как минимум из трех, а возможно и пяти субочагов, разнесенных в пространстве. По Караканяну [1], землетрясение сопровождалось поверхностным разрывом (выходом очага на поверхность) общей длиной 35 км с вертикальной амплитудой до 2 м и горизонтальной – до 1,8 м.

По Арефьеву [2], суммарная подвижка составляет 160–200 см, причем вертикальное смещение по разрыву составляет 100–120 см, а горизонтальное – до 100 см. На обоих флангах сейсмогенного разрыва вертикальные смещения сокращаются до 40–55 см, а затем разрыв теряется в рыхлых наносах.

Границающие со Спитакским сейсмогенным разломом микроблоки, по данным спутниковых геодезических наблюдений GPS, движутся с разной скоростью от 20 до 35 мм в год.

Фокальные механизмы главного толчка Спитакского землетрясения и его 19 сильных афтершоков ($M>3,5$) по геологическим и сейсмологическим данным характеризуются взбросом с правосторонним сдвигом [2].

Много специалистов изучали разные аспекты афтершокового процесса Спитакского землетрясения по данным наблюдений за 1988–1991 гг. Основной целью нашей работы является определение параметров декластеризации каталога землетрясений, т. е. удаление из каталога зависимых событий.

Распределение афтершоков Спитакского землетрясения по глубине и площади. Базовым каталогом для анализа афтершоков Спитакского землетрясения является каталог Национальной службы сейсмической защиты

РА·2004 г. Полный каталог афтершоков с 07.12.1988 г. по 01.01.1993 г. в пределах территории, ограниченной координатами $\phi=40,60^{\circ}-41,05^{\circ}$ и $\lambda=43,00^{\circ}-44,60^{\circ}$, состоит из 1548 событий без ограничения магнитуды, в том числе 458 событий с $M \geq 2,5$. За последующий период по 31 декабря 2004 г. в пределах афтершоковой области, указанной на рис. 1, зарегистрировано еще 1200 событий с $M \geq 2,5$.

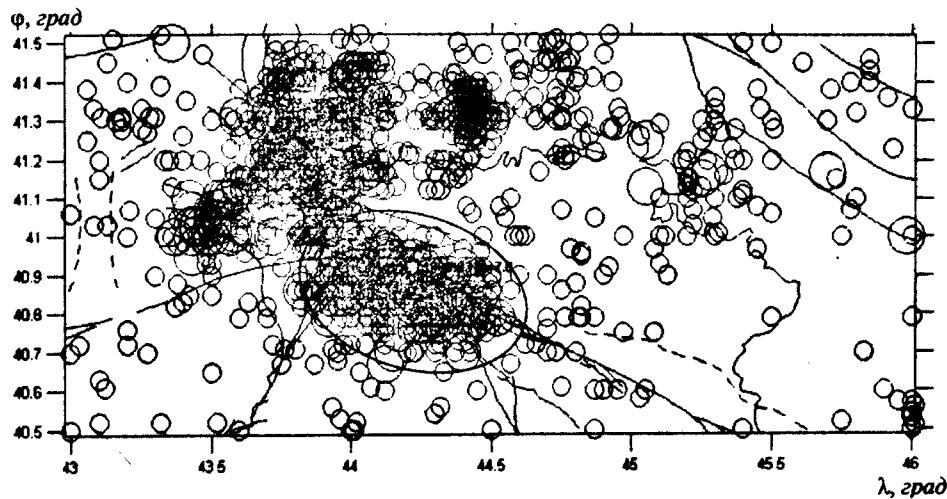


Рис. 1. Область распространения афтершоков Спитакского землетрясения 07.12.1988 г. и основные сейсмоактивные разломы территории Армении и сопредельных стран.

Как видно из рис. 2, афтершоковая активность Спитакского землетрясения распространялась по разным разломам. Длина распространения профилей по отдельным разломам менялась от 10 до 25 км за период исследований (07.12.1988–01.01.1994 гг.).

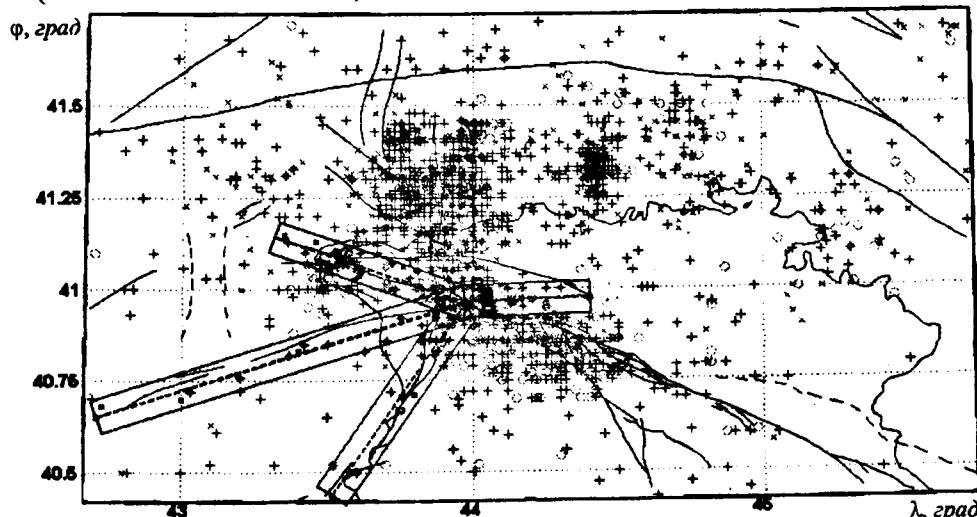


Рис. 2. Четыре разных профиля по активным разломам (кроме Памбак–Севанского и Спитакского) с шириной 10 км.

Один из самых сейсмоактивных районов Кавказа – Джавахетское нагорье – примыкает к очаговой области Спитакского землетрясения с севера, и

часть афтершоков попадает в пределы этого нагорья. Сравнение сейсмичности южной части Джавахетии и Спитакской очаговой зоны позволяет установить некоторую согласованность их временного хода, которая проявляется в определенной синхронизации моментов возникновения сильных землетрясений в Джавахетском нагорье (кроме наиболее удаленных участков) и Спитакской зоне. Кроме того, перед Спитакским землетрясением в южной части Джавахетского нагорья начиная с 1984 г. отмечается затишье сейсмической активности [2, 4–6].

Детальный анализ афтершоков по глубине показывает, что если до

главного толчка 07.12.1988 г. гипоцентры землетрясений были расположены на глубинах до 10 км [1, 4], то после главного толчка – до 30 км (рис. 3). Таким образом, афтершоки сильного для территории Армении землетрясения расположены в пределах сейсмогенного слоя, который, по мнению специалистов, имеет глубину до 30 км.

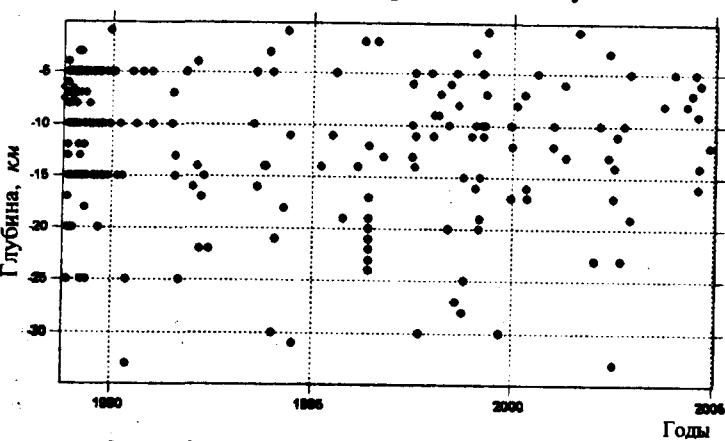


Рис. 3. Распределение афтершоков по глубине
(07.12.1988–01.01.2005 гг.)

Детальные высокоточные полевые сейсмологические исследования афтершоков Спитакского землетрясения показывают, что глубина их гипоцентров на северо-западе афтершоковой области больше (в основном до 15 км), чем на юго-востоке (в основном до 10 км) [2, 3, 7].

Результаты анализа данных. В целом, афтершоковая последовательность Спитакского землетрясения может считаться нормальной, спад сейсмической активности довольно быстрый с периодами стабилизации.

По линиям разломов была построена гистограмма зависимости количества землетрясений от времени и график Беньофа (рис. 4, 5).

Детальное исследование сейсмического процесса показывает, что завершением активного афтершокового процесса можно считать период до 1993 г., что четко видно из рис. 4. Правда, заметно, что до Спитакского землетрясения в оконтуренной на рис. 1 зоне будущей афтершоковой области имеется определенное количество землетрясений, которые создают некий активный сейсмический фон. Но надо сказать, что эти сейсмические события частично относятся к югу Джавахетской активной области, т. е. отнести их целиком к области афтершоков Спитакского землетрясения, по-видимому, ошибочно. Если опираться на это предположение, то более уверенно можно сказать, что период активного афтершокового процесса Спитакского землетрясения завершился в 1992 г.

После 1993 г. можно считать, что исследуемая территория вошла в нормальный для зоны сейсмический режим (рис. 6). На рис. 7 сравниваются суммарные количества землетрясений (а) и суммарные выделенные энергии (б) до сейсмического затишья (1974–1985 гг.) в зоне и после афтершокового процесса (1994–2005 гг.), которые представляют определенный интерес.

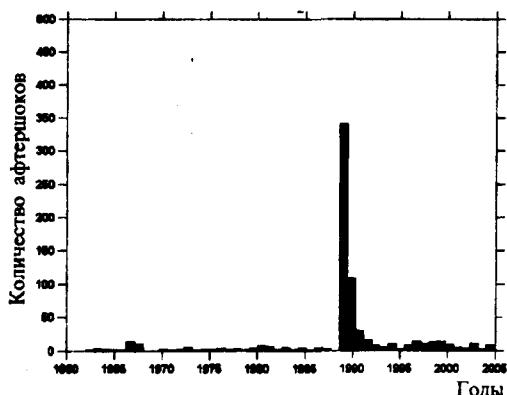


Рис. 4. Гистограмма землетрясений афтершоковой области Спитакского землетрясения.

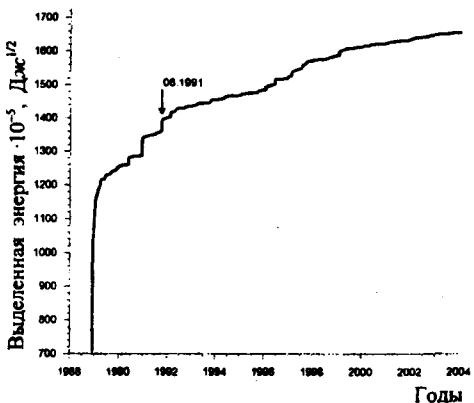


Рис. 5. График Беньофа для афтершоковой области землетрясения.

Полученные результаты были сравнены с результатами, рассчитанными по эмпирическим формулам Омори (см. [8]), а также Учу и Секи (см. [8]).

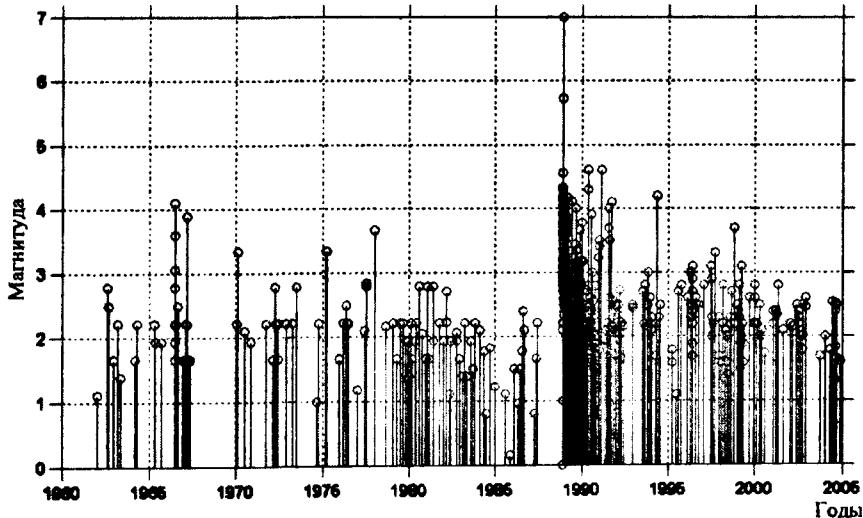


Рис. 6. Сейсмичность в пределах зоны афтершоков Спитакского землетрясения 07.12.1988 г.

По формуле Омори $N(t) = k / (t + c)^{-p}$, где N – количество афтершоков, k и c – константы Омори для конкретной области, p – оценка скорости спада афтершоковой активности, для исследуемой области был построен график (рис. 8).

Площадь афтершоковой активности (A), рассчитанная по формуле Учу и Секи $LgA = 1,02M + 6,0$, где $M=7,0$, составляет $\approx 1000 \text{ км}^2$ и совпадает с

результатами грубых визуальных расчетов по карте распространения афтершоковой активности.

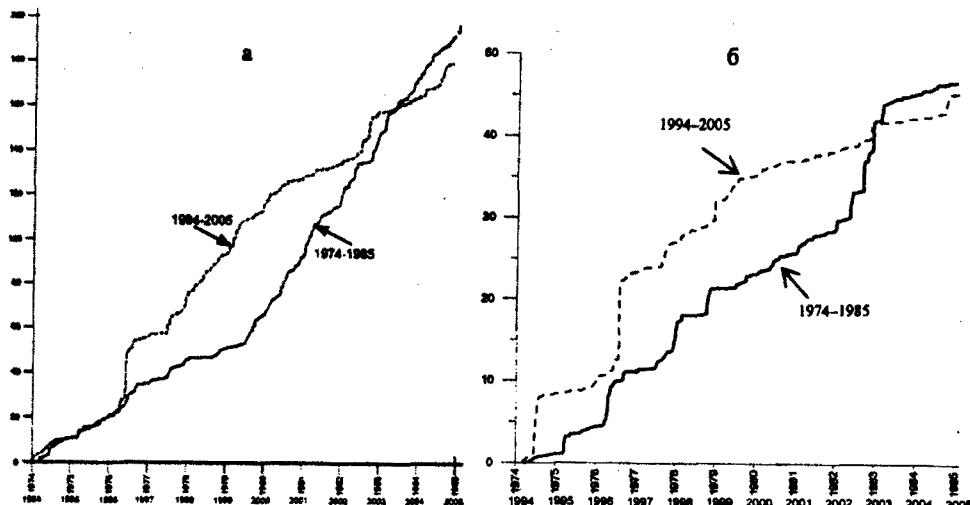


Рис. 7. Суммарные величины количества землетрясений (а) и выделенной энергии $\cdot 10^{-5} \text{Дж}^{1/2}$ (б) в пределах зоны афтершоков Спитакского землетрясения 1988 г.

Несмотря на все вышеуказанные оценки и определения, афтершоковый процесс сильных землетрясений зависит от многих факторов (в том числе от особенностей накопления тектонических напряжений) в геологической среде, где было подготовлено и произошло землетрясение. Учесть все факторы практически невозможно, поэтому целесообразно остановиться на наиболее существенных из них. Это, в первую очередь, магнитуда землетрясения, его глубина, тип разлома, частота появления сильных землетрясений в этой очаговой зоне, средняя скопость перемещения крыльев разлома и др.

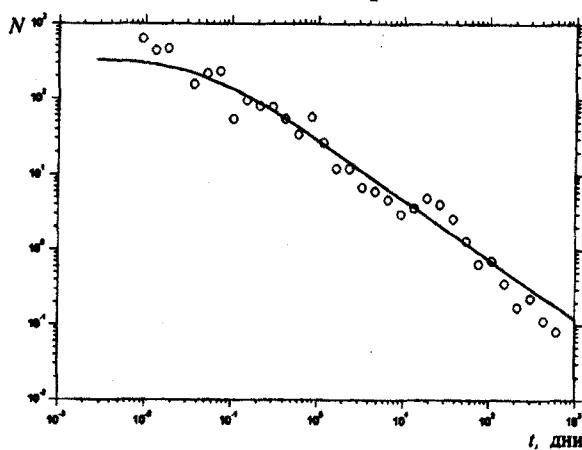


Рис. 8. Зависимость количества землетрясений N от времени (по формуле Омори).

И даже если определены эти параметры, прогнозировать ход афтершокового процесса и дать ему количественные оценки очень трудно. Работ, посвященных этим вопросам, не так много. После Спитакского землетрясения прошло около 16 лет, и на основании накопленных статистических данных можно сделать некоторые выводы о длительности афтершокового процесса, особенностях затухания количества афтершоков, выделенной энергии и т.д. Нами определены время продолжительности афтершоковой активности $t \approx 3$ года и площадь распространения эпицентров афтершоков $A \approx 1000 \text{км}^2$.

Полученные значения временных и пространственных параметров позволяют провести достаточно обоснованную и объективную декластеризацию каталога землетрясений.

Кафедра геофизики

Поступила 30.11.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Каражанян А.С. – Известия АН Армении, Науки о земле, 1992, № 1, с. 3–11.
2. Арефьев С.С. Эпицентральные наблюдения геодинамических моделей очагов сильных землетрясений. Автореф. дис. на соискание ученой степени док. физ.-мат. наук, М. ОИФЗ РАН, 2001.
3. Дорба К., Дорба Л., Алтекман Ж. и др. – Физика Земли, 1991, № 11, с. 86–95.
4. Balassanian S.Y., Arakelian A.R., Nazaretian S.N., Avanessian A.S., Martirosian A.H., Igoumnov V.A., Melkourian M.G., Manoukian A.V. and Tovmassian A.K. – Annali di Geofisica, 1995, v. 38, p. 345–372.
5. Durgaryan R.R. – MANEB, St-Peterburg, 2003, № 4, p. 242–244.
6. Durgaryan R.R. – MANEB, St-Peterburg, 2003, № 7, p. 14–16.
7. Cisternas A., Phillip H., Arefiev S. et al – Nature, 1989, v. 339, № 6227, p. 675–679.
8. Reasenberg Paul A. and Jones L.M. – Science, 1989, № 243, p. 1173–1176.
9. Kasahara K. – Earthquake mechanics, by Cambridge University Press, 1981, p. 27.

Մ. Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Ռ. Ռ. ԴԵՐԳԱՐՅԱՆ, Լ. Բ. ՄԻՐԶՈՅԱՆ

ՍՊԻՏԱԿԻ 1988թ. ԵՐԿՐԱՉԱՐԺԻ ՀԵՏՑՆՑՈՒՄԱՅԻՆ ՓՈՒԼԻ
ԶԱՆԱԿԱԿԱՆ ԳՆԱՀԱՏԱԿԱՆԸ

Ամփոփում

Աշխատանքում ներկայացված է Սպիտակի 1988թ. $M=7,0$ մագնիտուդով երկրաշարժի հետցնցումների բաշխման քանակական գնահատականը երկրաշարժերի կատալոգի գտնան պարամետրերը որոշելու նպատակով:

Հետցնցումների բաշխման քանակական գնահատման նպատակով համեմատվել են զիսավոր ցնցման սեյսմիկ անդորրից առաջ և հետցնցումներից հետո միևնույն ժամանակահատվածում երկրաշարժերի գումարային էներգիաները և դրանց գումարային քանակները:

Ուսումնասիրվող տարածքի համար ստացված արդյունքները համեմատվել են Օմորիի և Ուցու–Սեկիի էնպիրիկ քանածների հետ:

M. A. GRIGORYAN, R. R. DURGARYAN, L. B. MIRZOYAN

THE QUANTITATIVE ASSESSMENT OF SPITAK EARTHQUAKE AFTERSHOCK STAGE

Summary

In this paper the quantitative assessment of aftershocks distribution for the Spitak earthquake in 1988 with magnitude $M=7,0$ is presented, to define the catalogue of declusterisation parameters.

Comparing the released summary energy and earthquakes number before the main shock quiescence period with the same period after aftershocks, the aftershocks' real continuation period has been assessed.

Received results for selected area has been compared with empirical equations of Omori and Utsu–Seki.

Геология

УДК 552.16

М. Р. ГЕВОРКЯН

О ЯШМАХ ИЗ АССОЦИАЦИИ ОФИОЛИТОВ АРМЕНИИ

В статье приведено описание генетических типов камнесамоцветной минерализации яшм, выделенных на основе минералого-парагенетических (геммологических) фаций в пределах Присеванского пояса офиолитовой ассоциации пород.

Представляется возможным обратить внимание геммологов, геологов-поисковиков и геологов-разведчиков на реальные перспективы оценки масштабов проявлений яшмового сырья для его практического применения.

Яшма, наряду с кремнем, обсидианом и нефритом, известна человеку начиная с палеолита, из нее изготавливали всевозможные орудия труда и оружие. Позднее яшму стали использовать как материал для украшений: бус, пуговиц, подвесок, разнообразных амулетов, декоративных топориков и т.п. Большое количество таких изделий из красной, зеленой, сиреневой и пестроцветной яшмы (ясписа) обнаружено во многих древнейших исторических памятниках Армении, датируемых III-I тыс. до н.э.: Лори-Берде, Мецаморе, Артике, Лчашене, Ошакане [1-3].

По поводу древнейших каменных изделий Армянского нагорья академик А.Е. Ферсман писал, что зеленая яшма, плотные зеленые роговики, прекрасные и разнообразные зеленые камни медных рудников верховий Тигра и Евфрата, Армении... широко использовались для печатей и амулетов за несколько тысячелетий до нашей эры. В древнем и античном мире яшма входила в число наиболее почитаемых самоцветов, ею украшали одежду, утварь, оружие. Этому самоцвету было отведено особое место среди двенадцати драгоценных библейских камней [4].

Яшма вошла и в убранство средневековых церквей и церковной утвари. Начиная примерно с середины XVII века яшма, подобно некоторым другим самоцветам (родонит, малахит), становится традиционным русским поделочным камнем благодаря открытию крупнейших месторождений на Урале и Алтае. Вплоть до наших дней они поставляют прекрасный декоративный материал для художественных и ювелирно-галантерейных изделий: ваз, шкатулок, пепельниц, письменных приборов, подсвечников и т.п.

. Первое развернутое определение термина «яшма», по-видимому, дано академиком А.Е. Ферсманом [4], по мнению которого «типичная яшма» – агрегат мельчайших кварцевых частиц, сцепленных кварцем или халцедоном и содержащих в среднем примерно 20% глинистых примесей. В современной геологической литературе яшмой обычно считают плотную кремнистую породу осадочно-метаморфического происхождения с большим количеством окрашивающих примесей окислов и гидроокислов железа. Е.Я. Киевленко и Н.Н. Сенкевич [5] предлагают с прикладной точки зрения относить к яшмам любые массивные микрозернистые породы, обладающие красивой окраской и способные принимать зеркальную полировку.

Генезис яшм исключительно разнообразен. Некоторые из них, например фельзитовые порфиры, имеют магматическое происхождение и перешли в разряд яшм благодаря метаморфическому преобразованию. Известны типичные контактовые яшмы – кварц-полевошпатовые роговики и сливные тонкозернистые кварциты. Яшмы часто встречаются в сообществе с халцедон-агатовой минерализацией среди миндалекаменных андезитов и базальтовых порфиритов. Их образование, как и ассоциированных с ними агатов и халцедона, связано с поступлационными гидротермальными растворами. Наиболее характерными и распространенными представителями группы яшм являются окрашенные кремнистые породы, входящие в состав спилит-диабазовых и кератофировых формаций.

Среди зеленокаменных вулканогенно-осадочных толщ целесообразно выделять особую яшмовую формацию. В настоящее время принятой является точка зрения о формировании этой группы яшм из кремнистых осадков, а также из туфов и туффитов в условиях регионального метаморфизма фаций зеленых сланцев, может быть и среди пород на уровне катагенеза [6, 7].

Несмотря на широкое распространение и нередко огромные запасы яшмы, до сих пор не разработана ее классификация. Одна из первых классификаций этого самоцвета была предложена академиком А.Е. Ферсманом [4], который, основываясь на текстурном признаке, предложил выделить шесть групп разновидностей этого камня. Здесь полностью отсутствует не только геолого-промышленный, но и генетический аспекты. Классификацию, близкую к вышеуказанной, предлагают Е.Я. Киевленко и Н.Н. Сенкевич [5].

В Амасия-Севано-Акеринском (Присеванском) оphiолитовом поясе тела яшмовых пород (с прослойями яшм) наиболее характерны для так называемой кремнисто-эффузивной формации [6–10]. Прерывистые выходы кремнистых пород протягиваются по территории республики почти на 200км, однако наиболее значительны они в пределах Севанского хребта (около 75км). Мощность их доходит до 300м, что соответствует примерно трети мощности формации. В кровле формации развита ассоциация брекчиивидных радиоляритов, пелитовых туффитов, спилитовых порфиритов с отдельными пачками эффузивных пород умеренно кислого состава и марганцевых руд.

Наибольшее разнообразие существенно кремнистых пород (силицитов) сосредоточено в местах максимальной мощности формации. Среди них радиоляриты проявлены повсеместно в форме пластов (до 10–20м), они подчинены двум горизонтам вулканитов. С радиоляритами ассоциированы

проявления и месторождения кварц-гематитовых яшм (Дзоракское (Дара) месторождение и другие).

Среди эфузивных пород этой кремнисто-эфузивной формации наиболее широко и разнообразно представлены спилиты. Преобладают шаровые спилиты, которые в фациальном отношении рассматриваются как наиболее глубоководные. Нередко крупные (до 1–2 м в диаметре) шаровые обособления заполняются хлоритизированным гиалокластическим материалом, в ряде случаев это место занимают яшмы. В петрохимическом отношении содержащие яшму спилиты относятся к «чистой» линии и характеризуются преобладанием натрия над калием. Есть также спилиты с повышенным содержанием калия.

В зоне максимальной мощности формации обнаруживаются марганцевые и железо-марганцевые радиоляриты [6–8]. Черные, с металлическим блеском, эти породы чередуются с красными яшмами на склонах гор Саринар и Сатанаахач. Мощность марганецсодержащих слоев колеблется от 1–2 до 15–20 м, по простирианию марганцевые радиоляриты представляют собой среднетонкослоистую породу с пропластками мелкозернистого кремния (пигментированного марганцем), кремнистых пелитовых туффитов, иногда ярко-красного глобулярного кремния. Прослои красных и сургучных яшм чаще ассоциируются с железисто-кремнистыми радиоляритами и субрадиоляритами. Яшмы имеют среднюю и тонкую слоистость, пологое залегание, обычно выдержанную мощность (иногда наблюдается выклинивание отдельных слоев).

Структура этих пород под микроскопом органогенная, органогенно-мелкозернистая, чаще реликтовая («следы» и «тени» радиолярий). Органогенная структура нередко сменяется мелкозернистой, без реликтов радиолярий. Текстура породы однородная, тонкослоистая, массивная, конседиментационно-брекчевая. В случае деформированности бурые окислы железа, пигментирующие породу, нередко выносятся за пределы слоя. В результате происходит депигментация или осветление слоя до серо-желтого, а также изменение первоначальной структуры породы.

Местами в результате динамометаморфизма в радиоляритах генерируются новообразования граната (андрадита, андродит-гроссуляра). Радиоляриты, ассоциированные с прослойями известняков и известковистых радиоляритов, ритмично чередуются с известняками и известковистыми яшмами. Кирпично-красные и светло-розовые радиоляриты состоят из криптокристаллического кварца, тонкораспыленного гематита, остатков радиолярий, нередко спикул кремниевых губок и фораминифер.

На отдельных участках Севанского хребта с яшмовыми радиоляритами ассоциируются силициты, так называемые фтанитоиды [8], слагающие линзы и слои мощностью до 1–1,5 м. Эти темно-серые, темно-зеленые породы обладают тонкой слоистостью. Под микроскопом их структура органогенно-мелкозернистая, в них отмечаются остатки радиолярий, иногда иглы спикул. По сравнению с собственно яшмовыми радиоляритами во фтанитоидах наблюдается повышенное содержание железа и органического углерода.

Повсеместно встречаются кремнистые породы с глобулярной структурой (экскалиационные кремни). Мощность тел пластовой и линзовидной форм

не более 0,7м, иногда встречаются также их секущие формы. Под микроскопом обнаруживаются реликты глобулярной структуры, в значительной степени затушеванные последующей раскристаллизацией кремнезема. Структура основной массы мелкозернистая, состав существенно кварцевый. Бурые и красные окислы железа подчеркивают особенности исходной глобулярной структуры породы. В отдельных образцах экскавационных кремней, по данным М.А. Сатиана [6–8], содержание окиси железа составляет 11,95–19,36%, закиси железа – 0,14–0,58%. Очевидно, что при таком составе эти породы могут представлять определенный практический интерес как пигменты.

Яшмовые брекчики встречаются в нескольких пунктах южного склона Севанского хребта (сел Хач, Авазан (Гейсу) и др.). Эти участки и узлы имеют мощность около 3–5м. Угловатые обломки скреплены кварцевым либо кварц-халцедоновым цементом сферолито-крустификационной структуры. Данные по морфологии этих тел, как и гомогенизация газово-жидких включений в кварце свидетельствуют о том, что эти тела приурочены к конседиментационным разломам, вдоль которых имели место подъем и разгрузка вулканических газогидротерм.

В приводораздельной части Севанского хребта яшмы залегают на участке от бассейна р. Дзорак (Дара) до верховья р. Гегамасар (Шишская) в виде линз мощностью 5–10м, а также слагают мощные пачки (50–80м), чередующиеся с вулканитами. Среди офиолитовой ассоциации встречаются разные типы яшмы.

1. Железисто-кремнистые яшмовые радиоляриты – красные, сургучные яшмы, имеющие значение как поделочные камни. Больше всего распространены окрашенные в красный, кирпично-красный, сургучный цвета; имеют тонкую горизонтальную слоистость, иногда с выклиниванием слойков. Поверхность наслоения ровная или слабоволнистая. Структура органогенная, органогенно-микрозернистая, реликтовая. Бурые окислы железа неравномерно пигментируют полости скелетов, концентрируются по внешнему контуру. Трешины в породе заполнены мелкозернистым кварцем, гидрослюдой, иногда хлоритом и рудным компонентом. В приразломных участках обнаружены апорадиоляриты с новообразованиями граната. Эти яшмы имеют широкое распространение в районе Севанского хребта и сравнительно меньше – в Вединской зоне.

2. Полосчатые яшмы определяются чередованием красных сургучных и марганцевистых, более коричневатых и почти черных слойков (2–5мм). Крупные выходы этих пород крайне незначительны, они слагают переход между железисто-кремнистыми и марганцевыми яшмами (правобережье р. Авазан, верховье р. Гегамасар). Чаще крупные валуны этой породы обнаруживаются в рыхлых конгломератах верховьев рек Арпунк (Кясаман) и Каахан (Караиман).

3. Фтанитоиды образуют маломощные (0,2–0,5м, реже до 1,5м) линзы и прослои среди радиоляритов и прочих силицитов. Встречаются в районе Севанского хребта. Это темно-серые, зеленые, темно-зеленые породы, причем окраска сгущается к середине линз; порода с горизонтальной слоистостью, иногда резко переходящая в яшмовые радиоляриты. Структура под микроскопом органогенно-микрозернистая. По сравнению с яшмовыми ра-

диолитами во фтанитоидах повышенено содержание закисного железа органического углерода, обращает внимание низкое содержание Mn, Ti, V, Co, Ni.

4. Брекчики яшм с халцедон-кварцевым цементом угловатые обломки, состоящие из радиоляритов и микрозернистых сургучных яшм, скреплены кварц-халцедоновым цементом со сферолито-крустификационной структурой. По контакту с обломками радиоляритов кварцевый цемент пигментирован ярко-красным гематитом. Выходы обнаружены в нескольких пунктах южного склона Севанского хребта, брекчики слагают прерывистые зоны северо-западного простирания и близвертикального падения. Мощность зон не превышает 3–5 м. Наибольший интерес представляют выходы брекчий в первом ущелье к востоку от низовья р. Авазан, в 700 м выше ее устья, раскрывающихся близ крайне западной части села Авазан.



Яшмы из офиолитовой ассоциации пород Присеванского пояса.

Дзоракские проявления яшмы расположены в верховые первого левого притока р. Дзорак, к востоку от села Дзорак, и приурочены к вулканогенно-осадочной толще. Породы сложены диабазовыми порфиритами серовато-бурового цвета, которые переслаиваются с конгломератами, известняками, радиоляритами, яшмами и залегают в виде линз мощностью 1–1,5 м. Яшмы макроскопически красного цвета, весьма плотные, хорошо поддающиеся полировке, что позволяет использовать их как поделочный камень. В них встречаются прожилки белого кальцита (1 мм–2 см), что придает поверхности «пейзажный» облик. Кроме яшм встречаются радиоляриты, близкие им по составу и отличающиеся лишь тем, что в них сохранились остатки самих радиолярий. Обе породы имеют железисто-бурый цвет. Текстура однородная, плотная, иногда микроволокнистая. Твердость высокая, удельный вес – 2,75 г/см³. Таким образом, высокие качества и декоративность различных видов яшмы Присеванского офиолитового пояса позволяют применять ее как поделочный камень и рекомендовать добычу.

Кафедра минералогии и петрографии

Поступила 13.06.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Патканян К.П. Драгоценные камни, их названия и свойства по понятиям армян в 17-ом веке. Еր.: Изд-во АН Арм ССР, 1979, 92 с.

2. Сейранян В.Б. Армянские самоцветы. Ер.: Айастан, 1987, 75 с.
3. Супрычев В.А., Малхасян Э.Г. Представления о самоцветах в средневековой Армении. Ер.: Айастан, 1984, 47 с.
4. Ферсман А.Е. Драгоценные и цветные камни СССР. Избр. Труды. Т. 7. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
5. Киевленко Е.Я., Сенкевич Н.Н. Геология месторождений поделочных камней. М.: Недра, 1983.
6. Сатиан М.А. Позднемеловой литогенез офиолитовых зон Армянской ССР. Ер.: Изд-во АН Арм. ССР, 1979.
7. Сатиан М.А. Офиолитовые прогибы мезотетиса. Ер.: Изд-во АН Арм. ССР, 1984, 195 с..
8. Сатиан М.А., Авакян Т.А., Мандалян Р.А., Нисанян Г.Б., Степаниян Ж. О. Кремнистые породы фанерозоя территории Армянской ССР. Ер.: Изд-во АН Арм. ССР, 1987, 186 с.
9. Абоян С.Б. Мафит-ультрамафитовые интрузивные комплексы офиолитовых поясов Армянской ССР. Ер.: Изд-во АН Арм. ССР, 1981.
10. Геворкян Р.Г., Геворкян М.Р. Офиолитовая палеоокеаническая кора Армении (Южный Кавказ). Ер.: ГЕОИД, 2003, 260с.

Մ. Ռ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՕՖԻՈԼԻՏԱՅԻՆ ԱՍՈՑԻԱՑԻԱՅԻ ԱՊԱՐՆԵՐԻ ՀԱՍՊԻՄՆԵՐԸ

Ամփոփում

Հոդվածում բերված են Մերձսևանյան գոտու օֆիլիտային ասոցիացիայի ապարների միմներալա-պարագենետիկ (գեմոլոգիական) ֆացիաների հիմքի վրա առանձնացված հասպիսների նկարագրությունը:

Դրանով հնարավոր է դասնում գեմոլոգների, երկրաբան-որոնողների և երկրաբան-հետախույզների ուշադրությունը ուղղել գունագեղ հասպիսների հումքի զնահատմանը, ինչը ոճալ հեռանկարներ կրացի նրանց պրակտիկ կիրառման համար:

M. R. GEVORKYAN

JASPIS OF GENETIC TYPES OF GEMSTONE MINERALIZATION IN CONNECTION WITH OFIOLITE ASSOCIATION OF ROCKS OF ARMENIA

Summary

On the basis of mineralogical-paragenetic or gemological (gem-stone) phases within the bounds of Undersevan zone of ofiolite association of rocks are suggested factors of the forecast, criteria of search and attributes of genetic types of mineralization.

In connection with ofiolites of Armenia it is obviously possible to draw gemologists, search-geologists and explorer-geologists attention to the real perspectives of estimation of scales displays of gem-stone raw materials and to put them forward for practical application.

Աշխարհագրություն

УДК 556.18

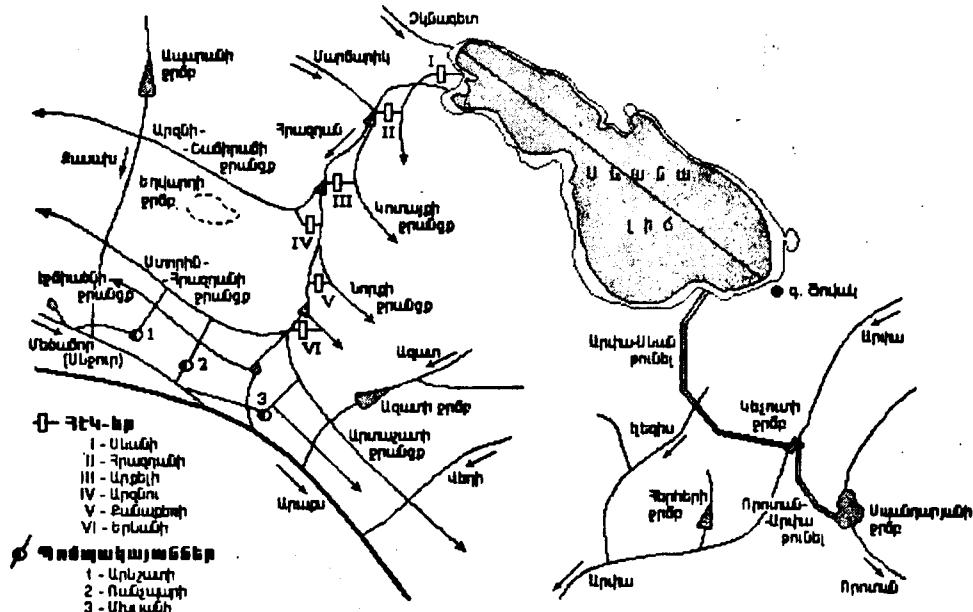
Լ. Ա. ՉԻԼԻՆԳԱՐՅԱՆ, Բ. Պ. ՄԱՍԻԿԱՆՅԱՆ, Կ. Ա. ԱՂԱԲԱԳՅԱՆ

**ՍԵՎԱՆԻ ՋՐԱՅԻՆ-ՋՐԱՏՆՏԵՍԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹՅԱԳՐԵՐԸ ԼՃԻ
ՀԻՄՆԱԽՆԴՐԻ ԶԱՐԳԱՑՄԱՆ ԸՆԹԱՑՔՈՒՄ**

Ներածություն: Ինչպես հայտնի է, Սևանի հիմնախնդրի ջրատնտեսական լուծումները ունեցել են երեք փուլ: Առաջին փուլը կապված էր լճի ջրերի դարավոր (ստատիկ) պաշարների օգտագործման և նրա մակարդակի մինչև 50մ իջեցման հայտնի սխեմայի մասնակի իրագործման հետ: Դա ընդգրկում էր Սևան-Հրազդան ոռոգման էներգետիկ համալիրը իր ՀԷԿ-երի և ոռոգման ջրանցքների կասկադային կառույցների համակարգերով: Այդ փուլում լճի մակարդակի իջեցումը տևեց մինչև 1964 թ.: 1965 թ., երբ արդեն պարզվել էր այդ նախագծի իրագործման անհեռատեսությունը, սկսվեց նոր՝ երկրորդ փուլը, որի նպատակն էր դանդաղեցնել ապա դադարեցնել լճի մակարդակի իջեցումը հնարավոր բարձր նիշի վրա, որը պետք է համապատասխաներ լճի մակարդակի 18մ իջեցմանը՝ սկզբնականի նկատմամբ: Այդ նպատակով 1955 թ.-ից մշակվեցին, նախագծվեցին և իրագործվեցին մի շարք միջոցառումներ, որոնք նպաստեցին լճից ոռոգման և էներգետիկայի նպատակով կատարվող ջրռողջը կրծատելուն՝ տարեկան ծավալը հասցնելով 500 մլն m^3 (նախկին 1-1,5 մլրդ m^3 -ի փոխարեն), որից 380 մլն m^3 ոռոգման, 120 մլն m^3 էներգետիկայի համար [1-7]: Այդ միջոցառումներն էին. ջերմաէլեկտրակայանների կառուցումը (որը հնարավորություն տվեց ոչ միայն կրծատել էներգետիկայի համար ջրռողջը, այլ 1978 թ.-ից դադարեցնել այն), Ազատի և Ապարանի ջրամբարների, Միջյանի և Արևշատի, հետագայում նաև Ռանչապարի պոմպակայանների կառուցումը (տես նկ. 1):

1981 թ.-ից, երբ գործարկվեց Արփա-Սևան բռնելը և սկսվեց լճի ջրային ռեսուրսների արենստական ավելացումը, դադարեցվեց նրա մակարդակի իջեցումը, լճի ջրատնտեսական հիմնախնդիրը թևակոխեց իր զարգացման ու լուծման երրորդ փուլը: Այս փուլի խնդիրն էր ոչ միայն կայունացնել լճի մակարդակը, այլև այն բարձրացնել 6մ-ով՝ ջրի որակը և նրա խարարված էկոլոգիական վիճակը բարեխավելու, ինչպես նաև խմելու ջրի ռազմակարական պահուստ ստեղծելու համար: Այդ նպատակի երաշխավորված իրագործումը պահանջում էր ավելի փոքրացնել ջրռողջը լճից և ավելացնել նրա

Զրային պաշարները: Դրա համար սկսվեց Եղվարդի ջրամբարի կառուցումը, ավարտին հասցվեց Որտան-Արփա բռնելի շինարարությունը:



Նկ. 1: Անանա լճի պահպանման ու նրա ջրերի օգտագործման ջրատնտեսական համակրի բառուեց-պիմենման:

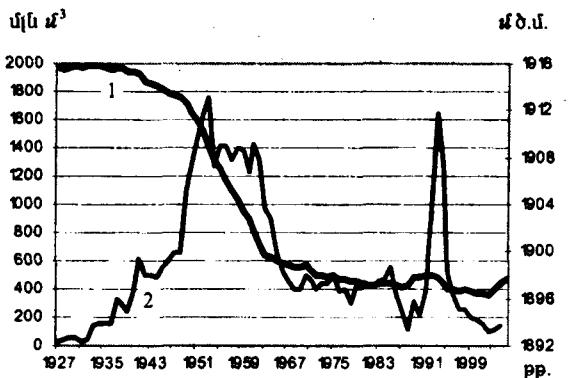
Լի ջրային ռեսուրսների օգտագործման հիմնական ջրատնտեսական բնութագրերը: Լի նակարդակը մինչև իշեցումը ունեցել է 1915,57մ քարձություն, որը որոշ իմաստով պայմանական՝ հաշվարկային է: Այն մինչև իշեցումը ունեցել է քնական, ցիկլային բնույթի տատանումներ: Դարավոր՝ մոտ 3մ և սեղոնային՝ 0,2-0,9մ (միջինը 0,4մ) ամպիստուդներով: Լի նակարդակի իշեցումը սկսվել է 1933 թ., երբ ջրբորքի տարեկան քանակը սկսեց գերազանցել նրա բնական հոսքը: Սակարդակի իշեցումը շարունակվեց մինչև 1981 թ.՝ սկզբնականի նկատմամբ կազմելով մոտ 18,5մ: Սակարդակի պայմանական հավասարակշռության տարիներին (1981-2004 թթ.) լիի նակարդակը բարձրացել է մոտ 0,9մ (1981-1990 թթ.), իշել 1,68մ (1991-2001 թթ.), որից հետո դարձյալ բարձրացել է միջև 2004 թ. հասնելով 1,34մ: 2004 թ. վերջում նակարդակի գումարային իշեցումը կազմել է 17,91մ:

Աղյուսակ I

Լուս 1927-2004 թթ. կատարված ջրբողքը և նրա տարաքաժանումը (մլրդ մ³)

Տարիներ (թթ.)	Գումարային ջրբոռք	Ենթագետիկ նպատակ- ներով	Ոռոգման նպատակ- ներով	Ի հաշիվ լին դարավոր պաշարի	Ի հաշիվ լին ջրառվու- թյան	Ի հաշիվ տե- ղափոխված հոսքի
1927-1980	35,03	25,56	9,47	24,60	10,43	-
1981-2004	10,11	3,28	6,83	-0,71	5,52	5,30
Ընդամենը	45,14	28,84	16,30	23,89	15,95	5,30

1927-2004 թթ. լճի մակարդակի իջեցման և համայրի ջրատնտեսական գործունեության արդյունքները բերված են 2-8 նկարներում և 1, 2 աղյուսակներում:



Նկ. 2: Լճի ջրբողքը (1) և նրա մակարդակի փոփոխությունը (2) 1927–2004 թթ. ընթացքում:

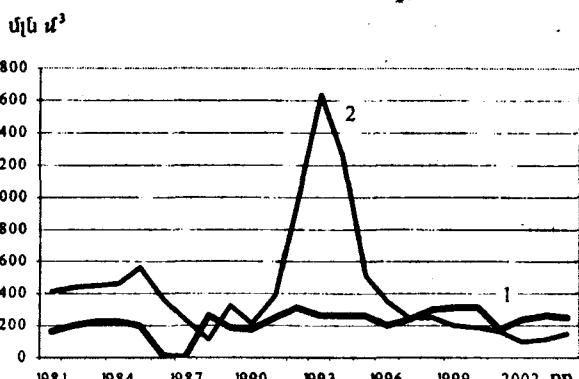
գի տարաբաժանումը գրաֆիկորեն ցույց է տրված նկ. 4-ում, որը պատկերավոր ձևով լրացնում է նկ. 2, 3-ում ավանդական ձևով տրվող գրաֆիկների և աղյ. 1-ում բերված գումարային ցուցանիշները: Վերջինում երևում են ջրբողքի ապահովման մեջ լին դարավոր պաշարի օգտագործման ինտենսիվության և գումարային ծավալի համեմատական մեծությունները բնական հոսքի և ջրի տեղափոխման նկատմամբ:

Սևան-Հրազդան կասկածի գումարային և տարեկան էներգաարտադրության գրաֆիկները (նկ. 5) արտացոլում են այդ արտադրանքի առանձնակի մեծ չափերը 1950-ական և 1990-ական թվականներին՝ հիմնականում ի հաշիվ լին դարավոր պաշարներից կատարված ջրբողքի [2, 7]:

1990-ական թվականներին էներգետիկ ճգնաժամի ժամանակ կատարված մեծածավալ ջրբողքը խանգարեց ոչ միայն լին մակարդակի հավասարակշռությանը, այլև նրա հնարավոր բարձրացմանը: Այդ ջրատընտեսական իրադրությունը բերված է աղյ. 2-ում: Այստեղից երևում է, որ նշված ջրբողքի ընթացքում լին մակարդակը իջել է 1,23 մ, մինչդեռ առանց էներգետիկ ջրբողքի այն կրաքանար 1,28 մ, այսինքն՝ էներգետիկ ջրբողքի ազդեցությունը կազմել է 2,51 մ: Այն ավելին կլիներ, եթե ճգնաժամը համընկներ ջրասակավ 1995–2000 թթ., եթե միջին ջրատվությունը կազմել էր 63 մլն մ³ 1991–1995 թթ. 374 մլն մ³ փոխարեն:

Այդ դեպքում լին մակարդակը մեր հաշվարկներով 1,23 մի փոխարեն կիշտեր 3,11 մ, այսինքն՝ կհասներ 1894,88 մ կրիտիկական նիշին: Այս պատկերը ցույց է տալիս վերոհիշյալ պարամետրերի հնարավոր ճգրիտ որոշման և կանխորոշման անհրաժեշտությունը:

Աղյ. 1-ում ամփոփված են լին ջրբողքի գումարային ցուցանիշները իրենց տարաբաժանումներով ըստ ժամանակաշրջանների (մակարդակի իջեցում՝ 1927–1980 թթ. և պայմանական հավասարակշռություն՝ 1981–2004 թթ.), ըստ ջրբողքի նպատակների (էներգետիկա, ոռոգում), ըստ ուսուրականության (լին դարավոր պաշար, բնական ջրատվություն և Արփա գետից հոսքի տեղափոխում): Վերջին կարգի տրվածքը նկ. 4-ում, որը պատկերավոր ձևով տրվող գրաֆիկների և աղյ. 1-ում բերված գումարային ցուցանիշները: Վերջինում երևում են ջրբողքի ապահովման մեջ լին դարավոր պաշարի օգտագործման ինտենսիվության և գումարային ծավալի համեմատական մեծությունները բնական հոսքի և ջրի տեղափոխման նկատմամբ:



Նկ. 3: Ջրի տեղափոխումը (1) Արփա-Սևան քոմելով և ջրբողքը (2) լին 1981–2004 թթ.:

Այստեղից երևում է պահանջման առանձնահատվածը՝ կազմությունը կազմել է 1,23 մի փոխարեն կիշտեր 3,11 մ, կհասներ 1894,88 մ կրիտիկական նիշին: Այս պատկերը ցույց է տալիս վերոհիշյալ պարամետրերի հնարավոր ճգրիտ որոշման և կանխորոշման անհրաժեշտությունը:

Այդ դեպքում լին մակարդակը մեր հաշվարկներով 1,23 մի փոխարեն կիշտեր 3,11 մ, այսինքն՝ կհասներ 1894,88 մ կրիտիկական նիշին: Այս պատկերը ցույց է տալիս վերոհիշյալ պարամետրերի հնարավոր ճգրիտ որոշման և կանխորոշման անհրաժեշտությունը:

Էներգետիկ ճգնաժամի ընթացքում լճի ջրատնտեսական իրադրությունը և էներգետիկ նպատակներով ջրբողքի ազդեցության բացահայտումը

№	Հաշվեկշռի պարամետրերը (մլն մ ³ , լ-շ, թ)	Տարիներ (թթ.)					
		1991	1992	1993	1994	1995	Գումարը
1	Չի մուտքը Արփա-Սևան բուները	252	307	265	260	268	1352
2	Լճի բնական ջրատվությունը	94	491	734	367	184	1870
3	Չի գումարային մուտքը (ավելացումը)	346	798	999	627	452	3222
4	բնդիանոր ջրբողք	384	958	1643	1268	512	4765
5	Ծիայն ոռոգման ջրբողք	244	242	394	460	270	1610
6	Միայն էներգետիկ ջրբողք	140	716	1249	808	242	3155
7	3-ի և 4-ի տարրերությունը	-38	-160	-644	-641	-60	-1543
8	մակարդակի փաստացի փոփոխությունը, մ'	-0,03	-0,13	-0,51	-0,51	-0,05	-1,23
9	մակարդակի փաստացի նիշը 31/XII, մ'	1897,97	1897,84	1897,33	1896,82	1896,77	
10	3-ի և 5-ի տարրերությունը	+102	+556	+605	+167	+182	+1612
11	առանց էներգետիկ ջրբողքի՝ մակարդակի փոփոխությունը, մ'	+0,08	+0,445	+0,48	+0,13	+0,145	+1,28
12	առանց էներգետիկ ջրբողքի՝ մակարդակի նիշը 31/XII, մ'	1898,08	1898,525	1899,005	1899,135	1899,28	
13	9-ի և 12-ի տարրերությունը, մ'	-0,11	-0,685	-1,675	-2,315	-2,51	

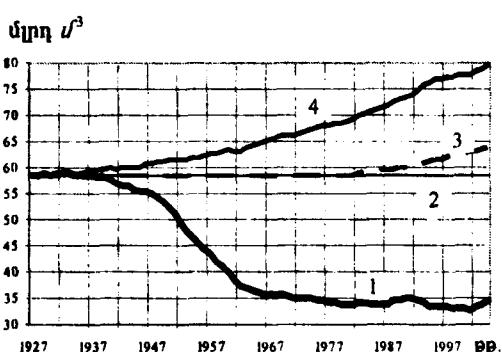
Ջրատնտեսական տարրերի գնահատումը լճի ջրային-ջրատնտեսական հաշվեկշռների համադրության միջոցով: Արփա-Սևան բունելի գործարկումից (1981թ.) հետո Սևանա լիճը փաստորեն վերածվեց լիճ-ջրամբարի: Համապատասխանաբար փոխվեց նրա ջրային հաշվեկշռի (ՁՀԿ) կազմը: Հաշվեկշռի մուտքային ($V_{\text{մուտ}}$) մասում գետային հոսքին ($V_{\text{գետ}}$), ստորերկրյան ներհոսքին ($V_{\text{սոր}}$) և լճի վրա մթնոլորտային տեղումներին ($V_{\text{մթ.տ}}$) ավելացան հարևան գետային ավազանից հոսքի տեղափոխման միջոցով լճի ջրային ռեսուրսների արիթետական լրացման տարրը ($V_{\text{թ.ա}}$), իսկ ելքի (ծախսերի) ($V_{\text{ելք}}$) մասում՝ լճի մակերեսից տեղի ունեցող գոլորչացումը ($V_{\text{գոլ}}$), ստորերկրյա արտահոսքը ($V_{\text{արտ.արտ}}$) և մակերեսային արտահոսքը ($V_{\text{մակ}}$), որին փոխարինեց կարգավորվող ջրատվությունը՝ ջրբողքը ($V_{\text{ջ}}$) (Վերջին փոփոխությունը տեղի էր ունեցել ավելի վաղ, 1933 թ.-ից): Նման հաշվեկշռով հատուկ է ջրամբարներին: Լիճ-ջրամբարի համար կիրառելի է ջրային-ջրատնտեսական հաշվեկշռի (ՁՀՏՀԿ) տերմինը:

Ինչպես հայտնի է՝ բնական արտահոսք ունեցող լճի միջին բազմամյա և տարեկան ՁՀԿ կազմվում է $V_{\text{մուտ}} + V_{\text{ելք}}$ հակասարության պայմանով.

$$V_{\text{մուտ}} (=V_{\text{գետ}} + V_{\text{սոր}} + V_{\text{մթ.տ}}) = V_{\text{ելք}} (=V_{\text{գոլ}} + V_{\text{արտ.արտ}} + V_{\text{մակ}} + \Delta W),$$

որտեղ ΔW -ն լճի ջրի ծավալի փոփոխությունն է (կուտակում-նվազում):

Նման դեպքում լճի բնական հոսքի (արտահոսքի) մեծությունը զնդունիվում է նախկինում նակերեսային հանդիսացող հոսքին հավասար: Վերջինս համապատասխանում է լճի մակարդակի այն նիշին, որի նկատմամբ բազմամյա $\Sigma \Delta W=0$: Աևանա լճի դեպքում որպես պայմանական հաշվարկային սկզբնական մակարդակ ընդունվել է լճի ջրերի օգտագործմանը նախորդած ժամանակաշրջանի նվազագույն նիշը, որի դեպքում ($\eta \Delta W=0$) բնական հոսքը հաշվարկվել է հետևյալ առնչությամբ:



Նկ. 4: Լճի ջրի օգտագործման (1), ստատիկ պաշարի (2), լիճ տեղափոխվող ջրի (3) և բնական ջրատվորյան (4) գումարային կորերը 1927–2004 թթ. ընթացքում:

արտահոսքը, որը ըստ էության լճի բնական հոսքի մաս է կազմում, նույնպես փոխվում է, ապա լճի իրական բնական հոսքը կիմի՝

$$V_{\text{փ.փ}} = V_{\text{ստր.արտ}} + V_{\text{մակ}} = V_{\text{ստր}} - V_{\text{գլր}};$$

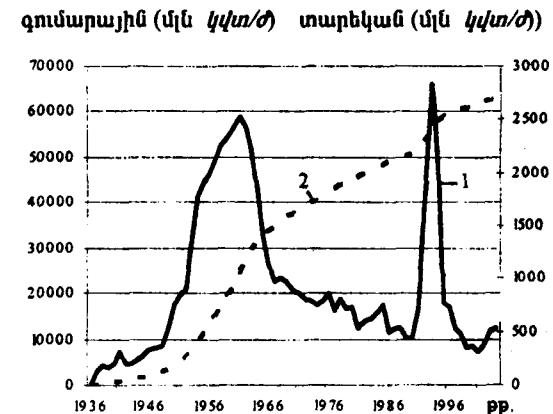
Լիճ-ջրամբարի դեպքում, չափելով մակարդակի՝ հետևապես և ծավալի փոփոխությունը՝ ΔW , ջրի տեղափոխման և ջրբողքի մեծությունները, որոշում ենք նրա փաստացի ջրատվորյունը ԶԶՏՀԿ-ի կարճ բանաձևով.

$$V_{\text{փ.փ}} = \Delta W + V_{\text{զր}} - V_{\text{գլր}};$$

Որպես կանոն՝ լճի ԶՀԿ-ի ճշտությունը (սխալի մեծությունը) ստուգվում է ԶԶՏՀԿ-ի միջոցով նրա անկապի հաշվարկումով՝

$$\Delta V = \Delta W - (V_{\text{ստր}} + V_{\text{գլր}}) + (V_{\text{ելր}} + V_{\text{զր}}),$$

որը համապատասխանում է $\Delta V = V_{\text{փ.փ}} - V_{\text{փ}}$ առնչությանը: Մրանք արտահայտում են դիտարկվող հաշվեկշռային տարրերի բացարձակ մեծությունները, հասկանալի և կիրառելի են առանձին տարրիների կամ որոշակի ժամանակահատվածների համար: Անցած ամբողջ ժամանակաշրջանում լճի մակարդակի զգալի իջեցմանը զուգահեռ զգալիորեն փոքրացել են նրա հայելու մակերեսը, նաև մորֆոմետրական այլ պարամետրեր, որոնցից կախված են ԶԶՏՀԿ ջրատնտեսական հիմնական տարրերը՝ գոլորշացումը և բնական հոսքը՝ ակտիվ ջրատվորյունը: Այս մեծությունների փոփոխությունները կարող են

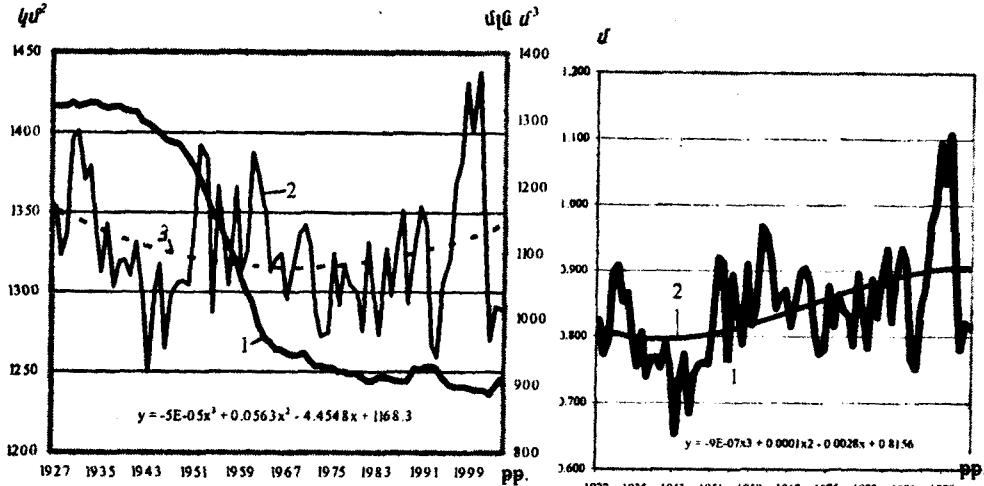


Նկ. 5: Աևան-Հրազդան կասկադի տարեկան (1) և գումարային (2) էներգաարտադրանքը 1936–2004 թթ.:

համեմատվել միայն իրենց տեսակարար մեծություններով՝ ըստ լճի մակերեսի շերտի մեծության:

Ստորև բերվում են նշված տարրերի բնութագրերը իրենց բացարձակ և տեսակարար մեծություններով:

Լճի մակարդակի փոփոխությունից ուղղակիորեն կախված հաշվեկշռային տարրերի բնութագրերը: Այստեղ խոսքը վերաբերում է գոլորշացմանը և լճի բնական հոսքին ակտիվ ջրատվությանը: Վերջինիս կախումը լճի ձևաչափությունից հիմնականում միջնորդված է գոլորշացումով, ինչպես դա երևում է վերը նկարագրած հաշվեկշռային առնություններից:



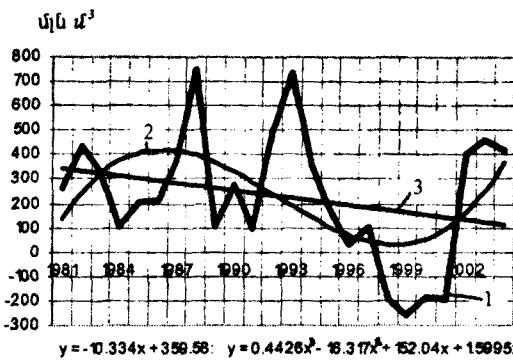
Նկ. 6: Լճի մակերեսի (1), գոլորշացման (2) և գոլորշացման միջինի (ըստ պոլին. տրենի) (3) փոփոխությունը 1927–2004 թթ.:

Նկ. 7: Լճի մակերեսից գոլորշացման շերտի (1) և նրա միջինի (ըստ պոլին. տրենի) (2) փոփոխությունը 1927–2004 թթ.:

Լճի հայելու մակերեսից տեղի ունեցող գոլորշացման ամենամյա բնութագրերը բերված են 6 և 7 նկարներում (ըստ Հայպետիկդրումետի տեղեկագրերի), որտեղից երևում է, որ գոլորշացման ներկայիս միջին արժեքը համարյա հավասար է 1927 թ.

գոլորշացմանը: Ըստ վերջինիս փոփոխության պոլինոմիկ տրենի՝ այն սկսվում է մոտ 1170 մլն մ³ արժեքից, 1960-ական թվականների վերջին փոքրանում է՝ դառնալով 1080 մլն մ³, և 2004 թ. նորից աճում է մինչև 1135 մլն մ³ արժեքը:

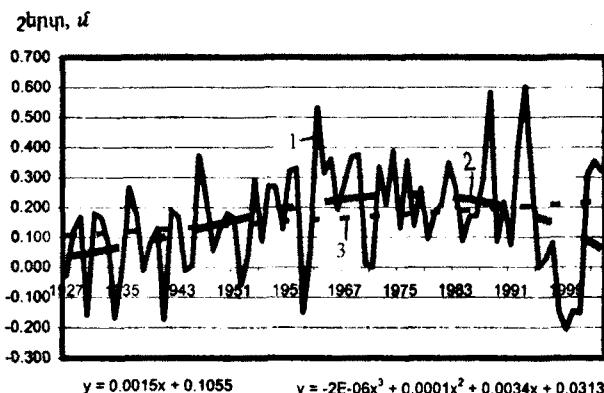
Գոլորշացման միջինացված մեծության փոքր փոփոխության «պարադրսը» բացարձակ է նկ. 7-ի կորերով, որտեղից երևում է, որ ըստ նշված պոլինոմիկ տրենի՝ գոլորշացման շերտի միջինացված արժեքը մեծացել է մոտ 14%-ով, իր բացարձակ արժեքով կոմպենսացնելով լճի հայելու մակե-



Նկ. 8: Լճի ակտիվ ջրատվությունը (1), ջրատվությունը (2) և գծային (3) տրենի 1981–2004 թթ.:

բնաի 12% կրճատման ազդեցությունը:

Լճի ակտիվ ջրատվությունը ի տարրերություն գոլորշացման կրել է հակառակ փոփոխություն (նկ. 8, 9), լճի մակարդակի պայմանական հավասարակշռության տարիներին (1981–2004 թթ.) ըստ ուղղագծային տրենինի փոքրացել է 360 մլն m^3 արժեքից մինչև 112 մլն m^3 , իսկ ըստ պոլինոմիկ տրենինի վերջին տարիներին ունեցել է աճի միտում:



Նկ. 9: Լճի ակտիվ ջրատվության փոփոխությունը (1), նույնը ըստ պոլին. (2) և գծային (3) տրենինի 1927–2004 թթ.:

դառնալով $0,22m$ (նկ. 9):

Ակտիվ ջրատվության իրական արժեքները ըստ շերտի բարձրության փոխվում են մեծ միջակայքում՝ $-0,25m$ -ից (1999 թ.) մինչև $+0,603m$ (1993 թ.) կամ բացարձակ արժեքով՝ -254 մլն m^3 -ից մինչև $+755$ մլն m^3 : 1927 թ.-ից մինչև այժմ ակտիվ ջրատվության իրական միջին արժեքը եղել է 206 մլն m^3 կամ շերտի բարձրությունը $0,165m$ ըստ այժմյան մակերեսի:

Եզրակացություն: Բերված բնութագրերը, որոնց նկարագրումը միայն ընդհանուր վիճակագրական պատկերը ցույց տալու նպատակն ունի, կարիք ունեն ճշգրտման հաշվեկշռային (մասնավորպես լճի ջրային հաշվեկշռի) տարրերի փոփոխադրձ կապերի մանրակրկիտ ուսումնասիրությունների միջոցով: Նման արդյունքները կարող են հիմք հանդիսանալ նշված տարրերի փոփոխության կանխագուշակման համար, որն անհրաժեշտ կլինի լին մակարդակի սպասվող բարձրացման և հետագայի ջրատնտեսական խնդիրների լուծման ժամանակ:

«ՀՀՀՀ, ԵՊ»

Ստացվել է 07.10.2005

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Մնացականյան Բ. Պ., Հայաստանի ջրային հաշվեկշռող: Եր., Զանգակ-97, 2005:
2. Ծիփնագրյան Լ.Ա., Աւանա լիի մակարդակի բարձրացման և ջրատնտեսական հաշվեկշռի տարրերի փոփոխության կանխագուշակումը: Եր., Հայաստան, 1992:
3. Այնբունդ Մ.Մ., Ասարին Ա.Է., Սաֆարովա Ա.Մ., Սմիրնով Վ.Ա. – Տруды ГГИ, 1981, вып. 274.
4. Եագասարյան Ա.Բ., Չիլինգարյան Լ.Ա. – Водные ресурсы. М., 1979, № 1, с. 74–81.
5. Материалы по исследованию озера Севан и его бассейна. Под редакцией В.Г. Глушкова и В.К. Давыдова. Части I–XVIII. Л., 1932–1938.

6. Результаты комплексных исследований по Севанской проблеме. Коллектив авторов. Т. I-III. Ер.: Изд-во АН Арм. ССР, 1961-1962.
7. Чилингарян Л.А. Региональные проблемы управления водными ресурсами: Автореф. дис. на соискание уч. ст. докт. техн. наук. Ер., 1997.

Л. А. ЧИЛИНГАРЯН, Б. П. МНАЦАКАНЯН, К. А. АГАБАБЯН

ВОДНЫЕ-ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕВАНА В ХОДЕ РАЗВИТИЯ ПРОБЛЕМЫ ОЗЕРА

Резюме

Водные–вodoхозяйственные характеристики Севана тесно связаны с фазами развития решений проблемы озера и соответствующими ситуациями. В статье дается описание этих характеристик, полученных на основе статистического анализа и обобщения годовых водных балансов озера и других водохозяйственных показателей. Даются результаты использования вод озера, а также характеристики основных элементов водного баланса – испарения и естественного стока (активной отдачи) озера, зависящих от изменения его морфометрии.

L. A. CHILINGARYAN, B. P. MNATSAKANYAN, K. A. AHABABYAN

WATER-RESOURCES CHARAKTERICS OF LAKE SEVAN IN THE COURSE OF DEVELOPMENT OF THE PROBLEMS OF THE LAKE

Summary

Water – resources charakterics of Lake Sevan are closely connected with the development phases of problems of the Lake. In the article are give descriptions which have been obtained due to statistical analysis and summarization of annual water balance of the lake and other water – resources activities. In the article also are given results of water use of the lake, also description of general elements of water balance, evaporation, and natural runoff (active output) of the lake, which depends on changes of its morphometry.

УДК 512.1

Н. В. ШИРВАНЯН, В. Л. ШИРВАНЯН

О ВЛОЖЕНИИ ГРУППЫ ФИБОНАЧИ $F(2,9)$

Рассматривается группа Фибоначи $F(2,9)$, которая задается 9-ю образующими и 9-ю определяющими соотношениями. Приводится вложение группы $F(2,9)$ в группу $G = \langle a, b; a^9 = 1, ab = b^2a^2 \rangle$.

Группа $F(2,9)$ – одна из класса групп Фибоначи [1] $F(r,n)$, которая задается 9-ю образующими a_1, a_2, \dots, a_9 и 9-ю определяющими соотношениями вида $a_{i+2} = a_{i+1}a_i$, $i = 1, 2, 3, \dots, 9$, где индексы приведены по модулю 9. Иначе говоря, группа $F(2,9)$ задается следующим образом: $F(2,9) = \langle a_1, a_2, \dots, a_9; a_3 = a_2a_1, a_4 = a_3a_2, a_5 = a_4a_3, a_6 = a_5a_4, a_7 = a_6a_5, a_8 = a_7a_6, a_9 = a_8a_7, a_1 = a_9a_8, a_2 = a_1a_9 \rangle$. Неизвестно, конечна эта группа или бесконечна. Для остальных $F(2,n)$ известно следующее [2, 3]: $F(2,3)$ конечна и имеет порядок 8, $F(2,4) \sim Z_4$ (Z_n – циклическая группа порядка n), $F(2,5) \sim Z_5$, $F(2,6)$ бесконечна, $F(2,7)$ бесконечна, $F(2,8)$ и $F(2,10)$ конечны, $F(2,n)$ бесконечны при всех $n \geq 11$.

Нами доказано, что группу G можно задать следующим образом [4]:

$$G_1 = \langle p, q; p^{18} = 1, q^9 = 1, pq^2 = qp^2 (pq)^9 = 1 \rangle.$$

Определим слова:

$$Z_1 = [p, q] = p^{-1}q^{-1}pq, \quad Z_k = [Z_{k-1}, q], \quad k \geq 2.$$

Лемма 1. В группе G_1 выполняются равенства

$$Z_k = q^{k-1}pq^{-k} = qZ_{k-1}q^{-1}, \quad k \geq 2. \tag{1}$$

Доказательство. Применим индукцию по k .

Имеем $Z_1 = p^{-1}q^{-1}pq = p^{-1}q^{-1}pq^2q^{-1} = p^{-1}q^{-1}pq^2q^{-1} = pq^{-1}$,

$$Z_2 = [z_1, q] = [pq^{-1}, q] = qp^{-1}q^{-1}pq^{-1}q = qz_1q^{-1}.$$

Пусть $Z_k = qZ_{k-1}q^{-1}$, тогда получим $Z_{k+1} = [Z_k, q] = [qZ_{k-1}q^{-1}, q] = qZ_{k-1}^{-1}q^{-1}q^{-1}qZ_{k-1}q^{-1}q = qZ_{k-1}^{-1}q^{-1}Z_{k-1}qq^{-1} = q[Z_{k-1}, q]q^{-1} = qZ_kq^{-1}$.

Выпишем первые 9 слов из последовательности (1):

$$\begin{aligned} Z_1 &= pq^{-1}, & Z_4 &= q^3pq^{-4}, & Z_7 &= q^6pq^{-7}, \\ Z_2 &= qpq^{-2}, & Z_5 &= q^4pq^{-5}, & Z_8 &= q^7pq^{-8}, \\ Z_3 &= q^2pq^{-3}, & Z_6 &= q^5pq^{-6}, & Z_9 &= q^8pq^{-9} = q^{-1}p. \end{aligned} \quad (2)$$

При $k > 9$ слово Z_k в G_1 равно одному из слов (2).

В группе G_1 возьмем подгруппу $F_1 = \langle Z_1, Z_2, \dots, Z_9 \rangle$, порожденную словами Z_1, Z_2, \dots, Z_9 .

Лемма 2. В группе G_1 выполняются соотношения

$$\begin{aligned} Z_1Z_2 &= Z_9, & Z_4Z_5 &= Z_3, & Z_7Z_8 &= Z_6, \\ Z_2Z_3 &= Z_1, & Z_5Z_6 &= Z_4, & Z_8Z_9 &= Z_7, \\ Z_3Z_4 &= Z_2, & Z_6Z_7 &= Z_5, & Z_9Z_1 &= Z_8. \end{aligned} \quad (3)$$

Доказательство. Проверим первое соотношение, остальные получатся аналогичным образом:

$$Z_1Z_2 = p^2q^{-2} = q^{-1}qp^2q^{-2} = q^{-1}pq^2q^{-2} = q^{-1}p = Z_9.$$

Отсюда следует, что в F_1 выполняются все соотношения группы $F(2,9)$ с точностью до перестановки образующих. Таким образом получаем, что $F_1 \sim F(2,9)$, т. е. верна

Теорема. $F(2,9)$ вкладывается в группу G_1 .

Лемма 3. В группе G_1 выполняются соотношения сопряженности.

1. $q^{-1}z_1q = Z_9, \quad p^{-1}z_1p = Z_9.$
2. $q^{-1}z_2q = Z_1, \quad p^{-1}z_2p = Z_9^{-1}Z_1Z_9.$
3. $q^{-1}z_3q = Z_2, \quad p^{-1}z_3p = Z_9^{-1}Z_2Z_9.$
4. $q^{-1}z_4q = Z_3, \quad p^{-1}z_4p = Z_9^{-1}Z_3Z_9.$
5. $q^{-1}z_5q = Z_4, \quad p^{-1}z_5p = Z_9^{-1}Z_4Z_9.$
6. $q^{-1}z_6q = Z_5, \quad p^{-1}z_6p = Z_9^{-1}Z_5Z_9.$
7. $q^{-1}z_7q = Z_6, \quad p^{-1}z_7p = Z_9^{-1}Z_6Z_9.$
8. $q^{-1}z_8q = Z_7, \quad p^{-1}z_8p = Z_9^{-1}Z_7Z_9.$
9. $q^{-1}z_9q = Z_8, \quad p^{-1}z_9p = Z_9^{-1}Z_8Z_9 = Z_1Z_9.$

Эти соотношения показывают, что F_1 – нормальная подгруппа группы G_1 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Коуровская тетрадь (под редакцией Блошицкого В.Я., Мерзлякова Ю.И., Чуркина В.А.). Новосибирск, 1986.
2. Johnson D.L., Wamsley J.W., Wright D. – Proc. London Math. Soc., 1974, v. 29, p. 577.
3. Johnson D.L. – Bull. London Math. Soc., 1974, v. 9, p. 101.
4. Ширванин Н.В., Ширванин В.Л. – Ученые записки ЕГУ, 2005, № 3, с. 141.

Ն. Վ. ՇԻՐՎԱՆՅԱՆ, Վ. Լ. ՇԻՐՎԱՆՅԱՆ

ՓԻԲՈՆԱՉԻԻ $F(2,9)$ ԽՄԲԻ ՆԵՐԴՐՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ամփոփում

Դիտարկվում է Փիբոնաչիի $F(2,9)$ խումբը, որը տրվում է 9 ծնիշներով և որոշիչ առնչություններով: Հոդվածում բերվում է $F(2,9)$ խմբի ներդրումը $G = \langle a, b; a^9 = 1, ab = b^2a^2 \rangle$ խմբի մեջ:

N. V. SHIRVANYAN, V. L. SHIRVANYAN

AN IMBEDDING OF FIBONACCI GROUP $F(2,9)$

Summary

In this paper we give imbedding of group Fibonacci $F(2,9)$, given by 9 generators and 9 defining relations in the group $G = \langle a, b; a^9 = 1, ab = b^2a^2 \rangle$.

Химия

УДК 543.4+547.94+547.972

Ж. М. АРСТАМЯН, М. А. МКРТЧЯН, А. В. ДАНИЕЛЯН

ЭКСТРАКЦИОННО-ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНАЛЬГИНА РОДАМИНОМ С В ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТАХ

Исследовано взаимодействие анальгина с основным красителем диаминоксантенового ряда – родамином С. Образовавшийся ионный ассоциат извлекается однократной экстракцией ($R=0,975$) смесью дихлорэтана с амилацетатом (1:4) из растворов с кислотностью от pH 1 до 1,0N по HCl. Установлены также подчиняемость основному закону фотометрии, состав ионного ассоциата и т.д.

Разработанная методика применена для определения анальгина в спазмолгоне, пенталгине, барабалгине.

Анальгин (1-фенил2,3-диметил-4-метиламинопиразолон-5-N-метансульфонат натрия) является производным пиразолона. Он обладает противовоспалительным и жаропонижающим свойствами. Однако при длительном применении анальгина возможны угнетение процессов кроветворения, случаи аллергических реакций. В последние годы в медицине обращают внимание на побочные эффекты, связанные с применением различных лекарственных препаратов. Поэтому требуется разработка чувствительных методов определения малых количеств этих препаратов. Существующие в литературе методы определения анальгина ограничены и малочувствительны [1, 2].

Ранее нами была разработана методика экстракционно-фотометрического определения анальгина красителем диазинового ряда сафранином Т [3].

Настоящая работа посвящена исследованию возможности применения красителя диаминоксантенового ряда – родамина С (РС) в качестве реагента для определения анальгина.

Экспериментальная часть. Раствор анальгина готовили из лекарственного препарата серии 310493, содержащего 95,8% анальгина, согласно прописи [2]. Рабочие растворы получали разбавлением запасного раствора водой.

Раствор РС готовили растворением навески препарата марки «для микроскопии» в воде, затем его отфильтровывали. Оптическую плотность (ОП) экстрактов измеряли на спектрофотометре СФ-16, а pH растворов – на потенциометре ЛПУ-01 со стеклянным электродом. Для установления оптимальных условий образования и экстракции ионного ассоциата (ИА) опыты

проводили в зависимости от ряда факторов. Так, в качестве растворителя применяли хлорпроизводные предельных углеводородов, сложные эфиры уксусной кислоты, ароматические углеводороды, а также их бинарные смеси. Наиболее пригодной оказалась смесь дихлорэтана (при необходимости следует очистить перегонкой) с амилацетатом (1:4). Анальгин с катионом РС образует ИА розового цвета.

Максимум светопоглощения водных растворов красителя и экстрактов ИА наблюдается при длине волны $\lambda=560-565\text{nm}$. Совпадение максимумов подтверждает факт образования ИА. Анальгин практически полностью извлекается однократной экстракцией из растворов с кислотностью от pH 1 до 1,0N по HCl в присутствии $3,7 \cdot 10^{-4} - 4,6 \cdot 10^{-4} M$ РС. Экстракционное равновесие создается за 30сек. Методом повторной экстракции был определен фактор извлечения: $R=0,975$. Подчиняемость основному закону фотометрии наблюдается при концентрации $2,4 \cdot 10^{-5} - 1,44 \cdot 10^{-4} M$. Каждый молярный коэффициент погашения определен по калибровочному графику: $\bar{\epsilon}_{565} = 4,2 \cdot 10^4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. Методами прямой линии Асмуса и сдвига равновесия установлено мольное соотношение аниона анальгина к катиону красителя в ИА, равное 1:1.

Разработанная нами методика применена для определения анальгина в лекарственных препаратах.

Определение анальгина в спазмалгоне, баралгине, пенталгине. В стакан емкостью 50мл помещают точную навеску порошка растертых таблеток (1 шт.) перечисленных лекарственных препаратов, растворяют в 35–40мл воды, фильтруют через сухой фильтр в мерную колбу емкостью 50мл, доводят до метки водой (раствор I). 1мл раствора I переносят в мерную колбу емкостью 50мл, снова доводят до метки водой (раствор II). В делительной воронке к аликовтной части раствора II (0,3–0,6мл) приливают 2мл 0,5N HCl, 0,5мл 0,02%-го раствора РС и 2мл смеси дихлорэтана с амилацетатом (1:4). Встряхивают 1мин после разделения фаз, измеряют ОП органического слоя при $\lambda=562\text{nm}$, $v=0,1\text{cm}$. Правильность результатов анализа проверена методом добавок. Результаты приведены в таблице.

Определение анальгина в лекарственных препаратах. ($P=0,95$; $n=5$; $t_u=2,78$)

Препарат (серия)	A (ОП)		$\Delta\bar{A}$	$S \cdot 10^{-2}$	$\Delta\bar{A} \pm t_{\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}}$
	введено	найдено			
Спазмалгон (650263)	– 0,175	0,185 0,355	0,17	1,47	$0,17 \pm 0,003$
Медебаралгин (1238-OSP)	– 0,34	– 0,345	0,345	1,50	$0,345 \pm 0,002$
Пенталгин (100343/01)	– 0,23	0,20 0,425	0,225	1,09	$0,225 \pm 0,003$

Содержание анальгина в лекарственных препаратах находят по калибровочному графику, построеному по фармакопейному анальгину. Содержание анальгина в одной таблетке определяют по формуле $X = \frac{aV}{V_1g_1}$, где a –

количество анальгина, найденного по калибровочному графику, V – общий объем лекарственного препарата (с учетом разбавления), V_1 – аликвотная часть раствора, g_1 – навеска одной таблетки.

Разработанный нами метод отличается чувствительностью, простотой и доступен для применения в лабораториях.

Кафедра аналитической химии

Поступило 06.07.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Машковский М.Д. Лекарственные средства. Ч. I. Харьков: Торсинг, 1997, с. 144, 159.
2. Государственная фармакопея СССР. М.: Медицина, 1968, с. 94.
3. Арстамян Ж.М. – Хим. ж. Армении, 2004, т. 57, № 4, с. 53.

Ժ.Մ.ԱՌՏԱՄՅԱՆ, Մ.Ա.ՄԿՐՏՉՅԱՆ, Ա.Վ.ԴԱՆԻԵԼՅԱՆ

ԱՆԱԼԳԻՆԻ ԷՔՍՏՐԱԿՑԻՈՆ-ԼՈՒՍԱՉԱՓԱԿԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄ ՈՂԴԱՍԻՆ Ը-Ը ԴԵՎԱՆՅՈՒԹԵՐՈՒՄ

Ամփոփում

Հետազոտված է անալգինի փոխազդեցությունը դիամինաքսանտենային շարքի ներկանյութ ողդամին C-ի հետ: Առաջացած իոնական ասոցիատը միանված լուծահանվում է դիքլորեթանի և ամիլացետատի (1:4) խառնուրդով pH 1–1,0N աղաքաղաքին լուծույթներից: Հաստատված են ֆոտոմետրիայի հիմնական օրենքին ենթարկվելու սահմանները, իոնական ասոցիատի բաղադրությունը և այլն:

Մշակված մեթոդիկան կիրառվել է անալգինը սպազմալգոնում, պենտալգինում և բառալգինում որոշելու համար:

Zh. M. ARSTAMYAN, M. A. MKRTCHYAN, A. V. DANIELYAN

EXTRACTION-PHOTOMETRIC DETERMINATION OF ANALGINUM BY RHODAMINE C IN PHARMACEUTICALS

Summary

The interaction of analginum anion with dye of diaminokantene raw rhodamine C has been studied. Formed ionic associate could be extracted once trough ($R=0,975$) by dichlorethane–amilacetate (1:4) binary mixture from solutions pH 1 to 1,0N HCl and rhodamine C is $3,7 \cdot 10^{-4} - 4,6 \cdot 10^{-4} M$. The range of determined concentration of analginum is $2,4 \cdot 10^{-5} - 1,44 \cdot 10^{-4} M$. The molar coefficient of extraction $\bar{\epsilon}_{565} = 4,2 \cdot 10^4 l \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$.

The method was used for determining small amounts of analginum in spazmalgonum, baralginum and pentalginum.

Биология

УДК 577.3

Т. С. АРУТИЮНЯН

ИЗМЕНЕНИЯ ТРЕТИЧНОЙ СТРУКТУРЫ ДНК ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ЦИСПЛАТИНОЙ

Антиопухолевый препарат цис-диаминдихлорплатина (II) (цис-DDP) образует ковалентный аддукт с ДНК в *in vivo* и *in vitro* условиях. В данной работе методом УФ-спектроскопии изучается переход спираль-клубок при изменениях в высокомолекулярной двухцепочечной ДНК, которые имеют место вследствие образования комплексов с цис-DDP при относительной концентрации $3 \cdot 10^{-5} < r_b < 3 \cdot 10^{-3}$, где $r_b = C_{\text{цис-DDP}} / C_{\text{пар. иукл.}}$.

В настоящее время интерес к платиновым комплексам ДНК достаточно велик, что связано с их высокой противоопухолевой активностью [1, 2]. В данной работе методом УФ-спектроскопии проведено исследование температурного плавления ДНК при низких концентрациях цисплатины ($3 \cdot 10^{-5} < r_b < 3 \cdot 10^{-3}$, где $r_b = C_{\text{цис-DDP}} / C_{\text{пар. иукл.}}$ – относительная концентрация цисплатины). Результаты исследований приведены в таблице.

$C_{\text{цис-DDP}}, M$	r_b	<i>Calf Thymus</i>		<i>Cl. Perfringens</i>		<i>M. Luteus</i>	
		$T_m, {}^{\circ}\text{C}$	$\Delta T, {}^{\circ}\text{C}$	$T_m, {}^{\circ}\text{C}$	$\Delta T, {}^{\circ}\text{C}$	$T_m, {}^{\circ}\text{C}$	$\Delta T, {}^{\circ}\text{C}$
0	0	65,5	9,8	60,0	5,8	78,8	7,0
10^{-5}	10^{-5}	65,8	10,0	60,1	6,2	69,7	20,0
$5 \cdot 10^{-9}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$	69,1	10,3	60,0	6,3	69,9	19,8
10^{-8}	10^{-4}	70,7	10,6	59,7	6,0	–	–
$5 \cdot 10^{-8}$	$5,9 \cdot 10^{-4}$	68,3	10,5	60,8	6,1	66,1	16,0
10^{-7}	$7 \cdot 10^{-4}$	67,8	11,3	58,2	6,2	–	–
$5 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{-3}$	66,4	10,8	58,0	6,4	66,3	17,1
10^{-6}	$8 \cdot 10^{-3}$	66,0	10,3	55,0	6,7	–	–
$5 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-2}$	60,3	9,0	51,8	8,5	62,0	28,8
10^{-5}	10^{-1}	52,0	12,7	43,8	10,9	–	–
$5 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-1}$	50,5	13,0	45,2	12,8	50,8	20,8

Из таблицы следует весьма необычная зависимость температуры (T_m) и интервала (ΔT) перехода высокомолекулярной ДНК с разным ГЦ-содержанием от концентрации цисплатины.

Как видим, существуют три концентрационные области:

- 1) область монотонного повышения T_m ДНК на $3-4 {}^{\circ}\text{C}$ ($10^{-5} < r_b < 10^{-4}$);
- 2) область монотонного понижения T_m ДНК ($10^{-4} < r_b < 10^{-3}$);

3) область резкого понижения T_m ДНК ($10^{-3} < r_b$).

Особенности поведения T_m ДНК в последних двух областях достаточно подробно рассматриваются в работах [3–6].

Существование заметного стабилизирующего эффекта при сверхнизких концентрациях сшивающего агента ($10^{-5} < r_b < 10^{-4}$, несколько молекул на одну макромолекулу) невозможно объяснить локальными конформационными изменениями в отдельных нуклеотидах при комплексообразовании с ДНК [7]. Такие монодентальные или бидентальные комплексы ДНК кинетически инертны [8, 9]. Единственное объяснение этой зависимости T_m ДНК от концентрации цисплатины может быть связано с существенными изменениями в третичной структуре макромолекулы. Мы склонны предполагать, что цисплатина может сшить азотистые основания, удаленные вдоль цепи на расстояния, превышающие длину жесткости нативной ДНК (далее действующее сшивание).

Такое сшивание может приводить к образованию структур с топологическими ограничениями на разделение цепей при плавлении (псевдокольцевые структуры) с большей температурой перехода по сравнению с исходной ДНК.

Кафедра биофизики

Поступило 28.11.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Leng M., Brabec V. In DNA Adducts: Identification and Biological Significance, 1994, p. 339–348.
2. Xie G., Gupta R., Lown J.W. – Anti-Cancer Drug Design, 1995, v. 10, № 5, p. 389–409.
3. Haroutunian S.G., Bruni B., Monnani R., Orioli P., Mangani S. – Inorg.Chimica Acta, 1991, № 184, p. 127–132.
4. Haroutunian S.G., Dalyan Y.B., Morozov V.F., Mamasakhlisov Eu.Sh., Shahinyan M.S., Akhrem A.A., Lando D.Yu., Messori L., Orioli P. – Inorg.Chimica Acta, 1998, № 510, p. 275–276.
5. Арутюнян С.Г., Мамасахлисов Е.Ш., Морозов В.Ф., Далян Е.Б., Хачикян Р.Е., Варdevanян П.О., Ориоли П., Бруни Б. – Биофизика, 1997, т. 42, с. 353–357.
6. Dalyan Y.B., Haroutunian T.S., Haroutunian S.G., Vardevanyan P.O. – Exp. and Mol. Medicine, 2003, v. 35, № 6, p. 534–537.
7. Lando D.Yu., Haroutunian S.G., Fridman A.S., Benight A.S. In book: Modern Problems of Cellular and Molecular Biophysics. Edited by S.Ayrapetyan and A.C.T.North (UK), Yerevan, 2001, p. 279–290.
8. Eastman A. – Biochemistry, 1986, v. 25, p. 3912–3917.
9. Butour J.-L., Maquet J.-P. – Biochem.Biophys. Acta, 1981, № 653, p. 305.

S. U. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

ԴՆԹ-Ի ԵՐՐՈՐԴԱՅԻՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹ-ՅՈՒՆԵՐԸ
ՑԻՍՊԼԱՏԻՆԻ ՀԵՏ ՓՈԽՎԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ԴԵՊՈՒՄ

Ամփոփում

Հակառակության միացության ցիս-դիամինդիքլորպլատինը (ցիս-DDP) ԴՆԹ-ի հետ առաջացնում է կովալենտ համալիր *in vivo* և *in vitro* պայման-

ներում: Տվյալ աշխատանքում ՈՒՄ-սպեկտրոսկոպիկ մեթոդով ուսումնասիրվում է պարույր-կծիկ անցումը բարձրամոլեկուլային երկշղթա ԴՆԹում փոփոխությունների դեպքում, որոնք ի հայտ են զայխ ցիս-DDP-ի հետ կոմպլեքսների առաջացման ժամանակ, եթե ցիս-DDP-ի հարաբերական կոնցենտրացիան փոփոխվում է $3 \cdot 10^{-5} < r_b < 3 \cdot 10^{-3}$ միջակայքում ($r_b = C_{\text{ցիս-DDP}} / C_{\text{զույգ նուկ.}}$):

T. S. HAROUTIUNIAN

CHANGES OF TERTIARY STRUCTURE OF DNA AT INTERACTION WITH CIS-PLATINUM

Summary

The antitumour drug cis-diamminedichloroplatinum(II) (cis-DDP) form covalent adduct with DNA both *in vivo* and *in vitro*. In the present work, UV-spectroscopic helix-coil transition method is used to analyze the changes of the high-molecular DNA double helix occur due to formation of complexes with cis-DDP at the concentration of cis-DDP $3 \cdot 10^{-5} < r_b < 3 \cdot 10^{-3}$, where $r_b = C_{\text{cis-DDP}} / C_{\text{bound nucl.}}$.

Биология

УДК 61–575

А. А. ОВСЕПЯН

**МУТАЦИЯ МЕТИЛЕНТЕТРАГИДРОФОЛАТРЕДУКТАЗЫ И УРОВЕНЬ
ГОМОЦИСТЕИНА ПРИ ИШЕМИЧЕСКОМ ИНСУЛЬТЕ**

Повышенный уровень гомоцистеина считается независимым фактором риска развития ишемического инсульта. Одной из частых причин гипергомоцистеинемии являются мутации гена, ответственного за фермент метилентетрагидрофолатредуктазу (МТГФР). Нами было обследовано 43 пациента, перенесших ишемический инсульт, и 39 здоровых (контроль), у которых были выявлены мутации гена МТГФР. Как оказалось, общий уровень гомоцистеина в плазме крови был достоверно выше у перенесших ишемический инсульт по сравнению с таковым у контрольной группы ($18,94 \pm 1,49$ и $9,77 \pm 0,86$ мкмоль/л, $p \leq 0,001$). Частота обнаруженных нами мутаций совпадает с литературными данными. Также была выявлена тенденция к повышению уровня гомоцистеина у носителей гетерозиготной и гомозиготной мутаций гена МТГФР.

Введение. Ишемические инсульты, составляющие 85% случаев от общего числа сосудистых заболеваний головного мозга, ежегодно являются причиной смерти более 4,5 млн человек [1]. Многие авторы в своих работах приходят к выводу, что повышенный уровень гомоцистеина является независимым фактором риска развития атеросклероза и ишемического инсульта [2–4]. По некоторым данным, повышение концентрации гомоцистеина на 5 мкмоль/л увеличивает риск развития цереброваскулярной патологии в 1,5 раза [5].

В норме уровень гомоцистеина в плазме крови составляет 5–12 мкмоль/л. В течение жизни он увеличивается на 3–5 мкмоль/л и несколько выше у мужчин. Концентрация гомоцистеина в плазме крови в пределах 15–30 мкмоль/л свидетельствует об умеренной, от 30 до 100 мкмоль/л – средней тяжести, а более 100 мкмоль/л – о тяжелой гипергомоцистеинемии.

Одной из причин гипергомоцистеинемии является мутация гена, ответственного за фермент метилентетрагидрофолатредуктазу (МТГФР). Ген МТГФР локализован на хромосоме 1p36.3. Указанная мутация приводит к замене аминокислоты аланина на валин, к нарушению термолабильности фермента и накоплению гомоцистеина в плазме крови. Частота этих мутаций колеблется в различных этнических группах, однако везде она достаточно высока (4–14% гомозигот и 40% гетерозигот).

Целью данной работы является определение мутации МТГФР и уровня гомоцистеина у больных, перенесших ишемический инсульт. Это исследование представляется актуальным, поскольку нет данных о влиянии гомоцистеина на возникновение ишемического инсульта в армянской популяции.

Материалы и методы. Было обследовано 43 больных, перенесших в течение месяца до обследования ишемический инсульт (средний возраст 63 года, 16 мужчин и 27 женщин). Диагноз был поставлен на основании неврологического обследования, анамнеза и клинико-лабораторных диагностических методов (компьютерная томография, эхоДСГ, ЯМР-томография) согласно критериям ВОЗ. Контрольную группу составляли здоровые добровольцы (средний возраст 47 лет, 20 мужчин и 19 женщин).

Все образцы крови были взяты утром, натощак, в положении сидя из локтевой вены в пробирки с EDTA. Для выявления мутаций гена МТГФР использовались наборы *Pronto Thromborisk* (Израиль) с выделением, рестрикцией и амплификацией ДНК и с последующей детекцией методом иммуноферментного анализа. Уровень гомоцистеина определялся методом иммуноферментного анализа с использованием набора фирмы «Axis-Shield» (Великобритания).

Результаты и обсуждение. У 14 больных уровень гомоцистеина был в пределах нормы, у 24 была обнаружена умеренная гипергомоцистениемия, а в 5 случаях – гипергомоцистениемия средней тяжести. В контрольной группе было выявлено лишь 3 случая умеренной и 1 случай гипергомоцистениемии средней тяжести – все у мужчин старше 50 лет. Средний уровень гомоцистеина в плазме крови в группе пациентов, перенесших ишемический инсульт, составил $18,94 \pm 1,49$ (мкмоль/л), а в контрольной группе $9,77 \pm 0,86$ (мкмоль/л). Разница статистически достоверна ($p \leq 0,001$) [7, 8].

Частота мутаций в группе больных и контрольной группе практически одинаковая и соответствует имеющимся в литературе данным [6]. Лица с генотипом C677C (нормальная форма) составляют 62,8% в группе больных и 56,5% – в контрольной группе, с генотипом C677T (гетерозиготная форма) – 30,2 и 33,3% и, наконец, лица с генотипом T677T (гомозиготная форма) – 7 и 10,2% соответственно. Было выявлено достоверное повышение уровня гомоцистеина в группе перенесших ишемический инсульт у лиц с генотипом T677T по сравнению с носителями генотипа C677C ($34,46 \pm 12,17$ и $16,39 \pm 1,46$ (мкмоль/л) соответственно, $p \leq 0,05$). У носителей гетерозиготной мутации по сравнению с носителями генотипа C677C средний уровень гомоцистеина выше на уровне тенденции как среди больных (соответственно $20,66 \pm 2,09$ и $16,39 \pm 1,46$ (мкмоль/л), $p=0,07$), так и в контрольной группе ($11,76 \pm 2,16$ и $8,4 \pm 0,66$ (мкмоль/л), $p=0,08$).

Полученные результаты позволяют сделать вывод о самостоятельной роли гипергомоцистениемии в патогенезе ишемического инсульта, что совпадает с данными большинства исследований (см., напр., [7, 8]). Обнаруженная тенденция к повышению уровня гомоцистеина у носителей гетерозиготной мутации гена МТГФР по сравнению с нормальным генотипом обосновывает проведение более масштабных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. The World Health Report, 2003, The World Health Organization (WHO).
2. Toole J.F. et al. – JAMA, 2004, v. 291, p. 565–575.
3. Aikkelboom J., Hankey G., Anand S. et al. – Int. J. Stroke, 2000, v. 31(5), p. 1069–1075.
4. Kohara K., Fujisawa M., Ando F. et al. – Int. J. Stroke, 2003, v. 34, p. 1130.
5. Boushley C.J., Beresford S.A.A., Omenn G.S. et al. – JAMA, 1995, v. 274, № 13, p. 1049–1057.
6. El-Sammak M., Kandil M., El-Hifni S. et al. – Int. J. Med. Sci., 2004, v. 1, p. 181–192.
7. Modi M., Prabhakar S., Majumdar S. et al. – Neorol. India, 2005, v. 53, p. 297–301.
8. Tanne D., Moti H., Goldbourt U. et al. – Stroke, 2003, v. 34, p. 632–636.

Ա. Ա. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ

ՄԵԹԻԼԵՆՏԵՏՐԱՀԻԴՐՈՖՈԼԱՏՈՒԵՇՈՒԿԱԶԻ ՍՈՒՏԱՑԻԱՆ ԵՎ
ՀՈՍՈՑԻՍԵԲԻՆԻ ՍԱԿԱՐԴԱԿԸ ԻՇԵՄԻԿ ԿԱԹՎԱԾԻ ԺԱՍՏԱՆԱԿ

Ամփոփում

Հոմոցիստեինի մակարդակի բարձրացումը արյան մեջ հայտնի է որպես իշեմիկ կաթվածի զարգացման ռիսկի անկախ գործոն: Հիպերհոմոցիստեինեմիա առաջացնող իիմնական պատճառներից են մեթիլենտետրահիդրոֆոլատուերուկտազի ֆերմենտի համար պատասխանառուությունի գենի մուտացիաները: Մեր կողմից հետազոտվել է իշեմիկ կաթված ստացած 43 հիվանդ և 39 առողջ անձ: Հոմոցիստեինի ընդհանուր մակարդակը զգալիորեն բարձր է եղել հիվանդների արյան մեջ՝ $18,94 \pm 1,49$ ($\mu\text{mol/l}$) ստուգիչի հետ համեմատած՝ $9,77 \pm 0,86$ ($\mu\text{mol/l}$), $p \leq 0,001$: Մուտացիաների հաճախականությունը համապատասխանել է գրականության տվյալներին: Հայտնաբերվել է հոմոցիստեինի մակարդակի բարձրացման հակում կախված հետերոզիզու և հոմոզիզու մուտացիաների առկայությունից:

A. A. HOVSEPYAN

METHYLENETETRAHYDROFOLATE REDUCTASE MUTATION AND HOMOCYSTEINE LEVEL AT ISCHEMIC STROKE

Summary

Elevated homocysteine level in blood is known as independent risk factor for ischemic stroke. One of the most common causes of hyperhomocysteinaemia is methylenetetrahydrofolate reductase (MTHFR) gene C677T mutation. 43 patients with last month ischemic stroke incident were investigated and compared with 39 healthy (controls). Total plasma homocysteine levels was significantly high in cases versus controls ($18,94 \pm 1,49$ and $9,77 \pm 0,86$ ($\mu\text{mol/l}$), $p \leq 0,001$). Mutations frequency concurs with available investigations results. Tendency of homocysteine level elevation connected with heterozygous and homozygous mutation of MTHFR gene was found.

ԿԵՆՍԱՐԱՑՈՒԹՅՈՒՆ

УДК 577.47

Ա. Ա. ԴԱՆԻԵԼՅԱՆ, Կ. Վ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Կ. Կ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Կ. Ա. ՂԱԶԱՐՅԱՆ,
Ն. Փ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

**ԿԵՆՍԱԾԻՆ ՏԱՐՐԵՐՈՎ ԷԿՈՀԱՍՏԱԿԱՐԳԵՐԻ ԱՂՏՈՏՄԱՆ
ԱՂԲՅՈՒՐՆԵՐԸ ԹՈՒՄԱՆՅԱՆԻ ՏԱՐԱԾԱՇԽԱՌՈՒՄ**

Լոռու մարզի Թումանյանի տարածաշրջանն ունի 50201հա տարածք և 48,7 հազար բնակչություն (2004թ.): Այստեղ տեղումների քանակը Լոռու մարզի մյուս տարածաշրջանների հետ համեմատած քիչ է՝ 430–600մ։ Տարածաշրջանն աչքի է ընկնում համեմատաբար մեղմ կլիմայով։ Մարզում կ' ամռան, և՝ ձմռան միջին առավելագույն ջերմաստիճանը գրանցվում է Ալավերդիում [1]: Զննանք տեղումները հիմնականում ծյան տեսքով են, սակայն ցածրադիր գոտում՝ Դեբեղի ստորին հոսանքում, կայուն ձնածածկույթը չի ձևավորվում: Իսկ բարձրադիր լեռներում ձնածածկույթը պահպանվում է մինչև ամռան սկիզբ:

Դա պայմանավորված է նրանով, որ Թումանյանի տարածաշրջանն աչքի է ընկնում բարձրությունների մեծ տարբերությամբ՝ 1145մ (505մ՝ Քարկոտի, 1650մ՝ Արան): Սրանով է բացատրվում նաև տարածաշրջանում բազմացյուղ գյուղատնտեսության զարգացումը: Վերջին տարիների տնտեսական ճգնաժամի հետևանքով գյուղատնտեսությունը դարձել է բնակչության հիմնական գրադմունքը և եկամտի աղբյուրը՝ տարով տարածաշրջանի ներքին համախառն արտադրանքի կեսից ավելին [1]:

Դեբեղ գետի ավազանի գյուղատնտեսության ավանդական ենթաճյուղը անասնաբուժությունն է, որը մարդկային գործունեության այլ ճյուղերի հետ իր ազդեցությունն է թողնում շրջակա միջավայրի վրա [2]: Էկոհամակարգերի աղտոտման պատճառ են հանդիսանում նաև կենցաղային հոսքաջրերը: Թեպետ տարածաշրջանի բոլոր քաղաքներն ունեն հոսքաջրերի վերամշակման գործարաններ, սակայն դրանք շուրջ 13 տարի չեն գործում, իսկ հոսքաջրային ցանցը գտնվում է ծայրահեռ վատ վիճակում [3–4], ուստի հոսքաջրերը առանց մաքրման թափվում են գետերը:

Հետազոտման մեթոդները և արդյունքները: Ըստ Վոլենվայդերի՝ գյուղական շրջաններում մեկ մարդու տնտեսական գործունեության հետևանքով մեկ օրում միջավայր է անցնում միջին հաշվով 14գ ազոտ ($N_{\text{օր}}$) և 1,4գ ֆոսֆոր

(Պօր) [5], իսկ քաղաքաբնակ շրջաններում՝ համապատասխանաբար 28գ և 2,8գ [5, 6], որոնց միջոցով կարելի է հաշվել մեկ տարվա ընթացքում միջավայր անցնող ազոտի (N_п) և ֆոսֆորի (P_п) քանակները:

Ըստ Վոլենվայդերի՝ խոշոր եղջերավոր անասունների 1000կգ կենդանի քաշից արտաքրանքի միջոցով շրջակա միջավայր է անցնում տարեկան 156կգ ազոտ և 17կգ ֆոսֆոր, իսկ մանր եղջերավոր անասուններից՝ համապատասխանաբար 119կգ և 20կգ [5]: Ընդունելով Դերեն գետի ավագանում խոշոր եղջերավոր անասունների միջին քաշը 450կգ, իսկ մանր եղջերավոր անասուններին՝ 50կգ, կարող ենք գրել $N_{п}=450 \times N_{սու.ի} / 1000$, $P_{п}=450 \times P_{սու.ի} / 1000$, $N_d=50 \times N_{սու.ս} / 1000$, $P_d=50 \times P_{սու.ս} / 1000$, որտեղ $N_{п}$, $P_{п}$ և N_d , P_d -ը համապատասխանաբար մեկ խոշոր և մեկ մանր եղջերավոր անասունի արտաքրանքի միջոցով միջավայր անցնող ազոտի և ֆոսֆորի քանակներն են, իսկ $N_{սու.ի}$, $P_{սու.ի}$, $N_{սու.ս}$, $P_{սու.ս}$ -ը 1000կգ կենդանի քաշից միջավայր անցնող ազոտի և ֆոսֆորի քանակները:

Ըստ Վոլենվայդերի՝ միջին ծանրաբեռնվածությամբ 1հա արտավայրում տարեկան հող է անցնում $10\text{գ}/\text{մ}^2$ ազոտ ու $1,45\text{գ}/\text{մ}^2$ ֆոսֆոր [5]:

Աղյուսակ 1-ում բերված են Թումանյանի տարածաշրջանում վերջին չորս տարիների ընթացքում բնակչության տնտեսական գործունեության հետևանքով միջավայր անցած ազոտի և ֆոսֆորի քանակները (2001-2004 թթ.):

Աղյուսակ 1

Տարեքիվ	Գյուղական շրջաններ		Քաղաքային շրջաններ		Ընդամենը	
	$N_{п}, \text{կգ}$	$P_{п}, \text{կգ}$	$N_{п}, \text{կգ}$	$P_{п}, \text{կգ}$	$N_{п}, \text{կգ}$	$P_{п}, \text{կգ}$
2001	145124	14512	328062	32806,2	473186	47319
2002	145635	14564	326018	32601,8	471653	47165
2003	139503	13950	219730	21973,0	359233	35923
2004	139503	13950	218708	21870,8	358211	35821

Թեպետ աղյուսակից նկատվում է մարդկային գործունեության հետևանքով շրջակա միջավայր անցնող ազոտի և ֆոսֆորի քանակական որոշ նվազում, որը պայմանավորված է զուտ վերջին տարիներին տնտեսական ճգնաժամի պատճառով բնակչության արտագաղթով, սակայն դա, իհարկե, պրոբլեմի լուծում չէ: Կենցաղային հոսքաջրերը շարունակում են առանց որևէ մաքրման քափիկ բաց ավագաններ և աղտոտել դրանք:

Տարածաշրջանում հոսքաջրերի հեռացման և մշակման պատշաճ մակարդակի ապահովման համար առաջարկվում է.

ա) վերակառուցել գոյություն ունեցող հոսքաջրերի մաքրման գործարանները և կառուցել նորերը;

բ) իրականացնել հոսքաջրային ցանցերի վերականգնում և տեխնիկական վերասարքավորում, ինչպես նաև աշխատակազմի ուսուցում:

Վերլուծելով անասնապահության ոլորտում Լոռու մարզի վիճակագրական վարչության տվյալները՝ բացահայտել ենք, որ վերջին չորս տարիների ընթացքում Թումանյանի տարածաշրջանում նկատվում է անասնազվաքանակի աճ: Մասնավորապես 2004 թ.-ին այդ ցուցանիշը կազմել է 14716 գլուխ խոշոր և 13768 գլուխ մանր եղջերավոր անասուն:

Խոշոր և մանր եղջերավոր աճասունների արտաքրանքի միջոցով շրջակա միջավայր անցնող ազդուի և ֆուֆորի քանակները (2001–2004 թթ.) բերված են աղյուսակ 2-ում:

Աղյուսակ 2

Տարեթիվ	Խոշոր եղջերավոր աճասուն		Մանր եղջերավոր աճասուն		Ընդամենը	
	N _ա , կգ	P _ա , կգ	N _ա , կգ	P _ա , կգ	N _ա , կգ	P _ա , կգ
2001	964533	103726	80467,8	13524	1045000,8	117250
2002	947175,8	101859,8	80110,8	13464	1027286,6	115323,8
2003	974349,8	104782	81616	13717	1055965,8	118499
2004	1046837	112577,5	81919,6	13768	1128756,6	126345,5

Օգտագործելով Թումանյանի տարածաշրջանի եղջերավոր աճասունների գլխաքանակի և արոտավայրերի ընդհանուր տարածքի (12284հա) տվյալները՝ Վոլենվայդերի բանաձներով հաշվարկել ենք նաև արոտավայրերի ծանրաբեռնվածությունը (աղյ. 3):

Համաձայն Վոլենվայդերի՝ 9,3 պայմանական գլուխ մանր եղջերավոր աճասունին անհրաժեշտ է մեկ պայմանական գլուխ խոշոր եղջերավոր աճասունի համար պահանջվող արոտավայր:

Աղյուսակ 3

Թումանյանի տարածաշրջանում խոշոր ու մանր եղջերավոր աճասունների գլխաքանակը և արոտավայրերի ծանրաբեռնվածությունը (2001–2004 թթ.)

Տարեթիվ	2001	2002	2003	2004
Խոշոր եղջերավոր աճասուն (գլուխ)	13559	13315	13697	14716
Մանր եղջերավոր աճասուն (գլուխ)	13524	13464	13717	13768
Արոտավայրերի բեռնվածությունը, %	87,2	85,8	88	94,2
Անասնագլխաքանակի աճի հնարավորությունը (մեկ պայմանական գլուխ խոշոր եղջ. աճասունի հաշվով)	2184,6	2434,9	2025,6	1001,2

Այսպիսով, տարածաշրջանում նկատվում է անասնագլխաքանակի աճ, որը առաջն էկոլոգիական ծանրաբեռնվածություն չի առաջանում, թեև միայն 2004 թ. խոշոր և մանր եղջերավոր աճասունների արտաքրանքի միջոցով շրջակա միջավայր է անցել մոտ 1129 տ ազդու և 126 տ ֆուֆոր:

Արոտավայրերի բերրիության բարձրացման նպատակով և հողերի էրոզիայից, տեղային ծանրաբեռնվածությունից և շրջակա միջավայրի վրա անասնապահության բացասական ազդեցությունից խուսափելու համար առաջարկվում է տարածաշրջանուն կազմակերպել աճասունների ճիշտ արածեցում, յուրաքանչյուր հինգ տարին մեկ արոտավայրերը թողնել հանգիստ և կառուցել գոմաղբի կուտակման վայրեր:

1. Մանավան Մ.Գ. և ուրիշներ, Լոռու մարզ (բնությունը, բնակչությունը, տնտեսությունը): Եր., Երևանի համալս. հրատ., 2003, 208 էջ:
2. Մարդկային գարզագնան հիմունքներ (ուսումնական ձեռնարկ մագիստրոսների համար, խմբ. Հ.Լ. Սարգսյան), Եր., Նոյյան Տապան, 2004, 318 էջ:
3. Integrated River Basin Planning—Khrami – Debed Watershed; Final report, 2002.
4. Bulghadaryan N. – Hetq online, 2004.
5. Vollenweider R.A. Scientific fundamental of the eutrophication of lakes and flowing waters with particular reference to nitrogen and phosphorus effect in eutrophication. Tech. rep. organiz. econom. co-oper. and devel., 1968, p. 159.
6. Россолимо Л.Л. Изменение лимнических экосистем под воздействием антропогенного фактора, М. фактора. М.: Наука, 1977.

Ա. Ա. ԴԱՆԻԵԼՅԱՆ, Կ. Վ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Կ. Կ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Կ. Ա. ԿԱԶԱՐՅԱՆ,
Հ. Պ. ԿԱԶԱՐՅԱՆ

ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ С БИОГЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ В ТУМАНЯНСКОМ РЕГИОНЕ

Резюме

В Туманянском регионе Лорийского марза было исследовано воздействие деятельности человека на концентрацию биогенных элементов. Выяснилось, что лишь по причине миграции населения уменьшилось прямое воздействие человека на окружающую среду, а по причине роста голов скота увеличилось косвенное воздействие.

A. A. DANIELYAN, K. V. GRIGORYAN, K.K. GRIGORYAN, K. A. GHAZARYAN,
N. P. GHAZARYAN

THE SOURCES OF POLLUTION OF ECOSYSTEMS WITH BIOGENIC ELEMENTS IN TUMANYAN REGION

Summary

It has been studied the influence of human activity on the content of biogenic elements in ecosystems, in Tumanyan region of Lori marz. It has been revealed that the human direct influence on the environment decreased, just because of migration of population, but the indirect influence increased, because of livestock growth.

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

А.Ж. Амбарцумян – Некоторые современные методы исследования твердых поверхностей.....	3
---	---

МАТЕМАТИКА

А.И. Петросян – О весовых классах целых функций в пространстве C'	17
А.А. Асатрян – Исследование точечного спектра оператора Штурма–Лиувилля с потенциалом, имеющим определенное поведение на бесконечности	23
Ю.Г. Дадаян – Вариационно-разностные схемы на покоординатно струящимся сетках для бигармонического уравнения.....	29
А.Б. Григорян – Алгебраический многосеточный переобуславливатель для эллиптических задач с краевыми условиями смешанного типа. I. Двухсеточные переобуславливатели.....	37

ИНФОРМАТИКА

Г.А. Мкртчян – Глобальная трассировка, учитывающая ограничения максимальной длины	49
---	----

МЕХАНИКА

В.Н. Гришкян – О стабилизации и управлении вращательным движением твердого тела.....	58
--	----

ФИЗИКА

Т.А. Абрамян – Оптические свойства конической структуры дизлектрик–металл–дизлектрик.....	64
---	----

ХИМИЯ

Н.М. Бейлерян, М.З. Асатуриян – Влияние додецилсульфата натрия и хлорида додецилтриметиламмония на скорость реакции $H_2O_2 + HO^-$, протекающей в обратных эмульсиях, стабилизованных лецитином	68
Л.Г. Мелик-Оганджян, Л.А. Нерсесян, Ш.А. Маркарян – Исследование межмолекулярных взаимодействий витамина E с диметил-, дизтилсульфоксидами методом ИК-спектроскопии.....	74

Э.Е. Капанцян, Г.М. Зейтагян, Р.А. Саркисян, С.К. Григорян – Комплексообразование хрома(III) с салицилатом натрия в водном растворе	80
А.Р. Мкртчян, Г.Г. Дарбиян, Г.Н. Шапошникова, А.Г. Хачатрян – Амперометрическое определение палладия(II) аллилтиомочевиной.....	86
С.А. Дадаян – Синтез нового хиального реагента (<i>S</i>)-N-(2-бензоилфенил)-1-(<i>n</i>-бензилоксибензил)пирролидин-2-карбоксамида и его Ni(II)-комплексов основания Шиффа с аминокислотами	90

БИОЛОГИЯ

П.О. Вардеванян, М.Р. Дарбиян, Ж.В. Явоян, Л.А. Минасбекян – Изменение фосфолипидного состава ядерной мембранны и хроматина прорастающих семян пшеницы под действием факторов различной природы	96
М.Б. Матевосян, В.С. Погосян, Э.А. Агаджанян, А.Л. Атоянц, Р.М. Арутюнян – Оценка генотоксичности растворов солей тяжелых металлов с применением тест-систем традесканции (клон 02)	103
В.Г. Григорян, Л.С. Степанян, А.Р. Агабабян, А.Ю. Степанян – Динамика изменения амплитуды компонента N₂₀₀ вызванных потенциалов коры головного мозга подростков под влиянием компьютерной игры агрессивного содержания	108
С.М. Минасян, С.Г. Саркисян, М.Л. Егиазарян – Сравнительный анализ показателей импульсной активности нейронов медиального вестибулярного ядра односторонне делабиринтизованных крыс	115

ГЕОЛОГИЯ

М.А. Григорян, Р.Р. Дургарян, Л.Б. Мирзоян – Количественная оценка афтершокового процесса Спитакского землетрясения 1988 г.	122
М.Р. Геворкян – О яшмах из ассоциации офиолитов Армении.....	128

ГЕОГРАФИЯ

Л.А. Чилингарян, Б.П. Мицакянян, К.А. Агабабян – Водные–водохозяйственные характеристики Севана в ходе развития проблемы озера.	134
---	------------

СООБЩЕНИЯ

Н.В. Ширванин, В.Л. Ширванин – О вложении группы Фибоначи F (2,9)	142
Ж.М. Арстамян, М.А. Мкртчян, А.В. Даниелян – Экстракционно-фотометрическое определение анальгина родамином С в лекарственных препаратах	145
Т.С. Арутюнян – Изменения третичной структуры ДНК при взаимодействии с цисплатиной	148
А.А. Овсепян – Мутация метилентетрагидрофолатредуктазы и уровень гомоцистеина при ишемическом инсульте.....	151
А.А. Даниелян, К.В. Григорян, К.К. Григорян, К.А. Казарян, Н.П. Казарян – Источники загрязнения экосистем с биогенными элементами в Туманянском регионе.....	154

CONTENTS

REVIEWS

- A. J. Hambardzumyan, Sh. A. Markarian – Some modern methods of solid surfaces analyses 3

MATHEMATICS

- A. I. Petrosyan – On weighted classes of entire functions in C'' 17
H.A. Asatryan – Analysis of the point spectrum of the Sturm–Liouville operator with certain behavior of potential at infinity 23
Yu.G. Dadayan – Variation-difference schemes on coordinate condensed grids for biharmonic equation 29
A.B. Grigoryan – Algebraic multigrid preconditioner for elliptic problems with mixed type boundary conditions. I. Two-grid preconditioners 37

INFORMATICS

- G.A. Mkrtychyan – Max length driven global routing 49

MECHANICS

- V.N. Grishkyan – About stabilization and control of a rotation of a rigid body 58

PHYSICS

- T.A. Abrahamyan – The optical properties of conical structure dielectric–metal–dielectric 64

CHEMISTRY

- N.M. Beylerian, M.Z. Asaturyan – The influence of sodium dodecyl sulfate and dodecyltrimethylammonium chloride on the $H_2O_2 + HOO^-$ reaction rate in inverse emulsions stabilized by lecithin 68
L.G. Melik-Ohanjanian, L.A. Nersesian, Sh.A. Markarian – Investigation of the intermolecular interaction of vitamin E with dimethyl-, diethylsulphoxides by IR-spectroscopy 74

E.E. Ghapantsyan, G.M. Zeytaghyan, R.A. Sarkisyan, S.K. Grigoryan – Complex formation of chrome(III) with sodium salicylate in water (aqua) solution	80
A.R. Mkrtchyan, G.G. Darbinyan, G.N. Shaposhnikova, H.G. Khachatryan – Amperometric determination of palladium(II) by means of allylthiourea	86
S.A. Dadayan – Synthesis of a novel chiral auxiliary (<i>S</i>)-N-(2-benzoylphenyl)-1-(4-benzyloxybenzyl)pyrrolidine-2-carboxamide and its Ni(II) complexes of schiffs bases with amino acids	90

BIOLOGY

P.O. Vardevanyan, M.R. Darbinyan, Zh.V. Yavroyan, L.A. Minasbekyan – Changes in the phospholipid contents of nuclear membrane and chromatin of germinating cereal seeds under influence of different factors	96
M.B. Matevosyan, V.S. Poghosyan, E.A. Agadjanyan, A.L. Atoyan, R.M. Arutyunyan – Estimation of genotoxic effects of salts of heavy metals with application of test-systems of tradescantia (clone 02).....	103
V.G. Grigoryan, L.S. Stepanyan, H.R. Aghababyan, A.Yu. Stepanyan – The influence of aggressive task performance on dinamic changes of amplitude of component N ₂₀₀ of the event-related potentials of the teenagers' brain cortex	108
S.M. Minasyan, S.H. Sargsyan, M.L. Yeghiazaryan – The comparative analysis impulse activityof a medial vestibular nucleus neuron's in conditions of labyrinthectomy	115

GEOLOGY

M.A. Grigoryan, R.R. Durgaryan, L.B. Mirzoyan – The quantitative assessment of Spitak earthquake aftershock stage	122
M.R. Gevorkyan – Jaspis of genetic types of gemstone mineralization in connection with ofiolite association of rocks of Armenia	128

GEOGRAPHY

L.A. Chilingaryan, B.P. Mnatsakanyan, K.A. Ahababyan – Water-resources characteristics of lake Sevan in the course of development of the problems of the lake	134
--	-----

COMMUNICATIONS

N.V. Shirvanyan, V.L. Shirvanyan – An imbedding of Fibonacci group $F(2,9)$	142
Zh.M. Arstamyan, M.A. Mkrtchyan, A.V. Danielyan – Extraction-photometric determination of analginum by rhodamine C in pharmaceuticals	145
T.S. Haroutiunian – Changies of tertiary structure of DNA at interaction with cis-platinum	148
A.A. Hovsepyan – Methylenetetrahydrofolate reductase mutation and homocysteine level at ischemic stroke	151
A.A. Danielyan, K.V. Grigoryan, K.K. Grigoryan, K.A. Ghazaryan, N.P. Ghazaryan – The sources of pollution of ecosystems with biogenic elements in Tumanyan region	154