
ԵՐԵՎԱՆԻ
ՊԵՏԱԿԱՆ
ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ



ЕРЕВАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Գ Ի Տ Ա Կ Ա Ն
Տ Ե Ղ Ե Կ Ա Գ Ի Ր
УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

3.2001

ԵՐԵՎԱՆ ♦ ЕРЕВАН

ISSN 0132-0173

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

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

ԽՄԽԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Ռ.Մ. (զյլ. իմքրագիր), ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Ս.Գ. (զյլ. իմքրագրի տեղակալ),
ՇԱՐԱՄԲԵՅԱՆ Լ.Թ. (սլստ. քարտուղար)

ԲՈՅՆԱԳՐՅԱՆ Վ.Ռ., ԴԱՆԻԵԼՅԱՆ Է.Ա., ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Ի.Գ., ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Հ.Գ.,
ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ Լ.Լ., ՍԱՐԳՍՅԱՆ Ե.Ա., ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Ռ.Մ., ՇՈՒԹՈՒՐՅԱՆ Ս.Կ.,
ՉՈՒԲԱՐՅԱՆ Է.Վ., ՍԱՐԳՍՅԱՆ Հ.Հ., ՍԱՐԳՍՅԱՆ Ս.Վ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

АРУТЮНЯН Р.М. (с.л. редактор), ПЕТРОСЯН С.Г. (х.м. с.л. редактора),
ШАРАМБЕЯН Л.Т. (отв. секретарь)

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

Издательство Ереванского университета
© “Ученые записки” ЕГУ, естественные науки. 2001

Сдано в производство 7.09.2001 г. Подписано к печати 31.10.2001 г. Формат 70×108
1/16. Офсетная печать. 10 печ. л.=14 усл. п. л. 17 уч. изд. л. Заказ 172. Тираж 250.
Регистрационный номер 258

Издательство Ереванского госуниверситета, Ереван, Ал. Манукяна, 1
Цех Ротапринт Ереванского госуниверситета, Ереван, Ал. Манукяна, 1.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԱԿՆԱՐԿԱՅԻՆ ՀՈԴՎԱԾՆԵՐ

Ա.Ս. Գալստյան, Լ.Ս. Գաբրիելյան, Ա.Ս. Ամիրյան, Շ.Ա. Մարգարյան – Դիֆերենցիալ ռելաքսացիայի սպեկտրոսկոպիան և դիալկիլսուլֆոքսիդների լուծույթների կառուցվածքի և դինամիկայի ուսումնասիրությունը	3
--	---

ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

Տ.Լ. Ղարիբյան – Աստիճանային շարքերի սպիրալային եզակիությունների տեղայնա- ցումը: II	18
Պ.Ս. Գևորգյան – Հարթ ինվարիանտ կոմպակտների էկվիվարիանտ շարժունության մասին	26
Ա.Գ. Մաթևոսյան – Ստոխաստիկ գծային համակարգերի համար m նպատակային բազմությունների հետ մոտեցման դիֆերենցիալ խաղ	31
Վ.Ա. Ներսեսյան – Եռաչափ հարթությունների բուլլատրեի կոմպլեքսները P^6 պրոյեկ- տիվ տարածության մեջ: I	35
Ա.Մ. Համբարձումյան – Պարզ մոնադիկ PROLOG-ի մեկնաբանիչի մասին	40

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

Ա.Ա. Ղուկասյան, Թ.Ա. Սիմոնյան – Երկօղակ մանիպուլյատորի շարժման դեկավար- ման խաղային մոտեցման մասին	49
Լ.Ա. Մազմանյան – Հոլի պոտտական շարժման ըստ ազդող ուժի կայունության մասին	57

ՖԻԶԻԿԱ

Ա.Հ. Գևորգյան – Արտաքին մագնիսական դաշտում գտնվող բնական գիրոտրոպ միջա- վայրի քսեռային ֆունկցիաները	61
--	----

ԶԻՄԻԱ

Ֆ.Վ. Միրզոյան, Է.Խ. Հայրիյան, Ժ.Վ. Սարգսյան, Ս.Մ. Վարդապետյան – Ֆուքսինի և մոլիբդագերմանիումական հետերոպոլիմերի փոխազդեցության ուսումնասիրու- թյունը	72
--	----

Շ.Ս. Զաքարյան, Հ.Հ. Դարբինյան, Գ.Ն. Շապուշնիկովա, Հ.Գ. Խաչատրյան – Տելուր (IV)-ի ամպերաչափական որոշումը թիոմիզանյութով	78
Մ.Լ. Երիցյան, Գ.Գ. Գալստյան, Ռ.Ա. Զարամյան, Գ.Պ. Փիրումյան – Ակրիլաթթվի համապոլիմերացումը դիալիլիզոցիտանուրաթթվի նատրիումական աղի հետ	82
Է.Ե. Ղափանցյան, Ռ.Ա. Սարգսյան, Ս.Դ. Բաղդասարյան, Է.Ն. Հովհաննիսյան, Մ.Գ. Հարությունյան, Գ.Լ. Գրիգորյան – Մոլիբդենի (VI) փոխազդեցությունը օքսալաթթվի հետ	86
Ս.Մ. Հակոբյան – 2-օքսո-3-ալկիլ-6-մեթիլ-1,4-դիօքսանների ամինացման ռեակցիայի վրա ազդող գործոնները	91

ԿԵՆՍԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Ա.Վ. Ներկարարյան, Հ.Ռ. Վարդապետյան, Ա.Բ. Կիրակոսյան – Լակտատդեհիդրոգենազի իզոֆերմենտային կազմը և կալուսային կուլտուրաների մորֆոգենետիկ հնարավորությունները	95
Ա.Թ. Կարապետյան, Գ.Ա. Մանուկյան, Ա.Պ. Անտոնյան, Պ.Հ. Վարդեանյան – ԴՆԹ-ի հետ էքիդիոմի բրոմիդի փոխազդեցության առանձնահատկությունների հետազոտումը	102
Ա.Ֆ. Գրիգորյան – Մարդու արտաքին շնչառության կամայական օպտիմալ փոքրացումը մտավոր և ֆիզիկական ծանրաբեռնվածության պայմաններում	108
Յու.Գ. Պռպով, Զ.Ա. Աղաջանյան, Մ.Թ. Պետրոսյան, Ս.Հ. Սարգսյան, Ֆ.Ռ. Ղազարյան, Ժ.Վ. Ծովյան – Գետնախնձորի աղադիմացկուն գծերի ստացումը	113
Ն.Գ. Ղարիբյան, Ս.Մ. Բաղդասյան – Նյութեր Հայաստանի մակրոսկոպիկ ուսումնասիրման վերաբերյալ	119
Ա.Ա. Աղաջանյան, Ա.Խ. Աղաջանյան, Լ.Պ. Թումանյան – Որոշ դեղաբույսերի ազատ ամինաթթուների և պրոլինի պարունակությունը	129

ԵՐԿՐԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Հ.Հ. Սարգսյան, Ա.Ս. Ավանեսյան, Մ.Ա. Ավանեսյան – ՀՀ տարածքի լայնական տեկտոնական կառույցների դերը սեյսմիկ վտանգի գնահատման գործում	134
Հ.Պ. Գույումջյան – Օպալիտները որպես նոր տիպի ոչ մետաղական օգտակար հանածո արհեստական վոլաստոնիտի և արծեքավոր ալյ սիլիկատների ստացման համար	143

ՀԱՂՈՐԴՈՒՄՆԵՐ

Ի.Մ. Կարախանյան – Անվերջ ներդիրի վրա հարմոնիկ ալիքի դիֆրակցիայի հետ կապված եզրային պայմանների մասին	149
Ս.Գ. Երվանդյան, Ե.Հ. Սիմոնյան, Ա.Ա. Ներիշ, Գ.Լ. Սնիսյան, Ռ.Մ. Հարությունյան – Միջավայրի դերը արական գամետոֆիտի ձևավորման ժամանակ	153

УДК:541.8+537.226.1

А.С. ГАЛСТЯН, Л.С. ГАБРИЕЛЯН, А.С. АМИРЯН, Ш.А. МАРКАРЯН

СПЕКТРОСКОПИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ РЕЛАКСАЦИИ И ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ РАСТВОРОВ ДИАЛКИЛСУЛЬФОКСИДОВ

Представлены основные теоретические и экспериментальные особенности метода спектроскопии диэлектрической релаксации. Обобщены результаты исследований растворов диалкилсульфоксидов (ДАСО), проводимых за последние годы на кафедре физической химии ЕГУ с применением этого метода. Сделаны заключения о структурных и динамических свойствах данных систем.

1. Введение. Спектроскопия диэлектрической релаксации (СДР) является на сегодняшний день одним из наиболее эффективных спектральных методов для изучения структуры и динамики веществ. В настоящее время СДР нашла также применение в биофизике и фармакологии [1–3]. Большой вклад в исследование структуры и динамики растворов как электролитов, так и неэлектролитов внесли немецкие ученые Бартел, Каатце и Штокхаузен [1,4–10].

В отличие от традиционных спектроскопических методов, как, напр., ЯМР- или ИК-спектроскопии, СДР особенно чувствительна к межмолекулярным взаимодействиям, в том числе и неспецифическим, определяющим структуру вещества. СДР способна “видеть” кооперативные процессы. Таким образом, СДР является методом, обеспечивающим связь молекулярной спектроскопии, наблюдающей свойства индивидуальных составляющих изучаемой системы, с физико-химическими методами, рассматривающими объемные свойства образца (такие, как вязкость и реологические свойства). СДР широко применяется для исследования жидкостей, полимеров, полимерных смесей, полиэлектролитов и твердых веществ.

Исследованию диалкилсульфоксидов и их растворов посвящено немало работ, проведенных сотрудниками кафедры физической химии ЕГУ [10–18], которая недавно (1999 г.) получила оборудование по диэлектрической спектроскопии в качестве дара, выражающего результат нашего сотрудничества с научной группой проф. М. Штокхаузена Института физической химии университета Мюнстер (Германия), что и способствовало более эффективному изучению структурных и динамических особенностей этих систем.

2. Основопологающие понятия спектроскопии диэлектрической релаксации. СДР исследует взаимодействие макроскопического образца с переменным во времени электрическим полем. Возникающая при этом поляризация вещества (выражаемая зависимостью диэлектрической проницаемости и проводимости от частоты) характеризует амплитуду и временную шкалу флуктуаций плотности заряда в образце. Эти флуктуации в основном возникают при переориентации постоянных дипольных моментов индивидуальных молекул или при вращении дипольных образований в гибких молекулах (напр., полимерах). Другой возможный механизм включает перенос ионов или образование межповерхностных зарядов в гетерогенных системах. Временная шкала этих флуктуаций зависит от образца и механизма релаксации. Время релаксации может иметь значения от нескольких пикосекунд (для не очень вязких жидкостей) до нескольких часов (для стекол), что характеризует СДР как технику для изучения динамических процессов с наиболее широким диапазоном. Измерения проводятся в широкой области частот от 10^{-4} до 10^{12} Гц.

В присутствии переменного электромагнитного поля имеет место взаимодействие между его электрической составляющей и дипольным моментом молекул вещества, помещенного в этом поле. При этом диполи ориентируются вдоль направления поля с некоторым запозданием (время релаксации), характеризующим динамические свойства молекул. Под воздействием электрического поля $\vec{E}$ вещество поляризуется. Хотя с физической точки зрения интерес представляет вектор диэлектрической поляризации $\vec{P}$, однако чаще рассматривается величина $\vec{D}$, называемая электрической индукцией, которую в случае изотропных диэлектриков можно представить в виде

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E}, \quad (1)$$

где ϵ_0 – электрическая постоянная поля, а ϵ – диэлектрическая проницаемость вещества. Диэлектрическая проницаемость является комплексной величиной и зависит от частоты. Комплексную величину ϵ можно разложить на реальную и мнимую части

$$\epsilon(\omega) = \epsilon'(\omega) - i\epsilon''(\omega). \quad (2)$$

СДР рассматривает зависимость комплексной диэлектрической постоянной ϵ от частоты (рис.1). Наибольший интерес представляет мнимая часть $\epsilon''(\omega)$ комплексной диэлектрической постоянной, так как с ней связано поглощение электромагнитного излучения в среде.

В статическом случае ($\omega \rightarrow 0$) $\epsilon''(\omega) = 0$, а $\epsilon'(\omega) = \epsilon_s$. При очень высоких частотах ($\omega \rightarrow \infty$) ориентационная поляризация не успевает за изменением поля и $\epsilon'(\omega)$ в этом случае определяется только поляризацией сдвига. Диэлектрическая проницаемость, экстраполированная к сверхвысоким частотам, обозначается через ϵ_∞ . Очень часто ϵ_∞ описывается приближенным уравнением Максвелла

$$\epsilon_\infty \approx n_D^2, \quad (3)$$

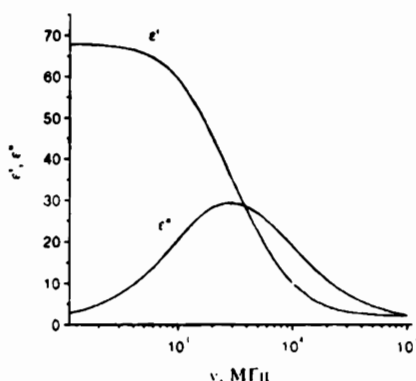
n_D – показатель преломления. На рис.1 представлен СДР-спектр, где можно

наблюдать широкую безструктурную кривую поглощения $\epsilon''(\omega)$ и ступенчатую кривую дисперсии $\epsilon'(\omega)$, спадающей от ϵ_s до ϵ_∞ , что и называется дисперсионным спадом Сили силой релаксации:

$$S = \epsilon_s - \epsilon_\infty. \quad (4)$$

Рассмотрим исследуемое вещество в отсутствие внешнего поля. Частицы вещества (диполи, заряды) находятся в тепловом молекулярном движении. В среднем во времени вклады всех этих частиц компенсируют друг друга так, что общий заряд вещества или дипольный момент в итоге равняется нулю. Однако в действительности компенсация моментов происходит не полностью, и на поверхности образца можно наблюдать кратковременные заряды. По этой причине вещество имеет общий дипольный момент M , который флуктуирует относительно средней нулевой величины.

Рис.1 СДР-спектр: зависимости ϵ' и ϵ'' от частоты ν .



Эти колебания являются прямым выражением молекулярного движения.

Классическая модель (Дебай, 1929) исследует твердые молекулы с постоянным дипольным моментом $\vec{\mu}$, между которыми нет взаимодействия (газ или разбавленный раствор в неполярной среде). Вещество в целом обладает (макроскопическим) дипольным моментом $\vec{M} = \sum \vec{\mu}$. Интересно рассмотрение квадрата составляющей момента вдоль направления поля, т.е. $\langle M^2 \rangle$ ($\langle M^2 \rangle$ — это средняя величина, относительно которой колеблется квадрат дипольного момента вещества), и если в объеме V есть N одинаковых молекул, то

$$\langle M^2 \rangle = \frac{N\mu^2}{3}. \quad (5)$$

Уравнение Дебая представляется как

$$\epsilon''(\omega) = \frac{N\mu^2}{3\epsilon_0 kT} \cdot \frac{\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2}, \quad (6)$$

где τ — это временная постоянная (время релаксации), которая определяет ширину спектра. Первый фактор — дисперсионный спад — обозначим через S :

$$S = \frac{N\mu^2}{3\epsilon_0 kT}, \quad (7)$$

где S предоставляет важные данные об электрических свойствах молекулы (а именно, измеряя S , можно оценить дипольный момент). Второй фактор, включающий в себя τ , содержит характерную временную постоянную дина-

мических процессов. Последние возникают во время молекулярного движения. Даже в том случае, когда не имеем классическую модель, очень часто зависимости $\epsilon''(\omega)$ и $\epsilon'(\omega)$ можно описать формулами Дебая:

$$\epsilon''(\omega) = S \cdot \frac{\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2}, \quad (8)$$

$$\epsilon'(\omega) = S \cdot \frac{1}{1 + \omega^2\tau^2} + \epsilon_{\infty}. \quad (9)$$

В этом случае можно сказать, что $S \sim \langle M^2 \rangle$. τ — характеризует ширину спектра колебания или то время, в котором протекает процесс молекулярного движения. Из уравнений (8) и (9) можно определить S и τ , если имеем ход кривой $\epsilon'(\omega)$. В зависимости от экспериментальных возможностей целесообразно определять либо $\epsilon'(\omega)$, либо $\epsilon''(\omega)$, либо оба одновременно. Кривая поглощения очень широкая, поэтому технически невозможно с помощью одного прибора наблюдать всю область частот. Измерения необходимо выполнять на разных приборах для определенных частот. Зависимость (8) целесообразно изобразить на двойной логарифмической диаграмме. В этом случае форма дебаевской кривой становится независимой от S и τ . В общем случае диэлектрический спектр поглощения можно представить как

$$\epsilon''_{\text{общ}}(\omega) = \frac{\kappa}{\epsilon_0\omega} + \sum_i S_i \frac{\tau_i\omega}{1 + \tau_i^2\omega^2}, \quad (10)$$

где первая составляющая представляет собой вклад электропроводности, вторая — является суммой функций Дебая. Вклад электропроводности особенно ощутим для растворов электролитов. В отдельных случаях вместо функции Дебая используется функция Коуля-Дэвидсона

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_{\infty} + S \frac{1}{(1 + i\omega\tau)^{\beta}}, \quad \epsilon'(\omega) = \epsilon_{\infty} + S(\cos\varphi)^{\beta} \cos\beta\varphi, \quad (11)$$

$$\epsilon''(\omega) = S(\cos\varphi)^{\beta} \sin\beta\varphi, \quad \varphi = \arctg\omega\tau$$

или же функции Фрейлиха, Гаврилиака-Негами, Ионшера и др. Между временем релаксации τ , вязкостью η и эффективным радиусом молекулы $r_{\text{эфф}}$ существует эмпирическое соотношение, которое выполняется как для полярных молекул в неполярных растворителях, так и для смесей полярных растворителей, а также чистых жидкостей:

$$\frac{\tau}{\tau_0} = \left[\frac{\eta}{\eta_0} \right]^{\left(\frac{r_{\text{эфф}}}{r_0} - k_0 \right)}, \quad (12)$$

где $\tau_0 = 0,655 \text{ пс}$, $\eta_0 = 1,71 \cdot 10^{-4} \text{ сП}$, $r_0 = 0,6 \text{ нм}$, $k_0 = 0,27$ [9]. При этом размер молекулы оценивается величиной эффективного радиуса, а именно — длиной от центра массы до самого крайнего атома. $r_{\text{эфф}}$ позволяет судить о наличии внутримолекулярных взаимодействий, а следовательно, и о структуре жидкости.

3. Методы, применяемые в аппаратуре диэлектрической спектроскопии. Диэлектрические измерения охватывают широкую область частот от

нескольких мкГц до десятков ГГц . Однако в зависимости от частотной области применяются различные технические методы для осуществления эксперимента. Ниже приводятся описания методов и блок-схем диэлектрической аппаратуры, разработанных в Институте физической химии университета Мюнстера (Германия).

В частотной области ниже 100 МГц технически возможно проведение диэлектрического эксперимента с использованием принципа *моста с конденсатором*. Основными частями здесь являются регулируемый частотный генератор, измерительный мост со встроенной измерительной ячейкой и детектор (рис.2).

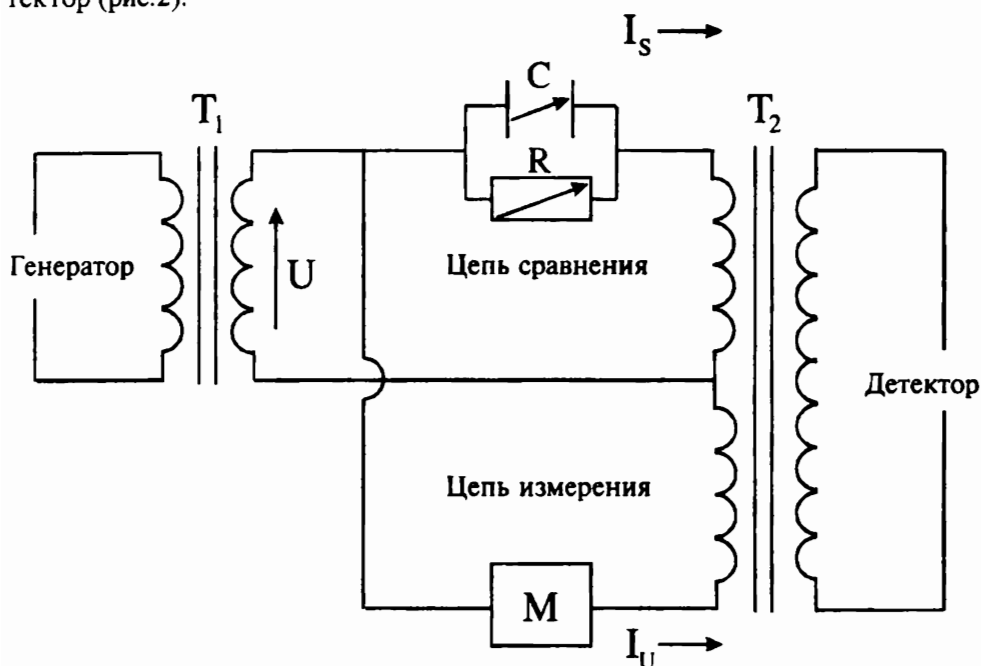


Рис. 2. Блок-схема диэлектрической аппаратуры $1\text{--}100 \text{ МГц}$. С – конденсатор, R – сопротивление, I_s – ток сравнения, I_u – ток измерения, M – измерительная ячейка, U – напряжение, T_1, T_2 – трансформаторы.

Резонаторно-трансмиссионный метод используется при частотах от $0,3$ до 4 ГГц . В этом случае электромагнитная волна распространяется по коаксиальному волноводу со встроенной измерительной ячейкой и подвижным внутренним волноводом. Введение пробы в ячейку приводит к изменению параметров резонатора. Сигнал от резонатора принимается диодом-приемником, усиливается и передается на компьютер, на котором вычерчивается резонансная кривая (в идеальном случае кривая Лоренца). Из величин положения максимума и ширины на полувывсоте кривой с помощью компьютерной программы рассчитываются ϵ'' и ϵ' .

Основной частью установки, в которой используется *резонаторно-рефлексионный метод*, является так называемый “магический T” (рис.3). Волна из генератора поступает в “магический T”, где она раздваивается и распространяется по двум ветвям – S_1 и S_2 , затем, отражаясь на их концах, S_2 соединяется с прямоугольным подвижным резонатором, в конец которо-

го встроена измерительная ячейка. Отраженные волны выравниваются и направляются в S_1 в обратной фазе, где они интерферируют, компенсируя друг друга, вследствие чего не могут быть зарегистрированы. В случае же резонанса вследствие увеличения амплитуды волны более не компенсируют друг друга полностью, и сигнал регистрируется на приемнике. Во время измерения длина резонатора поступательно меняется, и одновременно с этим регистрируется изменение сигнала. Затем аналогичным образом определяются ϵ'' и ϵ' .

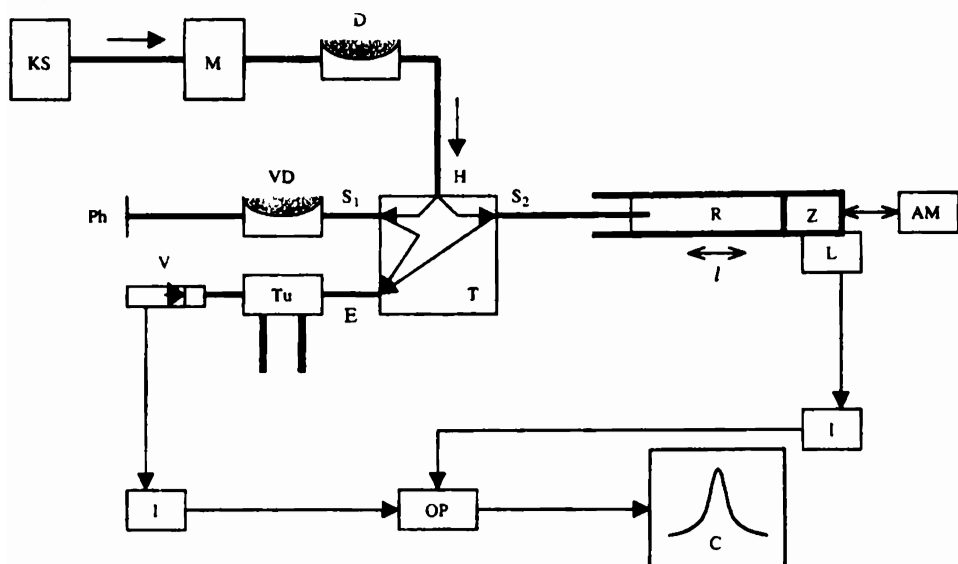


Рис. 3. Блок-схема диэлектрической аппаратуры для 6 ГГц. AM — мотор, C — компьютер, D — аттенюатор, KS — клистрон-генератор, I — импульсатор, L — управление мотора, M — модулятор, OP — усилитель, Ph — фазовый регулятор, R — резонатор, Tu — тюнер, T — "магический T", VD — переменный аттенюатор, V — усилитель, Z — измерительная ячейка.

Основной частью установки, использующей *рефлексионный метод*, также является магический T, где проходящая из генератора волна расщепляется на две волны, продолжающие свое движение по ветвям S_1 и S_2 , однако в отличие от двух предыдущих случаев, здесь не используется резонатор. Измерительная ячейка расположена на конце ветви S_2 , на ветви S_1 — аттенюатор, а на ее конце — движок. Амплитуда и фаза волны в рукаве S_2 меняются под воздействием диэлектрика, помещенного в измерительную ячейку, так, что отраженные волны не гасят более друг друга. С помощью настройки движка и аттенюатора в рукаве S_1 амплитуды и фазы волны в S_1 и S_2 уравниваются, в результате чего волны, интерферируя, гасят друг друга. Из разностей значений аттенюатора и движка для пустой и заполненной ячейки с помощью компьютерной программы рассчитываются величины ϵ'' и ϵ' . Данный метод используется при частотах свыше 10 ГГц.

4. Диэлектрические свойства диалкилсульфоксидов. В ДР-спектрах диметилсульфоксида (ДМСО) и диэтилсульфоксида (ДЭСО) наблюдается поглощение в области высоких частот, характеризующееся одной компонентой с временами релаксации $\tau_{\text{ДМСО}} = 19,5 \text{ нс}$ и $\tau_{\text{ДЭСО}} = 58 \text{ нс}$ [9,10]. В случае ДМСО компонента является функцией Дебая, а для ДЭСО – функцией Коуля–Дэвидсона. Здесь важно отметить, что сравнение полученных для диалкилсульфоксидов времен релаксации со значениями τ для квазижестких неассоциированных полярных молекул показало, что эффективные радиусы для обоих сульфоксидов больше, чем их молекулярные радиусы (для ДМСО $r_{\text{эфф}} = 0,37$, $r = 0,25 \text{ нм}$, для ДЭСО $r_{\text{эфф}} = 0,44$, $r = 0,35 \text{ нм}$). Этот факт свидетельствует об ассоциативной структуре указанных жидкостей, что согласуется с данными, полученными другими методами [11–20]. Причем с учетом того, что вязкости обоих сульфоксидов практически одинаковы, $\tau_{\text{ДЭСО}}$ значительно больше (51 нс), чем $\tau_{\text{ДМСО}}$ ($19,5 \text{ нс}$). Это является следствием большей ассоциативности ДЭСО по сравнению с ДМСО. Согласно [10], самоассоциация ДЭСО осуществляется не только за счет диполь-дипольных взаимодействий, но и межмолекулярной водородной связи $\text{SO} \cdots \text{HS}$.

4.1. Бинарные смеси ДМСО/ CCl_4 и ДЭСО/ CCl_4 . Полученные для этих систем спектры могут быть представлены одной спектральной компонентой. Для системы ДМСО/ CCl_4 – это функция Дебая [21]. В случае ДЭСО/ CCl_4 имеем функцию Дебая, переходящую при повышении концентрации ДЭСО в функцию Коуля–Дэвидсона. Наблюдаемая компонента вызвана ориентационным движением молекул диэтилсульфоксида (неполярные молекулы CCl_4 не проявляются в ДР-спектре). Интересно наблюдение изменения времени релаксации τ от состава раствора (рис.4). Из рис.4 видно, что в зависимости от состава бинарной смеси изменение динамики этих систем различно

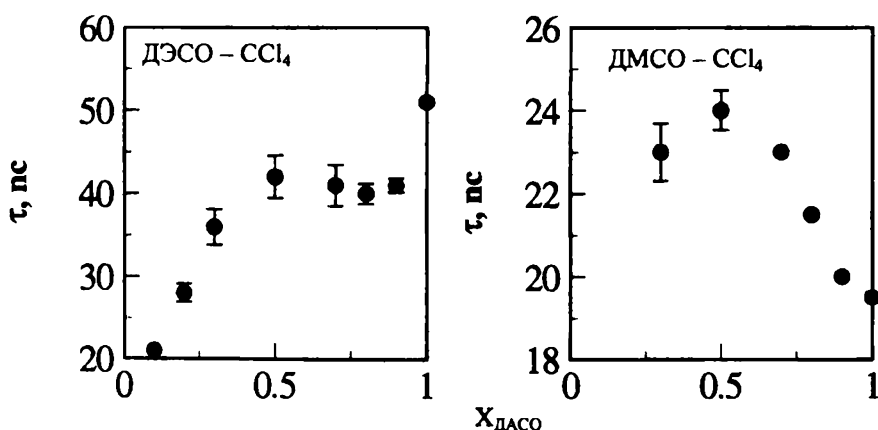
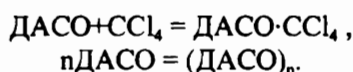


Рис.4. Зависимость времени релаксации от состава диалкилсульфоксидов в CCl_4 .

для ДМСО и ДЭСО. В случае ДМСО ($x_{\text{ДМСО}} \approx 0,5$) наблюдается максимум при $\tau \approx 23 \text{ нс}$, для смеси ДЭСО/ CCl_4 ($x_{\text{ДЭСО}} \approx 0,5$) экстремум – при

$\tau \approx 42$ пс). Подобное поведение данных систем обусловлено существованием взаимодействия между молекулами ДАСО и CCl_4 , приводящего к образованию короткоживущих комплексов ДАСО- CCl_4 состава 1:1. В этих системах рассматривается наличие двух основных конкурирующих процессов, а именно взаимодействия CCl_4 с диалкилсульфоксидами и самоассоциации последних:



Сравнение времен релаксации для ДМСО и ДЭСО показывает, что самоассоциаты ДЭСО более долгоживущие, чем комплекс с CCl_4 в отличие от случая ДМСО. Наиболее вероятное взаимодействие ДАСО с CCl_4 может осуществляться между отрицательно заряженным атомом хлора CCl_4 и положительно заряженным атомом серы ДАСО: $\text{Cl}^{\delta-} \cdots \text{S}^{\delta+}$.

Значения эффективных радиусов для ДМСО и ДЭСО намного меньше их геометрических радиусов. Это указывает на то, что процесс релаксации обусловлен ориентационным движением единичных молекул диалкилсульфоксидов, которое, однако, заторможено взаимодействием ДАСО с CCl_4 (см. табл. 1).

Таблица 1

Эффективные ($r_{\text{эфф}}$) и геометрические ($r_{\text{геом}}$) радиусы ДМСО и ДЭСО в чистых жидкостях в смесях с CCl_4 . Погрешность для $r_{\text{эфф}}$ составляет $\pm 0,05$ нм

г. нм	ДМСО	ДМСО- CCl_4	ДМСО	ДМСО- CCl_4
$r_{\text{эфф}}$	0,38	0,40	0,44	0,42
$r_{\text{геом}}$	0,23	0,48	0,34	0,49

4.2. Бинарные смеси ДМСО/вода и ДЭСО/вода. Исследованию водных растворов ДМСО посвящено много работ, проделанных с использованием различных физико-химических и спектральных методов [6,14,15,22-26], среди них [6,15,25] – с применением СДР различной частотной области. В ДР-спектрах водных растворов ДМСО наблюдается полоса поглощения более широкая, чем кривая Дебая. В [6,25] ее описывали функцией Коуля-Коуля или Коуля-Дэвидсона. Однако в [15] кривая поглощения была разложена на две составляющие (C_1 и C_2), представляющие собой функции Дебая (рис.5). Зависимости релаксационных параметров τ и S от мольной доли ДМСО представлены на рис. 6 [15]. Низкочастотная спектральная компонента C_2 , отсутствующая для чистых

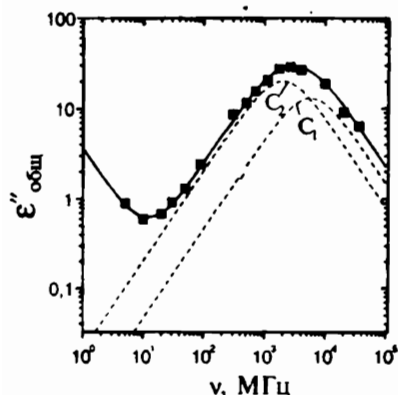


Рис.5. СДР-спектр смеси ДМСО/вода ($x_{\text{ДМСО}} = 0,33$) при 20°C .

ДМСО и воды, вызвана образованием гетерокомплексов ДМСО-вода. Положение максимума S_2 (рис.6) при $x_{\text{ДМСО}} \approx 0,33$ указывает на наличие

гетерокомплекса состава $\text{DMCO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Знаменателен тот факт, что многие физико-химические свойства смеси DMCO –вода из-за образования комплекса $\text{DMCO} \cdot \text{H}_2\text{O}$ имеют экстремальные значения при мольной доле $x_{\text{DMCO}} \approx 0,33$ [6,14,22–25]. Предварительные данные диэлектрических измерений для смеси ДЭСО–вода также подтверждают наличие комплексообразования между ДЭСО и водой.

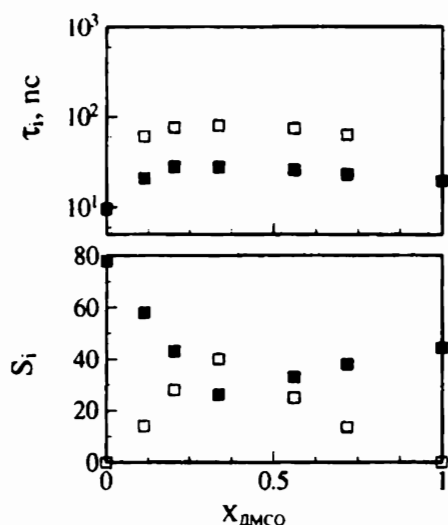


Рис.6. Зависимость релаксационных параметров S_1 и τ_1 для смеси DMCO /вода от состава раствора. Символы для спектральных компонент: ■ – C_1 , □ – C_2 .

сульфоксиде показали, что во всем концентрационном интервале ($0,02 < C < 1$ моль/л) ДР-спектры описываются низкочастотной функцией Дебая и высокочастотной – Коуля–Девидсона (рис.7). Основные физико-химические параметры растворов солей лития в ДАСО (плотность, электропроводность и вязкость) приведены в табл. 2.

В спектрах растворов электролитов низкочастотная спектральная компонента C_2' описывает релаксацию, вызванную ион-молекулярными взаимодействиями, а высокочастотная спектральная компонента C_1' – релаксацию, обусловленную более или менее невозмущенными молекулами растворителя.

С увеличением концентрации соли (рис. 8) в ДЭСО увеличивается сила релаксации S_2 . Этот факт свидетельствует о том, что данная компонента обусловлена растворен-

ной. Высокочастотная компонента C_1 обусловлена ориентационным движением молекул DMCO и воды, не участвующих в комплексообразовании.

4.3. Бинарные системы соль/ДМСО и соль/ДЭСО. ДР-спектры растворов солей лития (LiClO_4 , LiNO_3 , LiCl) в ДМСО при низких концентрациях ($< 0,5$ моль/л) описываются двумя функциями Дебая (с вычетом вклада электропроводности C), а при высоких концентрациях (до 1 моль/л) – одной функцией Дебая (низкочастотная) и одной – Коуля–Девидсона (высокочастотная) [16].

Предварительные результаты диэлектрических измерений растворов солей лития в диэтил-

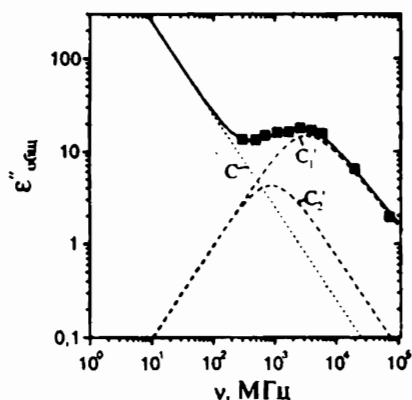


Рис.7. СДР-спектр 0,1 моль/л раствора нитрата лития в ДЭСО при 20°C.

ным веществом. Причем S_2 , как и в растворах в ДМСО, имеет большее значение для LiNO_3 , LiCl , чем для LiClO_4 . Динамическим параметром, характеризующим систему, является время релаксации τ_2 , которое с увеличением

Таблица 2

Некоторые физико-химические параметры растворов солей лития
в диалкилсульфоксидах при 20°C

$C_{\text{соль}}, \text{моль/л}$		$d, \text{г/см}^3$		$\kappa \cdot 10^4, \text{См/см}$		$\eta, \text{мПа}\cdot\text{с}$	
		ДМСО	ДЭСО	ДМСО	ДЭСО	ДМСО	ДЭСО
LiClO_4	0,02	1,099	1,014	5,5	4,4	2,17	2,26
	0,05	1,100	1,017	12	9,9	2,25	2,29
	0,1	1,105	1,020	23	18,0	2,40	2,34
	0,5	1,131	1,044	76	46,0	3,18	3,54
	1,0	1,162	1,067	93	58,0	5,13	6,34
LiNO_3	0,02	1,098	1,013	5,6	5,0	2,18	2,24
	0,05	1,099	1,014	12,3	10,0	2,23	2,29
	0,1	1,102	1,016	23,1	17,2	2,26	2,33
	0,5	1,120	1,034	69,5	41,7	3,19	3,10
	1,0	1,141	1,057	83,9	40,0	4,83	5,33
LiCl	0,02	1,096	1,017	5,0	3,5	2,24	2,22
	0,05	1,097	1,018	9,8	7,25	2,25	2,24
	0,1	1,101	1,020	19	12,3	2,34	2,35
	0,5	1,112	1,030	49	27,8	3,24	3,55
	1,0	1,129	1,045	56	24,5	5,25	6,40

концентрации соли изменяется в пределах от 100 до 300 нс в диметилсульфоксидных растворах и от 140 до 370 нс в диэтилсульфоксидных, причем в случае кислородсодержащих анионов τ имеет большее значение.

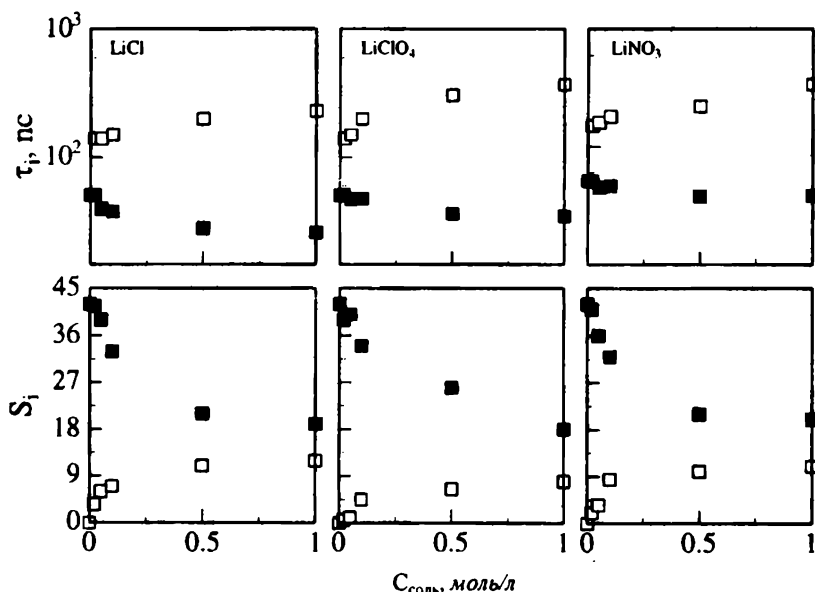


Рис.8.Зависимость релаксационных параметров S_i и τ_i от концентрации солей лития в ДЭСО.

Символы для спектральных компонент: $\blacksquare$ – C_1' , $\square$ – C_2' .

Рассчитанный из эмпирической формулы (12) $\tau_{\text{эфф},2}$ для спектральной компоненты S'_2 составил 0,48–0,5 нс в растворах ДМСО и 0,5–0,52 нс в – ДЭСО. Так как $\tau_{\text{эфф},2}$ намного больше, чем ионные радиусы соответствующих солей (0,25 нм для LiCl, 0,28 нм для LiNO₃), данная спектральная компонента не может быть обусловлена несольватированными контактными ионными парами. Возможно, что молекулы растворителя также имеют вклад в низкочастотную релаксацию, т.е. последняя обусловлена сольватноразделенными ионными парами.

То, что при высоких концентрациях соли преобладают сольватноразделенные ионные пары, вытекает также из произведения Вальдена (для растворов ДЭСО умеренной концентрации $\kappa\eta/c_{\text{соль}} \approx 0,025 \text{ См}\cdot\text{см}^2\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{Па}\cdot\text{с}$, для ДМСО $\approx 0,04 \text{ См}\cdot\text{см}^2\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{Па}\cdot\text{с}$) [16]. Эти величины ($\kappa\eta/c_{\text{соль}}$) более чем на порядок ниже ожидаемых при полной диссоциации солей. (Эквивалентные электропроводности отдельных ионов при бесконечном разбавлении равны: $\lambda_{\text{ном}}^\infty = 11,77$ для Li⁺; 23,41 для Cl⁻; 24,39 для ClO₄⁻ и 26,84 $\text{См}\cdot\text{см}^2\cdot\text{моль}^{-1}$ для NO₃⁻).

Высокочастотная релаксация обусловлена чистым растворителем. Как видно из рис.8, с увеличением концентрации растворов наблюдается снижение S_1 , τ_1 . Одновременно значение эмпирического параметра β изменяется от 1 (для чистого ДМСО) до 0,75; 0,85; 0,95 соответственно для 1 моль/л растворов LiCl, LiClO₄ и LiNO₃ и от 0,88 (для чистого ДЭСО) до 0,73; 0,65; 0,6 соответственно для 1 моль/л растворов LiCl, LiClO₄ и LiNO₃, что свидетельствует о увеличении отклонения от функции Дебая. Снижение S_1 говорит о "разбавлении" растворов, т.е. уменьшении концентрации молекул растворителя, обуславливающих данную релаксацию, т.к. с повышением концентрации солей, наряду с взаимодействиями растворитель–растворитель начинают конкурировать ион-ионные, ион-молекулярные взаимодействия.

Исходя из S_1 , можно определить сольватные числа. При отсутствии других эффектов, кроме разбавления, ожидаемая сила релаксации должна быть равна

$$^cS_1 = \frac{c}{c^*} S_1^*, \quad (13)$$

где c – концентрация ДАСО в растворе, звездочки указывают на параметры чистого ДАСО.

Однако экспериментально наблюдаемая S_1 во всех случаях $\leq^c S_1$, т.к., кроме эффекта разбавления, на снижение S_1 влияют и другие факторы.

Из отношения $^cS_1 - S_1$ к концентрации соли определяется сольватное число:

$$Z = \frac{^cS_1 - S_1}{c_{\text{соль}}} \cdot \frac{c}{^cS_1}. \quad (14)$$

Для солей LiClO₄, LiCl, LiNO₃ при $c > 0,3$ моль/л, сольватное число Z равно 5,4; 4,0; 4,7 соответственно (в ДМСО).

Снижение τ_1 ($\tau\beta$) может свидетельствовать о разрушении самоассоциированной структуры ДАСО из-за сольватации, а также образовании контактных ионных пар, релаксирующих в высокочастотной области.

4.4. *Тройная система соль/ДМСО/вода.* При изучении данной системы были использованы галогениды и нитраты некоторых двухвалентных металлов, такие, как ZnCl_2 , ZnBr_2 , $\text{Zn(NO}_3)_2$, $\text{Cu(NO}_3)_2$, $\text{Ni(NO}_3)_2$ и $\text{Mg(NO}_3)_2$ [15,17,18]. В отличие от системы ДМСО/вода кривая $\epsilon''(\omega)$ диэлектрического спектра системы соль/ДМСО/вода уширена в сторону низких частот. Применение модельного анализа показало, что две компоненты C_1 и C_2 , присутствующие в спектре ДМСО/вода, проявляются в той же частотной области и в спектре соль/ДМСО/вода и являются вкладами от смешанного растворителя. В спектрах солей, кроме вклада электропроводности C , наблюдается появление новой компоненты C_3 для нитратов, а в случае галогенидов – C_3 и C_4 в низкочастотной области (рис.9). C_3 и C_4

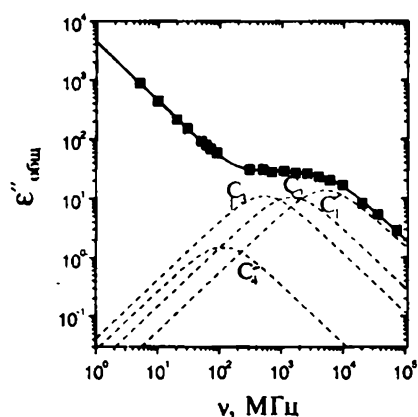


Рис.9. СДР-спектр 1 моль/л раствора хлорида цинка в смеси ДМСО/вода ($x_{\text{ДМСО}}=0,33$) при 20°C.

несомненно вызваны ионными релаксационными процессами. В случае галогенидов рассматриваются ион-молекулярные образования с несимметричной, смешанной сольватной оболочкой и ион-ионные образования типа $\text{Zn}^{2+} \rightleftharpoons \text{ZnCl}^+ \rightleftharpoons \text{ZnCl}_2 \rightleftharpoons \text{ZnCl}_4^{2-}$, включающие молекулы растворителя ($\text{Zn}^{2+}(\text{растворитель})\text{Cl}^+$) [7]. Здесь обсуждаются два возможных механизма релаксации, а именно – ориентационное движение долгоживущих образований, в случае же короткоживущих комплексов – кинетика равновесия диссоциации–ассоциации. Эффективные радиусы, оцененные для спектральных компонент C_3 и C_4 , практически не зависят от концентрации растворителя, $r_{\text{эф.3}} \approx 0,51$ и $r_{\text{эф.4}} \approx 0,6$ нм [15,17]. Эти данные подтверждают отсутствие контактных ионных пар в растворе. Тем самым в данных системах имеем сольватно-разделенные ионные пары (C_4) и смешанные сольваток комплексы $\text{Me}^{2+}(\text{ДМСО})_x(\text{H}_2\text{O})_{m-x}$ (C_3). В отличие от галогенидов в случае нитратов компонента C_4 не наблюдается в спектре, что свидетельствует об отсутствии сольватно-разделенных пар в этой системе. Несколько фактов свидетельствуют о том, что в случае нитратов в рассмотренном концентрационном интервале ($c_{\text{соль}} \leq 1$ моль/л) обнаруживаются только смешанные сольваток комплексы (C_3): 1) статическая диэлектрическая проницаемость ϵ_s понижается с увеличением концентрации соли; 2) величина $\kappa\ell/zc_{\text{соль}}$, по Вальдену, для растворов нитратов составила 0,05–0,08 $\text{См}\cdot\text{см}^2\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{Па}\cdot\text{с}$, что свидетельствует о полной диссоциации [17]. Этот факт достоин внима-

ния в том смысле, что показывает, как изменение характера аниона влияет на процесс сольватации в растворе и формирование его структуры, а также на динамические параметры раствора. В ДР-спектре нитратов наблюдается изменение в функциональном описании компоненты C_1 , отражающей вклад ориентационного движения молекул растворителя [17]. Если для водно-диметилсульфоксидных растворов галогенидов компонента C_1 описывается функцией Дебая, то для растворов нитратов только применением функции Коуля–Дэвидсона обеспечивается хорошая аппроксимация. С увеличением концентрации соли β -фактор функции Коуля–Дэвидсона понижается (в случае функции Дебая $\beta=1$). Одним из возможных объяснений тому может быть увеличение числа “свободных” молекул растворителя – ДМСО или воды.

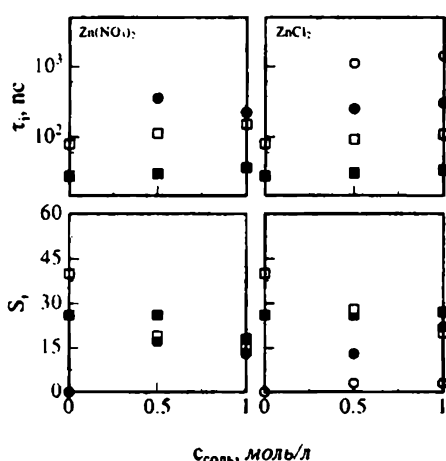


Рис.10 Зависимость релаксационных параметров S и τ_1 от концентрации нитрата и хлорида цинка в смеси ДМСО/вода ($x_{\text{ДМСО}}=0,33$). Символы для спектральных компонент: ■ – C_1 , □ – C_2 , ● – C_3 , ○ – C_4 .

Здесь наблюдаются экстремумы. Это можно объяснить на основе представлений о конкурирующих процессах ион–молекула и молекула–молекула в аналогичных системах, рассмотренных в [27]. При малых концентрациях соли Zn^{2+} преимущественно сольватирован молекулами ДМСО, но с увеличением $c_{\text{соль}}$ и одновременным увеличением числа молекул воды в комплексе $\text{Zn}^{2+}(\text{ДМСО})_x(\text{H}_2\text{O})_{m-x}$ число молекул ДМСО уменьшается, что сопровождается изменением координационного числа цинка (подобные изменения были обнаружены и для водно-органических растворов лантаноидов, где с увеличением концентрации органического растворителя наблюдалось понижение координационного числа [28]). Этому процессу способствует тот факт, что нитрат-ионы взаимодействуют эффективнее с ДМСО, нежели с водой [27]. Для Zn^{2+} характерными являются координационные числа 4, 5 и 6 [29]. Так как с увеличением $c_{\text{соль}}$ понижается число “свободных” молекул растворителя, то среднее координационное число m может понизиться, вероятно, с 6 до 4. Особенности иона цинка по сравнению с остальными рассмот-

На рис.10 представлены зависимости релаксационных параметров τ и S для хлорида и нитрата цинка от концентрации солей [15,17,18]. Ход кривых зависимостей показывает на наличие конкурирующих реакций. Так, с увеличением концентрации солей наблюдаются уменьшение концентрации молекулярного комплекса $\text{ДМСО} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и увеличение числа сольваток комплексов, что проявляется в изменении значений силы релаксации S . Наиболее интересным является случай с нитратом цинка, где зависимость силы релаксации от концентрации соли в отличие от случаев с галогенидами цинка и нитратами магния, никеля и меди не носит более монотонный характер (рис.10).

ренными ионами состоит в том, что у него d-орбиталь заполненная. В этом случае решающую роль играют не донорно-акцепторные, а электростатические взаимодействия.

Работа выполнена в рамках проекта Международного научно-технического центра (МНТЦ) А-199.

Кафедра физической химии

Поступила 24.09.2001

ЛИТЕРАТУРА

1. Barthel J., Buchner R., Eberspächer P.-N., Münsterer M., Stauber J., Wurm B. – J. Mol. Liq., 1998, v. 18, p. 83.
2. Craig D.Q.M. Dielectric Analysis of Pharmaceutical Systems. London: Taylor&Francis, 1995.
3. Grant E.H., Sheppard R.J., South G.P. Dielectric Behavior of Biological Molecules in Solution. Oxford: Clarendon, 1978.
4. Kaatz U., Neumann Chr., Pottel R. – J. Solut. Chem., 1984, v. 13, p. 357.
5. Kaatz U., Pottel R. – Z. Phys. Chem., 1984, v. 141, p. 1.
6. Kaatz U., Pottel R., Schäfer M. – J. Phys. Chem., 1989, v. 93, p. 5623.
7. Kaatz U., Lönnecke V., Pottel R. – J. Phys. Chem., 1987, v. 91, p. 2206.
8. Turkey G., Wilke G., Witt U., Ghoneim A., Stockhausen M. – Proc. 3rd Conf. Dielectric and Related Phenomena. Zakopane, 1994.
9. Betting H., Stockhausen M. – Z. Naturforsch., 1999, B.54a, p. 661.
10. Markarian S.A., Stockhausen M. – Z. Naturforsch., 2000, B.55a, p. 667.
11. Маркарян Ш.А., Давтян В.С., Бейлерян Н.М. – Арм. хим. ж., 1984, т. 37, № 6, с. 343.
12. Markarian S.A., Grigorian K.R., Simonian L.K. – J. Chem. Soc., Faraday Trans. 1, 1987, v. 83, p. 1189.
13. Габриелян Л.С., Маркарян Ш.А. – Ж. физ. химии, 2001, т. 75, № 10, с. 1790.
14. Маркарян Ш.А., Арутюнян Р.С., Григорян В.В., Бейлерян Н.М. – Изв. вузов: Химия и хим. техн., 1985, т. 28, № 9, с. 18.
15. Galstian A., Stockhausen M. – Z. Naturforsch., 1998, B.53a, p. 783.
16. Markarian S.A., Stockhausen M. – Z. Phys. Chem., 2000, v. 214, № 2, p. 139.
17. Galstian A., Stockhausen M. – Z. Naturforsch., 1998, B.53a, p. 989.
18. Galstian A., Stockhausen M. – Proc. of Dielec. and Rel. Phenom. Szczyrk, 1999.
19. Figueroa R.H., Roig E. – Spectrochim. Acta, 1966, v. 22, № 4, p. 587.
20. Хургин Ю.И., Исаев А.Н. – Изв. АН СССР, сер. хим., 1992, № 6, с. 1340.
21. Dechert W., Elsebrock R., Hakim I. and Stockhausen M., – Z. Naturforsch., 1997, B.52a, p. 807.
22. Cowie J.M.G., Toporovski P.M. – Canad. J. Chem., 1961, v. 39, № 11, p. 2240.
23. Rasmussen P.H., Mackenzie – Nature London, 1968, v. 220, p. 2240.
24. Soper A.K., Luzar A. – J. Chem. Phys., 1992, v. 97, № 2, p. 1320.
25. Лященко А.К., Лилеев А.С., Борина А.Ф., Шевчук Т.С. – Журн. физ. хим., 1997, т. 71, № 5, с. 828.
26. Новскова Т.А., Гайдук В.И., Кудряшова В.А., Хургин Ю.И. – Хим. физика, 1990, т. 9, № 7, с. 969.
27. Маркарян Ш.А., Галстян А.С. – Жур. неорг. хим., 1997, т. 42, № 3, с. 510.
28. Девятов Ф.В., Сафина В.Ф., Сальников Ю.И. – Изв. вузов: Химия и хим. техн., 1990, т. 33, с. 59.
29. Cotton A.F., Wilkinson G. Advanced Inorganic Chemistry. London: Interscience, 1972.

Ա.Ս. ԳԱԼՍՏՅԱՆ, Լ.Ս. ԳԱԲՐԻԵԼՅԱՆ, Ա.Ս. ԱՄԻՐՅԱՆ, Շ.Ա. ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ

ԴԻԵԼԵԿՏՐԻԿ ՌԵԼԱքՍԱՑԻԱՅԻ ՍՊԵԿՏՐՈՍԿՈՊԻԱՆ ԵՎ
ԴԻԱԼԿԻԼՍՈՒԼՖՕՔՍԻԴՆԵՐԻ ԼՈՒՃՈՒՅԹՆԵՐԻ ԿԱՌՈՒՅՎԱԾՔԻ ԵՎ
ԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ամփոփում

Ներկայացված են դիելեկտրիկ ռելաքսացիայի սպեկտրոսկոպիայի մեթոդի հիմնական տեսական և փորձնական առանձնահատկությունները: Ամփոփված են վերջին տարիներին Երևանի պետական համալսարանի ֆիզիկական քիմիայի ամբիոնում տվյալ մեթոդով կատարված դիալկիլսուլֆօքսիդների լուծույթների կառուցվածքային և դինամիկական հատկությունների ուսումնասիրության արդյունքները:

A.S. GALSTIAN, L.S. GABRIELIAN, A.S. AMIRIAN, S.A. MARKARIAN

A DIELECTRIC RELAXATION SPECTROSCOPY AND STRUCTURE AND
DYNAMICS OF DIALKYL SULFOXIDES' SOLUTIONS

Summary

The theoretical and experimental backgrounds of dielectric relaxation spectroscopy have been presented. With the use of this method the results concerning the structural and dynamic properties of dialkylsulfoxides' solutions, which were obtained during last years at the Chair of Physical Chemistry of Yerevan State University, have been summarized.

УДК 517.53

Т.Л. ГАРИБЯН

О ЛОКАЛИЗАЦИИ СПИРАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СТЕПЕННЫХ РЯДОВ. II

В настоящей статье исследуется локализация особенностей степенного ряда, лежащих вне его круга сходимости и на заданном спиральном угле. Рассматриваются как конечные, так и бесконечные особенности.

§1. Введение. Формулировка результатов. Настоящая работа продолжает и дополняет начатое в [1] изучение вопросов о локализации спиральных особенностей степенных рядов на внешности их круга сходимости. Напомним, что в упомянутой статье в терминах лакун коэффициентов степенного ряда исследовались вопросы о наличии конечных особенностей на заданном спиральном угле. Здесь же получены результаты о наличии особенностей степенных рядов на заданном спиральном угле как в случае конечных, так и бесконечных особенностей. Аналогичные вопросы о локализации прямолинейных особенностей исследовались в недавней статье [2] А. Явряна.

Чтобы сформулировать основные результаты работы, введем необходимые обозначения.

Рассмотрим степенной ряд

$$\sum_{n=0}^{\infty} f_n z^n, \quad \limsup_{n \rightarrow \infty} |f_n|^{1/n} = 1, \quad (1)$$

радиус сходимости которого равен единице. Обозначим для него

$$Q = \{m \in N : f_m \neq 0\} = \{m_s\}_1^{\infty}.$$

Для чисел $\mu > 1$ и γ ($|\gamma| < \pi/2$) введем величины

$$a = \frac{\mu(\mu \cos 2\gamma + \cos \gamma)}{\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1}, \quad b = \frac{\mu|\sin \gamma|(2\mu \cos \gamma - 1)}{\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1},$$

и пусть $w_\kappa(t)$ означает число элементов конечного множества

$$Q \cap [n_\kappa, m_\kappa], \quad \kappa > 1$$

Для чисел $\alpha \in R$ и $\beta \in (0, 2\pi)$ рассмотрим спиральный угол

$$\Delta_\beta^\alpha = \{z : |\arg z - \alpha \log |z|| < \beta\},$$

при $\alpha = 0$ будем полагать $\Delta_\beta = \Delta_\beta^0$.

Основными результатами работы являются приводимые ниже теоремы 1, 2.

Теорема 1. Пусть для степенного ряда (1) последовательность $\{n_k\}_1^\infty \subset Q$ удовлетворяет условию

$$\liminf_{n_k \rightarrow \infty} |f_{n_k}|^{1/n_k} = \rho > 0$$

и для некоторых чисел $\gamma (|\gamma| > \pi/2)$ и $\lambda \in (0, 1]$ выполнено

$$\limsup_{\substack{t \rightarrow +\infty \\ \mu > 1 \\ n_k > t}} \left\{ \lambda \left[\log(2\mu \cos \gamma) + |\operatorname{tg} \gamma| \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} |\operatorname{ctg} 2\gamma| \right) \right] - \frac{1}{n_k} \int_1^{2\mu \cos \gamma} \frac{w_k(t) dt}{(t+a)^2 + b^2} \right\} > \\ > \frac{1}{2 \cos^2 \gamma} \log \frac{1}{\rho} + \log(2 \cos \gamma) + |\operatorname{tg} \gamma| \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} |\operatorname{ctg} 2\gamma| \right) + |\operatorname{ctg} \gamma| \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} |\operatorname{ctg} \gamma| \right).$$

Тогда ряд (1) либо имеет конечную особенность в $\Delta_{\pi\lambda}^\alpha$, где $\alpha = -i\gamma$, либо его аналитическое продолжение в $\Delta_{\pi\lambda}^\alpha$ неограничено.

Для последовательности Q , чисел $n \in N$, $\gamma \in R$ и $\mu > 1$ положим

$$S_Q^\gamma(n, \mu) = \begin{cases} \sum_{m_S \in [n, 2\mu n \cos \gamma] \cap Q} \frac{1}{m_S}, & [n, 2\mu n \cos \gamma] \cap Q \neq \emptyset, \\ 0, & [n, 2\mu n \cos \gamma] \cap Q = \emptyset. \end{cases}$$

Теорема 2. Пусть для степенного ряда (1) последовательность $\{n_k\}_1^\infty \subset Q$ удовлетворяет условию

$$\liminf_{n_k \rightarrow \infty} |f_{n_k}|^{1/n_k} = \rho > 0$$

и для некоторых чисел $\gamma (|\gamma| < \pi/6)$ и $\lambda \in (0, 1]$ выполнено

$$\limsup_{\substack{t \rightarrow +\infty \\ \mu > 1 \\ n_k > t}} \left\{ \lambda \left[\log(2\mu \cos \gamma) + |\operatorname{tg} \gamma| \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} |\operatorname{ctg} 2\gamma| \right) \right] - S_Q^\gamma(n_k, \mu) \right\} > \\ > \frac{1}{2 \cos^2 \gamma} \log \frac{1}{\rho} + 1 + |\operatorname{tg} \gamma| \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} |\operatorname{ctg} 2\gamma| \right).$$

Тогда ряд (1) либо имеет конечную особенность в $\Delta_{\pi\lambda}^\alpha$, либо его аналитическое продолжение в $\Delta_{\pi\lambda}^\alpha$ неограничено.

§2. Доказательства. Приведем сперва вспомогательное утверждение, используемое в доказательствах теорем 1, 2.

Лемма. Пусть степенной ряд (1) допускает аналитическое продолжение f в спиральный угол $C \setminus \overline{\Delta_{2\sigma}^\alpha}$, $\sigma \in (0, \pi)$ и для некоторых констант $v > 0$ и $c > 0$

$$|f(z)| \leq \frac{c}{|z|^v + 1} \quad \text{для } z \in C \setminus \Delta_{2\sigma}^\alpha. \quad (2)$$

Тогда существует голоморфная в полуплоскости $\Pi_\alpha = \{(\xi, \eta): \xi - \alpha\eta \geq 0\}$ - функция φ , для которой

$$\varphi(n) = (-1)^n f_n, \quad n \in N \cup \{0\}, \quad (3)$$

и выполняется оценка: для любого $\varepsilon > 0$ существует константа $c_\varepsilon > 0$ такая, что

$$|\varphi(\xi + i\eta)| \leq c_\varepsilon \exp(\sigma|\eta| + (\xi - \alpha\eta)\varepsilon), \quad (\xi, \eta) \in \Pi_\alpha. \quad (4)$$

Доказательство. Для $r \in (0, 1)$ и $\delta \in (0, 1 - \sigma)$ положим

$$\ell_{r, \delta} = \{z: |z| = r\} \cap \Delta_{2\sigma + \delta}^\alpha,$$

$$\ell_{r, \delta}'' = \{z: |\arg z - \alpha \log r| = \sigma + \delta, |z| \geq r\}$$

и определим на Π_α функцию

$$\varphi(\zeta) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\ell_{r, \delta}} \frac{f(z)}{z^{\zeta+1}} dz + \frac{1}{2\pi i} \int_{\ell_{r, \delta}''} \frac{f(z)}{z^{\zeta+1}} dz = J_1 + J_2,$$

где $z^\zeta = \exp(\zeta \log z)$, $\log z = \log|z| + i \arg z$,

$$\alpha \log z - (\sigma + \delta) \leq \arg z \leq \alpha \log z + (\sigma + \delta).$$

Сходимость несобственного интеграла J_2 при $\xi - \alpha\eta \geq 0$ следует из условия (2).

Далее, если положить $\ell_R = \{z: |z| = R\} \cap \Delta_{2\sigma}^\alpha$, то из (2) будем иметь

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\ell_R} \frac{f(z)}{z^{\zeta+1}} dz \rightarrow 0 \quad \text{при } R \rightarrow +\infty.$$

Отсюда с учетом интегральной теоремы Коши следуют равенства (3), а также независимость значений φ от выбора $r \in (0, 1)$ и $\delta \in (0, 1 - \sigma)$. С учетом (2)

$$|J_2| = \left| \frac{1}{2\pi i} \int_{\ell_{r, \delta}} \frac{f(z)}{z^{\zeta+1}} dz \right| \leq \frac{c}{2\pi} \int_{\ell_{r, \delta}} \frac{|z^{-(\zeta+1)}|}{|z|^v + 1} |dz|.$$

При $\zeta = \xi + i\eta$ и $\log z = \log t + i \arg z$, $t \geq r$, имеем

$$\begin{aligned} |z^{-(\zeta+1)}| &= |\exp(-(\zeta+1)\log z)| = |\exp(-(\xi + i\eta + 1)(\log t + i \arg z))| = \\ &= \exp(-(\xi + 1)\log t + \eta \arg z) = \exp(-(\xi + 1)\log t + \eta(\alpha \log t \pm (\sigma + \delta))) = \\ &= \exp(-(\xi - \alpha\eta + 1)\log t \pm \eta(\sigma + \delta)) \leq \exp(-(\xi - \alpha\eta + 1)\log t + |\eta|(\sigma + \delta)). \end{aligned}$$

Следовательно, найдем оценку

$$|J_2| \leq c_1 \exp(|\eta|(\sigma + \delta) - (\xi - \alpha\eta)\log r), \quad (\xi, \eta) \in \Pi_\alpha, \quad (5)$$

где постоянная $c_1 > 0$ не зависит от r и δ .

Аналогично

$$|J_1| = \left| \frac{1}{2\pi i} \int_{\ell_{r, \delta}} \frac{f(z)}{z^{\zeta+1}} dz \right| \leq \frac{1}{2\pi} \max_{|z|=r} |f(z)| \int_{\ell_{r, \delta}} \frac{|dz|}{|z^{\zeta+1}|}.$$

Так как при $z \in \ell_{r,\delta}$

$$\begin{aligned} |z^{-(\xi+1)}| &= |\exp(-(\xi + i\eta + 1)(\log r + i \arg z))| = \exp(-(\xi - \alpha\eta + 1)\log r + \\ &+ \eta(\arg z - \alpha \log r)) \leq \exp(-(\xi - \alpha\eta + 1)\log r + |\eta| |\arg z - \alpha \log r|) \leq \\ &\leq \exp(-(\xi - \alpha\eta + 1)\log r + |\eta|(\sigma + \delta)), \end{aligned}$$

то теперь получим

$$|J_1| \leq c_r \exp(-(\xi - \alpha\eta + 1)|\eta|(\sigma + \delta)), \quad (\xi, \eta) \in \Pi_\alpha, \quad (6)$$

где постоянная $c_r > 0$ не зависит от δ .

Из оценок (5), (6), устремляя $\delta \rightarrow 0$ и выбирая r достаточно близким к 1, для функции φ получим требуемую оценку (4).

Доказательство теоремы 1. Предположим, что элемент (1) допускает ограниченное аналитическое продолжение f в угол $\Delta_{\pi\lambda}^\alpha$. Тогда, используя предыдущую лемму, построим для ряда

$$\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n f_n z^{n-1} = \frac{f(-z) - f_0}{z}$$

соответствующую ему по этой лемме функцию φ .

Возьмем круг $D_\mu = \{\zeta : |\zeta - \mu| < \mu\}$ и обозначим через g_μ его функцию Грина с полюсом в точке $\zeta_0 = e^{-i\gamma}$. Легко видеть, что

$$g_\mu(\zeta) = \log \left| \frac{\mu^2 - (\bar{\zeta} - \mu)(\zeta_0 - \mu)}{\mu(\zeta - \zeta_0)} \right|. \quad (7)$$

Применим к функции $\phi_k(\zeta) = \varphi(n_k \zeta e^{i\gamma})$ и кругу D_μ формулу Пуассона-Иенсена в точке $\zeta = \zeta_0$. В результате с учетом (3) получим

$$\log |f_{n_k}| + \sum_{\zeta_k} g_\mu(\zeta_k) \leq \frac{1}{2\pi} \int_{\partial D_\mu} \log |\phi_n(\zeta)| \frac{\partial g_\mu(\zeta)}{\partial \ell} |d\zeta|, \quad (8)$$

где ℓ – внутренняя нормаль к окружности ∂D_μ , а сумма слева берется по всем нулям (с учетом кратности) функции $\phi_k(\zeta)$ из круга D_μ , лежащим на луче $\arg \zeta = -\gamma$, $|\zeta| > 1$.

С учетом (4) оценим интеграл J в правой части (8). Имеем (подробности см. [1])

$$J \leq \frac{n_k \sigma}{2\pi} J_0 + \varepsilon n_k + \log c_\varepsilon, \quad (9)$$

где

$$J_0 = \int_{\partial D_\mu} |\operatorname{Im}(\zeta e^{i\gamma})| \left| \frac{\partial g_\mu(\zeta)}{\partial \ell} \right| |d\zeta|.$$

Применяя лемму работы [1] и формулу (7), простыми вычислениями найдем

$$J_0 = \frac{2(2\mu \cos \gamma - 1)(\mu \cos \gamma - 1)}{\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1} \log(2\mu \cos \gamma - 1) +$$

$$+ \frac{2\mu |\sin \gamma| (2\mu \cos \gamma - 1)}{\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1} \left\{ \arctg \frac{\mu - \cos \gamma}{|\sin \gamma|} - \arctg \frac{\mu \cos 2\gamma - \cos \gamma}{|\sin \gamma| (2\mu \cos \gamma - 1)} \right\}.$$

Следовательно, получим оценку

$$J \leq \frac{\sigma n_k}{\pi} \left\{ \frac{(2\mu \cos \gamma - 1)(\mu \cos \gamma - 1)}{\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1} \log(2\mu \cos \gamma - 1) + \right. \\ \left. + \frac{\mu |\sin \gamma| (2\mu \cos \gamma - 1)}{\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1} \left[\arctg \frac{\mu - \cos \gamma}{|\sin \gamma|} - \arctg \frac{\mu \cos 2\gamma - \cos \gamma}{|\sin \gamma| (2\mu \cos \gamma - 1)} \right] \right\} + \varepsilon n_k + \log c_\varepsilon. \quad (10)$$

Теперь, учитывая, что согласно лемме 3 из работы [3]

$$m(t) \geq (t-1)n_k - w_k(t) - 2, \quad (11)$$

где $m(t)$ — количество нулей (с учетом их кратности) функции $\phi_k(\zeta)$ на отрезке $[e^{-i\gamma}, te^{-i\gamma}]$, $t \in [1, 2\mu \cos \gamma]$, преобразуем и оценим снизу сумму в левой части (8), как в теореме 1 из [1]. В результате получим

$$\sum \geq \frac{(2\mu \cos \gamma - 1)(\mu \cos \gamma - 1)}{\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1} \int_1^{2\mu \cos \gamma} \frac{n_k(t-1) - w_k(t) - 2}{(t+a)^2 + b^2} dt = \\ = \frac{(2\mu \cos \gamma - 1)(\mu \cos \gamma - 1)}{\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1} \left\{ \frac{n_k}{2} \log \frac{(2\mu \cos \gamma + a)^2 + b^2}{(1+a)^2 + b^2} - \right. \\ \left. - \int_1^{2\mu \cos \gamma} \frac{w_k(t) dt}{(t+a)^2 + b^2} - n_k \left(\frac{1+a}{b} + \frac{2}{bn_k} \right) \left(\arctg \frac{2\mu \cos \gamma + a}{b} - \arctg \frac{1+a}{b} \right) \right\}. \quad (12)$$

Отсюда с учетом (10), (12) после умножения (8) на $(2n_k)^{-1}$ будем иметь

$$\frac{1}{2n_k} \log |f_{n_k}| + \frac{(2\mu \cos \gamma - 1)(\mu \cos \gamma - 1)}{2(\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1)} \left\{ \frac{1}{2} \log \frac{(2\mu \cos \gamma + a)^2 + b^2}{(1+a)^2 + b^2} - \right. \\ \left. - \frac{1}{n_k} \int_1^{2\mu \cos \gamma} \frac{w_k(t) dt}{(t+a)^2 + b^2} - \frac{1+a}{b} \left(\arctg \frac{2\mu \cos \gamma + a}{b} - \arctg \frac{1+a}{b} \right) \right\} \leq \\ \leq (1-\lambda) \left\{ \frac{(2\mu \cos \gamma - 1)(\mu \cos \gamma - 1)}{2(\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1)} \log(2\mu \cos \gamma - 1) + \right. \\ \left. + \frac{\mu |\sin \gamma| (2\mu \cos \gamma - 1)}{2(\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1)} \left[\arctg \frac{\mu - \cos \gamma}{|\sin \gamma|} - \arctg \frac{\mu \cos 2\gamma - \cos \gamma}{|\sin \gamma| (2\mu \cos \gamma - 1)} \right] \right\} + \\ + \frac{\varepsilon}{2} + \gamma_0(n_k), \quad (13)$$

где $\gamma_0(n_k) \rightarrow 0$ при $n_k \rightarrow \infty$ и не зависит от μ . Следовательно, получим

$$\sup_{\substack{\mu > 1 \\ n_k > 1}} \left\{ \lambda \left[\log(2\mu \cos \gamma - 1) + \frac{\mu |\sin \gamma|}{\mu \cos \gamma - 1} \left(\arctg \frac{\mu - \cos \gamma}{|\sin \gamma|} - \arctg \frac{\mu \cos 2\gamma - \cos \gamma}{|\sin \gamma| (2\mu \cos \gamma - 1)} \right) \right] - \right. \\ \left. - \frac{1}{n_k} \int_1^{2\mu \cos \gamma} \frac{w_k(t) dt}{(t+a)^2 + b^2} \right\} \leq \sup_{\substack{\mu > 1 \\ n_k > 1}} \left\{ \frac{(\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1)}{(2\mu \cos \gamma - 1)(\mu \cos \gamma - 1)} \frac{1}{n_k} \log \frac{1}{|f_{n_k}|} + \right.$$

$$\begin{aligned}
& + \left(\frac{\varepsilon}{2} + \gamma_0 \right) \frac{2(\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1)}{(2\mu \cos \gamma - 1)(\mu \cos \gamma - 1)} + \frac{1+a}{b} \left(\operatorname{arctg} \frac{2\mu \cos \gamma + a}{b} - \operatorname{arctg} \frac{1+a}{b} \right) + \\
& + \log(2\mu \cos \gamma - 1) - \frac{1}{2} \log \frac{(2\mu \cos \gamma + a)^2 + b^2}{(1+a)^2 + b^2} + \frac{\mu |\sin \gamma|}{\mu \cos \gamma - 1} \left(\operatorname{arctg} \frac{\mu - \cos \gamma}{|\sin \gamma|} - \right. \\
& \left. - \operatorname{arctg} \frac{\mu \cos 2\gamma - \cos \gamma}{|\sin \gamma| (2\mu \cos \gamma - 1)} \right) \Bigg\}.
\end{aligned} \quad (14)$$

Отсюда

$$\begin{aligned}
& \lim_{t \rightarrow +\infty} \sup_{\substack{\mu > t \\ n_k > 1}} \left\{ \lambda \left[\log(2\mu \cos \gamma) + |\operatorname{tg} \gamma| \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} |\operatorname{ctg} 2\gamma| \right) \right] - \frac{1}{n_k} \int_1^{2\mu \cos \gamma} \frac{w_k(t) dt}{(t+a)^2 + b^2} \right\} \leq \\
& \leq \frac{1}{2 \cos^2 \gamma} \log \frac{1}{\rho} + \frac{\varepsilon}{2 \cos^2 \gamma} + \log(2 \cos \gamma) + |\operatorname{tg} \gamma| \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} |\operatorname{ctg} 2\gamma| \right) + \\
& + |\operatorname{ctg} \gamma| \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} |\operatorname{ctg} \gamma| \right).
\end{aligned} \quad (15)$$

Устремляя здесь ε к нулю, получим противоречие предположению теоремы 1.

Доказательство теоремы 2. Предположим, что элемент (1) допускает ограниченное аналитическое продолжение f в угол $\Delta_{\pi\lambda}^\alpha$. Тогда, используя лемму, построим для ряда

$$\sum_{n=1}^{+\infty} (-1)^n f_n z^{n-1} = \frac{f(-z) - f_0}{z}$$

соответствующую ему функцию Φ . Применяя к функции $\phi_k(\zeta) = \varphi(n_k \zeta e^{i\gamma})$ рассуждения, использованные в доказательстве теоремы 1, мы получим соотношение (8) и оценку (10) для интеграла J . Сумму Σ в левой части (8) оценим снизу несколько иначе.

Из формулы (7) легко следует, что при условии $|\gamma| < \pi/6$ функция

$$g_\mu(t e^{-i\gamma}) - \frac{2(\mu \cos \gamma - 1)^2}{t(\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1)} \quad (16)$$

монотонно убывает на промежутке $t \in (1, 2\mu \cos \gamma]$ для достаточно больших μ .

Следовательно,

$$g_\mu(t e^{-i\gamma}) \geq \frac{2(\mu \cos \gamma - 1)^2}{\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1} \left(\frac{1}{t} - \frac{1}{2\mu \cos \gamma} \right) \quad (17)$$

при $t \in (1, 2\mu \cos \gamma]$, так что, учитывая, что сумму можем записать в виде интеграла Стильтеса

$$\Sigma = \sum_{n_k} g_\mu(t_{n_k}) = \int_1^{2\mu \cos \gamma} g_\mu(t e^{-i\gamma}) dm(t),$$

отсюда и из (17) имеем

$$\Sigma \geq \frac{2(\mu \cos \gamma - 1)^2}{\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1} \int_1^{2\mu \cos \gamma} \frac{m(t)}{t^2} dt. \quad (18)$$

Поэтому из (11) следует

$$\begin{aligned} \Sigma \geq & \frac{2(\mu \cos \gamma - 1)^2}{\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1} \times \\ & \times \left[n_k \log(2\mu \cos \gamma) - \int_1^{2\mu \cos \gamma} \frac{w_k(t)}{t^2} dt - (n_k + 2) \left(1 - \frac{1}{2\mu \cos \gamma} \right) \right]. \end{aligned} \quad (19)$$

Умножая (8) на $(2n_k)^{-1}$, учитывая (10), (19) и оценку

$$\frac{1}{n_k} \int_1^{2\mu \cos \gamma} \frac{w_k(t)}{t^2} dt \leq S_Q^\gamma(n_k, \mu),$$

получим

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2n_k} \log |f_{n_k}| + \frac{(\mu \cos \gamma - 1)^2}{\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1} \left[\log(2\mu \cos \gamma) - S_Q^\gamma(n_k, \mu) - \left(1 + \frac{2}{n_k} \right) \times \right. \\ & \times \left. \left(1 - \frac{1}{2\mu \cos \gamma} \right) \right] \leq (1 - \lambda) \left\{ \frac{(2\mu \cos \gamma - 1)(\mu \cos \gamma - 1)}{2(\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1)} \log(2\mu \cos \gamma - 1) + \right. \\ & \left. + \frac{\mu |\sin \gamma| (2\mu \cos \gamma - 1)}{2(\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1)} \left[\operatorname{arctg} \frac{\mu - \cos \gamma}{|\sin \gamma|} - \operatorname{arctg} \frac{\mu \cos 2\gamma - \cos \gamma}{|\sin \gamma| (2\mu \cos \gamma - 1)} \right] \right\} + \frac{\varepsilon}{2} + \gamma_0(n_k), \end{aligned}$$

где $\gamma_0(n_k) \rightarrow 0$ и не зависит от μ . Следовательно,

$$\begin{aligned} & \sup_{\substack{\mu > 1 \\ n_k > 1}} \left\{ \lambda \left[\log(2\mu \cos \gamma - 1) + \frac{\mu |\sin \gamma|}{\mu \cos \gamma - 1} \left(\operatorname{arctg} \frac{\mu - \cos \gamma}{|\sin \gamma|} - \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \left. - \operatorname{arctg} \frac{\mu \cos 2\gamma - \cos \gamma}{|\sin \gamma| (2\mu \cos \gamma - 1)} \right) \right] - \frac{2(\mu \cos \gamma - 1)}{2\mu \cos \gamma - 1} S_Q^\gamma(n_k, \mu) \right\} \leq \\ & \leq \sup_{\substack{\mu > 1 \\ n_k > 1}} \left[\frac{(\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1)}{(2\mu \cos \gamma - 1)(\mu \cos \gamma - 1)} \frac{1}{n_k} \log \frac{1}{|f_{n_k}|} + \right. \\ & \left. + \frac{2(\mu^2 - 2\mu \cos \gamma + 1)}{(2\mu \cos \gamma - 1)(\mu \cos \gamma - 1)} \left(\frac{\varepsilon}{2} + \gamma_0 \right) + \frac{\mu |\sin \gamma|}{\mu \cos \gamma - 1} \left(\operatorname{arctg} \frac{\mu - \cos \gamma}{|\sin \gamma|} - \right. \right. \\ & \left. \left. - \operatorname{arctg} \frac{\mu \cos 2\gamma - \cos \gamma}{|\sin \gamma| (2\mu \cos \gamma - 1)} \right) + \log(2\mu \cos \gamma - 1) - \frac{2(\mu \cos \gamma - 1)}{2\mu \cos \gamma - 1} \log(2\mu \cos \gamma) + \right. \\ & \left. + \frac{2(\mu \cos \gamma - 1)}{2\mu \cos \gamma - 1} \left(1 + \frac{2}{n_k} \right) \left(1 - \frac{1}{2\mu \cos \gamma} \right) \right], \end{aligned}$$

откуда имеем

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \sup_{\substack{\mu > t \\ n_k > 1}} \left\{ \lambda \left[\log(2\mu \cos \gamma) + |\operatorname{tg} \gamma| \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} |\operatorname{ctg} 2\gamma| \right) \right] - S_Q^\gamma(n_k, \mu) \right\} \leq \\ \leq \frac{1}{2 \cos^2 \gamma} \log \frac{1}{\rho} + \frac{\varepsilon}{2 \cos^2 \gamma} + 1 + |\operatorname{tg} \gamma| \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} |\operatorname{ctg} 2\gamma| \right).$$

Устремляя здесь ε к нулю, получим противоречие с предположением теоремы 2.

Кафедра теории функций

Поступила 28.12.2000

ЛИТЕРАТУРА

1. Гарибян Т. Л. – Изв. НАН Армении. Матем., 1999, т. 34, № 5, с. 1–8.
2. Яврян А. В. – Изв. НАН Армении. Матем., 1997, т. 32, № 5, с. 62–75.
3. Аракелян Н. У., Мартиросян В. А. – Изв. АН Арм. ССР. Матем., 1987, т. 22, № 1, с. 3–21.

S.L. ՂԱՐԻԲՅԱՆ

ԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ ՇԱՐՔԵՐԻ ՍՊԻՐԱԼԱՅԻՆ ԵԶԱԿԻՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՏԵՂԱՅՆԱՅՈՒՄԸ: II

Ամփոփում

Ներկա աշխատանքում հետազոտվում է աստիճանային շարքի եզակիությունների տեղայնացումը, որոնք ընկած են նրա զուգամիտության շրջանից դուրս և նախօրոք տրված սպիրալային անկյան վրա: Դիտարկվում են ինչպես վերջավոր, այնպես էլ անվերջ եզակիություններ:

T.L. GHARIBIAN

ON LOCATION OF SPIRAL SINGULARITIES OF POWER SERIES. II

Summary

In this paper problems on location of singularities of power series are investigated which lie outside of its circle of convergence and on prescribed spiral angle. Finite as well as infinite singularities are considered.

УДК 515.122.6

П.С. ГЕВОРКЯН

ОБ ЭКВИВАРИАНТНОЙ ПОДВИЖНОСТИ ПЛОСКИХ ИНВАРИАНТНЫХ КОМПАКТОВ

В настоящей статье изучается эквивариантная подвижность плоских инвариантных компактов. Доказывается, что при линейном действии связанной компактной группы G на плоскости любой плоский инвариантный компакт эквивариантно подвижен.

В теории шейпов понятие подвижности для метризуемых компактов было введено К. Борсуком [1]. Им же было доказано, что произвольный плоский компакт подвижен [2].

Класс всех метризуемых пространств обозначим через M , а класс всех метризуемых пространств с непрерывным действием некоторой топологической группы G – через M_G .

Пусть Y – некоторое G -пространство*. Если Y является абсолютным ретрактом для класса всех метризуемых G -пространств ($Y \in AR(M_G)$), то следуя К. Борсуку [1], для его компактных, инвариантных подмножеств понятие эквивариантной подвижности можно определить следующим образом:

Определение 1. Компактное, инвариантное подмножество $X \subset Y \in AR(M_G)$ называется эквивариантно подвижным, если выполняется следующее условие:

Для каждой инвариантной окрестности U компакта X (в Y) существует такая инвариантная окрестность V компакта X (в Y), что для каждой инвариантной окрестности W компакта X (в Y) существует такая эквивариантная гомотопия $\varphi_W : V \times I \rightarrow U$, что

$$\varphi_W(x, 0) = x, \quad \varphi_W(x, 1) \in W \quad (1)$$

для произвольного $x \in V$.

Предложение 1. Пусть компактная связная группа G действует ортогонально и нетривиально на плоскости R^2 . Тогда орбита произвольной точки плоскости является проходящей через эту точку окружности с центром в начале координат.

Доказательство. Рассмотрим нетривиальное ортогональное действие компактной связной группы G на R^2 . Ортогональность действия означает,

* Всюду под пространством предполагается метризуемое пространство.

что

$$|x| = |gx| \quad (2)$$

для всех $g \in G$ и $x \in \mathbb{R}^2$.

В силу связности и компактности группы G орбиты точек плоскости также будут связными и компактными. А поскольку действие группы G ортогонально (см.[2]), следовательно, орбита $[x_0]$ произвольной точки $x_0 \in \mathbb{R}^2$, $x_0 \neq 0$, к тому же лежит на окружности $x^2 + y^2 = |x_0|^2$. Таким образом орбита точки $x_0 \neq 0$ является компактным и связным подмножеством окружности $x^2 + y^2 = |x_0|^2$. Теперь нетрудно заметить, что утверждение предложения следует из последнего замечания, а также из непрерывности и нетривиальности действия группы G на плоскости. $\square$

Следствие 1. Плоские инвариантные континуумы при нетривиальном ортогональном действии компактной связной группы G на $\mathbb{R}^2$ могут быть следующих трех видов:

- 1) точкой (начало координат),
- 2) окружностями с центром в начале координат,
- 3) замкнутыми кольцами с центром в начале координат.

Следствие 2. Связные открытые инвариантные подмножества плоскости при нетривиальном ортогональном действии компактной связной группы G на $\mathbb{R}^2$ суть открытые кольца с центром в начале координат.

Теорема 1. Всякий плоский инвариантный континуум при ортогональном действии компактной связной группы G на $\mathbb{R}^2$ эквивариантно подвижен.

Доказательство. В силу следствия 1 достаточно доказать эквивариантную подвижность замкнутых колец. Рассмотрим замкнутое кольцо $D = \{z \in \mathbb{R}^2; r \leq |z| \leq R\}$. Пусть $U \supset D$ – произвольная инвариантная окрестность кольца D . Ясно, что существует такое число $\varepsilon > 0$, что открытое кольцо $V = \{z \in \mathbb{R}^2; r_0 = r - \varepsilon < |z| < R + \varepsilon = R_0\}$ лежит в U и содержит D : $D \subset V \subset U$. Оказывается, что V – искомая инвариантная окрестность кольца D . То есть мы должны доказать, что V эквивариантно стягивается (в U) в любую инвариантную окрестность кольца D . А для этого достаточно доказать, что V эквивариантно стягивается в любое открытое кольцо $W = \{z \in \mathbb{R}^2; r_0 < a < |z| < b < R_0\}$, которое, очевидно, содержит в себе D : $D \subset W$. Эквивариантную гомотопию $F: V \times I \rightarrow U$, стягивающую V в W , зададим формулой

$$F(z, t) = \frac{z}{R_0 - r_0} \left\{ \frac{(bt + (1-t)R_0)(|z| - r_0)}{R_0} - \frac{(at + (1-t)r_0)(|z| - R_0)}{r_0} \right\}.$$

Эквивариантность гомотопии F проверяется непосредственно

$$F(gz, t) = \frac{gz}{R_0 - r_0} \left\{ \frac{(bt + (1-t)R_0)(|gz| - r_0)}{R_0} - \frac{(at + (1-t)r_0)(|gz| - R_0)}{r_0} \right\} =$$

$$= \frac{gz}{R_0 - r_0} \left\{ \frac{(bt + (1-t)R_0)(|z| - r_0)}{R_0} - \frac{(at + (1-t)r_0)(|z| - R_0)}{r_0} \right\} = gF(z, t).$$

Осталось заметить, что $F(z, 0) = z$ и $F(z, 1) \in W$. В самом деле,

$$\begin{aligned} F(z, 0) &= \frac{z}{R_0 - r_0} \left\{ \frac{R_0(|z| - r_0)}{R_0} - \frac{r_0(|z| - R_0)}{r_0} \right\} = \\ &= \frac{z}{R_0 - r_0} \{ (|z| - r_0 - |z| + R_0) \} = \frac{z}{R_0 - r_0} (R_0 - r_0) = z, \\ F(z, 1) &= \frac{z}{R_0 - r_0} \left\{ \frac{b(|z| - r_0)}{R_0} - \frac{a(|z| - R_0)}{r_0} \right\} \in W. \end{aligned}$$

□

Теорема 2. Всякий плоский инвариантный континуум при линейном действии компактной связанной группы G на R^2 эквивариантно подвижен.

Доказательство. Оно непосредственно следует из теоремы 1 и следующей известной теоремы (см. [3]). □

Теорема 3. Каждое представление компактной группы G на n -мерном вещественном векторном пространстве L эквивалентно ортогональному представлению группы на R^n .

Теорема 4. Пусть G — компактная связная группа. Если всякая компонента компактного G -пространства X эквивариантно подвижна, то G -пространство X также эквивариантно подвижно.

Доказательство. Пусть X — компактное подвижное G -пространство. Предположим, что X — инвариантное подмножество некоторого $AR(MG)$ -пространства Y . Компоненты связности компактного G -пространства X обозначим через X_α , $\alpha \in \mathcal{A}$, где $\mathcal{A}$ — некоторое множество индексов. Так как G — компактная связная группа, следовательно, каждая компонента связности X_α является инвариантным множеством. Рассмотрим произвольную инвариантную окрестность U компакта X в Y . Так как компонента связности X_α эквивариантно подвижна, то, следовательно, для инвариантной окрестности $U \supset X_\alpha$ существует такая инвариантная окрестность V_α инвариантного множества X_α , что для любой другой инвариантной окрестности W_α множества X_α существует эквивариантная гомотопия

$$\varphi_t^{\alpha, W_\alpha} : V_\alpha \rightarrow U, \quad 0 \leq t \leq 1,$$

удовлетворяющая условиям

$$\varphi_0^{\alpha, W_\alpha} = 1_{V_\alpha} \text{ и } \varphi_1^{\alpha, W_\alpha} \subset W_\alpha. \quad (3)$$

Притом нетрудно заметить, что инвариантную окрестность V_α можно было подобрать таким образом, чтобы выполнялось условие $V_\alpha \cap X = X_\alpha$. Очевидно, что для произвольного $\alpha \in \mathcal{A}$ найденные таким образом инвариант-

* Два представления $\varphi, \psi : G \rightarrow GL(n, R)$ называются эквивалентными, если существует такая матрица $A \in GL(n, R)$, что $\psi(g) = A^{-1}\varphi(g)A$ для всех $g \in G$.

ные окрестности V_α , $\alpha \in \mathcal{A}$, составляют инвариантное покрытие компактного G -пространства X . Стало быть, из этого покрытия в силу компактности можно выделить конечное подпокрытие $V_{\alpha_1}, V_{\alpha_2}, \dots, V_{\alpha_n}$. Теперь обозначим

$$V_1 = V_{\alpha_1}; V_2 = V_{\alpha_2} \setminus \overline{V_1}; \dots; V_n = V_{\alpha_n} \setminus \overline{\bigcup_{k=1}^{n-1} V_k}.$$

Очевидно, что инвариантные окрестности $V_1, V_2, \dots, V_n$ по-прежнему составляют покрытие компактного G -пространства X , причем они попарно не пересекаются. Обозначим

$$V = \bigcup_{i=1}^n V_i.$$

V – инвариантная окрестность G -компакта X . Докажем, что она искомая окрестность для эквивариантной подвижности X . Для этого рассмотрим произвольную инвариантную окрестность $W \supset X$. Эквивариантную гомотопию $\varphi_i: V \rightarrow U$ определим следующим образом:

$$\varphi_i(x) = \varphi_i^{\alpha_i, W}(x),$$

если $x \in V_i$, $i = 1, \dots, n$. Осталось заметить, что

$$\varphi_0 = I_V, \quad \varphi_1(V) \subset W.$$

В самом деле, из условия 3 следует, что $\varphi_0 = \varphi_0^{\alpha_i, W} = I_{V_i}$ для всех $i = 1, \dots, n$. А это значит, что $\varphi_0 = I_V$, $\varphi_1(V_i) = \varphi_1^{\alpha_i, W}(V_i) \subset W$ для всех $i = 1, \dots, n$. Из этого следует, что $\varphi_1(V) \subset W$. □

Из теорем 2 и 4 непосредственно следует

Теорема 5. Всякий плоский инвариантный компакт при линейном действии компактной связной группы G эквивариантно подвижен.

МГУ, ЕГУ

Поступила 03. 07. 2001

ЛИТЕРАТУРА

1. Borsuk K. – Fund. Math., 1969, v. 66, N 1, p. 137–146.
2. Борсук К. Теория шейпов. М.: Мир, 1976.
3. Бредон Г. Введение в теорию компактных групп преобразований. М.: Мир, 1980.

Պ.Ս. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

ՀԱՐԹ ԻՆՎԱՐԻԱՆՏ ԿՈՄՊԱԿՏՆԵՐԻ ԷԿՎԻՎԱՐԻԱՆՏ
ՇԱՐԺՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ամփոփում

Շարժում մետրիկական կոմպակտների գաղափարը սահմանել է Կ. Բորսուկը: Նա միաժամանակ ապացուցել է, որ յուրաքանչյուր հարթ կոմպակտ

շարժում է: Հոդվածում ուսումնասիրվում է հարթ ինվարիանտ կոմպակտների էկվիվարիանտ շարժունությունը: Ապացուցվում է, որ եթե հարթության վրա տրված է կապակցված և կոմպակտ խմբի գծային գործողություն, ապա այդ դեպքում յուրաքանչյուր հարթ ինվարիանտ կոմպակտ էկվիվարիանտ շարժում է:

P.S. GEVORGIAN

ON EQUIVARIANT MOVABILITY OF PLANE
INVARIANT COMPACTS

Summary

The notion of movability was introduced, for metrizable compact, by K. Borsuk. He proved that the any plane compact is a movable. In this paper the equivariant movability of plane invariant compact is studied. It is proved that all plane invariant compact are equivariant movable in the case of linear action of compact and connected group G on the plane.

УДК 518.9

А.Г. МАТЕВОСЯН

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ИГРА СБЛИЖЕНИЯ С m ЦЕЛЕВЫМИ МНОЖЕСТВАМИ ДЛЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ

Исследуется задача сближения с m целевыми множествами, когда движение системы описывается системой линейных стохастических дифференциальных уравнений. Экстремальная стратегия строится методом экстремального прицеливания.

Рассмотрим стохастическую дифференциальную игру при m целевых множествах для линейных систем. В работах [1,2] изучены такие стохастические дифференциальные игры, где источником случайных событий являются ошибки измерений. Здесь мы рассмотрим такую дифференциальную игру, где движение системы описывается стохастическими дифференциальными уравнениями.

1. Пусть движение конфликтно-управляемой системы описывается следующей системой стохастических дифференциальных уравнений:

$$dx(t) = A(t)x(t)dt + B(t)u dV + C(t)v dV, \quad (1.1)$$

где $A(t), B(t), C(t) - (n \times n), (n \times p), (n \times q)$ матрицы с измеримыми и ограниченными элементами при

$$t \in [t_0, T], u \in P \subset R^p, v \in Q \subset R^q,$$

а P и Q – заданные компакты, $V(t)$ – стохастически непрерывный, случайный процесс в вероятностном пространстве $(\Omega, \mathcal{F}, P)$.

Предположим, что заданы некоторые замкнутые и ограниченные множества $M_k, k \in I = (1, \dots, m)$ в евклидовом пространстве R^{n+1} . Пусть также заданы моменты времени $\{\vartheta_k\}$ такие, что $t \leq \vartheta_1 < \dots < \vartheta_m \leq T$. Предположим, что проекция множества M_k на ось t содержит точку ϑ_k , т.е.

$$M_k \cap \{(t, x) : t = \vartheta_k, x \in R^n\} = M_k(\vartheta_k) \neq \emptyset, k \in I.$$

Пусть $M_k(\vartheta_k)$ – выпуклые, замкнутые и ограниченные множества в пространстве R^n .

Рассмотрим задачу сближения с множествами $M_k(\vartheta_k)$ в моменты ϑ_k .

Согласно [3], решение системы (1.1) п.н. непрерывно для каждого t ,

$t_0 \leq t \leq T$, и $\mathcal{Z}_t$ — измеримый случайный процесс, определяемый формулой

$$x(t) = X[t, t_0]x(t_0) + \int_{t_0}^t X[t, \tau]B(\tau)u dV + \int_{t_0}^t X[t, \tau]C(\tau)v dV, \quad (1.2)$$

где последние два интеграла следует понимать как стохастический интеграл по процессу $V(t)$, а $X[t, \tau]$ — нормированная фундаментальная матрица с абсолютно непрерывными элементами.

Имея в виду формулу решения (1.2), для уравнения (1.1) поставим следующую задачу.

Задача. Требуется найти стратегию $U_0 + u_0(t)$, которая обеспечивает встречи $x[\vartheta_k, t_0, x_0, u_0] \in M_k(\vartheta_k)$ п.н. ($k \in I$).

Предположим, что для процессов $V(t)$ выполнено следующее условие: $V(t) - V(t_0) \geq 0$ при $t - t_0 > 0$ (напр., пуассоновский процесс).

Используя приведенные в [4] и [5] для m целевых множеств рассуждения для детерминированных, линейных систем, можно построить гипотетическое рассогласование, которое в нашем случае будет стохастическим,

$$\begin{aligned} \varepsilon_0(t_*, x_*, x_1, x_{l-1}, \{\vartheta_k\}) = \max_{|k| \leq l} \left[\sum_{k=1}^{l-1} l'_k x_k + \sum_{k=1}^{l-1} \min_{p_k \in M_k} l'_k p_k + \sum_{k=1}^m l'_k \bar{X}[\vartheta_k, t_*] x_k + \right. \\ \left. + \int_{t_*}^{\vartheta_m} \min_{u \in P} \sum_{k=1}^m l'_k \bar{X}[\vartheta_k, \tau] B(\tau) u dV + \int_{t_*}^{\vartheta_m} \max_{v \in Q} \sum_{k=1}^m l'_k \bar{X}[\vartheta_k, \tau] C(\tau) v dV + \sum_{k=1}^m \min_{p_k \in M_k} l'_k p_k \right] \end{aligned} \quad (1.3)$$

и $\varepsilon_0(t_*, x_*, x_1, x_{l-1}, \{\vartheta_k\}) = 0$, если правая часть в (1.3) отрицательна.

Здесь $\{t_*, x_*\}, (t_* \in [\vartheta_{l-1}, \vartheta_l])$ — начальное положение системы (1.1), а матрицы $\bar{X}[t, \tau]$ и $\bar{\bar{X}}[t, \tau]$ определяются следующим образом:

$$\bar{X}[t, \tau] = \begin{cases} X[t, \tau], & t \geq \tau, \\ E, & t \leq \tau; \end{cases} \quad \bar{\bar{X}}[t, \tau] = \begin{cases} X[t, \tau], & t > \tau, \\ 0, & t \leq \tau. \end{cases}$$

Из формулы (1.3) вытекает справедливость следующего утверждения.

Если $\varepsilon_0(t, x(t), \{\vartheta_k\}) = 0$ п.н. при $t \in [t_0, \vartheta_m]$, то для всех $k \in I$ $x(\vartheta_k) \in M_k$ п.н.

Скажем, что ситуация для задачи регулярна, если максимум в правой части (1.3) достигается на единственном векторе $\{x_k^0\}$.

Вследствие единственности максимизирующего вектора $l^0 = \{x_k^0\}$, он изменяется непрерывно с изменением позиции $\{t_*, x_*\}, (t_* \in [\vartheta_{k-1}, \vartheta_k])$.

Предположим, что $\int_t^{t+\Delta t} \gamma(\tau) dV$ можно представить в следующем виде:

$$\int_t^{t+\Delta t} \gamma(\tau) dV = \gamma(t) \beta(\Delta t) \Delta t,$$

где $\gamma(t)$ — измеримая ограниченная функция, а $\beta(\Delta t)$ остается ограниченным, когда $\Delta t \rightarrow 0$.

Теми же способами, что и в [4], можно получить, что приращение $\Delta \varepsilon_0$

на малом интервале Δt изменения аргумента t будет удовлетворять следующей оценке:

$$\Delta \varepsilon_0 \leq \sum_{k=1}^m l'_k \bar{X}[\vartheta_k, t] B(t) u \beta(\Delta t) \Delta t - \min_{u \in P} \sum_{k=1}^m l'_k \bar{X}[\vartheta_k, t] B(t) u \beta(\Delta t) \Delta t + \\ + \sum_{k=1}^m l'_k \bar{X}[\vartheta_k, t] C(t) v \beta(\Delta t) \Delta t - \max_{v \in Q} \sum_{k=1}^m l'_k \bar{X}[\vartheta_k, t] C(t) v \beta(\Delta t) \Delta t + o(\Delta t), \quad (1.4)$$

где $\beta(\Delta t)$ остается ограниченным, когда $\Delta t \rightarrow 0$.

После этого из оценки (1.4) можно установить, что когда $\Delta t \geq 0$, то $\Delta \varepsilon_0 \leq 0$, если первый игрок выбирает экстремальную стратегию из следующего условия минимума:

$$\sum_{k=1}^m l'_k \bar{X}[\vartheta_k, t] B(t) u_0 \beta(t) = \min_{u \in P} \sum_{k=1}^m l'_k \bar{X}[\vartheta_k, t] B(t) u \beta(t). \quad (1.5)$$

Таким образом, используя приведенные в [4,5] соображения, приходим к следующему выводу.

Теорема 1. Пусть для всех $t \in [t_0, \vartheta_m)$ ситуация для задачи регулярна. Тогда экстремальная стратегия $U_0 + u_0(t)$, определяемая при $\varepsilon_0(t, x) > 0$ условием (1.5), а при $\varepsilon_0(t, x) = 0$ – любым допустимым управлением $u \in P$, обеспечит встречи $x(\vartheta_k, u_0) \in M_k$ п.н., если только $\varepsilon_0(t_0, x_0 \{\vartheta_k\}) = 0$ п.н.

2. Распространим построение стратегии экстремального прицеливания $U_0 + u_0(t, x)$ на случай задачи сближения с множествами M_k к моментам ϑ_k . Будем полагать, что множества $M_k(t)$ ограничены, замкнуты, выпуклы и зависят от t непрерывным образом. Нам необходимо новое определение регулярности такой задачи. Скажем, что ситуация является вполне регулярной в области

$$G = U[G_i : i \in I],$$

$$G_1 = \{(t, x) : t_0 \leq t \leq \vartheta_1, 0 \leq \varepsilon_0(t, x \{\tau_k^0\}) \leq \beta\},$$

$$G_2 = \{(t, x) : \vartheta_1 \leq t \leq \vartheta_2, 0 \leq \varepsilon_0(t, x \{\tau_k^0\}) \leq \beta, (t_1, x_1) \in G_1\},$$

$$G_m = \{(t, x) : \vartheta_{m-1} \leq t \leq \vartheta_m, (t_1, x_1) \in G_1, \dots, (t_{m-1}, x_{m-1}) \in G_{m-1}, \\ 0 \leq \varepsilon_0(t, x, x_1, \dots, x_{m-1}, t_1, \dots, t_{m-1}, \tau_m^0) \leq \beta\}, \quad \beta > 0,$$

если для каждой позиции $(t, x) \in G$, $t_0 \in [\vartheta_{l-1}, \vartheta_l)$ и набора (t_α, x_α) , $\alpha = 1, \dots, l-1$ существует единственный набор $(\tau_1^0, \dots, \tau_m^0)$, удовлетворяющий равенству

$$\min_{\tau_k \in [\vartheta_{k-1}, \vartheta_k]} \varepsilon_0(\cdot) = \varepsilon_0(t, x, x_1, \dots, x_{l-1}, t_1, \dots, t_{l-1}, \{\tau_k^0\}) \quad (2.1)$$

при $l \leq k \leq m$ и максимизирующий вектор $\{\tau_k^0(t, x, \{\tau_k^0\})\}$ в $\varepsilon_0(\cdot)$ – единственный. Пользуясь соображениями [4,5], приходим к следующему выводу.

Теорема 2. Пусть ситуация для задачи сближения с множествами

M_k к моментам ϑ_k вполне регулярна. Тогда экстремальная стратегия $U_0 + u_0(t, x)$, определяемая следующим условием минимума –

$$\sum_{k=1}^m I_k^0 \bar{X}[\tau_k^0, t] B(t) u_0 \beta(t) = \min_{u \in P} \sum_{k=1}^m I_k^0 \bar{X}[\tau_k^0, t] B(t) u \beta(t), \quad (2.2)$$

обеспечит условие $x[\tau_k^0] \in M_k(\tau_k^0)$ п.н. $k \in I$ при некоторых $\tau_k^0 \in [t_0, \vartheta_k] \cap [\vartheta_{k-1}, \vartheta_k]$, если только $\varepsilon_0(t_0, x_0, \{\tau_k^0\}) = 0$ п.н.

Автор выражает искреннюю благодарность доктору физ.-мат. наук, профессору Габриеляну М.С. за постоянное внимание к работе, а также за множество полезных советов и замечаний.

Кафедра теоретической механики

Поступила 14.02.2001

ЛИТЕРАТУРА

1. Габриелян М.С., Барсегян В.Р., Симомян Т.А. – Ученые записки ЕГУ, 1996, №1, с. 10–15.
2. Габриелян М.С., Барсегян В.Р. – Ученые записки ЕГУ, 1994, №2, с. 29–39.
3. Пугачев В.С., Синицын И.Н. Стохастические дифференциальные системы. М.: Наука, 1985.
4. Красовский Н.Н., Суботин А.И. Позиционные дифференциальные игры. М.: Наука, 1971.
5. Габриелян М.С. Дифференциальные игры при m целевых множествах: Автореферат на соиск. уч. ст. докт. физ.-мат. наук. Ер., ЕГУ, 1986.

Ա.Գ. ՄԱԹԵՎՈՍՅԱՆ

ՄՏՈՒԱՍՏԻԿ ԳԾԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՀԱՄԱՐ m ՆՊԱՏԱԿԱՅԻՆ
ԲԱԶՄԻԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԵՏ ՄՈՏԵՑՄԱՆ ԴԻՖԵՐԵՆՑԻԱԼ ԽԱՂ

Ամփոփում

Դիտարկված է m նպատակային բազմությունների հետ մոտեցման խնդիրը, երբ համակարգի շարժումը նկարագրված է ստոխաստիկ գծային դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգով: Էքստրեմալ ստրատեգիան կառուցվում է էքստրեմալ նշանառության եղանակով:

A.G. MATEVOSIAN

DIFFERENTIAL RAPPROCHEMENT GAME WITH m TARGET SETS FOR
STOCHASTIC LINEAR SYSTEMS

Summary

Problem of rapprochement with m target sets is considered, when the movement of system is described by the system of linear stochastic differential equations. The extremal strategy is constructed by a method of extremal aiming.

УДК 514.75

В.А. НЕРСЕСЯН

ДОПУСТИМЫЕ КОМПЛЕКСЫ ТРЕХМЕРНЫХ ПЛОСКОСТЕЙ ПРОЕКТИВНОГО ПРОСТРАНСТВА $\mathbb{P}^6$ (I)

В работе изучаются допустимые комплексы трехмерных плоскостей в шестимерном проективном пространстве $\mathbb{P}^6$. Доказывается, что однопараметрическое семейство конусов второго порядка в $\mathbb{P}^6$ с одномерной вершиной и трехмерными плоскими образующими определяет четырехпараметрическое семейство плоскостей E^3 , которыми являются все трехмерные образующие к этим конусам.

I. Пусть $\mathbb{P}^n$ – n -мерное проективное пространство, $H_{n,k}$ – многообразие k -мерных плоскостей пространства $\mathbb{P}^n$. a -мерное подмногообразие K в $H_{n,k}$ назовем комплексом k -мерных плоскостей, если $a > n - k$. Пусть K_Q – конус, образованный k -мерными плоскостями $h \in K$, проходящими через точку $Q \in \mathbb{P}^n$. Будем считать, что размерность конуса K_Q меньше n .

Определение. Комплекс K назовем допустимым, если для всех плоскостей $h \in K$ и нефокальных точек $Q \in \mathbb{P}^n$ ($Q \in h$) касательная плоскость в любой нефокальной точке к конусу K_Q , содержащая h , определена единственным образом и зависит только от h .

Эти касательные плоскости назовем касательными вдоль плоскости h к конусу K_Q и обозначим через $\pi(h)$.

В работах [1–3] при $a = n$ определены, классифицированы и геометрически описаны допустимые комплексы двумерных плоскостей при $n = 5$ и $n = 6$.

В работе [4] некоторые результаты из [1–3] обобщены на n -мерный случай для произвольного $k \geq 2$.

В настоящей работе изучаются допустимые комплексы трехмерных плоскостей в проективном пространстве $\mathbb{P}^6$.

Наш выбор условий допустимости комплекса и самого этого термина объясняется тем, что допустимые комплексы прямых пространства $\mathbb{C}^n$, употребляемые в интегральной геометрии Гельфанда и Граева (см. [5–7]), при переходе в вещественное пространство $\mathbb{R}^{2n}$ дают подкласс допустимых в нашем смысле комплексов двумерных плоскостей [8].

Заметим, что имеются и другие определения, неэквивалентные нашим, допустимых комплексов k -мерных плоскостей (см. [9–11]).

Работа выполнена методом подвижного репера и внешних форм Картана [12].

2. Пусть $\mathbf{P}^6$ – шестимерное проективное пространство, $\{A_0, \dots, A_6\}$ – репер в пространстве $\mathbf{P}^6$. Уравнения инфинитезимального перемещения репера в пространстве $\mathbf{P}^6$ имеют вид

$$dA_i = \omega_i^j A_j, \quad i, j, l = 0, \dots, 6,$$

где формы ω_i^j удовлетворяют структурным уравнениям

$$d\omega_i^j = \omega_i^l \wedge \omega_l^j.$$

Главными на семействе трехмерных плоскостей, натянутых на точки A_0, A_N, A_3 , являются формы

$$\omega_0^4, \omega_0^\alpha, \omega_N^4, \omega_N^\alpha, \omega_3^4, \omega_3^\alpha, \quad \alpha, \beta = 5; 6, \quad N = 1; 2,$$

а на семействе четырехмерных плоскостей, натянутых на точки A_0, A_ξ , – формы

$$\omega_0^\alpha, \omega_\xi^\alpha, \quad \xi = 1; 2; 3; 4.$$

Пусть K – четырехпараметрическое семейство трехмерных плоскостей E^3 . Точку $Q \in \mathbf{P}^6$ назовем нефокальной, если через нее проходит однопараметрическое семейство трехмерных плоскостей E^3 , т.е. конус K_Q четырехмерный. Пусть семейство K допустимое. Обозначим через $\pi(E^3)$ касательную плоскость к семейству K вдоль плоскости E^3 , а через π – семейство плоскостей $\pi(E^3)$. Канонизируем репер так, чтобы точки $A_0, A_N, A_3 \in E^3$, а $A_0, A_\xi \in \pi(E^3)$. Будем считать, что формы ω_0^5, ω_1^6 линейно независимы. Тогда формы $\omega_0^5, \omega_1^6, \omega_4^\alpha$ образуют базис на семействе π . Условие допустимости семейства K означает, что на выбранном семействе реперов выполняются уравнения (см. [4])

$$\begin{cases} \omega_N^5 = A_{N5}^{50} \wedge \omega_0^5 + A_{N6}^{51} \omega_1^6 + A_{N\alpha}^{54} \omega_4^\alpha, \omega_0^6 = A_{05}^{60} \omega_0^5 + A_{06}^{61} \omega_1^6 + A_{0\alpha}^{64} \omega_4^\alpha, \\ \omega_2^6 = A_{25}^{60} \wedge \omega_0^5 + A_{26}^{61} \omega_1^6 + A_{2\alpha}^{64} \omega_4^\alpha, \omega_3^\alpha = A_{35}^{\alpha 0} \omega_0^5 + A_{36}^{\alpha 1} \omega_1^6 + A_{3\beta}^{\alpha 4} \omega_4^\beta. \end{cases} \quad (1)$$

Если продифференцировать уравнения (1) внешним образом, то получим,

$$\text{что} \quad \begin{cases} \Delta A_{N5}^{50} \wedge \omega_0^5 + \Delta A_{N6}^{51} \wedge \omega_1^6 + \Delta A_{N\alpha}^{54} \wedge \omega_4^\alpha = 0, \\ \Delta A_{35}^{\alpha 0} \wedge \omega_0^5 + \Delta A_{36}^{\alpha 1} \wedge \omega_1^6 + \Delta A_{3\beta}^{\alpha 4} \wedge \omega_4^\beta = 0, \\ \Delta A_{05}^{60} \wedge \omega_0^5 + \Delta A_{06}^{61} \wedge \omega_1^6 + \Delta A_{0\alpha}^{64} \wedge \omega_4^\alpha = 0, \\ \Delta A_{25}^{60} \wedge \omega_0^5 + \Delta A_{26}^{61} \wedge \omega_1^6 + \Delta A_{2\alpha}^{64} \wedge \omega_4^\alpha = 0, \end{cases}$$

где формы $\Delta A_{N5}^{50}, \Delta A_{N6}^{51}, \dots, \Delta A_{26}^{61}, \Delta A_{2\alpha}^{64}$ являются ковариантными дифференциалами указанных функций. Из выражений для этих форм видно, что репер $\{A_0, \dots, A_6\}$ можно канонизировать так, чтобы уравнения (1) приняли вид

$$\omega_1^5 = 0, \quad \omega_2^5 = A_{16}^{51} \omega_1^6, \quad \omega_3^5 = 0, \quad \omega_0^6 = 0, \quad \omega_2^6 = 0, \quad \omega_3^6 = A_{35}^{60} \omega_0^5. \quad (2)$$

Рассмотрим случай, когда $A_{16}^{51} \neq 0, A_{35}^{60} \neq 0$. Выражения для форм $\Delta A_{16}^{51}, \Delta A_{35}^{60}$ показывают, что репер можно канонизировать так, что $A_{16}^{51} = 1, A_{35}^{60} = 1$. Тогда уравнения (2) примут вид

$$\begin{cases} \omega_1^5 = 0, \omega_2^5 = \omega_1^6, \omega_3^5 = 0, \\ \omega_0^6 = 0, \omega_2^6 = 0, \omega_3^6 = \omega_0^5. \end{cases} \quad (3)$$

Дифференцируя уравнения (3) внешним образом и раскрывая по лемме Картана, получим, что

$$\begin{cases} \omega_1^0 = m\omega_0^5 + n\omega_1^6 + l\omega_4^5, \omega_1^2 - \omega_6^5 = n\omega_0^5 + g\omega_1^6 + s\omega_4^5, \\ \omega_1^4 = l\omega_0^5 + s\omega_1^6 + q\omega_4^5, \omega_2^0 - \omega_1^3 = \alpha\omega_0^5 + \beta\omega_1^6 - C\omega_4^5 - l\omega_4^6, \\ \omega_2^2 - \omega_5^5 - \omega_1^1 + \omega_6^6 = \beta\omega_0^5 + \gamma\omega_1^6 + E\omega_4^5 - s\omega_4^6, \\ \omega_2^4 = C\omega_0^5 + E\omega_1^6 - q\omega_4^6, \omega_3^0 - \omega_6^5 = Q\omega_0^5 + P\omega_1^6 + L\omega_4^5, \\ \omega_3^2 = P\omega_0^5 + M\omega_1^6 + N\omega_4^5, \omega_3^4 = L\omega_0^5 + N\omega_1^6 - p\omega_4^5, \\ \omega_0^3 - \omega_5^6 = a\omega_0^5 + b\omega_1^6 + c\omega_4^6, \omega_0^1 = b\omega_0^5 + t\omega_1^6 + h\omega_4^6, \\ \omega_0^4 = c\omega_0^5 + h\omega_1^6 + p\omega_4^6, \omega_2^3 = A\omega_0^5 + B\omega_1^6 + C\omega_4^6, \\ \omega_2^1 - \omega_5^6 = B\omega_0^5 + D\omega_1^6 + E\omega_4^6, \omega_3^1 - \omega_0^2 = \pi\omega_0^5 + \mu\omega_1^6 - h\omega_4^5 + N\omega_4^6, \\ \omega_3^3 - \omega_6^6 - \omega_0^0 + \omega_5^5 = \sigma\omega_0^5 + \pi\omega_1^6 - c\omega_4^5 + L\omega_4^6. \end{cases} \quad (4)$$

Выясним геометрический смысл этих уравнений. Для этого сначала продифференцируем формы, которые смещают нашу трехмерную плоскость E^3 , т.е. формы $\omega_0^4, \omega_1^4, \omega_3^4$. Получим, что $p=1, q=0, c=0, h=0, s=0, E=0, L=0, N=0$. Рассмотрим подслучай, когда $l=0, C=0$. Раскрывая результат дифференцирования уравнений $\omega_0^4 = \omega_4^6, \omega_1^4 = 0, \omega_2^4 = 0, \omega_3^4 = -\omega_4^5$ по лемме Картана, получим уравнения

$$\begin{cases} \omega_5^4 + \omega_4^3 = a_1\omega_0^5 + a_2\omega_1^6 + a\omega_4^5 + a_3\omega_4^6, \omega_1^3 = b_2\omega_1^6 + b_3\omega_4^5, \\ \omega_4^1 = a_2\omega_0^5 + a_4\omega_1^6 + b\omega_4^5 + a_5\omega_4^6, \omega_2^0 = -t_3\omega_1^6 - t_4\omega_4^6, \\ 2\omega_4^4 - \omega_0^0 - \omega_6^6 = a_3\omega_0^5 + a_5\omega_1^6 + a_6\omega_4^6, \omega_6^4 = b_1\omega_1^6 + b_2\omega_4^5 - n\omega_4^6, \\ \omega_5^5 = t_1\omega_1^6 + B\omega_4^5 + t_2\omega_4^6, \omega_4^0 - \omega_6^4 = U_1\omega_0^5 + u_2\omega_1^6 + u_3\omega_4^5 + Q\omega_4^6, \\ \omega_4^2 = u_2\omega_0^5 + u_4\omega_1^6 + u_5\omega_4^5 + P\omega_4^6, 2\omega_4^4 - \omega_3^3 - \omega_5^5 = U_3\omega_0^5 + u_5\omega_1^6 + u_6\omega_4^5, \\ A=0, m=0. \end{cases} \quad (5)$$

Из уравнений (4) и (5), сравнивая выражения для формы $\omega_2^0 - \omega_1^3$, находим, что $\alpha=0, b_3=0, t_4=0, \beta=-(t_3 + b_2)$. Непосредственная проверка показывает, что уравнение $\omega_1^6 = 0$ вполне интегрируемое. Полагая в уравнениях (4) и (5) форму $\omega_1^6 = 0$, мы, в частности, найдем, что

$$\omega_3^0 - \omega_6^5 = Q\omega_0^5, \omega_0^3 - \omega_5^6 = a\omega_0^5, \omega_3^3 + \omega_5^5 - \omega_6^6 - \omega_0^0 = \sigma\omega_0^5.$$

Продифференцируем эти уравнения внешним образом. Получим, что

$$\begin{cases} \Delta Q \wedge \omega_0^5 = 0, \Delta a \wedge \omega_0^5 + 2a\omega_4^5 \wedge \omega_4^6 = 0, \\ \Delta \sigma \wedge \omega_0^5 + (a_3 - u_3 - \sigma) \wedge \omega_4^6 \wedge \omega_4^5 = 0, \end{cases} \quad (6)$$

где $\Delta Q, \Delta a$ — ковариантные дифференциалы указанных функций. Из уравнений (6) имеем $a=0, \sigma=a_3-u_3$. За счет канонизации репера получаем, что $Q=0, \sigma=0$. Но тогда $a_3=u_3$. Применяя к уравнениям (6) лемму Картана и вновь канонизируя репер, мы получаем следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \omega_1^0 = 0, \omega_1^3 = 0, \omega_1^4 = 0, \omega_1^5 = 0, \omega_1^6 = 0, \omega_2^0 = 0, \omega_2^3 = 0, \\ \omega_2^4 = 0, \omega_2^5 = 0, \omega_2^6 = 0, \omega_0^6 = 0, \omega_0^0 = 0, \omega_3^5 = 0, \omega_3^3 = 0, \\ \omega_3^6 = \omega_0^5, \omega_0^4 = \omega_4^6, \omega_3^4 = -\omega_4^5, \omega_3^0 = \omega_6^5, \\ \omega_4^0 = \omega_6^5, \omega_0^3 = \omega_5^6, \omega_4^3 = -\omega_5^4, \omega_6^3 = \omega_0^5, 2\omega_4^4 - \omega_0^0 - \omega_6^6 = 0, \\ \omega_3^3 + \omega_5^5 - \omega_6^6 - \omega_0^0 = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Непосредственная проверка показывает, что система уравнений (7) вполне интегрируема. Выясним геометрию этих уравнений. Как известно, проективное пространство $\mathbf{P}^6$ получено путем факторизации семимерного пространства V^7 по отношению к коллинеарности. Уравнения (7) – это уравнения на формы смещения проективного репера $\{A_0, \dots, A_6\}$ или, что то же самое, векторного репера в определяющем $\mathbf{P}^6$ векторном пространстве V^7 . Первые две строки системы (7) показывают, что в проективном пространстве $\mathbf{P}^6$ зафиксирована прямая, проходящая через точки A_1 и A_2 . С другой стороны, в векторном пространстве V^7 фиксировано (с точностью до множителя) скалярное произведение, для которого $(A_0, A_6) = (A_3, A_5) = (A_4, A_4) = \lambda \neq 0$, а остальные $(A_i, A_k) = 0$. Действительно, если продифференцировать эти равенства внешним образом, то в силу уравнений (7) получим лишь вполне интегрируемое уравнение $d\lambda + \lambda(\omega_0^0 + \omega_6^6) = 0$.

Итак, в пространстве V^7 определена (с точностью до множителя) метрика (A, B) . Множество изотропных векторов этой метрики определяются уравнением $(A, A) = 0$. Пусть $A = x^i A_i$. Тогда множество изотропных векторов этой метрики образует конус, уравнение которого $(x^4)^2 + 2x^0x^6 + 2x^3x^5 = 0$. Образ этого конуса в проективном пространстве $\mathbf{P}^6$ – конус с одномерной вершиной, проходящей через прямую (A_1A_2) . Этот конус имеет трехпараметрическое семейство трехмерных плоских образующих, одной из которых является наша трехмерная плоскость E^3 , проходящая через точки A_0, A_1, A_2, A_3 (остальные образующие получаются из нее преобразованиями, оставляющими конус на месте). Эти преобразования выделяются из всех проективных преобразований системой уравнений (7).

Из уравнений (7) видно, что главными на семействе трехмерных плоскостей E^3 являются формы $\omega_0^5, \omega_4^5, \omega_4^6$. Если в трехмерной плоскости E^3 зафиксировать некоторую нефокальную точку $A = x^u A_u, u = 0; 1; 2; 3$, т.е. $|x^0| + |x^1| + |x^2| + |x^3| > 0$, то тем самым фиксируется и некоторая четырехмерная плоскость, касательная к вышеуказанному конусу и натянутая на точки A_u, A_4 . Если выделено однопараметрическое семейство таких конусов, то через нефокальную точку пространства $\mathbf{P}^6$ пройдет только один такой конус, при этом семейство плоскостей E^3 явится образующим и касательным к конусу.

Итак, трехпараметрическое семейство трехмерных плоскостей допустимо в нашем смысле, а однопараметрическое – подобных конусов в проективном пространстве $\mathbf{P}^6$ дает четырехпараметрическое допустимое семейство трехмерных плоскостей E^3 .

Тем самым доказана следующая

Теорема. Пусть в проективном пространстве P^6 дано однопараметрическое семейство конусов второго порядка с одномерной вершиной и трехмерными плоскими образующими. Оно определяет в пространстве P^6 четырехпараметрическое допустимое семейство трехмерных плоскостей E^3 , которыми являются все трехмерные образующие к этим конусам.

Кафедра алгебры и геометрии

Поступила 18.01.2001

ЛИТЕРАТУРА

1. Нерсисян В.А. – ДАН Арм.ССР, 1980, т.70, №3, с.151–155.
2. Нерсисян В.А. – Ученые записки ЕГУ, 1981, №1, с.13–18.
3. Нерсисян В.А. – Ученые записки ЕГУ, 1983, №2, с.13–19.
4. Нерсисян В.А. – Ученые записки ЕГУ, 1986, №2, с.34–38.
5. Гельфанд И.М., Граев М.И. – Функци. анализ и его приложения. М., 1968, т.2, в.3, с.39–52.
6. Майус К. – Там же. М., 1973, т.7, в.1, с.79–81.
7. Гельфанд И.М., Граев М.И. – Там же. М., 1991, т.25, в.1, с.1–6.
8. Нерсисян В.А. – ДАН Арм.ССР, 1980, т.70, №5, с.280–285.
9. Кругляков Л.З. – Функци. анализ и его приложения. М., 1982, т.16, в.3, с.66–67.
10. Кольцова С.В. – Функци. анализ, 1977, №9, с.84–92.
11. Бубякин И.В. – Функци. анализ и его приложения. М., 1991, т.25, в.3, с.73–76.
12. Фиников С.П. Метод внешних форм Картана. М.–Л.: ГИТТЛ, 1948.

ՎԱՆԵՐՍԵՍԻԱՆ

ԵՌԱԶԱԲ ՀԱՐԹՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԹՈՒՅԼԱՏՐԵԼԻ ԿՈՄՊԼԵՔՍՆԵՐԸ
 P^6 ՊՐՈՅԵԿՏԻՎ ՏԱՐԱԾՈՒԹՅԱՆ ՄԵՋ: I

Ամփոփում

Աշխատանքում ուսումնասիրվում են եռաչափ հարթությունների թույլատրելի կոմպլեքսները P^6 պրոյեկտիվ տարածության մեջ: Ապացուցվում է, որ միաչափ զագաթով և եռաչափ հարթ ծնիչներով մեկ պարամետրից կախված երկրորդ կարգի կոնների ընտանիքը P^6 -ում որոշում է չորս պարամետրից կախված E^3 հարթությունների ընտանիքը, որոնք այդ կոնների բոլոր եռաչափ ծնիչներն են:

V.A. NERSESIAN

POSSIBLE COMPLEXES OF THREE-DIMENSIONAL PLANES IN PROJECTIVE SPACE P^6 . I

Summary

In the work possible complexes of three-dimensional planes in six-measured projective space P^6 are studied. It's proved that one-parametric family of cones of second order in P^6 with univariate top and with three-dimensional flat forming defines four-parametric possible family of planes E^3 which are all three-dimensional forming to this cones.

УДК 519.682.1

А.М. АМБАРЦУМЯН

ОБ ИНТЕРПРЕТАТОРЕ ПРОСТОГО МОНАДИЧЕСКОГО ПРОЛОГА

В работе рассмотрены вопросы преобразования ПРОЛОГ-программ и ПРОЛОГ-запросов с целью повышения интеллектуальных возможностей интерпретатора. Для некоторого подмножества ПРОЛОГа доказаны невозможность преобразования программ и запросов к виду, позволяющему интерпретатору остановиться с определенным ответом, и возможность преобразования к виду, допускающему остановку в случае положительного ответа.

Введение. В данной работе обсуждаются вопросы, относящиеся к расширению интеллектуальных способностей логических систем программирования посредством преобразований их программ и запросов. Предметом нашего исследования является система ПРОЛОГ [1].

Известно (см. [2, 3]), что интерпретатор ПРОЛОГа является логически корректным (т. е. не лжет), однако не является логически полным (т. е. отвечает не на все запросы, являющиеся логическим следствием программы). С другой стороны, результат работы интерпретатора зависит от порядка предложений программы и от порядка атомов в телах предложений и запроса. В [4] было показано, что, переставляя и удаляя предложения ПРОЛОГ-программ и переставляя атомы в телах правил ПРОЛОГ-программ и ПРОЛОГ-запросов, интерпретатор ПРОЛОГа невозможно довести до логически полного уже в случае простого монадического ПРОЛОГа (т. е. ПРОЛОГа, не использующего встроенные предикаты и использующего только 0-местные функциональные символы и предикатные символы местности 0 и 1). Мы рассматриваем простой монадический ПРОЛОГ, программы которого используют не более одного повторяющегося предикатного символа в головах предложений. Доказывается, что, используя описанные выше преобразования, невозможно довести интерпретатор описанной версии ПРОЛОГа до разрешающего, но можно довести его до логически полного.

Работа состоит из введения и двух разделов. В первом разделе приведены используемые определения и результаты, во втором – изложены полученные результаты.

1. Используемые понятия и результаты. Зададимся тремя непересекающимися счетными множествами X , F_0 , P_1 . X – множество предметных переменных, F_0 – множество 0-местных функциональных символов, P_1 – множество 0- и 1-местных предикатных символов, такое, что подмножество предикатных символов каждой местности счетно. Дадим определение атома.

1. Всякий 0-местный предикатный символ из Π_1 есть атом.
2. Если p – 1-местный предикатный символ, а $t \in X \cup F_0$, то $p(t)$ есть атом.
3. Других атомов нет.

Из атомов с помощью логических операций $\neg, \vee, \&, \supset$ и кванторов $\forall, \exists$ строятся формулы:

1. Каждый атом – формула.
2. Если A, B – формулы, x – переменная, то $\neg(A), (A) \& (B), (A) \vee (B), (A) \supset (B), \forall x (A), \exists x (B)$ – формулы.
3. Других формул нет.

Множество формул обозначим через Φ .

Опишем рассматриваемые нами интерпретации. Предметным множеством этих интерпретаций будет множество $M = F_0$. Каждому символу из F_0 сопоставляется он сам. Каждому 0-местному предикатному символу из Π_1 сопоставляется один из элементов множества $\{\text{true}, \text{false}\}$, а каждому 1-местному символу из Π_1 – некоторое отображение $M \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$. Обозначим описанное множество интерпретаций через H .

Пусть $A, B \in \Phi$. Будем говорить, что формула B является логическим следствием формулы A , и обозначать $A \models B$, если формула $(A) \supset (B)$ принимает значение *true* на всех интерпретациях из H .

Пусть $\Phi' \subset \Phi$, и $\Phi' \neq \emptyset$. Под преобразованием формул множества Φ' будем понимать пару (A, A') , где $A, A' \in \Phi'$ (см. [4]). Пусть T – некоторое непустое множество преобразований формул множества Φ' . Будем говорить, что формула $A \in \Phi'$ T -преобразуема в формулу $B \in \Phi'$ ($A \xrightarrow{T} B$), если существует такая последовательность преобразований $(A_1, A_2), (A_2, A_3), \dots, (A_{n-1}, A_n)$, принадлежащих T , что $A_1 = A, A_n = B, n > 1$. В этом случае формулу B назовем T -образом формулы A .

Определим множество программ *Prog* простого монадического ПРОЛОГа. Программа $P \in \text{Prog}$ отождествляется с формулой вида

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

где S_i – дизъюнкт Хорна $A_i \vee \neg B_{i1} \vee \dots \vee \neg B_{im_i}, A_i, B_{ij}$ – атомы, $j = 1, \dots, m_i, m_i \geq 0, i = 1, \dots, n, n > 0$, а $x_1, \dots, x_r (r \geq 0)$ – все переменные, использованные в дизъюнктах $S_1, \dots, S_n$. В соответствии с синтаксисом ПРОЛОГа программа P записывается в виде последовательности дизъюнктов $S_1, \dots, S_n$. Дизъюнкты называются предложениями и записываются в виде $A_i :- B_{i1}, \dots, B_{im_i}$. Атом A_i называется головой, а последовательность $B_{i1}, \dots, B_{im_i}$ – телом предложения $S_i, m_i \geq 0, i = 1, \dots, n$. При $m_i = 0$ предложение S_i называется фактом, а при $m_i > 0$ – правилом.

Определим множество запросов *Quer* простого монадического ПРОЛОГа. Запрос $Q \in \text{Quer}$ отождествляется с формулой вида

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

где $C_1, \dots, C_k$ – атомы, а $y_1, \dots, y_s (s \geq 0)$ – все переменные, использованные в них. В соответствии с синтаксисом ПРОЛОГа запрос Q записывается в виде $?-C_1, \dots, C_k$. Число k называют длиной запроса Q .

Опишем работу интерпретатора простого монадического ПРОЛОГа U . Для этого введем некоторые понятия.

Атомы A и B назовем унифицируемыми, а подстановку σ — их наиболее общим унификатором, если $A = p(t_1)$, $B = p(t_2)$ и

- а) либо t_1 и t_2 — различные переменные и $\sigma = \{t_1/t_2\}$ (или $\sigma = \{t_2/t_1\}$);
- б) либо t_1 — переменная, t_2 — 0-местный функциональный символ и $\sigma = \{t_2/t_1\}$;
- в) либо t_1 — 0-местный функциональный символ, t_2 — переменная и $\sigma = \{t_1/t_2\}$;
- г) либо t_1 и t_2 — один и тот же 0-местный функциональный символ или одна и та же переменная, а $\sigma = \epsilon$, где ϵ — пустая подстановка.

Введем понятие правила вывода ρ . Правило вывода ρ применимо к запросу Q : $?-C_1, \dots, C_k$ ($k > 0$) и предложению S : $A :- B_1, \dots, B_m$ ($m \geq 0$), если Q и S не имеют общих переменных и C_{i_0} с A унифицируемы (индекс i_0 определяется конкретным правилом ρ). В этом случае результат применения правила вывода есть запрос $?-C_1\sigma, \dots, C_{i_0-1}\sigma, B_1\sigma, \dots, B_m\sigma, C_{i_0+1}\sigma, \dots, C_k\sigma$, который обозначается через $\rho(S, Q)$, где σ — наиболее общий унификатор C_{i_0} и A . Если в последовательности $Q_1, \dots, Q_n$ запрос $Q_{i+1} = \rho(S_{i_1}, Q_i)$, $1 \leq i < n$, где S_{i_1} — некоторое предложение программы P , то такую последовательность запросов называют ρ -выводом запроса Q_n из программы P и запроса Q_1 (или просто выводом, если нам не важно, какое именно правило ρ было использовано).

Работа интерпретатора ПРОЛОГа основана на правиле вывода ρ_1 , которое всегда выбирает первый атом запроса, и на стратегии его применения. Стратегия применения правила вывода в случае интерпретатора ПРОЛОГа основана на порядке предложений программы. Функционирование интерпретатора заключается в конструировании то удлиняющейся, то укорачивающейся последовательности запросов. Если в последовательности появляется пустой запрос, то интерпретатор останавливается с положительным ответом, если же пустой запрос не появился и дальнейшее конструирование последовательности невозможно, то интерпретатор останавливается с отрицательным ответом. Также возможно и бесконечное функционирование интерпретатора. Опишем алгоритм работы интерпретатора простого монадического ПРОЛОГа (который получается из более общего алгоритма интерпретатора ПРОЛОГа, описанного в [3]). Пусть $P \in \text{Prog}$, $Q \in \text{Quer}$.

Шаг 1. Q_1 взять равным Q , $i := 1$, опустошить стек.

Шаг 2. Если Q_i — пустой запрос, то остановиться с положительным ответом, иначе перейти к шагу 3.

Шаг 3. Просмотреть предложения P согласно их порядку следования до первого такого предложения S_k , что правило вывода ρ_1 применимо к S_k и Q_i . Если такое S_k существует, то $Q_{i+1} := \rho_1(S_k, Q_i)$, $i := i+1$, k поместить в стек и перейти к шагу 2, иначе перейти к шагу 4.

Шаг 4. Если $i = 1$, то остановиться с отрицательным ответом, иначе перейти к шагу 5.

Шаг 5. Считать верхний элемент стека. Пусть он равен d . Просмотреть предложения P , начиная с S_d , согласно их порядку, до первого такого S_j ($j >$

d), что ρ_i применимо к S_j и $Q_{i,j}$. Если такое S_j существует, то заменить старый запрос Q на новый $Q_i = \rho_i(S_j, Q_{i,j})$, j поместить в стек и перейти к шагу 2, иначе ликвидировать Q_i , $i := i-1$ и перейти к шагу 4.

Результат применения U к P и Q обозначим $U(P, Q)$.

Воспользуемся также следующими понятиями и обозначениями, введенными в [4].

Пусть $P \in \text{Prog}$. Тогда

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

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

Пусть $P_1, P_2 \in \text{Prog}$. Будем говорить, что P_1 и P_2 Δ -эквивалентны (обозначим $P_1 \sim P_2$), если $\text{Yes}(P_1) = \text{Yes}(P_2)$.

Будем говорить, что запрос $?-C_1, \dots, C_k$ подобен запросу $?-C_1, \dots, C_k$, если $C_1, \dots, C_k$ есть перестановка $C_1, \dots, C_k$, $k > 0$. Будем говорить, что предложение $A :- B_1, \dots, B_m$ подобно предложению $A :- B_1, \dots, B_m$, если $B_1, \dots, B_m$ есть перестановка $B_1, \dots, B_m$, $m \geq 0$. Программу $P' = S_1, \dots, S_n$ назовем подобной программе $P = S_1, \dots, S_n$, если предложение S_i подобно предложению S_i , $i = 1, \dots, n$, $n > 0$. Программу P' назовем перестановкой (подпоследовательностью) программы P , если последовательность предложений P' есть перестановка (подпоследовательность) последовательности предложений P .

Мы будем использовать следующую систему преобразований (см. [4]) программ Prog и запросов Quer :

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

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

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

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

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

В [4] было доказано, что не для каждой программы $P \in \text{Prog}$ и не для каждого запроса $Q \in \text{Quer}$ существуют программа $P' \in \text{Prog}$ и запрос $Q' \in \text{Quer}$ такие, что $P \xrightarrow{T} P', Q \xrightarrow{T_q} Q', P \stackrel{\Delta}{\sim} P', Q \in \text{Yes}(P) \Rightarrow Q' \in \text{Ans}(U, P')$. Иначе говоря, используя преобразования систем T и T_q , невозможно довести интерпретатор ПРОЛОГа до логически полного.

2. Простой монадический пролог с одним повторяющимся предикатным символом. Предикатный символ p , используемый в программе P , назовем повторяющимся, если число предложений P , головы которых используют p , больше 1. Обозначим через Prog_1 множество программ из Prog , использующих не более 1 повторяющегося предикатного символа.

Теорема 1. Не для каждой программы $P \in \text{Prog}_1$ и не для каждого запроса $Q \in \text{Quer}$ существуют программа P' и запрос Q' такие, что $P \xrightarrow{T} P', Q \xrightarrow{T_q} Q', P \stackrel{\Delta}{\sim} P'$ и $Q' \in \text{Ans}(U, P')$.

Доказательство. Рассмотрим следующие программу P и запрос Q .

Программа P :

$p(a).$

$s(b) :- p(x).$

$u(a) :- p(x).$

$p(x) :- p(y).$

Запрос Q :

$?-s(x), u(x).$

Очевидно, что любой T -образ программы P есть подпоследовательность некоторой перестановки P , а любой T_q -образ запроса Q подобен Q . Легко видеть, что для любой перестановки P' программы P и для любого T_q -образа Q' запроса Q $Q' \notin \text{Ans}(U, P')$. Также легко заметить, что для любой собственной подпоследовательности P'' любой перестановки программы P $P \not\rightarrow^{\Delta} P''$.

Теорема 1 доказана.

Содержательный смысл теоремы 1 состоит в следующем: невозможно, используя преобразования систем T и T_q , довести интерпретатор простого монадического ПРОЛОГа до разрешающего в случае программ из Prog_1 .

Теорема 2. Для любой программы $P \in \text{Prog}_1$ существует Δ -эквивалентный ей T -образ P' такой, что для любого запроса $Q \in \text{Quer}$ существует T_q -образ Q' такой, что $Q \in \text{Yes}(P) \Rightarrow Q' \in \text{Ans}(U, P')$.

Содержательно теорема 2 утверждает следующее: используя преобразования систем T и T_q , возможно довести интерпретатор простого монадического ПРОЛОГа до логически полного в случае программ из Prog_1 .

Перед тем, как перейти к непосредственному доказательству теоремы 2, сформулируем ряд понятий.

Пусть $Q_1, \dots, Q_n$ – вывод из программы P и запроса $?-u(x)$, и пусть Q_n использует переменную u . Будем говорить, что переменная u является потомком переменной x , если $\{u/x\} \subset \sigma_1 \dots \sigma_{n-1}$, где σ_i – подстановка, использованная для получения Q_{i+1} из Q_i , $i = 1, \dots, n-1$. Также будем предполагать, что атомы в телах предложений и запросах не повторяются; очевидно, это предположение не влияет на суть проблемы.

Доказательство теоремы 2. Пусть $P \in \text{Prog}_1$ и p – повторяющийся предикатный символ программы P (если таковой имеется). Вначале покажем, что существует такой T -образ P' программы P , что для любого запроса Q , принадлежащего простому монадическому ПРОЛОГу, существует такой его T_q -образ Q' , что $Q' \in \text{Yes}(P') \Rightarrow Q' \in \text{Ans}(U, P')$. После этого докажем Δ -эквивалентность исходной и полученной программ. Введем следующие понятия.

Предложения, использующие предикатный символ p в головной части, для краткости будем называть p -предложениями.

Вывод $Q_1, \dots, Q_n$ из программы P и запроса Q_1 назовем атомарным, если $Q_i = ?-C_{i1}, \dots, C_{ik}$ и существует j , $1 \leq j \leq k$, $Q_{i+1} = p(S, ?-C_{ij})$ для некоторого предложения $S \in P$, $1 \leq i \leq n$.

Правило $A :- B_1, \dots, B_m$ назовем бесполезным правилом первого рода, ес-

ли существует атомарный вывод $Q_1, \dots, Q_n$ из программы P и запроса $?-B_1, \dots, B_m$, не использующий p -предложений, но использующий предложение, в голове которого использован предикатный символ, входящий в состав запроса Q_n .

Правило $A :- B_1, \dots, B_m$, не являющееся бесполезным правилом первого рода, назовем бесполезным правилом второго рода, если A имеет вид $p(x)$, где p – повторяющийся предикатный символ, а x – переменная, и существует вывод $Q_1, \dots, Q_n$ из программы P и запроса $?-B_1, \dots, B_m$ такой, что Q_n использует $p(y)$, где y – потомок x .

Правило $A :- B_1, \dots, B_m$ назовем полезным правилом первого рода, если A не использует повторяющийся предикатный символ и $A :- B_1, \dots, B_m$ не является бесполезным правилом первого рода.

Правило $A :- B_1, \dots, B_m$ назовем полезным правилом второго рода, если A использует повторяющийся предикатный символ, $A :- B_1, \dots, B_m$ не является бесполезным правилом первого рода и никакой вывод из программы P и запроса $?-B_1, \dots, B_m$ не использует p -предложения.

Остальные правила назовем полезными правилами третьего рода. Легко видеть, что это такие правила $A :- B_1, \dots, B_m$, где A использует повторяющийся предикатный символ, и существует вывод $Q_1, \dots, Q_n$ из программы P и запроса $?-B_1, \dots, B_m$ такой, что Q_n использует p , но $A :- B_1, \dots, B_m$ не является бесполезным правилом второго рода.

Опишем преобразование программы P . Оно выполняется в два этапа. На первом этапе над каждым предложением S_i программы P выполняется следующее преобразование класса T_2 . Для каждого атома вида $u(x)$ в теле S_i , где x – переменная, выполняется следующее: если существует вывод $Q_1, \dots, Q_n$ из программы P и запроса $?-u(x)$, не использующий p -предложений, такой, что Q_n использует атом $p(y)$, где y – либо потомок переменной x , либо сама переменная x , и ни один из остальных атомов в Q_n не использует y , то $u(x)$ переносится в конец тела предложения S_i . После этого, если среди оставшихся атомов имеется атом B , использующий головную переменную предложения (при условии, что в голове использована переменная, иначе этот шаг пропускается), и существует вывод из запроса $?-B$, не использующий p -предложений, в ходе которого переменная атома B получает значение, то такой атом переносится в начало тела предложения. Если таких атомов несколько, переносится один из них (любой). На этом преобразование T_2 завершается. Обозначим программу, полученную в результате этого преобразования, через P_1 . Опишем второй этап преобразования, заключающийся в перестановке и удалении предложений программы P_1 (преобразования классов T_1 и T_3). Преобразованная программа P' начинается предложениями группы *Facts*, состоящей из всех фактов программы P_1 . Взаимное расположение предложений в группе *Facts* произвольно. За группой *Facts* следует группа *Rules*₁, состоящая из всех полезных правил первого рода. Взаимное расположение предложений в *Rules*₁ произвольно. За *Rules*₁ следует группа *Rules*₂, состоящая из всех полезных правил второго рода. Взаимное расположение предложений в *Rules*₂ произвольно. За *Rules*₂ следует группа *Rules*₃, состоящая из некоторых полезных правил третьего рода. Опишем состав и порядок предложений *Rules*₃.

Объединим полезные правила третьего рода в подгруппы *Rules*_{3,1}, ..., *Rules*_{3,m} и *Rules*_{3'}, где $Rules_{3,i} = \{A :- B_1, \dots, B_n \mid U(Facts \cup Rules_1 \cup Rules_2$

$\bigcup_{j=1}^{i-1} Rules_{3,j} \}, ?-B_1, \dots, B_m) = yes\}$, $Rules_3' = Rules_3 \setminus (\bigcup_{j=1}^{i-1} Rules_{3,j})$. Группа $Rules_3$

начинается предложениями подгруппы $Rules_{3,i}$, и для каждого $i=1, \dots, m-1$ за подгруппой $Rules_{3,i}$ следует подгруппа $Rules_{3,i+1}$. Порядок предложений в каждой подгруппе произволен. Предложения программы P_1 , не вошедшие в описанные группы, удаляются.

Преобразование T_q над запросом к уже преобразованной программе выполняется по тому же алгоритму, что и преобразование T_2 . При этом запрос рассматривается как тело предложения, голова которого не использует переменную.

Можно показать, что P' и Q' и есть искомая программа и искомый запрос.

Теорема 2 доказана.

Замечание. Вместо преобразований T в предыдущей теореме можно взять $T_1 \cup T_2$. Для этого достаточно после проведенного преобразования добавить в конец программы удаленные предложения (бесполезные правила первого и второго родов и подгруппу $Rules_3'$).

Проиллюстрируем на примере доказательство теоремы 2. Рассмотрим следующую программу P :

$p(x) :- p(c).$
 $p(b) :- p(a).$
 $s(b).$
 $r(a) :- p(x), w(x).$
 $p(a) :- r(a).$
 $p(b) :- s(b).$
 $q(x) :- t(x).$
 $t(x) :- q(x).$
 $p(x) :- p(x).$
 $p(x) :- v(x).$
 $v(x) :- p(y), s(y), p(x), s(x).$
 $w(x) :- s(b).$
 $p(x) :- q(x).$

После преобразования тел предложений четвертое и одиннадцатое предложения принимают следующий вид соответственно:

$r(a) :- w(x), p(x).$
 $v(x) :- s(x), s(y), p(x), p(y).$

Остальные предложения остаются без изменений.

Теперь произведем разделение предложений на группы. Группа *Facts* состоит из одного предложения $s(b)$. Бесполезные правила первого рода:

$q(x) :- t(x).$
 $t(x) :- q(x).$
 $p(x) :- q(x).$

Бесполезные правила второго рода:

$p(x) :- p(x).$
 $p(x) :- v(x).$

Полезные правила первого рода (группа $Rules_1$):

$r(a) :- w(x), p(x).$
 $v(x) :- s(x), s(y), p(x), p(y).$
 $w(x) :- s(b).$

Полезные правила второго рода (группа $Rules_2$):

$p(b) :- s(b).$

Подгруппа $Rules_{3,1}$:

$p(a) :- r(a).$

Подгруппа $Rules_{3,2}$:

$p(b) :- p(a).$

Подгруппа $Rules_3'$:

$p(x) :- p(c).$

Таким образом, преобразованная программа примет следующий вид:

$s(b).$

$r(a) :- w(x), p(x).$

$v(x) :- s(x), s(y), p(x), p(y).$

$w(x) :- s(b).$

$p(b) :- s(b).$

$p(a) :- r(a).$

$p(b) :- p(a).$

Стоит также проиллюстрировать важность переноса атома, использующего переменную головного атома, в начало предложения. Рассмотрим следующую программу:

$s(b).$

$p(a).$

$u(a) :- p(x).$

$p(x) :- u(y), s(x).$

$p(x) :- p(y).$

Данная программа не нуждается в вышеописанном преобразовании, за исключением перестановки атомов $u(y)$ и $s(x)$ в теле четвертого предложения. Если обратиться к ней с запросом $?-p(c)$, то интерпретатор не остановится с положительным ответом, хотя запрос является логическим следствием программы. Для исправления положения нужно поменять местами атомы $u(y)$ и $s(x)$ в четвертом предложении.

Кафедра алгоритмических языков

Поступила 05.10.2000

ЛИТЕРАТУРА

1. Clocksin W. F., Mellish C. S. Programming in Prolog. Berlin: Springer-Verlag, 1984.
2. Lloyd J. W. Foundations of Logic Programming. Berlin: Springer-Verlag, 1984.
3. Нигиян С. А. – Программирование, 1994, №2, с. 64–73.
4. Нигиян С. А., Хачоян Л. О. – Программирование, 1997, №6, с. 17–28.

Ա.Մ. ՀԱՄԲԱՐԶՈՒՄՅԱՆ

ՊԱՐՁ ՄՈՆԱԴԻԿ PROLOG-Ի ՄԵԿՆԱԲԱՆԻՉԻ ՄԱՍԻՆ

Ամփոփում

Աշխատանքում դիտարկվում են PROLOG ծրագրերի և PROLOG հարցումների ձևափոխությունների հարցերը՝ մեկնաբանիչի ինտելեկտուալ հնարավորությունները բարձրացնելու նպատակով: PROLOG-ի որոշ ենթաբազմության համար ապացուցվում են հետևյալ արդյունքները.

ա) անհնար է ձևափոխել այդ ենթաբազմության կամայական ծրագիր և հարցում այնպես, որպեսզի ինտերպրետատորը կանգ առնի հստակ պատասխանով;

բ) եթե հարցումը հանդիսանում է ծրագրի տրամաբանական հետևանք, ապա այդպիսի ձևափոխումը հնարավոր է:

A. M. HAMBARDZUMYAN

ON SIMPLE MONADIC PROLOG INTERPRETER

Summary

In this paper we discuss questions concerning transformations of PROLOG-programs and PROLOG-queries intended for extension of intellectual abilities of the interpreter. Some subset of simple monadic PROLOG is considered. It is proved that one cannot transform any program and query from this subset in such a way that the interpreter will always stop with a definite answer, but it is possible to do it if the query is a logical consequence of the program.

УДК 62.50

А.А. ГУКАСЯН, Т.А. СИМОНЯН

ОБ ИГРОВОМ ПОДХОДЕ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ДВУХЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА

Методом экстремального прицеливания рассматриваются игровые задачи управления движением двухзвенного манипулятора. В общем случае исследуются задачи сближения и уклонения линейных систем. Для определенности решены две задачи сближения схвата манипулятора к целевому множеству со скоростью и по координате, а также две задачи уклонения от целевого множества со скоростью и по координате.

Введение. Совершенствование конструкции и системы управления робота во многом предполагает обеспечение плавного и контролируемого движения исполнительных органов, свойственных биотехническим объектам. При математическом моделировании движений звеньев, схвата, основания и других частей манипулятора часто трудно учитывать все те факторы, которые могут возникнуть в процессе движения. Контроль над движением в таких ситуациях предполагает осуществление двумя или несколькими управляющими воздействиями, которые могут содействовать или противодействовать друг другу в процессе движения в зависимости от складывающейся ситуации. Его можно осуществить различными способами, напр., выполнением того или иного критерия, который формируется заранее или в процессе движения. Математические методы создания систем управления указанных типов могут быть теоретико-игровыми подходами в различных постановках [1], методами гарантированного управления [2], стохастическими методами управления [3] и др.

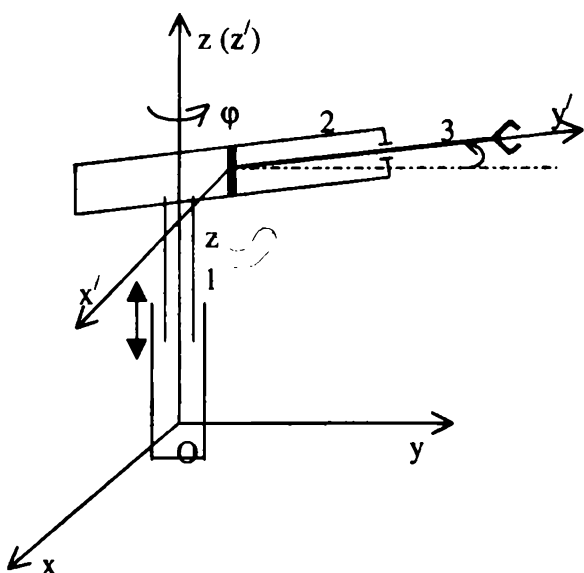
В работе делается попытка создать систему управления вышеуказанного типа для управления двухзвенного манипулятора с двумя степенями подвижности. Предполагается, что управления по степеням подвижности осуществляются двумя управляющими воздействиями, а критериями контроля – обеспечение изменения фазовых координат системы в некоторых областях фазового пространства в различные моменты времени. Исследования проводятся методом экстремального прицеливания в игровых задачах [1].

1. Математическая модель манипулятора и постановка игровой задачи управления. Рассматривается манипулятор типичной конструкции [4], кинематическая схема которого представлена на рисунке.

Уравнение движения манипулятора по степеням подвижности z , φ при

$g = 0$ описывается следующими дифференциальными уравнениями [6]:

$$\begin{aligned} I_1 \ddot{\varphi} &= Q_1, \\ I_2 \ddot{z} &= Q_2, \end{aligned} \quad (1.1)$$



где I_1 – суммарный момент инерции вала (1), направляющей (2) и звена с грузом на схвате (3) относительно оси вращения OZ . $I_2 = m_1 + m_2 + m_3$: m_1 – суммарная масса вала и направляющей, m_2 – масса звена, а m_3 – масса груза на схвате. $Q_i (i=1,2)$ – обобщенные управляющие силы и моменты, которые действуют по степеням подвижности φ и z соответственно.

Обобщенные управляющие воздействия $Q_i (i=1,2)$ представим в виде суммы двух слагаемых

$$Q_i = k_i u_i + k_i^* v_i \quad (i=1,2). \quad (1.2)$$

Предполагается, что первые слагаемые в (1.2) предназначены для обеспечения требуемого движения манипулятора и осуществляются с помощью управляющих приводов. Вторые слагаемые могут возникнуть в процессе движения манипулятора в зависимости от изменения технологического процесса в виде некоторых функций с заданной областью изменения, которые приводят к перемене требуемого движения манипулятора. $k_i, k_i^* (i=1,2)$ – передаточные числа управляющих приводов или коэффициенты усиления.

После перехода к безразмерным переменным

$$u'_1 = u_1 T^2 / I_1; v'_1 = v_1 T^2 / I_1; z' = z / h; u'_2 = u_2 T^2 / I_2 h; v'_2 = v_2 T^2 / I_2 h \quad (1.3)$$

уравнения (1.1) с последующим опусканием штрихов относительно переменных $x_i (i=1,2,3,4)$ ($x_1 = \varphi$; $x_2 = \dot{\varphi}$; $x_3 = z$; $x_4 = \dot{z}$) принимают вид

$$\dot{x} = Ax + Bu + Cv, \quad (1.4)$$

где

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ a_1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & a_3 \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ a_2 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & a_4 \end{pmatrix}, u = (u_1, u_2)^T, v = (v_1, v_2)^T.$$

В обозначениях (1.3) T – принятое за единицу измерения характерное время процесса движения манипулятора, h – максимальная высота схвата

относительно плоскости $ХОУ$. Угол поворота φ и линейное перемещение z имеют порядок единицы. Тогда для безразмерных переменных и параметров системы (1.4) выполняются следующие соотношения порядков: $x \sim 1, u \sim 1, v \sim 1$ [1].

Рассматривается следующая задача управления. Пусть в начальный момент времени $t = t_0, x(t_0) = x^0$ и требуется привести манипулятор в состояние $x(T) = x^1$. Управления при этом выбираются из класса частично программных. Так как в процессе движения на систему влияют противодействующие силы или моменты, то в моменты времени $\vartheta_k (k = 0, 1, \dots, m)$ ($t_0 = \vartheta_0 < \vartheta_1 < \dots < \vartheta_m = T$) система управления манипулятором контролирует свое движение выполнением следующих условий для фазового вектора:

$$M_k = \left\{ x; \sum_{i=1}^4 x_i^2(\vartheta_k) \leq b_k^2, k = 0, 1, 2, \dots, m \right\} \quad (1.5)$$

с заданными ограничениями на управляющие воздействия

$$u_1^2 + u_2^2 \leq \lambda_1^2; \quad v_1^2 + v_2^2 \leq \lambda_2^2. \quad (1.6)$$

В терминах игровой задачи управления поставленная задача имеет игровой смысл, где в качестве управления первого игрока выступают компоненты вектора $U = (u_1, u_2)$, а второго – компоненты вектора $V = (v_1, v_2)$. Конфликт между виртуальными игроками на каждом интервале $[\vartheta_k, \vartheta_{k+1}]$ движения появляется со стороны первого игрока по ходу сближения системы с множеством M_k , а со стороны второго – уклонения системы от множества M_k .

2. Задача сближения. Рассмотрим дифференциальную игру сближения системы (1.4) к моментам времени $\vartheta_k (k = 1, 2, \dots, m)$ с множествами $M_k (k = 1, 2, \dots, m)$ (1.5). Для исследования поставленной задачи составим гипотетические рассогласования $\epsilon_k^{(0)}(t, x, \vartheta_k)$ ($k = 1, 2, \dots, m$) [1]:

$$\begin{aligned} \epsilon_k^{(0)}(t, x, x_1, \dots, x_{l-1}, \{\vartheta_k\}) = & \max_{\|I\|=1} \left[\sum_{k=1}^{l-1} I'_k x_k + \sum_{k=1}^{l-1} \min_{p_k \in M_k} I'_k p_k + \sum_{k=1}^m I'_k \bar{X}[\vartheta_k, t] x_k + \right. \\ & + \sum_{k=1}^m \min_{p_k \in M_k} I'_k p_k + \int_{t, u_1^2 + u_2^2 \leq \lambda_1^2}^{\vartheta_m} \min_{k=1}^m I'_k \bar{X}[\vartheta_k, \tau] B(\tau) u d\tau + \\ & \left. + \int_{t, v_1^2 + v_2^2 \leq \lambda_2^2}^{\vartheta_m} \max_{k=1}^m I'_k \bar{X}[\vartheta_k, \tau] C(\tau) v d\tau \right] + C, \end{aligned} \quad (2.1)$$

и $\epsilon_k^{(0)}(t, x, x_1, \dots, x_{l-1}, \{\vartheta_k\}) = C$, если правая часть в (2.1) отрицательна.

Здесь $\{t, x, \dots\} (t \in [\vartheta_{l-1}, \vartheta_l])$ – начальное положение системы (1.4); x_i при $i \leq l-1$ фиксированы; матрицы $\bar{X}[t, \tau]$ и $\bar{X}[t, \tau]$ определяются следующим образом:

$$\bar{X}[t, \tau] = \begin{cases} X[t, \tau] & \text{при } t \geq \tau; \\ E & \text{при } t \leq \tau; \end{cases}$$

$$\bar{X}[t, \tau] = \begin{cases} X[t, \tau] & \text{при } t > \tau \\ 0 & \text{при } t \leq \tau \end{cases},$$

где $X[t, \tau]$ – фундаментальная матрица решений однородной части системы (1.4) и имеет вид

$$X[t, \tau] = \begin{pmatrix} 1 & t - \tau & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & t - \tau \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; X[t, t] = E,$$

l_k – четырехмерный вектор-столбец ($k = 1, 2, \dots, m$). Из [1] следует, что необходимым и достаточным условием регулярности задачи сближения является требование выпуклости по $\{l_k\}$ следующей функции:

$$\begin{aligned} \kappa(t, \{\vartheta_k, l_k\}) = & - \left[\int_0^{\vartheta_k} \min_{u_1^2 + u_2^2 \leq \lambda_1^2} \sum_{k=1}^m l'_k \bar{X}[\vartheta_k, \tau] B(\tau) u d\tau + \right. \\ & \left. + \int_0^{\vartheta_k} \max_{v_1^2 + v_2^2 \leq \lambda_2^2} \sum_{k=1}^m l'_k \bar{X}[\vartheta_k, \tau] C(\tau) v d\tau + \sum_{k=1}^m \min_{p_k \in M_k} l'_k p_k \right] + \end{aligned} \quad (2.2)$$

Стратегии первого игрока, обеспечивающие встречу всех движений $x(t)$ системы (1.4) со всеми множествами M_k при $\varepsilon_k^{(0)}(t, x, x_1, \dots, x_{1-1}, \{\vartheta_k\}) > C$, определяются из условия [1]:

$$\sum_{k=1}^m l_k^{(0)} \bar{X}[\vartheta_k, t] B(t) u_c^{(0)} = \min_{u_1^2 + u_2^2 \leq \lambda_1^2} \sum_{k=1}^m l'_k \bar{X}[\vartheta_k, t] B(t) u, \quad (2.3)$$

где $l_k^{(0)}$ – максимизирующий вектор из (2.1), а при $\varepsilon_k^{(0)}(t, x, x_1, \dots, x_{1-1}, \{\vartheta_k\}) = C$ – любым допустимым управлением $u_c^{(0)}(t, x)$, удовлетворяющим ограничениям $u_1^2 + u_2^2 \leq \lambda_1^2$.

Ниже для определенности исследуются две задачи сближения.

2.1. Сближение движения манипулятора к множеству (1.5) со скоростью. Рассмотрим задачу сближения при $m = 1$, $l_1 = l_3 = 0$ и (1.6).

Составим функцию $\kappa(t, \{\vartheta_1, l_k\})$. Из (2.2), в частности, имеем

$$\begin{aligned} \kappa(t, \{\vartheta_1, l_k\}) = & - \left\{ \int_0^{\vartheta_1} \min_{u_1^2 + u_2^2 \leq \lambda_1^2} (l_2 a_1 u_1 + l_4 a_3 u_2) d\tau + \right. \\ & \left. + \int_0^{\vartheta_1} \max_{v_1^2 + v_2^2 \leq \lambda_2^2} (l_2 a_2 v_1 + l_4 a_4 v_2) d\tau - b \right\}, \end{aligned} \quad (2.4)$$

где $\min_{p \in M} [(0 \quad l_2 \quad 0 \quad l_4) (p_1 \quad p_2 \quad p_3 \quad p_4)] = -b$ (согласно (1.5)).

Определяя $\min$ и $\max$ в выражении (2.4) методом неопределенных множителей Лагранжа, получим

$$u_{1e} = \lambda_1 \frac{a_1 l_2}{\sqrt{a_1^2 l_2^2 + a_3^2 l_4^2}}; u_2 = \lambda_1 \frac{a_3 l_4}{\sqrt{a_1^2 l_2^2 + a_3^2 l_4^2}}. \quad (2.5)$$

Аналогичным образом определяются v_1 и v_2 . Подставляя выражения u_1, u_2, v_1, v_2 в (2.4), получим

$$\kappa(t, \{\vartheta_1, l_k\}) = - \left\{ \lambda_1 \sqrt{a_1^2 l_2^2 + a_3^2 l_4^2} (t - \vartheta_1) + \lambda_2 \sqrt{a_3^2 l_2^2 + a_4^2 l_4^2} (t - \vartheta_1) - b \right\}, \quad (2.6)$$

а из (2.3) для стратегии первого игрока в данном случае –

$$u_{1e} = - \frac{l_2 a_1 \lambda_1}{\sqrt{a_1^2 l_2^2 + a_3^2 l_4^2}}; u_{2e} = - \frac{l_4 a_3 \lambda_1}{\sqrt{a_1^2 l_2^2 + a_3^2 l_4^2}}. \quad (2.7)$$

2.2. Задача сближения по координате. Рассмотрим задачу сближения в случае, когда $m = 1$, $l_2 = l_4 = 0$, и управления u, v , удовлетворяют условиям (1.6).

Функция (2.2) в данном случае имеет вид

$$\begin{aligned} \kappa(t, \{\vartheta_1, l_k\}) = & - \left\{ \int_{t: u_1^2 + u_2^2 \leq \lambda_1^2} \min [l_1 a_1 u_1(t - \tau) + l_3 a_3 u_2(t - \tau)] d\tau + \right. \\ & \left. + \int_{t: v_1^2 + v_2^2 \leq \lambda_2^2} \max [l_1 a_2 v_1(t - \tau) + l_3 a_4 v_2(t - \tau)] d\tau - b \right\}. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Из (2.8) и (2.3) следует, что стратегии первого игрока, обеспечивающие встречу с множеством M_1 , имеют вид

$$u_{1e} = \frac{l_1 a_1 \lambda_1}{\sqrt{l_1^2 a_1^2 + l_3^2 a_3^2}}; u_{2e} = \frac{l_3 a_3 \lambda_1}{\sqrt{l_1^2 a_1^2 + l_3^2 a_3^2}}. \quad (2.9)$$

Подставляя (2.9) и (2.7) в (1.4) и интегрируя, получим соответствующие фазовые траектории, обеспечивающие их встречу с множеством M_1 .

3. Задача уклонения. Рассмотрим дифференциальную игру уклонения системы (1.4) в моменты времени ϑ_k ($k = 1, 2, \dots, m$) от множеств M_k (1.5).

Составим гипотетические рассогласования

$$\begin{aligned} \varepsilon_k^{(0)}(t, x, \vartheta_k) = & \max_{|l|=1} \left[l'_k X[\vartheta_k, t] x + \int_{t: u_1^2 + u_2^2 \leq \lambda_1^2} \min l'_k X[\vartheta_k, \tau] B(\tau) u(\tau) d\tau + \right. \\ & \left. + \int_{t: v_1^2 + v_2^2 \leq \lambda_2^2} \max l'_k X[\vartheta_k, \tau] C(\tau) v(\tau) d\tau + \min_{-p_k \in M_k} l'_k p_k \right] \quad (k = 1, 2, \dots, m). \end{aligned} \quad (3.1)$$

Стратегии второго игрока, обеспечивающие уклонение каждого движения $x(t)$ системы (1.4) от множеств M_k до моментов времени $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3, \dots, \vartheta_m$, если $x(t_0) = x^0$ не принадлежит множеству M_1 , определяются из условия [1]:

$$\left\{ \sum_{k=1}^{m-1} \int_t^{\vartheta_k - \mu} \frac{d\tau}{[\varepsilon_k^{(0)}(t, x, \tau)]^p} l_k^{(0)} X[\tau, t] \right\} C v_e(t, x) = \max_{v_1^2 + v_2^2 = \lambda_2^2} \left\{ \sum_{k=1}^m \int_t^{\vartheta_k - \mu} \frac{d\tau}{[\varepsilon_k^{(0)}(t, x, \tau)]^p} l_k^{(0)} X[\tau, t] \right\} C v$$

$$(\vartheta_{k-1} - \mu \leq t \leq \vartheta_k - \mu; k = 1, 2, \dots, m), \quad (3.2)$$

где $\mu > 0$ — сколь угодно малое число, $l_k^{(0)}$ — вектор, максимизирующий (3.1), единственность которого следует из выполнения для всех l условия [1],

$$l'(Bu + Cv) \leq \min_{u_1^2 + u_2^2 \leq \lambda_1^2} l'Bu + \max_{v_1^2 + v_2^2 \leq \lambda_2^2} l'Cv. \quad (3.3)$$

3.1. *Задача уклонения по скорости.* Рассмотрим задачу уклонения системы (1.4) от множества (1.5) при $m = 1$, $l_1 = l_3 = 0$ и управления u и v , удовлетворяющие условиям (1.6). Для удобства вычисления введем следующие обозначения:

$$u_1 = \frac{u_1^*}{a_1}; u_2 = \frac{u_2^*}{a_2}; v_1 = \frac{v_1^*}{a_3}; v_2 = \frac{v_2^*}{a_4}. \quad (3.4)$$

Условия (1.6) при (3.4) принимают вид

$$\left(\frac{u_1^*}{a_1}\right)^2 + \left(\frac{u_2^*}{a_2}\right)^2 \leq \lambda_1^2; \left(\frac{v_1^*}{a_3}\right)^2 + \left(\frac{v_2^*}{a_4}\right)^2 \leq \lambda_2^2. \quad (3.5)$$

Составим гипотетическое рассогласование (3.1) в рассматриваемом случае:

$$\begin{aligned} \varepsilon^{(0)}(t, x, \vartheta_1) = \max_{\|l\|=1} & \left\{ l_2 x_2 + l_4 x_4 + \int_{\vartheta_1}^t \min_{\left(\frac{u_1^*}{a_1}\right)^2 + \left(\frac{u_2^*}{a_2}\right)^2 \leq \lambda_1^2} \left[l_2 \frac{u_1^*}{a_1} + l_4 \frac{u_2^*}{a_2} \right] d\tau + \right. \\ & \left. + \int_{\vartheta_1}^t \max_{\left(\frac{v_1^*}{a_3}\right)^2 + \left(\frac{v_2^*}{a_4}\right)^2 \leq \lambda_2^2} \left[l_2 \frac{v_1^*}{a_3} + l_4 \frac{v_2^*}{a_4} \right] d\tau + \min_{p \in M_1} [l_2 p_2 + l_4 p_4] \right\}. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Обозначая

$$\begin{aligned} F_1 &= l_2 \frac{u_1^*}{a_1} + l_4 \frac{u_2^*}{a_2} + \mu_1 \left(\left(\frac{u_1^*}{a_1}\right)^2 + \left(\frac{u_2^*}{a_2}\right)^2 - \lambda_1^2 \right) \\ F_2 &= l_2 \frac{v_1^*}{a_3} + l_4 \frac{v_2^*}{a_4} + \mu_2 \left(\left(\frac{v_1^*}{a_3}\right)^2 + \left(\frac{v_2^*}{a_4}\right)^2 - \lambda_2^2 \right). \end{aligned} \quad (3.7)$$

и определяя экстремальные значения функций F_1, F_2 методом неопределенных множителей Лагранжа (μ_1, μ_2) , получим

$$u_1 = \frac{l_2 \lambda_1}{\sqrt{l_2^2 + l_4^2}}; u_2 = \frac{l_4 \lambda_1}{\sqrt{l_2^2 + l_4^2}}; v_1 = \frac{l_2 \lambda_2}{\sqrt{l_2^2 + l_4^2}}; v_2 = \frac{l_4 \lambda_2}{\sqrt{l_2^2 + l_4^2}}. \quad (3.8)$$

Подставляя (3.8) в (3.6), получим

$$\varepsilon^{(0)}(t, x, \vartheta_1) = \max_{\|l\|=1} \left\{ l_2 x_2 + l_4 x_4 - \lambda_1 \sqrt{l_2^2 + l_4^2} (t - \vartheta_1) + \lambda_2 \sqrt{l_2^2 + l_4^2} (t - \vartheta_1) - b \right\}. \quad (3.9)$$

$\varepsilon^{(0)}(t, x, \vartheta_1)$ принимает свое максимальное значение при векторе $l^0 (\|l\|=1)$, компоненты которого имеют вид

$$l_1^0 = 0; l_2^0 = \frac{x_2}{\sqrt{x_2^2 + x_4^2}}; l_3^0 = 0; l_4^0 = \frac{x_4}{\sqrt{x_2^2 + x_4^2}}. \quad (3.10)$$

Оптимальные стратегии второго игрока $v_{1e}(t, x)$ и $v_{2e}(t, x)$, обеспечивающие уклонение движения манипулятора по скорости от множества M_1 при $t_0 \leq t \leq \tau \leq \vartheta_1$ и определяемые из (3.2) при (3.10) и (3.9), имеют вид

$$\begin{aligned} v_{1e} &= \lambda_2 A_1(t, x, \vartheta_1) \left[A_1^2(t, x, \vartheta_1) + B_1^2(t, x, \vartheta_1) \right]^{-1/2}, \\ v_{2e} &= \lambda_2 B_1(t, x, \vartheta_1) \left[A_1^2(t, x, \vartheta_1) + B_1^2(t, x, \vartheta_1) \right]^{-1/2}. \end{aligned} \quad (3.11)$$

Здесь приняты следующие обозначения:

$$\begin{aligned} A_1(t, x, \vartheta_1) &= - \int_t^{\vartheta_1} \frac{l_2^0}{[\varepsilon^{(0)}(t, x, \tau)]^2} d\tau; \quad B_1(t, x, \vartheta_1) = - \int_t^{\vartheta_1} \frac{l_4^0}{[\varepsilon^{(0)}(t, x, \tau)]^2} d\tau, \\ \varepsilon^{(0)}(t, x, \vartheta_1) &= \sqrt{x_2^2 + x_4^2} + (\lambda_2 - \lambda_1)(t - \vartheta_1) - b. \end{aligned}$$

3.2. *Задача уклонения по координате.* Рассмотрим задачу уклонения системы (1.4) от множества (1.5) при $m = 1$, $l_1 = l_3 = 0$ и (3.4)–(3.6).

Гипотетическое рассогласование (3.1) в данном случае будет

$$\begin{aligned} \varepsilon^{(0)}(t, x, \vartheta_1) &= \max_{\|l\|=1} \{ l_1 [x_1 + x_2(t - \tau)] + l_3 [x_3 + x_4(t - \tau)] + \\ &\quad + (\lambda_2 - \lambda_1) \frac{(t - \vartheta_1)^2}{2} - b \}. \end{aligned} \quad (3.12)$$

Максимизирующий вектор $l^0 (\|l^0\| = 1)$ имеет компоненты

$$\begin{aligned} l_1^0 &= C_1(t, x, \vartheta_1) \left[C_1^2(t, x, \vartheta_1) + D_1^2(t, x, \vartheta_1) \right]^{-1/2}, \quad l_2^0 = 0, \\ l_3^0 &= D_1(t, x, \vartheta_1) \left[C_1^2(t, x, \vartheta_1) + D_1^2(t, x, \vartheta_1) \right]^{-1/2}, \quad l_4^0 = 0, \end{aligned}$$

а гарантированными стратегиями второго игрока являются

$$\begin{aligned} v_{1e} &= \lambda_2 C_1(t, x, \vartheta_1) \left[C_1^2(t, x, \vartheta_1) + D_1^2(t, x, \vartheta_1) \right]^{-1/2} \\ v_{2e} &= \lambda_2 D_1(t, x, \vartheta_1) \left[C_1^2(t, x, \vartheta_1) + D_1^2(t, x, \vartheta_1) \right]^{-1/2} \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$\text{где } C_1(t, x, \vartheta_1) = - \int_t^{\vartheta_1} \frac{l_1^0(t - \tau)}{[\varepsilon^{(0)}(t, x, \tau)]^2} d\tau; \quad D_1(t, x, \vartheta_1) = - \int_t^{\vartheta_1} \frac{l_3^0(t - \tau)}{[\varepsilon^{(0)}(t, x, \tau)]^2} d\tau,$$

$$\varepsilon^{(0)}(t, x, \vartheta_1) = \left[C_1^2(t, x, \vartheta_1) + D_1^2(t, x, \vartheta_1) \right]^{1/2} + \frac{(\lambda_2 - \lambda_1)}{2} (t - \vartheta_1)^2 - b.$$

Подставляя (3.11) и (3.13) в уравнение (1.4) и интегрируя при соответствующих начальных условиях, получим пучок движений манипулятора $x(t)$, уклоняющий от целевого множества M_1 (по скорости и по координате соответственно) при любом допустимом воздействии со стороны первого игрока.

Кафедра теоретической механики.

Поступила 21.03.2001

ЛИТЕРАТУРА

1. Красовский Н.Н., Субботин А.И. Позиционные дифференциальные игры. М.: Наука, 1974.
2. Черноусько Ф.Л., Меликян А.А. Игровые задачи управления и поиска. М.: Наука, 1983.
3. Красовский Н.Н. Управление динамической системой. М.: Наука, 1985.
4. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы. М.: Машиноведение, 1983.
5. Черноусько Ф.Л., Болотник Н.Н., Градецкий В.Г. Манипуляционные роботы. М.: Наука, 1989.

Ա.Ա. ՂՈՒԿԱՍՅԱՆ, Թ.Ա. ՍԻՄՈՆՅԱՆ

ԵՐԿՕՂԱԿ-ՄԱՆԻՊՈՒԼԱՏՈՐԻ ԸԱՐԺՄԱՆ ԴԵԿԱՎԱՐՄԱՆ
ԽԱՂԱՅԻՆ ՄՈՏԵՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ամփոփում

Էքստրեմալ նշանառության մեթոդով դիտարկվում են երկօղակ մանիպուլյատորի շարժման ղեկավարման խաղային խնդիրներ: Ընդհանուր դեպքում հետազոտվում են գծային համակարգերի մոտեցման և շեղման խնդիրներ: Որոշակիության համար լուծված են մանիպուլյատորի բռնիչի նպատակային բազմությանը մոտեցման երկու խնդիրներ՝ ըստ արագության և ըստ կոորդինատի, ինչպես նաև նպատակային բազմությունից շեղման երկու խնդիրներ՝ ըստ արագության և ըստ կոորդինատի:

A.A. GHUKASIAN, T.A. SIMONIAN

GAME APPROACH FOR DOUBLE LINK MANIPULATOR MOVEMENT

Summary

Game problems for the double link manipulator movement are considered with the use of the extreme targeting method. Problems of rapprochement and deviation of linear systems are investigated. For certainty, two problems of rapprochement of the manipulator grasp to the target set are solved with respect to the speed and coordinates as well as two problems of the deviation from the target set with respect to the speed and coordinates.

УДК 531.36

Л.А. МАЗМАНЯН

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ВРАЩАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ВОЛЧКА ПО ДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИЛЕ

Рассматривается задача устойчивости по действующей силе вращательного движения тяжелого волчка вокруг своей оси симметрии. Показано, что вращательное движение волчка при любой угловой скорости и при любых значениях параметров неустойчиво по действующей силе.

Рассмотрим тяжелый волчок, вращающийся вокруг своей оси симметрии с угловой скоростью $\dot{\phi}$. Пусть на волчок действуют две внешние силы: сила тяжести P , приложенная к центру масс C волчка, и реакция R_0 опоры O (рис. 1). Положение оси симметрии z волчка относительно неподвижных осей $\xi\eta\zeta$ (ось вертикальна) будем определять углами α и β (рис. 2). За невозмущенное движение волчка примем его равномерное вращение с угловой скоростью $\dot{\phi}_0 = n$ вокруг оси симметрии z , совпадающей с неподвижной вертикальной осью ζ [1]. В невозмущенном движении

$$\alpha = 0, \dot{\alpha} = 0, \beta = 0, \dot{\beta} = 0, \dot{\phi} = \dot{\phi}_0 = n = \text{const.} \quad (1)$$

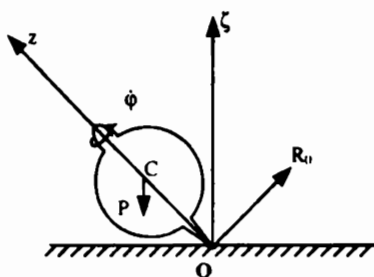


Рис. 1.

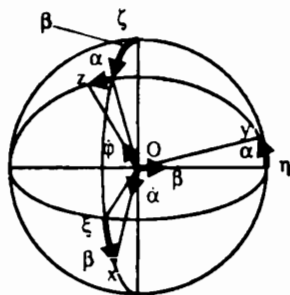


Рис. 2.

В возмущенном движении все эти величины будут меняться.

Введем оси x, y, z (рис. 2) и обозначим через p, q, r проекции угловой скорости ω вращения волчка. Проекции p, q, r определяются равенствами

$$p = \dot{\alpha}, \quad q = \dot{\beta} \cos \alpha, \quad r = \dot{\phi} - \dot{\beta} \sin \alpha. \quad (2)$$

Теперь найдем кинетическую энергию волчка

$$T = \frac{1}{2} I_x (\dot{\alpha}^2 + \dot{\beta}^2 \cos^2 \alpha) + \frac{1}{2} I_z (\dot{\phi} - \dot{\beta} \sin \alpha)^2. \quad (3)$$

Здесь $I_x = I_y$ – экваториальные, а I_z – аксиальный моменты инерции волчка.

Потенциальная энергия волчка будет

$$\Pi = Pl \cos \alpha \cos \beta, \quad (4)$$

где P – вес волчка, l – расстояние от его центра масс C до опоры O .

Введем следующие обозначения:

$$\alpha = x_1, \quad \dot{\alpha} = \dot{x}_2, \quad \beta = x_3, \quad \dot{\beta} = \dot{x}_4, \quad \phi = \phi_0 + x_5. \quad (5)$$

Кинетическая энергия с новыми назначениями будет иметь следующую форму:

$$T = \frac{1}{2} I_x (\dot{x}_2^2 + \dot{x}_4^2 \cos^2 x_1) + \frac{1}{2} I_z (\dot{x}_5 + \dot{\phi}_0 - \dot{x}_4 \sin x_1)^2, \quad (6)$$

а потенциальная энергия –

$$\Pi = Pl \cos x_1 \cos x_3. \quad (7)$$

Для выделения дифференциального уравнения возмущенного движения волчка используем уравнения Лагранжа второго рода:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_2} \right) - \frac{\partial T}{\partial x_1} = - \frac{\partial \Pi}{\partial x_1}, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_4} \right) - \frac{\partial T}{\partial x_3} = - \frac{\partial \Pi}{\partial x_3}, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_5} \right) = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Получим

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = -x_4^2 \cos x_1 \sin x_1 + \frac{I_z}{I_x} (x_4 \sin x_1 - x_5 - \phi_0) x_4 \cos x_1 + \frac{Pl}{I_x} \sin x_1 \cos x_3, \\ \dot{x}_3 = x_4, \\ \dot{x}_4 = 2x_4 \frac{\sin x_1}{\cos x_1} x_2 + \frac{I_z}{I_x} \cdot \frac{1}{\cos x_1} \cdot x_2 (x_5 + \phi_0 - x_4 \sin x_1) + \frac{Pl}{I_x} \cdot \frac{1}{\cos x_1} \sin x_3, \\ \dot{x}_5 = 2x_4 \cdot \frac{\sin^2 x_1}{\cos x_1} \cdot x_2 + \frac{I_z}{I_x} \cdot \frac{\sin x_1}{\cos x_1} \cdot x_2 (x_5 + \phi_0 - x_4 \sin x_1) + \frac{Pl}{I_x} \cdot \frac{\sin x_1}{\cos x_1} \sin x_3 + \\ + x_2 x_4 \cos x_1. \end{cases} \quad (9)$$

Исследуем устойчивость по действующей силе волчка относительно величин x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 .

Рассматриваемая система допускает три первых интеграла:

1) с постоянной полной энергией системы, т.е. $T + \Pi = \text{const}$;

2) при условии, что координата ϕ циклическая, $\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_5} = \text{const}$ ($x_5 = \phi - \phi_0$).

$-\dot{\phi}_0)$;

3) момент количества движения волчка относительно неподвижной оси ζ постоянный: $K_\zeta = k = \text{const}$. Для того чтобы написать этот интеграл в явном виде, воспользуемся очевидными равенствами:

$$K_x = I_x \dot{p} = I_x \dot{\alpha} = I_x \dot{x}_2, \quad K_y = I_y \dot{q} = I_x \dot{\beta} \cos \alpha = I_x \dot{x}_4 \cos x_1,$$

$$K_z = I_z \dot{r} = I_z (\dot{\phi} - \dot{\beta} \sin \alpha) = I_z (\dot{x}_5 + \dot{\phi}_0 - \dot{x}_4 \sin x_1),$$

$$K_\zeta = K_x \cos(\zeta, x) + K_y \cos(\zeta, y) + K_z \cos(\zeta, z).$$

Пользуясь рис. 2, найдем $\cos(\zeta, x) = -\sin \beta = -\sin x_3$, $\cos(\zeta, y) = \sin \alpha \times \cos \beta = \sin x_1 \cos x_3$, $\cos(\zeta, z) = \cos \alpha \cos \beta = \cos x_1 \cos x_3$.

Таким образом, первые интегралы (9) дифференциальных уравнений возмущенного движения примут вид

$$\begin{cases} F_1 = \frac{1}{2} I_x (x_2^2 + x_4^2 \cos^2 x_1) + \frac{1}{2} I_z (\phi_0 + x_5 - x_4 \sin x_1)^2 + Pl \cos x_1 \cos x_3 = h, \\ F_2 = \phi_0 + x_5 - x_4 \sin x_1 = n_1, \\ F_3 = I_x (-x_2 \sin x_3 + x_4 \sin x_1 \cos x_1 \cos x_3) + \\ + I_z (\phi_0 + x_5 - x_4 \sin x_1) \cos x_1 \cos x_3 = k. \end{cases} \quad (10)$$

Так как ни один из этих интегралов не является знакоопределенной функцией, то составим линейную связку интегралов

$$V = F_1 - F_1(0) + \mu [F_2 - F_2(0)] + \lambda [F_3 - F_3(0)], \quad (11)$$

где μ и λ — неопределенные постоянные коэффициенты. Внесем сюда значения F_1, F_2 и F_3 , разложим их в ряд по степеням $x_1, \dots, x_5$ и учтем, что $\phi_0 = n$.

Для того чтобы функция V была знакоопределенной, необходимо прежде всего приравнять к нулю коэффициент при первой степени x_5 . Имеем

$$I_z n + \mu + \lambda I_z = 0. \quad (12)$$

Теперь функция V примет вид

$$\begin{aligned} V = & \frac{1}{2} a x_1^2 + \frac{1}{2} I_x x_2^2 + \frac{1}{2} a x_3^2 + \frac{1}{2} I_x x_4^2 + \frac{1}{2} I_z x_5^2 + \\ & + \lambda I_x x_1 x_4 - \lambda I_x x_2 x_3 + W(x_1, \dots, x_5), \end{aligned} \quad (13)$$

где $a = -(Pl + \lambda I_z n)$, а $W(x_1, \dots, x_5)$ — члены высшего порядка. Для того чтобы функция V была определенно-положительной, необходимо, чтобы угловая скорость n вращения волчка удовлетворяла следующему условию [1]:

$$I_z^2 n^2 > 4 I_x Pl. \quad (14)$$

Известно [2], что если система нелинейных дифференциальных уравнений допускает определенно-положительный первый интеграл, то ее тривиальное решение неустойчиво по действующей силе. Вышеуказанные рассуждения показывают, что при условии (14) функция V определенно-положительная, т.е. система (9) допускает определенно-положительный первый интеграл. Следовательно, для системы (9) имеет место теорема о неустой-

чивости по действующей силе [2]. Откуда и следует, что рассматриваемое движение волчка неустойчиво по действующей силе.

Если условие (14) не соблюдается, то рассматриваемое вращение волчка становится неустойчивым по Ляпунову, значит, согласно определению устойчивости по действующей силе, оно будет неустойчивым и по действующей силе [3].

Таким образом, доказана следующая теорема:

Теорема. Вращательное движение тяжелого волчка вокруг своей оси симметрии всегда неустойчиво по действующей силе.

Кафедра теоретической механики

Поступила 13.04.2001



ЛИТЕРАТУРА

1. Четаев Н. Г. Устойчивость движения. М.: Наука, 1990.
2. Габриелян М. С., Шагинян С. Г. – Ученые Записки ЕГУ, 1989, №1, с. 27–32.
3. Габриелян М.С., Шагинян С.Г. – Ученые Записки ЕГУ, 1987, №1, с. 39–45.

Լ.Ա. ՄԱԶՄԱՆԻԱՆ

ՀՈՒԼԻ ՊՏՏԱԿԱՆ ՀԱՐԺՄԱՆ ԸՍՏ ԱԶԴՈՂ ՈՒԺԻ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ամփոփում

Ուսումնասիրվում է ծանր հողի՝ իր դինամիկական սինետրիայի առանցքի շուրջը պտտական շարժման կայունության խնդիրը ըստ ազդող ուժի:

Ցույց է տրվում, որ ցանկացած անկյունային արագությամբ պտտվող և պարամետրերի ցանկացած արժեքներ ունեցող հողի շարժումը անկայուն է ըստ ազդող ուժի:

L.A. MAZMANIAN

ABOUT THE STABILITY OF THE ROTARY MOTION OF THE GYROSCOPE BY THE INFLUENTIAL FORCE

Summary

The research is on the problem of the rotary motion stability of the heavy gyroscope around its axis of dynamic symmetry by the influential force.

It is shown that with any angular speed and with any values of parameters, the rotary motion of the gyroscope is unstable by the influential force.

УДК 548.0:535.56

А.А. ГЕВОРГЯН

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ФУНКЦИИ ЕСТЕСТВЕННО-ГИРОТРОПНЫХ СРЕД ВО ВНЕШНЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Рассмотрено распространение электромагнитных волн через слой естественно-гиротропной среды, находящейся во внешнем магнитном поле. Задача решена методом 4×4 матрицы Беремана. Построены матрицы Джонса, вычислены коэффициенты отражения и пропускания, азимут и эллиптичность поляризации прошедшей волны. Исследованы особенности поляризационных функций собственных мод, собственных поляризаций и поляризационных функций падающей волны, при которых не возбуждается одна из собственных мод. Показано, что в этих средах при определенных условиях возбуждаются три собственных моды.

1. Введение. Распространение света в естественно-гиротропной среде во внешнем магнитном поле рассмотрено в работах [1–7]. Одновременное существование естественной и магнитооптической активностей, которые имеют различную природу, приводит к ряду особенностей при взаимодействии света со средой. Самая характерная особенность таких сред – необратимость, т.е. неодинаковость свойств среды в двух взаимно противоположных направлениях [3–7]. Оптические индикатрисы таких сред, описывающие зависимость фазовой скорости волн от направления распространения, являются поверхностями без центра симметрии. Отметим, что все свойства асимметрии обусловлены инвариантностью дисперсионного уравнения, т.е. тем, что при изменении знака волнового вектора (замена $\vec{k} \rightarrow -\vec{k}$) дисперсионное уравнение меняется. А это, в свою очередь, следствие того, что дисперсионное уравнение суть полное уравнение четвертой степени, а не биквадратное. Экспериментальному и теоретическому исследованию различных проявлений необратимости посвящены также работы [8–10]. В работах [1–7] рассматривается распространение электромагнитной волны в среде в отсутствие границ, или отражение от полупространства, а задача прохождения света через слой среды конечной толщины рассматривается приближенно. Следующим шагом будет точное решение задачи прохождения света через слой рассматриваемой среды, более близкой к экспериментальной ситуации. Кроме того, как известно, многие современные теории по оптике сложных структур основываются на модели представления среды в качестве многослойной системы. А решение этих задач сводится к точному решению прохождения света через слой конечной толщины.

В данной работе построены матрицы Джонса, вычислены поляриза-

ционные функции, характеризующие особенности этих сред, ряд из которых не проявляется при неучете границ или при приближенном решении граничной задачи.

2. Материальные уравнения и дисперсионное соотношение. Для учета естественной гиротропии мы будем использовать материальные уравнения, построенные на основе модели оптической активности Друде-Кондона [11,12]:

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} - \frac{\bar{\gamma}}{c} \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} + \frac{\bar{\gamma}}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}, \quad (2)$$

где $\bar{\gamma}$ – тензор естественной гиротропии, ϵ , μ – тензоры диэлектрической и магнитной проницаемостей соответственно. С учетом магнитооптической активности в присутствии внешнего магнитного поля материальное уравнение (1) принимает вид

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} - \frac{\bar{\gamma}}{c} \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + i[\vec{g}\vec{E}], \quad (3)$$

где $\vec{g} = f\vec{H}$, – вектор магнитооптической активности [13]. Как легко убедиться, при использовании материальных уравнений (2),(3) соблюдается закон сохранения энергии

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \text{div } \vec{S} = 0, \quad (4)$$

где $U = \frac{1}{8\pi} (\vec{E}\vec{D} + \vec{B}\vec{H})$, $\vec{S} = \frac{c}{4\pi} [\vec{E}\vec{H}]$. При этом имеют место обычные граничные условия: тангенциальные компоненты полей непрерывны на границе раздела между двумя средами. Внешнее магнитное поле, помимо магнитооптической активности (круговое двупреломление), наводит в среде также анизотропию (линейное двупреломление). Анизотропия, наводимая внешним магнитным полем, обычно слабая, и поэтому в данной работе мы ее не учитываем.

Вывод дисперсионного уравнения произведем при помощи метода 4×4 матрицы [14,15]. Комбинируя уравнения Максвелла $\text{rot} \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ и

$\text{rot} \vec{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ в одно матричное уравнение в декартовых координатах и считая, что временная зависимость компонент полей имеет вид $\exp(-i\omega t)$, получаем

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -\partial/\partial z & \partial/\partial y \\ 0 & 0 & 0 & \partial/\partial z & 0 & -\partial/\partial x \\ 0 & 0 & 0 & -\partial/\partial y & \partial/\partial x & 0 \\ 0 & \partial/\partial z & -\partial/\partial y & 0 & 0 & 0 \\ -\partial/\partial z & 0 & \partial/\partial x & 0 & 0 & 0 \\ \partial/\partial y & -\partial/\partial x & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \\ H_x \\ H_y \\ H_z \end{bmatrix} = -i \frac{\omega}{c} \begin{bmatrix} D_x \\ D_y \\ D_z \\ B_x \\ B_y \\ B_z \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\hat{R}\bar{G} = i\frac{\omega}{c}\bar{C}. \quad (6)$$

Используя материальные уравнения (2), (3), вектор $\bar{C}$ можно представить в виде

$$\bar{C} = \hat{M}\bar{G}, \quad (7)$$

где

$$\hat{M} = \begin{bmatrix} \epsilon & -ig_z & ig_y & i\gamma & 0 & 0 \\ ig_z & \epsilon & -ig_x & 0 & i\gamma & 0 \\ -ig_y & ig_x & \epsilon & 0 & 0 & i\gamma \\ -i\gamma & 0 & 0 & \mu & 0 & 0 \\ 0 & -i\gamma & 0 & 0 & \mu & 0 \\ 0 & 0 & -i\gamma & 0 & 0 & \mu \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$\gamma = \frac{\omega}{c}\bar{\gamma}.$$

Решение будем искать в виде плоских волн. Предположим, что плоскость падения совпадает с плоскостью (X,Z), так что $k_y=0$ и всякие изменения в направлении y отсутствуют ($\partial/\partial y=0$). Свет падает на слой под углом ϑ_1 из изотропной среды ($z<0$) с коэффициентом преломления n_0 . Зависимость компонент полей от x имеет вид $\exp(ik_x x) = \exp(i\omega n_0 \sin \vartheta_1 x/c)$, так что $\partial/\partial x = ik_x$. Следовательно, из шести уравнений системы (6) два превращаются в линейные алгебраические уравнения, при помощи которых мы можем исключить компоненты E_z и H_z . Откуда и получаем известную 4x4 матрицу Δ для рассматриваемой среды:

$$\Delta = \begin{bmatrix} \frac{i\mu g_y n_2 \sin \vartheta_2}{\epsilon\mu - \gamma^2} & \mu \left(1 - \frac{n_2^2 \sin^2 \vartheta_2}{\epsilon\mu - \gamma^2}\right) - i\gamma \left(1 + \frac{n_2^2 \sin^2 \vartheta_2}{\epsilon\mu - \gamma^2}\right) - \frac{i\mu g_x n_2 \sin \vartheta_2}{\epsilon\mu - \gamma^2} & 0 \\ \epsilon - \frac{\mu g_y^2}{\epsilon\mu - \gamma^2} & \frac{i\mu g_y n_2 \sin \vartheta_2}{\epsilon\mu - \gamma^2} & -ig_x + \frac{g_y(\mu g_x + \gamma n_2 \sin \vartheta_2)}{\epsilon\mu - \gamma^2} & -i\gamma \\ i\gamma & 0 & 0 & \mu \\ ig_x + \frac{g_y(\mu g_x + \gamma n_2 \sin \vartheta_2)}{\epsilon\mu - \gamma^2} & i\gamma \left(1 + \frac{n_2^2 \sin^2 \vartheta_2}{\epsilon\mu - \gamma^2}\right) + \frac{i\mu g_x n_2 \sin \vartheta_2}{\epsilon\mu - \gamma^2} & \epsilon \left(1 - \frac{n_2^2 \sin^2 \vartheta_2}{\epsilon\mu - \gamma^2}\right) + \frac{g_x(\mu g_x + 2\gamma n_2 \sin \vartheta_2)}{\epsilon\mu - \gamma^2} & 0 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Эта матрица при $\bar{g}=0$ совпадает с матрицей работы [16], где учитывается только естественная гиротропия.

Следовательно, уравнение (6) можно представить в виде

$$\frac{\partial \psi}{\partial z} = i\frac{\omega}{c}\Delta\psi, \quad (10)$$

где

$$\psi = \begin{bmatrix} E_x \\ H_y \\ E_y \\ -H_x \end{bmatrix}.$$

Так как Δ – постоянная и не зависит от z , то зависимость компонент полей от z можно представить в виде

$$\psi(z) = \psi_j(0) \exp(ik_{jz}z), j=1,2,3,4. \quad (11)$$

Подстановка (11) в (10) дает матричное уравнение для собственных значений

$$[k_z \hat{I} - \frac{\omega}{c} \Delta] \psi(0) = 0, \quad (12)$$

где $\hat{I}$ – единичная матрица.

Собственные значения этого уравнения являются корнями алгебраического уравнения четвертой степени

$$\det[k_z \hat{I} - \frac{\omega}{c} \Delta] = 0$$

или в явном виде –

$$an_z^4 + bn_z^2 + cn_z + d = 0, \quad (13)$$

где $n_z = \frac{c}{\omega} k_z / \sqrt{\epsilon\mu}$, $a = (1+F^2)$, $b = -[\eta^2 G_x^2 + 2(1+F^2)(1-n_x^2-F^2)]$, $c = -2G_z\eta[2F(1+F^2) - G_x n_x \eta]$, $d = -n_x^2 G_z^2 \eta^2 + (1+F^2)\{-4n_x(n_x + \eta FG_x) + [(n_x^2+1) + F^2]^2 + \eta^2(G_x^2 + G_z^2)\}$, $G_x = ig_x / \sqrt{\epsilon\mu}$, $G_z = ig_z / \sqrt{\epsilon\mu}$, $g_x = g \sin \theta$, $g_z = g \cos \theta$, $F = i\gamma / \sqrt{\epsilon\mu}$, θ – угол между направлением внешнего магнитного поля и нормалью к поверхности слоя, $\eta = \sqrt{\mu/\epsilon}$ – характеристический импеданс среды. При этом предполагается, что $g_y = 0$, т.е. внешнее магнитное поле лежит в плоскости падения.

Таким образом, в отличие от случая $\bar{g} = 0$, при котором дисперсионное уравнение биквадратное, в этом случае оно является полным уравнением четвертой степени.

Точное решение уравнения (13) имеет вид

$$n_{z1,2} = \sqrt{\frac{s}{2}} \pm \sqrt{-\frac{1}{2} \left(\frac{b}{a} + s + \frac{c}{a\sqrt{s}} \right)}, \quad n_{z3,4} = -\sqrt{\frac{s}{2}} \pm \sqrt{-\frac{1}{2} \left(\frac{b}{a} + s - \frac{c}{a\sqrt{s}} \right)}, \quad (14)$$

где $s = \frac{b}{3a} + u + \left(\frac{b}{12a} + d \right) / (3ua)$,

$$u = \sqrt[3]{\frac{b}{6a^2} \left(d - \frac{b^2}{36a} \right) - \frac{c^2}{16a^2}} \pm \sqrt[3]{\left[\frac{b}{6a^2} \left(d - \frac{b^2}{36a} \right) - \frac{c^2}{16a^2} \right]^2 - \left(\frac{b^2}{12a^2} + \frac{d}{a} \right)^3} / 27.$$

Подставляя каждое собственное значение k_{zj} ($j=1,2,3,4$) в уравнение (12), получаем четыре однородных линейных уравнения, которые можно решить относительно элементов соответствующего собственного вектора $\psi_{mj}(0)$ ($m=1,2,3,4$). Используя 4×4 матрицу $\hat{\psi} = [\psi_{mj}(0)]$, столбцами которой являются четыре собственных вектора уравнения (12), решение уравнения

(10) можно представить в виде

$$\psi(z) = \hat{L}(z) \psi(0), \quad (15)$$

где

$$\hat{L}(z) = \hat{\psi} \hat{K}(z) \hat{\psi}^{-1}, \quad (16)$$

а $\hat{K}$ – диагональная матрица, элементы которой определяются значениями k_z :

$$K_{mm} = \exp(ik_{zm}z) \quad (m=1,2,3,4). \quad (17)$$

3. Отражение и пропускание света конечным слоем среды. Согласно уравнениям (15)–(17), 4x4 матрица $\hat{L}(z)$ связывает $\psi(d)$ и $\psi(0)$ на двух граничных поверхностях слоя

$$\psi(d) = \hat{L}(d) \psi(0). \quad (18)$$

Граничные условия для ψ имеют вид

$$\psi(0^+) = \psi_i(0^+) + \psi_r(0^+), \quad (19)$$

$$\psi(d-0) = \psi_i(d-0). \quad (20)$$

Пусть (E_{ip}, E_{is}) , (E_{rp}, E_{rs}) и (E_{tp}, E_{ts}) представляют собой компоненты векторов электрического поля падающей, отраженной и прошедшей волн, которые параллельны (p) и перпендикулярны (s) плоскости падения. Тогда, используя уравнения Максвелла, векторы ψ_i , ψ_r и ψ_t можно представить в виде

$$\psi_i = \begin{bmatrix} E_{ip} \cos \vartheta_1 \\ n_0 E_{ip} \\ E_{is} \\ n_0 \cos \vartheta_1 E_{is} \end{bmatrix}, \quad \psi_r = \begin{bmatrix} -E_{rp} \cos \vartheta_1 \\ n_0 E_{rp} \\ E_{rs} \\ -n_0 \cos \vartheta_1 E_{rs} \end{bmatrix}, \quad \psi_t = \begin{bmatrix} E_{tp} \cos \vartheta_1 \\ n_0 E_{tp} \\ E_{ts} \\ n_0 \cos \vartheta_1 E_{ts} \end{bmatrix}. \quad (21)$$

Следовательно, согласно (18)–(21) будем иметь

$$\begin{bmatrix} E_{ip} \cos \vartheta_1 \\ n_0 E_{ip} \\ E_{is} \\ n_0 \cos \vartheta_1 E_{is} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & l_{13} & l_{14} \\ l_{21} & l_{22} & l_{23} & l_{24} \\ l_{31} & l_{32} & l_{33} & l_{34} \\ l_{41} & l_{42} & l_{43} & l_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (E_{ip} - E_{rp}) \cos \vartheta_1 \\ n_0 (E_{ip} + E_{rp}) \\ (E_{is} + E_{rs}) \\ n_0 \cos \vartheta_1 (E_{is} - E_{rs}) \end{bmatrix}. \quad (22)$$

4x4 матричное уравнение (22) можно представить в виде двух 2x2 матричных уравнений:

$$\begin{bmatrix} E_{rp} \\ E_{rs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{pp} & R_{ps} \\ R_{sp} & R_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{ip} \\ E_{is} \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} E_{tp} \\ E_{ts} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{pp} & T_{ps} \\ T_{sp} & T_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{ip} \\ E_{is} \end{bmatrix} \quad (23)$$

или

$$\bar{E}_r = \hat{R} \bar{E}_i, \quad \bar{E}_t = \hat{T} \bar{E}_i,$$

где $\hat{R}$ и $\hat{T}$ – матрицы Джонса для рассматриваемого слоя. Для элементов матриц Джонса получаем

$$R_{pp} = - \sum_{i,j,k,l} e_{ijkl} \xi_i^- \alpha_j^- \xi_k^- \alpha_l^+ f_k f_l / \Delta_1,$$

$$R_{ps} = - \sum_{i,j,k,l} e_{ijkl} (\xi_j - \xi_i) \xi_k^- \alpha_l^+ f_k f_l / (\cos \vartheta_1 \Delta_1),$$

$$R_{sp} = -2 \sum_{i,j,k,l} e_{ijkl} \alpha_i \beta_j \xi_k^- \alpha_l^+ f_k f_l \cos \vartheta_1 / \Delta_1,$$

$$R_{ss} = \sum_{i,j,k,l} e_{ijkl} \xi_i^+ \alpha_j^+ \xi_k^- \alpha_l^+ f_k f_l / \Delta_1, \quad (24)$$

$$T_{pp} = -\sum_{i,j,k,l} e_{ijkl} \alpha_i^- \alpha_j^+ (\xi_k - \xi_l) f_k f_l f_j / \Delta_1,$$

$$T_{ps} = -\sum_{i,j,k,l} e_{ijkl} \xi_i^+ \alpha_j^+ (\xi_l - \xi_k) f_k f_l f_j / (\cos \vartheta_1 \Delta_1),$$

$$T_{sp} = 2 \sum_{i,j,k,l} e_{ijkl} \alpha_i^- \xi_j^- \alpha_k \beta_l f_k f_l f_j \cos \vartheta_1 / \Delta_1,$$

$$T_{ss} = 2 \sum_{i,j,k,l} e_{ijkl} \xi_i^+ \xi_j^- \alpha_k \beta_l f_k f_l f_j / \Delta_1, \quad i,j,k,l=1,2,3,4,$$

где $\Delta_1 = \sum_{i,j,k,l} e_{ijkl} \xi_i^+ \alpha_j^- \xi_k^- \alpha_l^+ f_k f_l$, $\alpha_i^\pm = \alpha_i \pm \beta_i$, $\xi_i^\pm = 1 \pm \xi_i$, $\alpha_i = (1 + F^2)(n_x^2 + n_{zi}^2 - 1 + F^2) / [(1 + F^2)(2Fn_{zi} - \eta G_z) + n_x \eta (G_z n_x - G_z n_z)]$, $\beta_i = -(F + n_{zi} \alpha_i) / (\eta n_0 \cos \vartheta_1)$, $\xi_i = \cos \vartheta_1 \cdot [(1 + F^2) + (Fn_{zi} - G_z \eta) \alpha_i] / (\eta n_{zi} n_0)$, $f_i = \exp(ik_z d)$, e_{ijkl} – символ Леви-Чивита, n_0 – коэффициент преломления среды, граничащей с обеих сторон со слоем рассматриваемой среды. При этом предполагается, что параметром магнитооптической активности граничащей среды можно пренебречь по сравнению с параметрами активности слоя рассматриваемой среды.

Для коэффициентов отражения и пропускания согласно их определениям получаем

$$R_i = \{ (|R_{pp}|^2 + |R_{sp}|^2) |E_{ip}|^2 + (|R_{ps}|^2 + |R_{ss}|^2) |E_{is}|^2 + 2 \operatorname{Re} [(R_{ss}^* R_{sp} + R_{pp} R_{ps}^*) E_{ip} E_{is}^*] / (|E_{ip}|^2 + |E_{is}|^2) \}, \quad (25)$$

$$T_i = \{ (|T_{pp}|^2 + |T_{sp}|^2) |E_{ip}|^2 + (|T_{ps}|^2 + |T_{ss}|^2) |E_{is}|^2 + 2 \operatorname{Re} [(T_{ss}^* T_{sp} + T_{pp} T_{ps}^*) E_{ip} E_{is}^*] / (|E_{ip}|^2 + |E_{is}|^2) \}, \quad (26)$$

а для поляризационной функции прошедшей волны –

$$\chi_i = E_{ip} / E_{is} = (T_{pp} \chi_i + T_{ps}) / (T_{sp} \chi_i + T_{ss}), \quad (27)$$

где $\chi_i = E_{ip} / E_{is}$ – поляризационная функция падающей волны. Следовательно, для азимута φ и эллиптичности e при прохождении света через конечный слой рассматриваемой среды имеем [17]

$$\varphi = 0.5 \arctg \{ 2 \operatorname{Re}(\chi_i) / (1 - |\chi_i|^2) \}, \quad (28)$$

$$e = \operatorname{tg} \{ 0.5 \arcsin [2 \operatorname{Im}(\chi_i) / (1 + |\chi_i|^2)] \}. \quad (29)$$

4. Поляризационные функции. С помощью заданного значения $k_{x2} = k_{x1} = \omega / cn_0 \sin \vartheta_1$ определяются четыре значения k_{zi} , и выражение поля в среде принимает вид [13, 17]

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \sum_{m=1}^4 \vec{E}_m \exp[i(k_x x + k_{zi} z - \alpha t)], \quad (30)$$

где $\vec{E}_m$ – амплитуды собственных мод. Из системы (21) для компонент амплитуд собственных мод получаем

$$E_{mx} = 2(-1)^{m+1} \left[\sum_{j,k,l=1}^4 e_{mjkl} \xi_k' \alpha_l'^+ f_k f_l (E_{ix} \alpha_j'^- - E_{iy} \xi_j'^+) \right], \quad E_{my} = \alpha_m E_{mx}, \quad E_{mz} =$$

$$= (n_{zm} - \xi_m' \eta - F \alpha_m) E_{mx} / n_x,$$

$$H_{mx} = \beta_m' E_{mx}, \quad H_{my} = \xi_m' E_{mx},$$

$$H_{mz} = [(n_x^2 + F^2) \alpha_m + F n_{zm} - F \xi_m' \eta] / (n_x \eta), \quad m=1,2,3,4, \quad (31)$$

где $\xi_m^{\pm} = 1 \pm \xi_m'$, $\alpha_m^{\pm} = \alpha_m \pm \beta_m$, $\beta_m' = \beta_m \cos \vartheta_1 / n_0$, $\xi_m' = \xi_m n_0 / \cos \vartheta_1$.

Для описания поляризационных особенностей собственных мод определим поляризационные функции собственных мод $\chi_m^* = E_{mp} / E_{ms}$ ($m=1,2,3,4$), для которых из (31) получаем

$$\chi_m'' = \sqrt{1 + [(n_{zm} - \eta \xi_m' n_0 \cos \vartheta_1 - F \alpha_m) / n_x]^2} / \alpha_m. \quad (32)$$

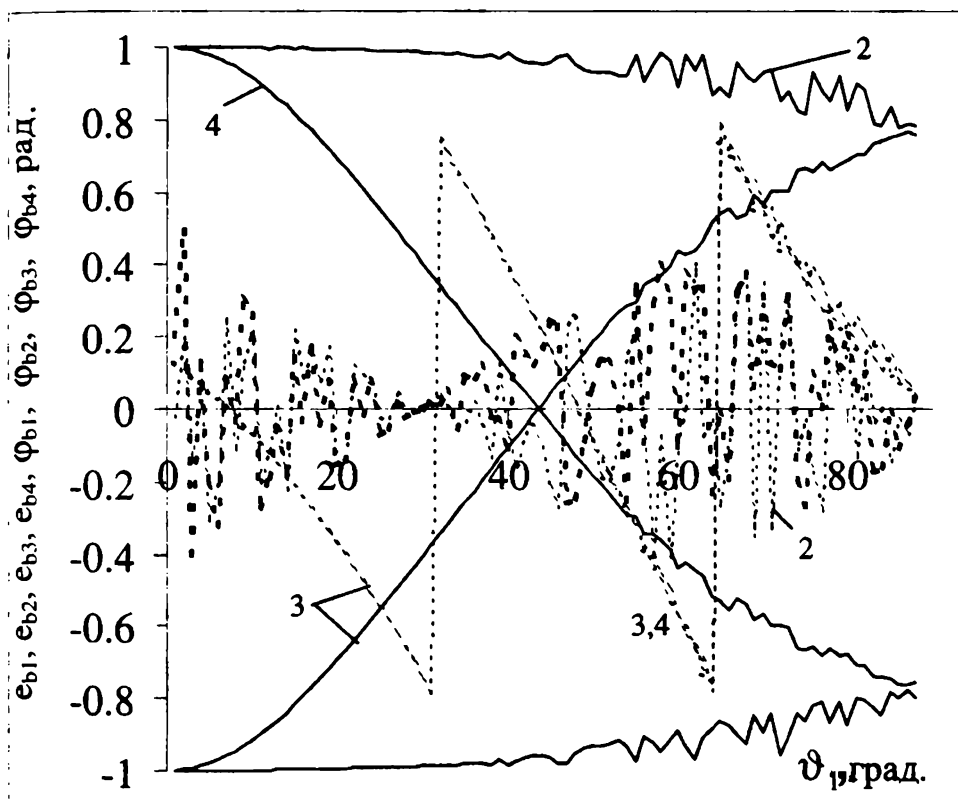


Рис. 1. Зависимость эллиптичностей e_{bj} (сплошные кр. 1,2,3,4) и азимутов φ_{bj} (штриховые кр. 1,2,3,4) поляризации χ_j^b ($j=1,2,3,4$) от угла падения ϑ_1 . Параметры слоя таковы: $\epsilon = 2.5 + 0.0001i$, $\mu = 1.5 + 0.i$, $\lambda = 0.6 \text{ мкм}$, $d = 1000 \text{ нм}$, $\theta = 30^\circ$, $g = 0.001$, $\gamma = 0.001$, $n_0 = 1$.

Как видно из (31), при определенных поляризациях падающей волны $\chi_m^b = E_{ip} / E_{is}$ ($m=1,2,3,4$) $E_{mx} = 0$, т.е. в среде не возбуждается m -ая собственная мода. Из этого условия для поляризационных функций χ_m^b получаем

$$\chi_m^b = \frac{\cos \vartheta_1 \sum_{m,j,k,l=1}^4 e_{mjkl} \alpha_j^- \xi_k^- \alpha_l^+ f_k f_l}{\sum_{m,j,k,l=1}^4 e_{mjkl} \xi_j^+ \xi_k^- \alpha_l^+ f_k f_l}. \quad (33)$$

Известно, что часто в основу классификации оптических устройств удобно положить собственные поляризации. Собственные поляризации – это две поляризации, которые не изменяются при прохождении света через систему. Каждая оптическая система имеет две собственные поляризации $\chi_{1,2}^c$:

$$\chi_{1,2}^c = \{T_{pp} - T_{ss} \pm [(T_{pp} - T_{ss})^2 + 4T_{ps}T_{sp}]^{1/2}\} / 2T_{sp}. \quad (34)$$

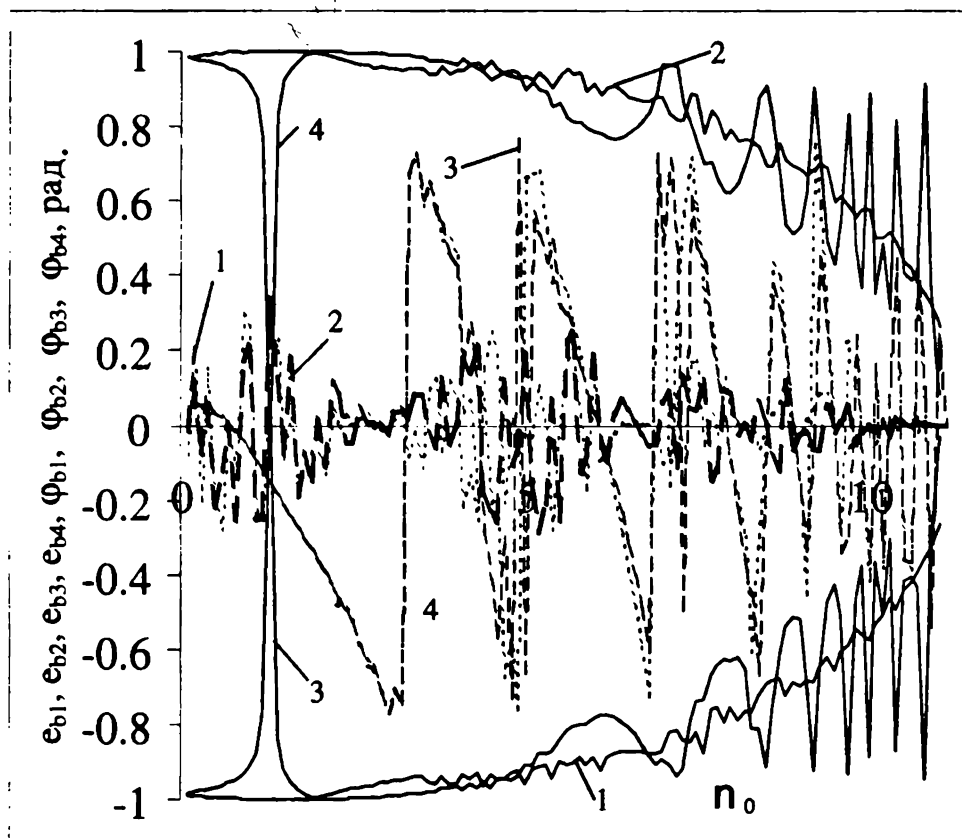
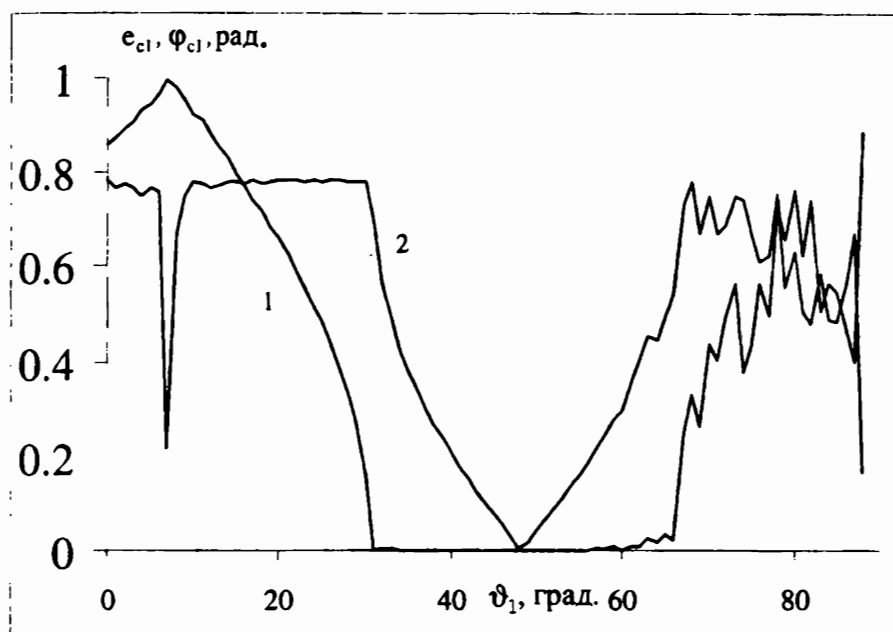


Рис. 2. Зависимость эллиптичностей e_{bj} (сплошные кр. 1, 2, 3, 4) и азимутов Φ_{bj} (штриховые кр. 1, 2, 3, 4) поляризации χ_j^b ($j=1, 2, 3, 4$) от величины коэффициента преломления n_0 . $\vartheta_1 = 10^\circ$. Остальные параметры те же, что и на рис. 1

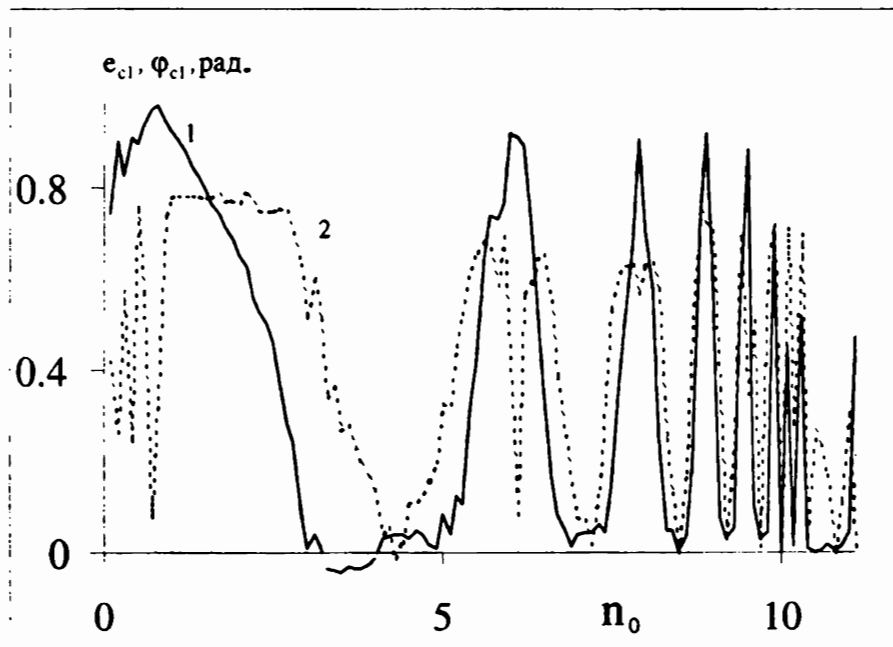
Для негиротропных немагнитоактивных сред все эти поляризации при отсутствии поглощения линейны, причем $\chi_1^a = -\chi_3^a = \chi_1^b = -\chi_3^b = \chi_1^c$, $\chi_2^a = -\chi_4^a = \chi_2^b = -\chi_4^b = \chi_2^c$, а эти две независимые поляризации ортогональны ($\chi_1^c \chi_2^c = -1$). Гиротропия и магнитооптическая активность существенно усложняют картину.

На рис. 1 представлены зависимости эллиптичностей e_{bj} и азимутов Φ_{bj}

поляризации χ_j^b ($j=1,2,3,4$) от угла падения ϑ_1 , а на рис. 2 – от величины коэффициента преломления n_0 . На рис. 3 представлены зависимости эллиптичности e_{cl} (1) и азимута φ_{cl} (2) собственной поляризации χ_j^c ($j=1,2,3,4$) от



а)



б)

Рис. 3. Зависимость эллиптичности e_{cl} (1) и азимута φ_{cl} (2) собственной поляризации χ_j^c от угла падения ϑ_1 ; а) $n_0=1$ и от величины коэффициента преломления n_0 ; б) $\vartheta_1=45^\circ$. Остальные параметры те же, что и на рис. 1.

угла падения ϑ_1 ($a, n_0=1$) и от величины коэффициента преломления n_0 ($b, \vartheta_1=45^\circ$).

Ниже резюмируются полученные результаты.

При $\gamma \neq 0$, но $\bar{g}=0, \chi_j^*$ представляют ортогональные круговые поляризации. При наличии внешнего магнитного поля все поляризации χ_i^* превращаются в квазикруговые поляризации, причем все они отличаются друг от друга и не ортогональны ($\chi_1^* \chi_2^{* *} \neq -1, \chi_3^* \chi_4^{* *} \neq -1$). Эти поляризации практически не изменяются с изменением длины волны и угла падения.

При $\gamma=0$, но $\bar{g} \neq 0, \chi_j^*$ опять квазикруговые и неортогональные, но, как показывает численный анализ, неортогональность пропорциональна g^4 . Таким образом внешнее магнитное поле снимает определенную вырожденность поляризации собственных мод.

В отличие от негиротропных немагнитоактивных, в гиротропных или магнитоактивных средах в общем случае χ_j^* отличаются от χ_j^b .

На поляризации χ_j^b влияют наличие диэлектрических границ и поглощение.

При отсутствии поглощения $\zeta=1/(\eta n_0)=1, g=0$ и $\gamma \neq 0, \chi_j^b$ представляют ортогональные круговые поляризации. В гиротропных или магнитоактивных средах при $\zeta \neq 1$ или при наличии поглощения χ_j^b неортогональны, все они отличаются друг от друга и изменяются с изменением угла падения. А это означает, что в отличие от негиротропных немагнитоактивных сред, в которых могут возбуждаться две или четыре собственные моды, при определенных условиях может возникать ситуация, когда в среде возбуждаются две идущие вперед и только одна идущая назад моды и – наоборот. В отличие от χ_j^* поляризации χ_j^b сильно изменяются с изменением длины волны, причем отличие ζ от единицы приводит к увеличению амплитуд этих изменений. Зависимость χ_j^b от длины волны и толщины слоя носит осцилляционный характер, причем для различных поляризаций χ_j^b амплитуды этих осцилляций различны.

В отличие от негиротропных немагнитоактивных в гиротропных или магнитоактивных средах собственные поляризации в общем случае неортогональны и нелинейны, однако эллиптичности и азимуты этих поляризаций равны по модулю. Зависимость χ_j^c от длины волны и толщины слоя носит осцилляционный характер.

Кафедра общей физики

Поступила 05.03.2001

ЛИТЕРАТУРА

1. Волькенштейн М.В., Бютнер Э.К. – ЖЭТФ, 1951, т. 21, с.1132–1138.
2. Айвазян Ю.М., Мергелян О.С. – Изв. АН АрмССР, сер. физ.-мат. наук, 1964, т. 17, с.125–127.
3. Ерицян О.С. – Изв. АН АрмССР, Физика, 1968, т. 3, с.217–219.
4. Ерицян О.С. – Изв. АН АрмССР, Физика, 1969, т. 4, с.180–186.
5. Hohnreich R.M., Shtrikman S. – Phys. Rev., 1969, v. 171, p.1065–1074.
6. Белый В.Н., Сердюков А.Н. – Кристаллография, 1974, т. 19, с.1279–1280.
7. Бокуть Б.В., Гиргель С.С. – Опт. и спектр., 1980, т. 49, с.738–741.

8. Маркелов В.А., Новиков М.А., Туркин А.А. – Письма в ЖЭТФ, 1977, т. 25, с.404–407.
9. Krichevstev B.B., Pavlov V.V., Pisarev R.V., Gridnev V.N. – J.Phys. Condens. Matter., 1993, v. 5, p.8233.
10. Новиков М.А., Хышов А.А. – Опт. и спектр., 1999, т. 87, с.416–418.
11. Condon E.U. – Rev.Mod.Phys., 1937, v. 9, p.432–457.
12. Drude P. The Theory of Optics. N.Y.: Longmans Green, 1992.
13. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред, М.: Наука, 1982.
14. Berreman D.W. – J. Opt. Soc. Am., 1972, v. 62, p.502–510.
15. Oldano C. – Phys. Rev., A, 1989, v. 40, p.6014–6020.
16. Georgieva E. – JOSA. A. 1995, v.10, p.2203–2211.
17. Аззам Р., Башара Н. – Эллипсометрия и поляризованный свет. М.: Мир, 1981.

Ա.Հ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

ԱՐՏԱՔԻՆ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԴԱՇՏՈՒՄ ԳՏՆՎՈՂ ԲՆԱԿԱՆ ԳԻՐՈՏՐՈՊ ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ԲԵՎԵՌԱՅԻՆ ՖՈՒՆԿՑԻԱՆԵՐԸ

Ամփոփում

Քննարկվել է լույսի անցումը արտաքին մագնիսական դաշտում գտնվող բնական գիրոտրոպ միջավայրի շերտով: Խնդիրը լուծվել է Բերեմանի 4×4 մատրիցների եղանակով: Կառուցվել են Ջոնսի մատրիցները, հաշվվել են անցման և անդադարձման գործակիցները, անցած լույսի բևեռացման ազիմուտը և էլլիպսականությունը: Ուսումնասիրվել են սեփական մոդերի բևեռացման ֆունկցիաների և սեփական բևեռացումների առանձնահատկությունները: Ցույց է տրվել, որ որոշակի պայմանների դեպքերում այս միջավայրերում գրգռվում են միայն երեք սեփական մոդեր:

A.H. GEVORGYAN

POLARIZATION FUNCTIONS OF NATURAL GYROTROPIC MEDIA EXISTING IN EXTERNAL MAGNETIC FIELD

Summary

The propagation of electromagnetic waves through a layer of naturally gyrotropic media in an external magnetic field is considered. The problem is solved by a method 4×4 matrix of Beremann. The Jones matrixes are constructed; the reflection and transmission coefficients, the polarization azimuth and ellipticity of a passing wave are calculated. The specific features of polarization functions of own modes, eigen polarizations and polarization functions of an incident wave at which one of the own modes is not excited are investigated. It is shown, that in these media under certain conditions three own modes are excited.

УДК 546.289

Փ.Վ. МИРЗОЯН, Э.Х. АЙРИЯН, Ж.В. САРКИСЯН, С.М. ВАРДАПЕТЯН

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФУКСИНА С МОЛИБДОГЕРМАНИЕВОЙ ГЕТЕРОПОЛИКИСЛОТОЙ

Установлено, что 8-молибдогерманиевая кислота образует с основным красителем фуксином в интервалах $\text{pH } 0,9 + 1,2; 1,7 + 2,2; 4,0 + 5,0$ комплексный ассоциат с четырьмя ассоциированными катионами красителя. Реакция отличается высокой контрастностью и чувствительностью ($\epsilon = 2,5 \cdot 10^5 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$).

Изучение состава и условий выделения комплексных ассоциатов (КА) органических основных красителей (ОК) с молибдогерманиевой гетерополи-кислотой (МГК) представляет интерес как с точки зрения понимания химизма образования МГК, так и установления условий, повышающих чувствительность методов фотометрического определения германия [1–8].

В настоящей работе впервые изучается реакция органического основно-го красителя фуксина (ФН) с МГК с целью установления условий, обеспе-чивающих индивидуальность и количественность выделения КА, а также выяснения зависимости состава последнего от условий его образования и природы ОК.

Реагенты, методика исследования и аппаратура. В работе использо-ваны $5,73 \cdot 10^{-3} \text{ М}$ исходный раствор германия (IV), приготовленный растворе-нием навески GeO_2 (квалификации ос.ч.) в дистиллированной воде с добав-лением небольших количеств NaOH (для обеспечения $\text{pH} \approx 7,2$); $0,024 \text{ М}$ раствор $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (ч.); $0,1\%$ -ный раствор ФН (ч.); азотная кислота (ос.ч.); серная кислота (ос.ч.); ацетон (ч.д.а.); бутиловый эфир уксусной кис-лоты (ч.); 5% -ный раствор тиомочевины (ч.); $0,1573 \text{ М}$ раствор $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (ч.); 50% -ный раствор роданида аммония (ч.). Все растворы хранили в полиэ-тиленовой посуде.

К раствору, содержащему определенные количества германия (IV) и находящемуся в конической центрифужной пробирке, добавляли азотную кислоту и создавали оптимальную для количественного образования МГК кислотность – $\text{pH } 1,4 + 4,0$ (далее будет упоминаться как $\text{pH}_\text{К}$). В раствор вво-дили определенные количества молибдена (VI), объем раствора доводили до $5,0 \text{ мл}$ дистиллированной водой, перемешивали и оставляли на $10\text{--}15$ ми-нут для максимально полного образования МГК. Затем создавали опти-мальную для выделения КА кислотность ($\text{pH}_\text{К}$) введением раствора азотной

кислоты, добавляли определенные количества раствора оксалата натрия (при необходимости), реагента-красителя и доводили объем до 10,0 мл водой. После перемешивания раствора до заметного образования хлопьев малорастворимого КА отделяли последний центрифугированием в течение 1 минуты (центрифуга ЦЛК-1, 3000 об/мин), раствор осторожно декантировали и измеряли его pH (рН-метром-милливольтметром рН-340). Осадок в пробирке растворяли в 10 мл ацетона, содержащих 0,5 мл 2,0 М азотной кислоты. О степени связывания германия (IV) в МГК судили по оптической плотности (ОП) полученного раствора, измеренной на спектрофотометре СФ-4А ($\lambda_{\text{max}}=550 \text{ нм}$). Параллельно проводили контрольные опыты для установления степени выделения изополимолибдатов фуксина.

Результаты и их обсуждение. Оптимальной для количественного образования МГК является область значений pH_K 1,7÷2,2 по азотной кислоте [5–7]. Образовавшись при этой кислотности, МГК не разрушается в более кислых средах [9,10]. Это позволяет установить условия, исключающие выделение простых солей ФН, одновременно обеспечивает количественный выход КА. Была изучена зависимость ОП исследуемых ацетоновых растворов от $\text{pH}_{\text{КА}}$ при постоянных pH_K и концентрации молибдена (VI) (рис.1). Максимальное образование КА наблюдается в интервале $\text{pH}_{\text{КА}}$ 0,9÷1,2, где ацетоновые растворы обеспечивают максимальное и практически постоянное значение ϵ ($2,5 \cdot 10^5$) в условиях бесцветности ацетоновых растворов контрольных опытов.

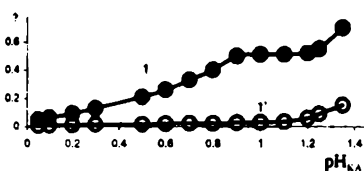


Рис. 1. Зависимость оптической плотности ацетоновых растворов КА (кр.1) и "простых" солей (кр.1') от $\text{pH}_{\text{КА}}$: $C_{\text{Ge(IV)}} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$; $C_{\text{Mo(VI)}} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$; $C_{\text{ФН}} = 1,45 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$; $l = 0,3 \text{ см}$.

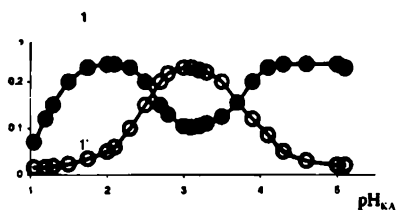


Рис. 2. Зависимость оптической плотности ацетоновых растворов КА (кр.1) и "простых" солей (кр.1') от $\text{pH}_{\text{КА}}$ при наличии в растворе оксалат-иона: $C_{\text{Ge(IV)}} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$; $C_{\text{Mo(VI)}} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$; $C_{\text{ФН}} = 1,45 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$; $C(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) = 0,02 \text{ моль/л}$; $l = 0,1 \text{ см}$.

Сопоставив эти данные с полученными ранее [5–8], можно заключить, что фуксин, содержащий в молекуле неалкилированные аминогруппы и, следовательно, обладающий высокой основностью, не пригоден в качестве реагента в сильноокислых растворах из-за легкости его протонирования. Согласно данным рис.1, при $\text{pH} < 0,9$ образование КА подавляется вследствие дальнейшей протонизации ФН, а при $\text{pH} > 1,2$ происходит образование и выделение изополимолибдатов красителя.

Реакцию образования КА изучали также в условиях маскирования несвязанных в МГК изополимолибдат-ионов. Ранее с этой целью была использована щавелевая кислота, однако в сильноокислой среде она оказалась малоэффективной [1,4]. В дальнейшем было показано, что маскирующая способность оксалат-ионов повышается в слабокислых растворах [5–8]. При на-

личии в растворе $2 \cdot 10^{-2}$ моль/л оксалата натрия интервал кислотности максимального образования КА смещается в менее кислую область: pH 1,7÷2,2 (рис.2), где образование изополимолибдатов реагента подавлено полностью. В интервале pH_{КА} 2,0÷4,0 возрастает степень выделения простых солей – изополимолибдатов реагента. Согласно литературным данным, при этой кислотности максимально образуется димолибдат-ион, точнее HMo_2O_7^- [11]; именно он, по-видимому, и склонен в наибольшей степени к образованию малорастворимой в воде соли с красителем.

Начиная с pH 4,0 и до pH 5,0, снова подавляется образование простых солей, а КА выделяется количественно. Таким образом, маскирование молибдена (VI) оксалат-ионами создает возможность для выделения КА в индивидуальном состоянии, причем непосредственно при кислотности образования самой МГК.

В установленных оптимальных условиях (pH_{КА} 0,9÷1,2 и 4,0÷5,0) реакция образования КА характеризуется практически постоянной и максимальной чувствительностью $\epsilon = (2,5 \pm 0,1) \cdot 10^5 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. Это свидетельствует о том, что изменение кислотности от pH 0,9÷1,2 до pH 1,7÷2,2 и pH 4,0÷5,0 соответственно не влияет на внешнесферный состав КА. При трех различных значениях кислотности изучена также зависимость выхода КА от концентрации красителя. Результаты приведены на рис.3. При pH_{КА} 1,0 максимальный выход обеспечивается при $C_{\text{ФН}} = 1,45 \cdot 10^{-4}$ М. Дальнейшее повышение концентрации красителя повышает ОП растворов соответствующих контрольных опытов вследствие роста степени выделения изополимолибдатов красителя, что и снижает выход КА в результате конкурентного взаимодействия с красителем.

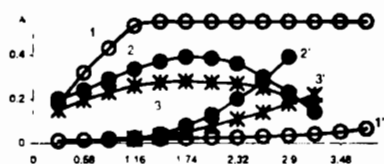


Рис. 3. Зависимость оптической плотности ацетоновых растворов КА (кр.1-3) и "простых" солей (кр.1'-3') от концентрации реагента-красителя:

$C_{\text{Гел(IV)}}$ для кр. 1, 1'; 3, 3' – 1,0; 2, 2' – 1,5 моль/л 10^5 ; $C_{\text{Мо(VI)}} = 1,2 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $C(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$ для кр. 2, 2'; 3, 3' – 0,02 моль/л; 1, 1' – в отсутствии оксалат-иона; pH_{изч} 2,2; pH_{КА} для кр. 1, 1' – 1,0; 2, 2' – 4,6; 3, 3' – 1,8; l для кр. 1, 1' – 0,3; 2, 2'; 3, 3' – 0,1 см; 1', 2', 3' – соответствующие "контрольные" опыты.

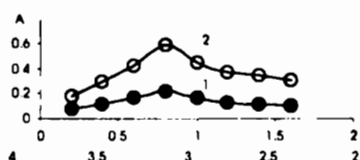


Рис. 4. Изомольярные системы ФН-МГК: $C_{\text{Мо(VI)}} = 1,2 \cdot 10^{-3}$ моль/л; pH_{изч} 2,2; pH_{КА} 1,8; $C(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) = 0,02$ моль/л; $\sum C_{\text{Гел(IV)}} + C_{\text{ФН}}$ для кр. 1 – 8,0; 2 – 4,0 моль/л 10^5 ; l для кр. 1 – 0,1; 2 – 0,3 см; $A_{\text{хол}} = 0$.

В условиях маскирования молибдена (VI) и pH_{КА} 1,8 или 4,6 количественный выход КА обеспечивается в более узком интервале концентраций реагента-красителя – $(1,2 - 2,0) \cdot 10^{-4}$ М, а чувствительность реакции остается той же – $\epsilon = (2,5 \pm 0,2) \cdot 10^5 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.

Мольное соотношение основных компонентов КА (ФН и МГК) было оп-

ределено методом изомолярных серий. Опыты ставились при двух различных суммарных концентрациях МГК и ОК – при постоянных: кислотности ($\text{pH}_{\text{КА}}$ 1,0 и 1,8), концентрации молибдат- и оксалат-ионов. Из данных рис.4 видно, что в системе образуется и выделяется КА с четырьмя ассоциированными катионами красителя. В соответствии с этим коэффициент молярного погашения (ϵ) КА ровно в четыре раза больше $\epsilon_{\text{ФН}}$ ($0,62 \cdot 10^5$) $\text{л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. Наблюдается хорошее совпадение теоретически ожидаемого с практически количественным образованием и выделением КА постоянного состава. Следовательно, анализ твердофазного КА, полученного при оптимальных условиях как на содержание ФН, так и молибдена (VI) и германия (IV), позволил бы четко представить также состав внутренней координационной сферы КА.

Был проведен анализ твердофазного КА, выделенного в оптимальных условиях и при концентрации германия (IV), равной $1,0 \cdot 10^{-5}$ моль/л , на содержание ФН, германия (IV) и молибдена (VI). Препарат КА растворяли в ацетоне и по ОП полученного раствора определяли ФН, используя предварительно построенный градуировочный график для ацетонового раствора самого реагента-красителя. Для определения германия (IV) препарат КА растворяли в 0,5 мл концентрированной азотной кислоты и в полученном растворе, после его нейтрализации гидроксидом калия, определяли германий (IV) по известной методике [12]. А для молибдена (VI) препарат КА растворяли в 2,5 мл концентрированной серной кислоты и в полученном сернокислом растворе молибден (VI) определяли роданидным способом [13]. Во избежание наложения полос поглощения ФН и роданида молибдена метод был использован в его экстракционном варианте, т.е. роданид молибдена отделяли экстракцией бутилацетатом (10 мл). При этом ФН вовсе не экстрагируется. Экстракт фотометрировали при $\lambda_{\text{max}} = 550 \text{ нм}$. Одновременно проводили “холостой” опыт. Содержание молибдена определяли по предварительно полученному градуировочному графику.

Результаты анализа приведены в таблице и свидетельствуют о том, что КА образуется на основе 8-МГК и содержит четыре ассоциированных катиона красителя.

Результаты анализа твердофазного КА ($n = 8$; $P = 0,95$)

рН при получении КА	Определено, $10^{-7} \cdot \text{моль/л}$			$\nu \text{ ФН} : \nu \text{ Ge (IV)} : \nu \text{ Mo (VI)}$
	ФН	Ge (IV)	Mo (VI)	
1,0	$4,10 \pm 0,02$	$1,05 \pm 0,04$	$8,06 \pm 0,04$	3,9 : 1,0 : 7,7
2,2	$3,90 \pm 0,03$	$1,00 \pm 0,02$	$8,03 \pm 0,05$	3,9 : 1,0 : 8,0
3,5	$4,30 \pm 0,02$	$1,05 \pm 0,01$	$8,30 \pm 0,02$	3,9 : 1,0 : 7,9

Согласно теории образования гетерополикислот Кеггина, МГК представляется четырехосновной и только насыщенной по молибдену 12-го ряда. Координационно ненасыщенные МГК по этой теории являются продуктами деградации 12-МГК, имеющей место при действии щелочи, т.е. при снижении кислотности. Это к тому же должно повышать основность МГК ненасыщенного ряда: по две единицы при отщеплении каждого из молибдат-

ионов из состава МГК. Состав полученного КА фуксина с МГК никак не может быть объяснен по этой теории. Во-первых, КА образуется не в условиях пониженной кислотности, а при той же кислотности количественного образования МГК (рН 1,4÷4,0), а также при ее повышении. Во-вторых, эффективная основность 8-МГК не повышена, она та же, что и для 12-МГК (равна четырем).

Следовательно, более вероятным кажется существование в растворе различных отдельных молибдогерманиевых гетерополикислот, т.е. форм, отличающихся составом внутренней координационной сферы и способных переходить в одну определенную форму вследствие смещения равновесия, т.е. в результате избирательного вхождения реагента во внешнюю координационную сферу этой формы и образования соответствующего твердофазного КА. Не исключается также образование в растворе только одной единственной формы, имеющей как бы различные "молибдатные слои" внутренней координационной сферы, способные к отщеплению при избирательном взаимодействии с реагентом-красителем без изменения при этом эффективной основности данной формы.

Последнее предположение представляется более вероятным, и его экспериментальному подтверждению будут способствовать дальнейшие исследования, направленные на выяснение возможностей образования более сложных, четверных КА на основе описываемого КА 8-МГК с четырьмя ассоциированными катионами фуксина.

ИОНХ НАН РА, ЕГУ

Поступила 23.05.2000

ЛИТЕРАТУРА

1. Ганаго Л.И., Простак И.А. – ДАН БССР, 1969, т.13, № 4, с.345.
2. Pora Gr., Paralescu I. – Talanta, 1969, v.16, p.315.
3. Pora Gr., Paralescu I. – Revista do chimie, 1970, v.21, p.93.
4. Ганаго Л.И., Простак И.А. – ЖАХ, 1971, т.26, №1, с.104.
5. Мирзоян Ф.В., Тараян В.М., Айриян Э.Х. – Арм.хим.ж., 1979, т. 32, №2, с.106.
6. Mirsoyan F.V., Tarayan V.M., Hairiyan E.Kh., Grigorian N.A. – Talanta, 1980, v.27, p.1055.
7. Mirsoyan F.V., Tarayan V.M., Hairiyan E.Kh. – Anal. Chim.Acta, 1981, v.124, p.185.
8. Мирзоян Ф.В., Айриян Э.Х., Мирзоян Л.А., Оганян Н.А. – Хим. ж. Армении, 2000, т.53, №1-2, с.50.
9. Моторкина Р.К. – ЖНХ, 1957, т.2, №1, с.92.
10. Шахова З.Ф., Моторкина Р.К. В кн.: Методы анализа редких и цветных металлов. М.: Изд-во МГУ, 1956, с.47.
11. Алексеева И.И. – ЖНХ, 1967, т.12, №7, с.1740.
12. Назаренко В.А. Аналитическая химия германия. М.: Наука, 1973, с.68.
13. Зайчикова Л.Б. – Зав. лаб., 1949, т.15, № 9, с.1035.

Ֆ.Վ. ՄԻՐԶՈՅԱՆ, Է.Խ. ՀԱՅՐԻՅԱՆ, Ժ.Վ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Ս.Մ. ՎԱՐԴԱՊԵՏՅԱՆ

ՖՈՒԺՍԻՆԻ ԵՎ ՄՈԼԻԲԴԱԳԵՐՄԱՆԻՈՒՄԱԿԱՆ ՀԵՏԵՐՈՊՈԼԻԹԹՎԻ
ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ամփոփում

Հաստատվել է, որ 8-մոլիբդագերմանիումական թթուն միջավայրի թթվության $\text{pH } 0,9 \div 1,2$; $\text{pH } 1,7 \div 2,2$; $\text{pH } 4,0 \div 5,0$ միջակայքերում առաջացնում է հիմնային ներկանյութի չորս ասոցված կատիոն պարունակող կոմպլեքսային միացություն: Հետազոտված ռեակցիան աչքի է ընկնում բարձր զգայունությամբ ($\epsilon = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Լ} \cdot \text{մոլ}^{-1} \cdot \text{սմ}^{-1}$):

F.V. MIRZOYAN, E.Kh. HAIRIYAN, Zh.V. SARKISIAN, S.M. VARDAPETIAN

THE STUDY OF INTERACTION BETWEEN FUCHSIN
AND MOLYBDOGERMANIC HETEROPOLYACID

Summary

It has been estimated that 8-molybdo germanic acid during interaction with Fuchsin basic dye forms the complex associate with four associated cations of dye in the acidity $\text{pH } 0,9 \div 1,2$; $\text{pH } 1,7 \div 2,2$; $\text{pH } 4,0 \div 5,0$. This reaction is distinguished by its high contrasting and sensitivity ($\epsilon = 2,5 \cdot 10^5 \text{ l} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$).

УДК 546.23+547.496.3

Մ.Տ. ЗАКАРЯՆ, Դ.Դ. ԴԱՐԻՆՅԱՆ, Գ.Ն. ՇԱՊՈՇՆԻԿՈՎԱ, Ա.Դ. ԽԱՇԱՏՐՅԱՆ

АМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕЛЛУРА (IV) ТИОМОЧЕВИНОЙ

Исследовано электродное поведение теллура (IV) и тиомочевины на различных фонах. Показано, что амперометрическое титрование предпочтительнее проводить при $+1$ В по току окисления реагента. Доказано, что химическое взаимодействие соответствует мольному отношению реагирующих компонентов 1:4 и протекает с восстановлением теллура (IV) до теллура (II) с последующим комплексообразованием. Выявлены оптимальные условия определения: кислотность, концентрационный интервал теллура (IV), влияние сопутствующих ионов. Проведена математическая обработка полученных результатов.

Амперометрические методы определения теллура (IV) основаны на реакциях окисления-восстановления. Так, напр., теллур (IV) восстанавливают цинковой пылью до элементарного, окисляют йодом, избыток которого титруют гидразином. При восстановлении теллура (IV) йодидом выделившийся йод оттитровывают тиосульфатом.

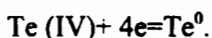
Описано окисление теллура (IV) до шестивалентного состояния перманганатом или бихроматом с последующим титрованием избытка окислителя солью Мора. Описанные методы являются косвенными и трудоемкими. Что касается методов определения теллура (IV), основанных на реакциях комплексообразования, то работа с ртутным капельным электродом и малая доступность предложенных реагентов делают их применение проблематичным [1].

Известно, что в присутствии минеральных кислот теллур (IV) восстанавливается тиомочевинной (тиокарбамидом) до двухвалентного с последующим комплексообразованием [2].

Спектрофотометрическим методом подтверждено образование тиомочевинного комплекса теллура (IV) [3]. С учетом целого ряда преимуществ тиомочевины (устойчивость водных растворов во времени, окисление тиомочевины на платиновом электроде и др.) была поставлена задача разработать метод амперометрического определения теллура (IV) с использованием в качестве реагента тиомочевины.

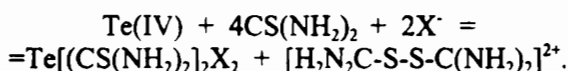
Экспериментальная часть. Запасной стандартный раствор теллура (IV) готовили растворением х.ч. элементарного теллура в смеси соляной и азотной кислот с последующей денитрацией, а рабочий раствор тиомочевины – растворением точно взятой навески перекристаллизованного препарата в дистиллированной воде.

Амперометрическое титрование проводили на собранной амперометрической установке с применением в качестве индикаторного платинового микроэлектрода длиной 4 мм (электродом сравнения служил ртуть-йодидный электрод) при постоянном значении потенциала. С этой целью были сняты вольт-амперные характеристики реагирующих компонентов. Теллур (IV) на платиновом электроде дает четко выраженный ток в катодной области. На фоне 5 М HCl величина регистрируемого тока больше, чем на фоне 5М H₂SO₄. Это означает, что процесс восстановления теллура (IV) протекает легче, когда он находится в виде хлоридного комплекса, а не теллурита. Платиновый электрод покрывается черным налетом согласно электродной реакции:



Вследствие этого титрование теллура (IV) тиомочевинной предпочтительнее проводить по току окисления реагента при $E = +1 \text{ В}$.

При добавлении тиомочевины к солянокислому или сернокислому раствору теллура (IV) наблюдается увеличение величины диффузионного тока. Кривые амперометрического титрования такого рода наблюдаются в тех случаях, когда электроактивен продукт химической реакции, в данном случае теллур (II) [4]. Перегиб на кривой титрования наблюдается при мольном отношении реагирующих компонентов 1:4. Дальнейшее повышение диффузионного тока объясняется избытком тиомочевины. Выделение элементарного теллура не отмечается, раствор окрашивается в желтый цвет. Все вышеприведенные данные свидетельствуют о том, что взаимодействие теллура (IV) с тиомочевинной протекает с восстановлением его до двухвалентного с последующей реакцией комплексообразования согласно уравнению



Аналогичные данные получаются в широком интервале кислотности по серной (1 М–7М) и соляной (1 М–13 М) кислотам. В дальнейшем титрование проводили при 5 М HCl или H₂SO₄.

Для выявления тех концентраций теллура (IV), которые подчиняются основному закону амперометрии, были оттитрованы различные концентрации теллура (IV).

Выяснилось, что как вид кривой, так и вышеупомянутое мольное отношение не меняются при титровании $4 \cdot 10^{-3} - 8 \cdot 10^{-5} \text{ М}$ растворов.

Амперометрическое титрование теллура (IV) тиомочевинной было проведено на искусственных смесях, содержащих те ионы, которые обычно сопутствуют теллуру [5].

Титрованию $8 \cdot 10^{-5} \text{ М}$ раствора теллура не мешают тысячекратные по сравнению с теллуrom количества Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Sr^{2+} , Fe^{3+} , в десять раз меньшие – селена (IV). Мешает золото (III), реагирующее с тиомочевинной.

Полученные экспериментальные данные были подвергнуты математической обработке. Данные представлены в таблице.

Правильность результатов анализа ($n=5$, $p=0.95$, $v=25$ мл, $t_{\alpha}=2.78$)

Введено Te (IV), мг/мл	Найдено Te (IV), мг/мл	S	$C \pm (t_{\alpha} \cdot S) / n$	$Sr = (S/C) \cdot 100\%$	$\Delta = (t_{\alpha} \cdot S/C) \cdot 100\%$
0.010136	0.010085	0.000211675	0.010085 ± 0.002633	2.098	2.61
0.10136	0.10187	0.00211675	0.10187 ± 0.026316	2.08	2.58
0.5068	0.5081	0.00694244	0.5081 ± 0.0086309	1.37	1.70

Таким образом, предложен новый метод амперометрического определения теллура (IV) тиомочевинной.

ЕГУ, ИГ НАН РА.

Поступила 06.09.2000

ЛИТЕРАТУРА

1. Сонгина О.А., Захаров В.А. Амперометрическое титрование. М.: Химия, 1979, с.269.
2. Овсепян Е.Н., Тараян В.М., Шапошникова Г.Н. – Арм.хим.ж., 1967, т.20, № 3, с.184.
3. Овсепян Е.Н., Шапошникова Г.Н., Галфаян Н.Г. – Журнал неорганической химии, 1967, т.10, в. 9, с. 2411.
4. Сонгина О.А. – Журнал аналитической химии, 1972, т.27, № 6, с.1121.
5. Кудрявцев А.А. Химия и технология селена и теллура. М.: Высшая школа, 1961, с.169.

Շ.Ս. ԶԱԶԱՐՅԱՆ, Հ.Հ. ԴԱՐԲԻՆՅԱՆ, Գ.Ն. ՇԱՊՈՇՆԻԿՈՎԱ, Հ.Գ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

ՏԵԼՈՒՐ (IV)-Ի ԱՄՊԵՐԱԶԱՓԱԿԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ԹԻՈՄԻՉԱՆՅՈՒԹՈՎ

Ա մ փ ո փ ո մ

Ուսումնասիրված է տելուր (IV)-ի էլեկտրոդային վարքը ծծմբական և աղաթթվային միջավայրերում: Ամպերաչափական տիտրումը կատարվել է +1 Վ պոտենցիալի դեպքում ըստ թիոմիզանյութի օքսիդացման հոսանքի:

Քիմիական ռեակցիան ընթանում է տելուր (IV)-ի մինչև տելուր (II) վերականգնումով, որն էլ մտնում է կոմպլեքսագոյացման ռեակցիայի մեջ: Փոխազդող բաղադրամասերի 1:4 մոլային հարաբերությունը պահպանվում է 1-7 մոլ թթվայնության սահմաններում:

Ամպերաչափական տիտրման հիմնական օրենքը պահպանվում է $4 \cdot 10^{-3}$ – $8 \cdot 10^{-5}$ մոլ/լ սահմաններում: Ուսումնասիրված է ուղեկցող իոնների ազդեցությունը տելուրի (IV) տիտրման վրա:

Sh.S. ZAKARIAN, G.G. DARBINIAN, G.N. SHAPOSHNIKOVA, H.G. KHACHATRIAN

AMPEROMETRIC DETERMINATION OF TELLURIUM (IV)
BY THIOUREA

Summary

Electrode behaviour of tellurium (IV) in the presence of different backgrounds has been studied. It has been shown that it is more preferable to carry the amperometric titration at $+1\text{ V}$ by means of reagent oxidation current. It has been shown also that chemical interaction corresponds to the 1:4 *molar* ratio of the reacting components and takes place with reduction of tellurium (IV) to tellurium (II).

Optimal conditions for determination: acidity, concentration ranges for tellurium, influence of accompanying ions have been revealed. Mathematic statistic treatment of obtained experimental data has been carried out.

УДК 517.542.952+547.491.8

М.Л. ЕРИЦЯН, Г.Г. ГАЛСТЯН, Р.А. КАРАМЯН, Г.П. ПИРУМЯН

СОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ С НАТРИЕВОЙ СОЛЬЮ 1,3-ДИАЛЛИЛИЗОЦИАНУРАТА

В водной среде в присутствии персульфата аммония исследована радикальная полимеризация акриловой кислоты с натриевой солью 1,3-диаллилизотиоцианурата. Методом ИК-спектроскопии определены составы полученных сополимеров. Рассчитаны константы сополимеризации r_1 и r_2 для указанных мономеров.

В литературе мало информации по сополимеризации акриловых мономеров с аллильными системами [1–3]. Практически отсутствуют данные по исследованию сополимеризации акриловой кислоты (АК) с водорастворимыми аллильными системами, что как в теоретическом, так и в практическом отношении представляет немаловажный интерес. В связи с этим нами поставлена задача исследовать в водной среде в присутствии персульфата аммония радикальную сополимеризацию акриловой кислоты с натриевой солью 1,3-диаллилизотиоцианурата (Na-ДАИЦ). Условия сополимеризации АК с Na-ДАИЦ и составы полученных сополимеров указаны в таблице.

Отметим, что составы полученных сополимеров определялись ИК-спектроскопическим методом с использованием областей 763 см^{-1} и 1733 см^{-1} , характерных для поглощения симм-триазинового цикла и карбонильной группы в АК.

Используя данные таблицы и пользуясь уравнением Файнемана–Росса для сополимеризации бифункциональных и монофункциональных мономеров [4], представим зависимость

$$\frac{F}{f}(f-1) = r_1 \frac{F^2}{2f} - 2r_2,$$

где F и f – мольные соотношения АК/Na-ДАИЦ в мономерной фазе и в сополимере соответственно.

На основании вышепредставленного уравнения и графика зависимости $\frac{F}{f}(f-1)$ от $\frac{F^2}{2f}$ (см. рис.) были определены константы сополимеризации r_1 и r_2 , которые равны 14,4 и 0,003 соответственно. Численные значения r_1 и r_2 дают нам основания полагать, что константа скорости присоединения аллильного радикала к акриловой кислоте значительно превышает константу присоединения аллильного радикала к своему мономеру. Однако константа скорости

реакции присоединения акрилового радикала к своему мономеру существенно превосходит константу присоединения акрилового радикала к аллильному мономеру. Таким образом образовавшаяся сополимерная цепь в основном состоит из блоков акриловых звеньев и чередующихся с ними симметричных звеньев.

Условия сополимеризации АК с Na-ДАИЦ

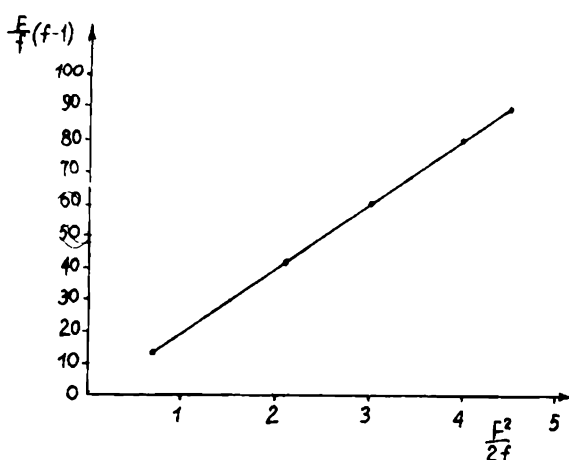
Мольное соотношение АК/Na-ДАИЦ в моном. фазе	Время полимериз., ч	Выход полимера, г	Глубина превращ., %	Мольное соотнош. АК/Na-ДАИЦ в сополимере	Содер., нераствор. части в полимере, %
5	1,0	1,5	8,5	37,0	-
"	4,0	3,1	17,5	-	-
"	6,0	3,9	22,0	-	4,5
"	10,0	6,03	34,0	-	12,0
"	12,0	6,64	37,5	-	25,0
"	14,0	11,08	62,5	-	50,5
"	18,0	16,84	95,0	-	72,0
10	0,85	1,28	9,0	72,5	-
"	3,5	3,63	25,5	-	10,5
"	6,0	6,84	48,0	-	29,8
"	9,0	8,84	62,0	-	52,0
"	12,0	12,76	89,5	-	63,0
"	14,0	14,0	98,5	-	71,0
30	0,65	1,01	8,5	217,0	-
"	3,0	4,6	38,5	-	22,0
"	4,5	7,1	59,5	-	43,5
"	6,0	9,06	75,8	-	59,8
"	8,5	11,83	99,0	-	75,0
50	0,45	1,03	9,0	361	-
"	2,5	6,72	58,5	-	69,4
"	4,0	9,08	79,0	-	88,6
"	6,0	11,37	99,0	-	96,8
60	0,35	0,91	8,0	4,33	-
"	2,0	6,88	60,5	-	73,5
"	3,0	10,3	89,0	-	91,5
"	4,0	11,21	98,5	-	100,0
70	0,3	1,12	10,0	505,0	-
"	1,5	7,79	69,0	-	88,5
"	3,0	11,18	99,0	-	100,0
100	1,5	11,04	99,0	-	100,0

ДАИЦ, являясь бифункциональным мономером, участвует в образовании сополимеров с пространственной структурой, о чем свидетельствует наличие нерастворенной части в сополимере.

Экспериментальная часть. ИК-спектры сополимеров в виде пленок сняты на приборе UR-20 с применением призмы CaF_2 . АК отгоняли и использовали фракцию с т. к. 141°C , n_D^{20} 1.424. Na-ДАИЦ получен согласно [5]. Персульфат аммония или калия очищали перекристаллизацией из этанола.

Сополимеризация АК с Na-ДАИЦ. В реактор помещают расчетное количество АК, Na-ДАИЦ и инициатор полимеризации персульфата аммония 1-1,5% от смеси мономеров. Отметим, что независимо от результа-

тов опытов, приведенных в таблице, концентрация АК поддерживалась постоянно равной 0,15 молей. Дистиллированной водой содержимое колбы доводилось до 100 мл, затем тщательно пробулкивалось азотом, а при пе-



ремешивании температура реакционной смеси доводилась до $65 \pm 0,5^\circ \text{C}$. Время проведения сополимеризации указано в таблице. Сополимер высаживался ацетоном и сушился до постоянной массы.

Нерастворимую часть сополимера отделяли от его растворимой части на аппарате Сокслета. Последнюю растворяли в воде, затем пропускали через фильтр Шотта-3.

Армению университет, ЕГУ

Поступила 25.10.2000

ЛИТЕРАТУРА

1. Хем Д. Соплимеризация, М.: Изд-во Химия, 1971, с.529.
2. Оглашенный Ю.И., Ятчишин И.И., Маршалок Г.А., Найденов В.П., Колендо А.Ю. – Укр. хим. ж., 1998, в. 64, № 9–10, с.131.
3. Zhang Liming Huang Shaojie, San Baowei – Sutyatseni Nature.Sci., 1998, v.38, №1, с. 9–13.
4. Ериця М.Л., Золотухин В.В., Золотухина Г.И., Дьячковский Ф.С. – Высокомолекулярное соединение, 1975, т(Б), № 12, с.823.
5. Човник Л.И., Пазенко З.Н., Корнев К.А., Хоменкова К.А. – ЖОрХ, 1965, №1, в 1, с.742.

Մ.Լ. ԵՐԻՅԱՆ, Գ.Գ. ԳԱԼՍՅԱՆ, Ռ.Ա. ԶԱՐԱՄՅԱՆ, Գ. Պ. ՓԻՐՈՒՄՅԱՆ

ԱՎՐԻԼԱԹԹՎԻ ՀԱՄԱՊՈԼԻՄԵՐԱՑՈՒՄԸ
ԴԻԱԼԻԼԻԶՈՑԻԱՆՈՒՐԱԹԹՎԻ ՆԱՏՐԻՈՒՄԱԿԱՆ ԱՐԻ ՀԵՏ

Ամփոփում

Ջրային միջավայրում ամոնիումի պերսուլֆատի ներկայությամբ ուսումնասիրվել է ակրիլաթթվի և 1,3-դիալիլիզոցիանուրաթթվի մատրիումական աղի ռադիկալային համապոլիմերացումը: ԻԿ-սպեկտրոսկոպիկ մեթոդով ո-

րոշվել է ստացված համապոլիմերների բաղադրությունը: Որոշվել են նշված մոնոմերների համապոլիմերացման r_1 , r_2 հաստատունները:

M.L. YERITSIAN, G.G. GALSTIAN, R.A. CARAMIAN, G.P. PIROUMIAN

SO-POLYMERIZATION OF ACRYL ACID WITH SODIUM SALT OF 1,3-DIALLILCYANURAT

Summary

It has been studied the radical so-polymerization of acryl acid with sodium salt of 1,3-dyallilisocianurate in the presence of persulfat of ammonium or potassium.

By the method of UK-spectroscopy the composition of received so-polymers are determined. The constants of so-polymerization r_1 and r_2 for above – mentioned mechanisms are counted.

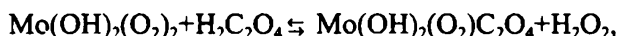
УДК 548.76; 546.226

Յ.Ե. ԿԱՓԱՆՅԱՆ, Ր.Ա. ՏԱՐԿԻՍՅԱՆ, Տ.Ժ. ԲԱԳԺԱՏԱՐՅԱՆ,
Յ.Ն. ՕԳԱՆԻՍՅԱՆ, Մ.Դ. ԱՐՄՈՒՅՅԱՆ, Դ.Լ. ԳՐԻԳՐՅԱՆ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОЛИБДЕНА (VI) С ЩАВЕЛЕВОЙ КИСЛОТОЙ

Методом ионного обмена и спектрофотометрии изучено взаимодействие молибдена (VI) с щавелевой кислотой в водном растворе. Установлено образование одного комплекса с молярным соотношением исходных компонентов 1:1 следующего состава: $[\text{MoO}_2 \cdot \text{C}_2\text{O}_4]^0$ и определена константа устойчивости комплекса.

В литературе известны работы по взаимодействию молибдат иона с органическими лигандами, при котором образуются разные комплексные соединения. В [1] описан смешанный дипероксооксалатокomплекс – $\text{MoO}(\text{O}_2)_2\text{C}_2\text{O}_4$, который был выделен в твердом состоянии. Там же спектрофотометрическим методом изучено комплексообразование Mo(VI) с перекисью водорода и щавелевой кислотой в одномолярной солянокислой среде:



определена также константа равновесия процесса комплексообразования.

Целью настоящей работы является изучение комплексообразования молибден (VI) с щавелевой кислотой в одномолярной хлорноокислой среде. Методами ионного обмена и спектрофотометрии определены состав и константа устойчивости щавелевокислых комплексов.

Метод ионного обмена. К навескам 1 г катионита КУ–2 в H^+ форме или анионита АВ–17 в ClO_4^- форме добавляли по 25 мл исследуемых растворов, содержащих по $2 \cdot 10^{-4}$ моль/л молибдена (VI) при суммарной концентрации $\sum [\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4] + [\text{HClO}_4] \geq 1$ моль/л, что исключало образование полиядерных соединений [2], встряхивали до установления равновесия при 20°C.

В равновесных с ионитами растворах концентрацию молибдена (VI) определяли фотометрическим методом, роданидом аммония [3].

Результаты опытов по поглощению молибдена катионитом и анионитом представлены на рис.1, из которой следует, что во всем интервале концентрации щавелевой кислоты молибден (VI) почти не поглощается анионитом (1–2%). При низких концентрациях щавелевой кислоты молибден поглощается катионитом, что можно объяснить доминированием мономерных форм молибденил ионов MoO_2^{2+} [4]. С повышением концентрации оксалат

ионов процент поглощения снижается, что объясняется связыванием MoO_2^{2+} ионов в оксалатный комплекс.

Низкий процент поглощения (1–2%) на анионите и на катионите указывает на образование нейтрального комплекса (рис. 1).

Чтобы убедиться, что в данной системе образуется один единственный комплекс, необходимо было найти зависимость обратного значения константы распределения ($1/K_d$) от концентрации оксалат ионов (рис. 2). Прямолинейный характер кривой указывает на образование в данной системе одного комплекса.

K_d определяли по формуле:

$$K_d = \frac{M}{100 - M} \times \frac{V}{m}, \quad (1)$$

где M – концентрация поглощенного молибдена в %, V – объем раствора, m – масса ионита.

Для определения констант устойчивости щавелевокислого комплекса молибдена использовали ионообменно-хроматографический метод. Установили зависимость функции образования ($\bar{n}$) от концентрации свободных ионов лиганда при условии, когда в растворе образуются комплексы любой прочности [5].

Для расчета $\bar{n}$ (среднее число связанных с центральным ионом лигандов) использовали формулу

$$\bar{n} = \frac{q_+(\gamma_+ - 1) + q_- \gamma_-}{Z_A}, \quad (2)$$

так как поглощение анионитом почти отсутствует, то $\bar{n} = \frac{q_+(\gamma_+ - 1)}{Z_A}$, где Z_A

– величина заряда лиганда (–2), γ_+ – относительная доля катионных форм, q_+ – величина заряда центрального иона (+2).

Величину γ_+ рассчитывали по формуле

$$\gamma_+ = \frac{(100 - [M]_+)Co}{(100 - Co)[M]_+}, \quad (3)$$

где Co – концентрация исследуемого элемента в равновесных с ионитами растворах в отсутствие лиганда, $[M]_+$ – общая концентрация исследуемого элемента в растворе, равновесная с катионитом в присутствии лиганда. Все концентрации выражены в процентах от исходной.

Данные $\bar{n}$ и γ_+ приведены в таблице 1. По этим данным строили графическую зависимость функции

$$\bar{n} \text{ от } -\lg C_2O_4^{2-} \text{ (рис. 3).}$$

Константы устойчивости рассчитывали по общей формуле, приведенной в [6]:

$$\beta_n = \frac{N - n + 1}{n} \cdot \beta_{cp} X^{N+1-2n}, \quad (4)$$

где β_{cp} – средняя константа устойчивости, N – максимальное количество

лигандов, X – значение фактора рассеивания: $X = \frac{1-\Delta}{\Delta}$, где Δ – значение наклона кривой в средней точке:

$$\Delta = 0,4343 \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

Для той же точки были определены

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d\bar{n}}{d[C_2O_4^{2-}]} = 0,67; \Delta = 0,29; \chi = 2,45.$$

Таблица 1

Расчет функции образования $\bar{n}$ в зависимости от концентрации ионов $C_2O_4^{2-}$ для системы $MoO_4^{2-} - C_2O_4^{2-}$, $q_+ = +2$, $C_{M(VI)} = 2 \cdot 10^{-4}$ моль/л, $\sum [HClO_4] + [H_2C_2O_4] \geq 1$ моль/л

$[H_2C_2O_4]$ моль/л	$[C_2O_4^{2-}] \cdot 10^7$ моль/л	$-\lg [C_2O_4^{2-}]$	% поглощения КУ-2(H ⁺)	γ	$\gamma - 1$	$\bar{n}$
0	0	0	18	1	0	0
$5 \cdot 10^{-1}$	0,152	7,82	17	0,93	-0,07	0,07
$5 \cdot 10^{-2}$	1,52	6,82	14	0,8	-0,2	0,2
$1 \cdot 10^{-1}$	3,024	6,52	10	0,51	-0,49	0,49
$2 \cdot 10^{-1}$	6,048	6,22	7	0,34	-0,66	0,66
$3 \cdot 10^{-1}$	9,072	6,04	4	0,18	-0,82	0,82
$4 \cdot 10^{-1}$	12,096	5,92	3	0,14	-0,86	0,86
$5 \cdot 10^{-1}$	15,12	5,82	2,25	0,1	-0,9	0,9
$6 \cdot 10^{-1}$	18,14	5,74	2,25	0,1	-0,9	0,9

Математическая обработка кривой (рис. 3) по методу Бьеррума [6] дала следующие результаты:

$$\beta_{cp} = \left(\frac{1}{[C_2O_4^{2-}]} \right)_{\bar{n} = \frac{N}{2} = 0,5} = \frac{1}{3,024 \cdot 10^{-7}} = 3,3 \cdot 10^8.$$

Таблица 2

Данные необходимые для подтверждения состава комплекса по методу Асмуса (концентрация исходного раствора щавелевой кислоты – $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л)

$[H_2C_2O_4]$ мл	D	$1/D$	$1/V$	$1/V^2$	$1/V^3$
0,25	0,8	1,25	4	16	64
0,5	0,81	1,23	2	4	8
0,75	0,82	1,22	1,33	1,78	2,38
1,0	0,825	1,21	1	1	1
1,25	0,83	1,2	0,8	0,64	0,51
1,5	0,84	1,19	0,66	0,44	0,3
1,75	0,85	1,18	0,57	0,33	0,19

В нашем случае $N=1$, значение $[C_2O_4^{2-}]$ определяли по средней точке кривой:

$$[C_2O_4^{2-}] = 3,024 \cdot 10^{-7}.$$

Используя формулу (4), находим значение константы устойчивости. Так как $n=1$, $\beta_1 = \beta_{cp} = 3,3 \cdot 10^8$.

Метод спектрофотометрии. Состав комплекса подтвердили по методу прямой линии Асмуса [7]. Измерение проводили на СФ-16 ультрафиолетовой части спектра в диапазоне длин волн 195–235 нм, в кварцевой кювете ($l=1$ см). Оптические плотности измерялись при постоянной концентрации молибдена ($2 \cdot 10^{-4}$ моль/л), хлорной кислоты (1 моль/л) и разных концентрациях щавелевой кислоты. Растворы сравнения не содержали молибден. Так как максимум поглощения получается при $\lambda = 210$ нм, то дальнейшие измерения проводили при этой длине волны (табл.2). По полученным данным, построили графическую зависимость $1/V^n$ от $1/D$ (рис. 4). При $n=1$ получена прямая линия, что указывает на образование одного комплекса соотношением 1:1.

Таким образом, в изучаемой системе получается нейтральное комплексное соединение состава $[MoO_2C_2O_4]^0$.

Кафедра неорганической химии

Поступила 12.09.2000

ЛИТЕРАТУРА

1. Конишевская Г.А., Филиппов А.П. – ЖНХ, 1979, т.8, с.2143.
2. Бабко А.К., Гридчина И.Г. – ЖНХ, 1968, т.8, с.1.
3. Зайчикова Л.Б. – Зав.лаб., 1949, т.15, с.1025.
4. Набиванец Б.И. – ЖНХ, 1969, т.14, с.653.
5. Набиванец Б.И. – Укр.хим.ж., 1966, т.32, с.886.
6. Бьеррум Я. Образование аминов металлов в водном растворе. Теория обратимых ступенчатых реакций. М.: Изд-во ИЛ, 1961.
7. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим и спектрофотометрическим методам анализа. Л.: Ленинградское отделение изд-ва Химия, 1976, с.219.

Է.Ե. ՂԱՓԱՆՅԱՆ, Դ.Ա. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Ս.Դ. ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ,
Է.Ն. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Մ.Գ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Գ.Լ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ՄՈԼԻԲԴԵՆԻ (VI) ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՕՔՍԱԼԱԹԻՎԻ ՀԵՏ

Ամփոփում

Իոնափոխանակային քրոմատոգրաֆիայի և սպեկտրոֆոտոմետրիկ եղանակներով ուսումնասիրված է $Mo(VI)$ -ի և օքսալաթթվի փոխազդեցությունը ջրային լուծույթում: Հաստատված է ելանյութերի 1:1 մոլային հարաբերությամբ մեկ կոմպլեքսի գոյացումը $[MoO_2C_2O_4]^0$ բաղադրությամբ և որոշված է կոմպլեքսի կայունության հաստատունը:

E.Y. GHAPANTSIAN, R.A. SARKISIAN, S.D. BAGHDASARIAN, E.N. HOVANISSIAN,
M.G. HARUTIUNIAN, G.L. GRIGORIAN

INTERACTION OF MOLYBDENUM (VI) WITH OXALATE ACID

Summary

Using ion-exchange chromatography and spectrophotometer method the reaction of Mo (VI) and oxalate acid in water was investigated. It was stated that proportion 1:1 of initial materials provided creation of $[\text{MoO}_2(\text{C}_2\text{O}_4)]$ complex. The constant of stability complex ion was defined.

УДК 547.314+547.841

С.М. АКОПЯН

ФАКТОРЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА РЕАКЦИЮ АМИНИРОВАНИЯ 2-ОКСО-3-АЛКИЛ-6-МЕТИЛ-1,4-ДИОКСАНОВ

Изучена реакция аминирования 2-оксо-3-алкил-6-метил-1,4-диоксанов. Установлено, что небольшой избыток исходного амина ускоряет процесс. С целью разработки оптимальных параметров реакции исследована формальная кинетика процесса. Показано, что реакция протекает с некоторым самоторможением.

Продолжая работы в области исследования экоактивных соединений, мы изучили реакцию 2-оксо-3-алкил-6-метил-1,4-диоксанов с бензиламином.

Из литературы известно [1, 4], что подобные реакции относятся к разряду трудно протекающих, и для их осуществления требуются высокая температура, давление и, как правило, избыток амина.

С целью нахождения оптимальных условий реакции изучали влияние ряда факторов на процесс образования замещенных морфолин-3-онов (МФН). Модельным процессом служила реакция 2-оксо-3,6-диметил-1,4-диоксана (ДОН) с бензиламином (БА) в среде толуола. Ход процесса контролировали методом ГЖХ. Исследования показали, что при мольных соотношениях ДОН и БА (1:1) выход целевого продукта через 3 часа после начала реакции составляет 32% (0,098М). В этих случаях значительная часть диоксанона возвращалась, при этом наблюдалось образование продуктов осмоления. Увеличение мольного соотношения исходного амина до 1,3 заметно повышает выход целевого продукта, который при этом достигает 65–67% (0,62М) через 3 часа после начала реакции. При замене избытка (0,3М) БА на триэтиламин (ТЭА) его выход увеличивается, достигая через 3 часа после начала реакции 78%. Наблюдаемое явление можно объяснить тем, что исходный амин не только является реагентом, но и ускоряет аминирование диоксанонов.

Очевидно, что основной причиной нуклеофильного замещения является сдвиг электронов от углерода к карбонильному кислороду диоксанонного кольца. Переход от диоксанона к морфолинону протекает через образование промежуточного амида оксикислоты (1), и благодаря заместителю :NHR, имеющему свободную пару электронов, происходит сопряжение последнего с карбонильной группой [5]. Атом водорода амидной группы проявляет кислый характер, а основность атома азота понижена по сравнению с основностью азота в аминах. Предполагаемая схема реакции следующая:



Создается возможность отщепления водорода (:NHR группы) в виде протона, который сразу же атакуется парой электронов амина (II). В результате в переходном состоянии I существует возможность повышения стабильности молекулы за счет циклизации, и эта возможность реализуется путем отщепления воды. Доказательством этой схемы может служить снятый ИК-спектр целевого продукта, где наблюдаются интенсивные поглощения в области 1655 см^{-1} , характерные для лактамного карбонила, и отсутствие сигнала гидроксильной группы.

Следует отметить, что легкость, с которой осуществляется реакция, зависит также и от нуклеофильности исходного амина. Амин, обладающий большей нуклеофильностью, способствует повышению электронного влияния на карбонил диоксанонового кольца и, тем самым облегчает образование новой ($>\text{N}-\text{C}=\text{O}$) связи. В результате увеличивается скорость образования III.

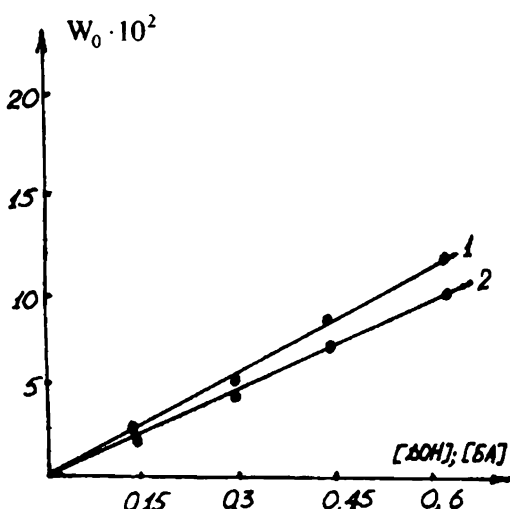


Рис.1. Зависимость начальной скорости от начальной концентрации:
1-ДОН, $T=383\text{K}$, 2-БА, $T=383\text{K}$.

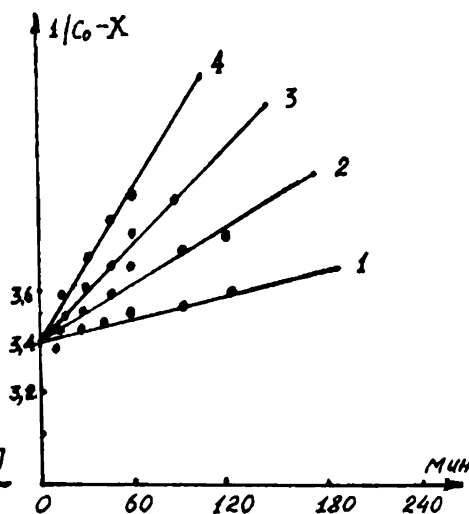


Рис.2. Зависимость $1/(\text{Co}-\text{X})$ от времени:
1- $T=353\text{K}$, 2- $T=363\text{K}$, 3- $T=373\text{K}$,
4- $T=383\text{K}$.

С целью оптимизации процесса аминирования диоксанов нами исследована формальная кинетика этой реакции. Выбранные условия вполне позволяют кинетически следить за ходом реакции. Соответствующий морфолинон был обнаружен через 15 минут после начала реакции. На основании

этого и, принимая во внимание то, что в этом интервале зависимость прямая, можно определить начальную скорость процесса. Рис.1 показывает зависимость начальной скорости от начальных концентраций ДОН и БА. Из последнего вытекает, что начальная скорость процесса выражается кинетическим уравнением второго порядка (первый по ДОН и первый по амину):

$$W_0 = k[\text{ДОН}]_0[\text{БА}]_0 \quad (1)$$

где $[\text{ДОН}]_0$ – начальная концентрация 2-оксо-3,6-диметил-1,4-диоксана, $[\text{БА}]_0$ – начальная концентрация бензиламина.

Мы построили зависимость $1/C_0 - X$ от времени (рис. 2), где X – израсходованная часть ДОН, а C_0 – начальная концентрация ДОН. Из рис. 2 видно, что при всех указанных температурах скорость начального периода реакции описывается уравнением (1) и, следовательно, порядок реакции не меняется. Зависимость константы скорости от температуры можно выразить следующим уравнением:

$$K = 8,5610^9 \exp(-18482/RT) \text{ л моль}^{-1} \text{ ч}^{-1},$$

где 18482 кал/моль (77328,6 Дж/моль) – значение энергии активации (см. табл.). Наши исследования показали, что аминирование диоксанона протекает с некоторым самоторможением. Самоторможение обусловлено присутствием реакционного продукта и наблюдается после накопления его некоторого количества (рис.3, кр.2).

Зависимость константы скорости реакции от температуры

T, K	353	363	373	383
$K \cdot 10^{-4} \text{ л моль}^{-1} \text{ мин}^{-1}$	14	48	85	123
$\lg K + 4$	1.146	1.681	1.929	2.089

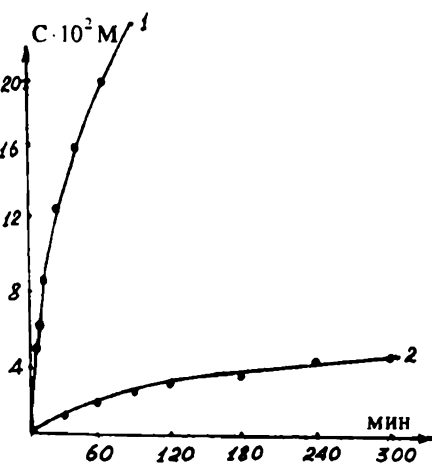


Рис.3. Влияние избытка амина 1 и продукта реакции 2 на скорость аминирования диоксанона.

С помощью уравнения Тафта $\lg K/K_0 = \sigma^* \rho^* + \delta E_s$ нами сделана попытка оценить α -алкильного заместителя в исходном диоксаноне на скорость реакции. Принимая в качестве стандарта полученное нами $K_0 = 0,014$ и учитывая, что в данной серии в уравнении Тафта $\rho^* = 2,48$; $\delta = 1$ и используя индукционные σ^* -константы и E_s -константы, можем определить степень влияния Et-, Pr-, изо-Pr-, Bu- групп, находящихся в положении 3-исходного диоксанона, на реакционный центр:

$$\begin{aligned} \text{Et} &, K_1 = 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ л моль}^{-1} \text{ мин}^{-1}, \\ \text{Pr} &, K_2 = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ л моль}^{-1} \text{ мин}^{-1}, \\ \text{изо-Pr} &, K_3 = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ л моль}^{-1} \text{ мин}^{-1}, \\ \text{Bu} &, K_4 = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ л моль}^{-1} \text{ мин}^{-1}. \end{aligned}$$

Из значений K_1, K_2, K_3, K_4 видно, что при замене этильной группы на пропильную, скорость реакции уменьшается в два раза, а на бутильную – в 2,5 раза.

Экспериментальная часть. ИК-спектр снят на приборе UR-20. Все кинетические измерения проводили по ГЖХ на приборе ЛХМ-72М методом абсолютной коливировки. Колонка – 2000x4мм, насадка – хроматон-NAW+5% SE-30 (хромосорб-Р+5%SE-30). Температура колонки 453–533К, детектор по теплопроводности, газ-носитель – гелий, скорость подачи – 50–60мл/мин. Расчеты сделаны по МНК – регрессионному анализу. Отклонение постоянной абсолютной ошибки равно $\pm 0,05$.

Кафедра физхимии

Поступила 10.04.2001



ЛИТЕРАТУРА

1. Водолажский С.В., Якушин М.И., Головачева О.И., Гайле А.А. – Хим. промышленность, 1994, №7, с.434–435.
2. Максимова И.В., Шарафутдинова Л.Г., Исянова И.Я. – Хим. промышленность за рубежом, 1987, №9, с.43.
3. Коршак В.В., Котельников В.А., Курашев В.В., Фрунзе Т.М. – Успехи химии, 1976, т.45, №9, с. 1673–1694.
4. Колдобская Л.Л., Поташкин Г.Л., Гайле А.А., Семенов Л.В. – Ж. прикладной химии, 1992, т.65, в.4, с. 860–864.
5. Райд К. Физическая органическая химия. М.: Мир, 1972, с. 415

Ս.Մ. ՀԱՎՈՐԱՅԱՆ

2-ՕՔՍՈ-3-ԱԼԿԻԼ-6-ՄԵԹԻԼ-1,4-ԴԻՕՔՍԱՆՆԵՐԻ ԱՄԻՆԱՑՄԱՆ ՌԵԱԿՑԻԱՅԻ ՎՐԱ ԱԶԴՈՂ ԳՈՐԾՈՆՆԵՐԸ

Ամփոփում

Ցույց է տրված, որ դիօքսանոնների ամինացման ռեակցիայի ժամանակ ամինի փոքր ավելցուկը արագացնում է ռեակցիան: Ռեակցիայի օպտիմալ չափորոշիչներ մշակելու նպատակով ուսումնասիրված է պրոցեսի ֆորմալ կինետիկան: Ցույց է տրված, որ ռեակցիան ընթանում է որոշ ինքնաարգելակմամբ:

S.M. HAKOBIAN

FACTORS INFLUENCING THE AMINE REACTION OF THE 2-OXO-3-ALKYL-6-METHYL-1,4-DIOXANES

Summary

It has been shown that during the amine reaction of dioxanones the insignificant surplus of amine catalyzes the reaction. For the purpose of working out the optimal parametres of the reaction the formal kinetics of the process has been studied. It has been shown that the reaction proceeds with some self-braking.

УДК 581.143.6+577.151.5

А.В. НЕРКАРЯН, Р.Р. ВАРДАПЕТЯН, А.Б. КИРАКОСЯН

ИЗОФЕРМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЛАКТАТДЕГИДРОГЕНАЗЫ И МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОТЕНЦИИ КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУР

Определены общая активность и изоферментный состав лактатдегидрогеназы (ЛДГ) органов проростков и клеточных культур пшеницы, щирицы и их соматического гибрида. Рассчитаны относительные активности изоферментов ЛДГ. Показано, что использование общепринятых методик в расчете активности и количественного соотношения отдельных изоферментов не позволяет выявлять истинные значения данных параметров. Показано, что количественные соотношения отдельных субъединиц (Н/М) отражают морфогенетические потенции индивидуальных и гибридных каллусных культур. Обсуждается возможность использования количественного и качественного изоферментного состава в качестве экспресс-теста морфогенетических потенций и регенерационных способностей клеточных культур.

Одним из направлений в исследованиях культуры клеток высших растений являются изучение особенностей метаболизма, сравнение физико-химических характеристик, интенсивностей их роста и развития. Соматическая гибридизация открывает возможность получения новых жизнеспособных гибридных форм между таксономически отдаленными видами растений. Ранее путем слияния протопластов нами были получены жизнеспособные межсемейственные гибриды пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и щирицы (*Amaranthus retroflexus* C.) и показано, что полученные межсемейственные гибридные каллусы обладают высокой скоростью роста и имеют ряд морфогенетических и фенотипических особенностей, которые сохраняются при длительном пассировании [1].

Изучение общей активности и изоэнзимных спектров ряда ключевых ферментов у родительских видов и гибрида позволяет получать общую информацию о гибридности растений, развившихся из слившихся протопластов [2]. Однако такая информация нередко бывает весьма общей из-за того, что генетический контроль молекулярных форм большинства ферментов растений подробно не изучался; исключение в этом отношении составляет ряд ферментов, в том числе лактатдегидрогеназа (ЛДГ). Другая сложность, возникающая при использовании изоэнзимных спектров для анализа гибридов, заключается в выраженной физиологической изменчивости тех или иных изоферментов и зависимости экспрессии кодирующих их генов от дифференцировки клеток. Тем не менее подобные исследования могут быть весьма информативными.

Существование ЛДГ в генетически детерминированных множественных

молекулярных формах, обладающих различными физико-химическими характеристиками, обеспечивает непрерывное протекание метаболических процессов в условиях и аэробного, и анаэробного метаболизма. Множественные молекулярные формы являются одним из необходимых факторов, обеспечивающих существование клетки как саморегулирующейся системы.

Известно, что множественные молекулярные формы ЛДГ животных [3, 4] и растений [5–7] образуются при ассоциации *in vivo* продуктов неаллельных генов *Ldh 1* и *Ldh 2*, кодирующих синтез субъединиц двух типов – Н и М. Спектр изоферментов ЛДГ соматических клеток большинства позвоночных, а также тканей двудольных и однодольных растений состоит из пяти фракций, количественное соотношение которых варьирует в зависимости от активности *Ldh 1* и *Ldh 2*. Изоферментный спектр ЛДГ клеток определяется не только активностью генов, кодирующих синтез субъединиц фермента, но и рядом других факторов. Каждый тип клеток имеет характерную скорость синтеза и распада изоферментов, чем и объясняется тканевая специфичность спектра ЛДГ. Показано, что изофермент М₄ в печени крыс синтезируется в 32 раза быстрее, чем в сердце, и в 13 раз быстрее, чем в скелетной мышце. Скорость распада этого изофермента в сердечной мышце в 10 раз выше, чем в печени, и в 22 раза выше, чем в скелетной мышце [4]. Скорость обоих процессов может варьировать в зависимости от степени дифференцировки клетки. Регулироваться она может как на уровне трансляции, так и на эпигенетическом уровне при действии модификаторов, изменяющих скорость диссоциации и реассоциации тетрамеров. Фенотипическое проявление активности генов, кодирующих синтез субъединиц ЛДГ, может быть обусловлено также работой генов-регуляторов [8,9], наличием факторов, избирательно инактивирующих определенные субъединицы [10], нарушающих гибридизацию М и Н субъединиц [7].

Все вышеизложенное свидетельствует о лабильности регуляции синтеза ЛДГ, зависимости ее от параметров среды, а следовательно, и от состояния системы, в которой она имеет место.

Целью настоящей работы явились исследование общей активности и изоферментного состава ЛДГ клеточных культур пшеницы, щирцы и их соматического гибрида, а также оценка возможности использования ЛДГ в качестве маркерного фермента для раннего определения их морфогенетических потенций.

Материалы и методы. В качестве объекта использовали корни и стебли проростков, а также суспензионные и каллусные культуры пшеницы (*T. aestivum*) и щирцы (*A. retroflexus*). Суспензионные и каллусные культуры получали из 4-дневных проростков по методу [1]. Через 7 дней проводили пересев клеточных культур по 10 мл в новую питательную среду. При этом клеточные культуры сохраняли способность к регенерации до 8 месяцев.

Морфогенетический контроль проводили проверкой способности культур к повторной трансформации проростка [1]. Регенерацию растений из эмбриогенных каллусных тканей получали на среде, содержащей макро- и микросоли по MS [11], с добавлением тиамина – 1 мг/л, мио-инозитола – 80 мг/л, индолуксусной кислоты (ИУК) – 1 мг/л, зеатина – 1 мг/л (все реактивы фирмы “Sigma”), сахарозы – 3% и агар-агара – 0.7% при pH 5.8. Эмбриогенные каллусные ткани культивировали при 26°C, 70%-ной относительной влажности воздуха и постоянном освещении с интенсивностью 400 лк. Сус-

пензионные культуры инкубировали на качалке при 100 об/мин.

Растительный материал (корни и стебли проростков) растирали в предварительно охлажденной ступке, добавляя 0.15 М трисHCl буфер, содержащий 10 мМ DTT и 1 мМ PMSF, pH 8.0, из расчета 0.2 мл на 100 мг влажного веса. Экстракцию проводили на магнитной мешалке в холодных условиях в течение 30 минут. Экстракт центрифугировали 20 мин. при 18000 g.

Клетки из суспензионной культуры осаждали центрифугированием при 5000 g в течение 20 мин. Осадок дважды промывали 0.15 М трисHCl буфером, pH 8.0, клетки разрушали в стеклянном гомогенизаторе с тефлоновым пестиком, а экстракцию проводили в вышеописанных условиях.

Общую активность ЛДГ определяли в реакции восстановления пирувата Na в присутствии НАДН [12]. Разделение изоферментов проводили методом диск-электрофореза на полиакриламидном геле по методу Дитц и Лубрано. Для выявления изоферментов ЛДГ проводили специфическое окрашивание гелей с использованием реакции окисления лактата Na в присутствии НАД [13]. После окрашивания последние фиксировали в 7% уксусной кислоте. Количественное соотношение изоферментов ЛДГ определяли после денситометрирования окрашенных гелей по соотношению площадей пиков на денситограммах.

Площади пиков рассчитывали по формуле $S = \frac{a}{2} \log H$, где H – высота, $a/2$ – полуширина, а S – площадь пика.

Содержание отдельных субъединиц рассчитывали по формуле [13]. Статистическая обработка проводилась по формуле $A = M \pm m$, где A – наиболее вероятное значение, M – среднеарифметическое значение, m – среднеквадратичная ошибка.

Относительную активность изоферментов определяли по формуле $V_c = V_{\max} (e^{-K_a C} - 1)$, где V_c – активность фермента при данной концентрации субстрата (C), $V_{\max}$ – максимальная активность фермента, а K_a – коэффициент, характерный для конкретного фермента, численно равный K_m при $V_c = \frac{1}{2} V_{\max}$.

Количество белка в экстрактах определяли по методу Лоури.

Результаты и обсуждение. Различия по спектру изоферментов между отдельными органами и тканями растений обычно связывают с существованием разных субстратов или (в более широком смысле) с особенностями обмена конкретного органа или ткани. По-видимому, это вполне оправдано, так как, хотя клетки всех тканей и несут одинаковую генетическую информацию, их нельзя представлять одинаковыми, поскольку синтез ферментных белков остается специфическим и строго регулируемым вследствие того, что соотношение активных и нефункционирующих генов в разных тканях неодинаково.

Известно, что множественные молекулярные формы ЛДГ генетически детерминированы и изменение количественного соотношения изоферментов, по-видимому, является фенотипическим проявлением изменения отношения активностей *Ldh1* и *Ldh2* [14, 15].

Используя значения активности и количественные соотношения отдельных изоферментов, можно получить приблизительное соотношение актив-

ностей *Ldh1* и *Ldh2*. Общим недостатком подобных исследований является то, что обычно не учитывается специфическая активность отдельных изоферментов. Это вносит существенную погрешность в определение активности отдельных генов. Определение истинной активности отдельных генов становится чрезвычайно актуальным при оценке жизнеспособности, генетических особенностей и морфогенетических потенций гибридных организмов.

В табл. 1 приведены значения K_m и относительной активности отдельных изоферментов ЛДГ с использованием двух различных субстратов – пирувата и лактата. Сравнение экспериментальных величин K_m для пирувата и лактата [12] с рассчитанными на основе полученных нами данных выявило существенные отличия в вышеуказанных параметрах отдельных изоферментов. Расчет относительных активностей отдельных изоферментов в определяемой общей активности ЛДГ показал, что в обоих случаях максимальную активность проявляет изофермент H_4 , минимальную – M_4 , а разница в активности достигает 2,85 и 4,69 раз для лактата и пирувата соответственно.

Таблица 1

Значения K_m и относительной к фракции M_4 активности отдельных изоферментов ЛДГ

ИФ	Лактат			Пируват		
	K_m		отн. акт.	K_m		отн. акт.
	эсп.	рассч.		эсп.	рассч.	
H_4	30.0	29.60	2.85	0.40	0.42	4.69
H_3M_1	22.5	22.69	2.41	0.37	0.35	4.27
H_2M_2	16.5	16.58	1.93	0.29	0.28	3.65
H_1M_3	11.3	11.42	1.44	0.18	0.19	2.73
M_4	7.5	7.43	1.00	0.07	0.06	1.00

Таблица 2

Процентное содержание изоферментов ЛДГ отдельных органов проростков и каллусных культур пшеницы и щирцы

ИФ	Пшеница						Щирца					
	корень		стебель		каллус		корень		стебель		каллус	
	рассч.	эсп.	рассч.	эсп.	рассч.	эсп.	рассч.	эсп.	рассч.	эсп.	рассч.	эсп.
H_4	4.6	8.1	10.1	15.9	5.4	9.0	0	0	18.9	29.1	16.3	24.9
H_3M_1	16.3	23.9	15.7	21.0	17.7	25.0	47.3	55.0	22.3	28.9	17.8	23.1
H_2M_2	20.4	24.0	33.6	36.0	26.5	30.0	35.4	33.0	14.4	15.0	24.1	25.0
H_1M_3	30.8	27.0	18.8	15.0	24.8	20.9	17.3	12.0	12.9	10.0	19.4	15.0
M_4	27.9	17.0	21.8	12.1	25.6	15.1	0	0	31.5	17.0	22.3	12.0
Н/М	0.53	0.81	0.76	1.15	0.62	0.92	1.35	1.55	0.86	1.55	0.87	1.41

С учетом величин относительных активностей отдельных изоферментов рассчитано истинное процентное содержание последних в исследуемых объектах. Рассчитаны также отношения активности генов *Ldh1* и *Ldh2* (Н/М) на основе экспериментального и расчетного изоферментных спектров ЛДГ (табл. 2).

Как видно из табл. 2, истинное количество отдельных изоферментов значительно отличается от получаемых общепринятыми методами величин. Так, если на денситограмме в изоферментном спектре ЛДГ корней проростков пшеницы изофермент H_4 составляет 8,1% от общего содержания изоферментов, а M_4 – 17,0%, то в расчетном изоферментном спектре их содержание соответственно – 4,6 и 27,9%. Столь значительные отличия свидетельствуют о необходимости учитывать относительные активности всех изоферментов для более точного расчета вклада каждого из них в общую активность ЛДГ. Значительны также различия в соотношении содержания отдельных субъединиц.

Существенные различия в содержании отдельных изоферментов ЛДГ в корнях и стеблях проростков указывают на достаточно высокую органоспецифичность фермента. Особенно отчетливо эта разница проявляется у ширицы, в корнях которой практически отсутствуют изоферменты H_4 и M_4 . Интересные закономерности проявляются при определении изоферментного спектра каллусных культур. Если содержание изоферментов в каллусных культурах пшеницы занимает промежуточное положение между их количествами в корнях и стеблях проростков, то в каллусных культурах ширицы они резко отличаются. Особенности проявляются также при сравнении истинных соотношений содержания отдельных мономеров. Так, величина количественного отношения мономеров ЛДГ в каллусных культурах пшеницы (0,62) занимает промежуточное положение между их величинами в корнях и стеблях проростков, а в каллусных культурах и стеблях проростков ширицы эти величины практически не отличаются (0,87 и 0,86 соответственно). Учитывая, что при регенерации каллусов пшеницы образуется полноценный организм, а каллусной культуры ширицы – побеговая культура, можно предположить, что количественное соотношение мономеров указывает на морфогенетические потенции *in vitro* культур.

Таблица 3

Содержание и активность отдельных изоферментов ЛДГ в каллусных культурах пшеницы, ширицы и их соматического гибрида

ИФ	Пшеница			Ширица			Гибрид		
	%	A_1	A_2	%	A_1	A_2	%	A_1	A_2
H_4	5.4	0.013	0.008	16.3	0.033	0.020	16.3	0.138	0.084
H_2M_1	17.7	0.040	0.023	17.8	0.033	0.019	17.8	0.137	0.077
H_2M_2	26.5	0.051	0.027	24.1	0.038	0.020	25.3	0.167	0.088
H_1M_3	24.8	0.036	0.014	19.4	0.023	0.012	19.4	0.096	0.051
M_4	25.6	0.013	0.013	22.3	0.010	0.010	21.2	0.038	0.038
Σ	100	0.153	0.085	100	0.138	0.081	100	0.577	0.338
H/M	0.62			0.87			0.89		

A_1 и A_2 – активность фермента при использовании в качестве субстрата пирувата и лактата соответственно

В результате соматической гибридизации пшеницы и ширицы нами были получены межсемейственные гибридные каллусные культуры, обладающие высокой скоростью роста и хорошими морфогенетическими потенциями [1]. Известно, что одним из наилучших критериев успешного получения

гибридных организмов являются общая активность и изоферментный спектр маркерных ферментов. Из полученных результатов следует, что ЛДГ обладает высокой видовой и тканевой специфичностью, что делает возможным ее использование в качестве ферментативного маркера для исследования гибридных организмов. В табл.3 приведены результаты исследования гибридных организмов и определения общей активности ЛДГ каллусных культур пшеницы, щирцы и их соматического гибрида. У гибридного организма содержание изоферментов H_3M_1 , H_2M_2 и H_1M_3 практически не отличается от содержания их в донорских организмах. Наибольшие отличия наблюдаются во фракциях H_4 и M_4 , которые по своему содержанию полностью соответствуют каллусной культуре щирцы. Необходимо также отметить, что гибридный каллус как своей морфологией, так и потенциями очень похож на каллус щирцы. Об этом свидетельствует также количественное соотношение Н и М субъединиц.

Таким образом, из наших результатов следует, что как активность отдельных изоферментов ЛДГ, так и количественное соотношение Н и М субъединиц являются высокоспецифичными параметрами для каждого организма. При их расчетах необходимо учитывать специфическую активность каждого изофермента. Соотношение Н и М субъединиц в каллусных культурах указывает как на его морфогенетические потенции, так и на участие каждого донора в формировании гибридного организма. Эти результаты особенно ценны, поскольку регенерация очень длительный процесс (иногда несколько месяцев) и ее результаты можно прогнозировать, используя ЛДГ-тест.

Кафедра биофизики

Поступила 14.09.2000

ЛИТЕРАТУРА

1. Vardapetyan H.R., Kirakosyan A.B., Charchoglyan A.G., Tiratsuyan S.G., Alexanyan S.K. – Russian Journal of Plant Physiology, 1998, v.45, №5, pp.624–627.
2. Глеба Ю.Ю., Сытник К.М. Клеточная инженерия растений. Киев, Наукова думка, 1984.
3. Корочкин Л.И., Серов О.Л., Пудовкин А.И., Аронштам А.А., Боркин Л.Я., Малецкий С.И., Полякова Е.В., Манченко Г.П. Генетика изоферментов. М.: Наука, 1977.
4. Fritz P.J., White E.L., Vesell E.S., Prultt K.M. – Nature, New. Biol., 1971, v.230, №12, pp. 119–122.
5. Good A., Crosby W. – Plant Physiol., 1989, v.90, pp. 860–866.
6. Hoffman N.E., Hanson A.D. – Plant Physiology, 1986, v.82, p.664–670.
7. Сафонова Е.Е., Губерниева Л.М., Волкова Н.М., Мамаев В.Б., Анненков Т.А. – Биохимия, 1978, т.43, №2, с. 268–273.
8. Russel E.S., McFarland E.C. – Ann. N.Y. Acad. Sci., 1974, v.241, pp.25–38.
9. Серов О.Л., Хлебодарова Т.М. – Генетика, 1973, т.9, №12, с. 45–48.
10. Nagamine M. – Chin. Chem. Acta, 1974, v.50, №1, pp.173–179.
11. Murashige T., Skoog F. – Physiol. Plant., 1962, v.15, pp. 473–497.
12. Asker H., Davies D.D. – Planta, 1984, v.161, pp. 272–280.
13. Неркарарян А.В., Паносян Г.А. – Биолог. ж. Армении, 1979, т.32, №4, с.337–345.
14. Bayle S.A., Yeung E.C. – Phytochemistry, 1983, v.22, №11, pp. 2413–2416.
15. Tihany K., Fontanell A., Talbot B., Thirion J.P. – Arch. Biochem. and Biophys., 1989, v.274, №2, pp.626–632.

ԼԱԿՏԱՏԴԵՀԻԴՐՈԳԵՆԱԶԻ ԻՋՈՖԵՐՄԵՆՏԱՅԻՆ ԿԱԶՄԸ ԵՎ
ԿԱԼՈՒՍԱՅԻՆ ԿՈՒԼՏՈՒՐԱՆԵՐԻ ՄՈՐՖՈԳԵՆԵՏԻԿ
ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ամփոփում

Որոշվել են ցորենի և հավակատարի ծիլերի օրգանների և բջջային կուլտուրաների, ինչպես նաև դրանց սոմատիկ հիբրիդի լակտատդեհիդրոգենազի (ԼԴՀ) ընդհանուր ակտիվությունը և իզոֆերմենտային կազմը: Հաշվվել են ԼԴՀ-ի իզոֆերմենտների հարաբերական ակտիվությունները: Ցույց է տրվել, որ ակտիվության և առանձին իզոֆերմենտների քանակական հարաբերության որոշման համար ընդունված մեթոդների կիրառումը թույլ չի տալիս բացահայտել տվյալ բնութագրիչների իրական արժեքները:

Ցույց է տրվել, որ առանձին ենթամիավորների քանակական հարաբերությունները (H/M) արտացոլում են անհատական և հիբրիդային կալոսային կուլտուրաների մորֆոգենետիկ հնարավորությունները: Զննարկվում է բջջային կուլտուրաների մորֆոգենետիկ հնարավորությունների և ռեգեներացիոն ունակությունների որոշման համար որպես էքսպրես-տեստ իզոֆերմենտների քանակական և որակական կազմի օգտագործման հնարավորությունը:

A.V. NERKARARIAN, H.R. VARDAPETIAN, A.B. KIRAKOSIAN

LACTATE DEHYDROGENASE ISOENZYMES PATTERN AND
MORPHOGENETIC POTENTIALS OF THE CALLUS CULTURES

Summary

Lactate dehydrogenase (LDH) total activity and isoenzymes pattern were determined in organs of germs and cell cultures of wheat, amaranth, as well as in their somatic hybrid. The LDH isoenzymes relative activities were calculated. It was shown that the application of common methods of assay of the individual isoenzymes activities and quantitative ratio does not permit to reveal the true value of these parameters. It was shown that the quantitative ratios of separate subunits (H/M) reflect the morphogenetic potentials of the individual and hybrid callus cultures.

The possibility of the application of isoenzymes quantitative and qualitative pattern as express test for cell cultures morphogenetic potentials and regeneration abilities determination was discussed.

УДК 577.323

А.Т. КАРАПЕТЯН, Г.А. МАНУКЯН, А.П. АНТОНЯН, П.О. ВАРДЕВАНЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БРОМИСТОГО ЭТИДИЯ С ДНК

Исследован переход спираль-клубок комплексов ДНК с бромистым этидием (БЭ) в интервале изменения ионной силы $2,2 \cdot 10^{-3} M \leq \mu_{Na^+} \leq 2,2 \cdot 10^{-2} M$. Выявлено, что при определенных высоких соотношениях лиганд – ДНК интервал перехода комплекса ΔT становится равным интервалу перехода “чистой” ДНК $\Delta_0 T$. Показано, что соотношение, при котором происходит выравнивание, зависит от ионной силы раствора.

Определение стабилизирующего и дестабилизирующего эффектов различных лигандов делает возможным выяснение механизмов, лежащих в основе функционирования ДНК [1,2]. С этой точки зрения интересен бромистый этидий (БЭ), являющийся стабилизатором двухцепочечной (дц) ДНК и обладающий высокой биологической активностью [2].

Сравнение теории с экспериментом выявило, что БЭ и актитомидин Д (АМД) взаимодействуют с дц- и одноцепочечной (оц) ДНК несколькими способами (мультимодальные лиганды). При этом число способов взаимодействия зависит от ионной силы раствора [3].

Мультимодальность взаимодействия приводит к тому, что при некоторых, вполне определенных высоких концентрациях лиганда наблюдаются увеличение ширины интервала конформационного перехода ΔT комплексов ДНК с лигандом и понижение температуры – T_m , т.е. стабилизатор дц-ДНК (каковыми являются БЭ и АМД) превращается в дестабилизатор [3,4].

Настоящая работа посвящена экспериментальному изучению особенностей взаимодействия указанных мультимодальных соединений с ДНК различного GC-содержания в зависимости от концентрации лиганда и ионной силы раствора.

Материалы и методы. Препараты. В работе были использованы синтетический полинуклеотид $\text{poly}[d(A-T)]\text{-poly}[d(A-T)]$, ДНК Сд-фага, ДНК Cl. Perfringenes, фирмы “Sigma”(США), ДНК тимуса теленка (т.т. N180 (2), высокоочищенного препарата, любезно предоставленного нам проф. Д.Ю. Ландо), GC-содержание которых равно 0%, 27%, 34% и 42% соответственно, БЭ фирмы “Serva” (Германия). Вышеназванные препараты использованы без дополнительной очистки. Концентрации используемых препаратов определяли абсорбционным методом, используя коэффициенты молярной экстинкции для $\text{poly}[d(A-T)]\text{-poly}[d(A-T)] - \epsilon_{260} = 6600 M^{-1} \text{ см}^{-1}$, ДНК Cl. Perfringenes – $\epsilon_{260} = 7400 M^{-1} \text{ см}^{-1}$, ДНК т.т. – $\epsilon_{260} = 6400 M^{-1} \text{ см}^{-1}$, ДНК Сд – ϵ

$\epsilon_{260} = 6600 \text{ M}^{-1} \text{ см}^{-1}$ и для БЭ – $\epsilon_{480} = 5600 \text{ M}^{-1} \text{ см}^{-1}$ [5, 6]. Исследования проводились в растворах 0,01; 0,05; 0,1хSSC (1хSSC содержит 0,15 М NaCl; 0,015 М Na-цитрат), 10^{-5} М ЭДТА. Ионная сила изменялась в интервале $2,2 \cdot 10^{-3} \leq \mu_{\text{Na}^+} \leq 2,2 \cdot 10^{-2}$ М.

Спектрофотометрические измерения исследовались на спектрофотометре PYE Unicam-SP8-100 (Англия).

Плавление ДНК и ее комплексов с БЭ проводили в герметически закрытых кварцевых кюветах, помещенных в термостатическую ячейку спектрофотометра. Нагрев осуществлялся с помощью программного устройства со скоростью 0,25 град/м. Поглощение (A_{260}) выводилось на программируемый микрокалькулятор HP 97S I/O.

T_m и ΔT определяли, как описано в работе [7]. Во избежание возможных статистических ошибок плавление комплексов ДНК-БЭ проводили одновременно с плавлением “чистой” ДНК.

Для исключения погрешностей, обусловленных светорассеянием вследствие образования агрегатов, во всех экспериментах проводили контроль отношения A_{320}/A_{260} , которое не превышало допустимых норм.

Результаты и обсуждения. Ранее было показано, что БЭ, АМД являются мультимодальными лигандами при их взаимодействии с ДНК [3, 4]. При этом, по сравнению с чистой ДНК, кривые плавления ее комплексов с названными лигандами сдвигаются в сторону высоких температур, т.е. они при определенных концентрациях являются стабилизаторами двухцепочечной структуры ДНК [3,8–12]. Теоретически и экспериментально показано, что зависимость изменения ΔT от соотношения концентраций $c = 2D/P$ (где D – полная концентрация лиганда в растворе, P – концентрация фосфатных групп ДНК) имеет колоколообразную форму. Значения ΔT сначала возрастают и, проходя через слабовыраженный максимум, уменьшаются и при соблюдении определенных условий [6] ΔT комплекса становятся равной ΔT чистой ДНК. При дальнейшем увеличении концентрации лиганда ΔT возрастает, в то время как T_m понижается [3, 4]. При этом анализ экспериментальных данных показал, что при низких ионных силах стабилизирующие эффекты БЭ и АМД на двойную спираль ДНК различны [4, 12].

На рис.1 приведены теоретические кривые зависимости $\delta(\Delta T/T_m^2)$ от c . Как видно из приведенного рисунка (кр. 1), при ионной силе $2,2 \cdot 10^{-3}$ М Na^+ резко повышается максимум зависимости величины $\delta(\Delta T/T_m^2)$ от концентрации в случае БЭ, тогда как в случае АМД при $2,2 \cdot 10^{-3}$ М Na^+ , а также АМД и БЭ при $2,2 \cdot 10^{-2}$ М Na^+ максимум практически остается неизменным (кр. 2, 3). Такой результат теория дает при подборе соответствующих параметров, где, наряду с сильными способами связывания, учитывается также слабое связывание. По-видимому, оно обусловлено электростатическим (крайне слабым) взаимодействием положительно заряженных групп БЭ с отрицательно заряженными фосфатными группами ДНК, которое отсутствует в случае АМД. Доказательством такого предположения может служить тот экспериментальный факт, что при увеличении ионной силы раствора до $2,2 \cdot 10^{-2}$ М Na^+ фосфатные группы оказываются экранированными ионами Na^+ , что препятствует электростатическому связыванию БЭ с ДНК, и зависимость $\delta(\Delta T/T_m^2)$ от концентрации БЭ становится такой же, как и для АМД. Дальнейшее же увеличение ионной силы до

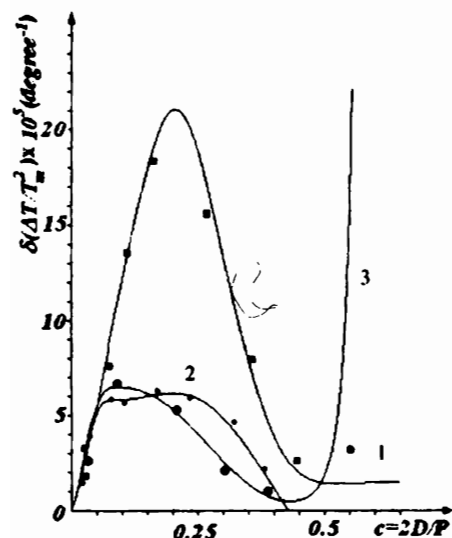


Рис.1. Теоретические кривые зависимостей $\delta(\Delta T/T_m) \cdot 10^5$ от концентрации лиганда ($c = 2D/P$), рассчитанные для определенных значений параметров теории (см. [3]), на которых отложены экспериментальные точки: 1 – БЭ при $\mu_{Na^+} = 2,2 \cdot 10^{-3} M$, 2 – АМД при $\mu_{Na^+} = 2,2 \cdot 10^{-3} M$, 3 – БЭ и АМД при $\mu_{Na^+} = 2,2 \cdot 10^{-2} M$.

концентрации лиганда, полученные на основании кривых плавления при ионных силах $2,2 \cdot 10^{-3} M$; $10^{-2} M$ и $2,2 \cdot 10^{-2} M Na^+$. Как видно из рисунка 3А, зависимость $\delta(\Delta T/T_m)$ от c постепенно уменьшается и при определенных высоких концентрациях лиганда, величины которых зависят от ионной силы раствора, достигает нулевого значения (кр. 1–3), т.е. интервалы плавления комплекса и чистой ДНК становятся равными.

При уменьшении ионной силы раствора зависимость $\delta(\Delta T/T_m)$ от c становится равной нулю при более высоких концентрациях лиганда, что, повидимому, обусловлено появлением еще одного, слабого способа свя-

зависимость.

Для обоснования вышесказанного нами было проведено экспериментальное исследование перехода спираль-клубок комплексов ДНК с БЭ в интервале изменения ионной силы раствора $2,2 \cdot 10^{-3} \leq \mu_{Na^+} \leq 2,2 \cdot 10^{-2} M$ при изменении концентрации лиганда в интервале $0,25 \leq 2D/P \leq 0,60$. На рис.2 приведены кривые плавления комплексов ДНК т.т.-БЭ при $\mu_{Na^+} = 2,2 \cdot 10^{-2} M$, которые, как видно из рисунка сдвигаются в сторону высоких температур при увеличении концентрации БЭ до $c = 0,5$ (кр. 1–3), при этом ширина интервала плавления уменьшается и для кр. 3, ΔT такая же, как для кривой (она не приводится) чистой ДНК. Дальнейшее увеличение концентрации лиганда приводит к понижению температуры плавления (кр. 4), при этом ΔT комплекса возрастает.

На рис.3 приведены кривые зависимостей $\delta(1/T_m)$ (Б) и $\delta(\Delta T/T_m)$ (А) от

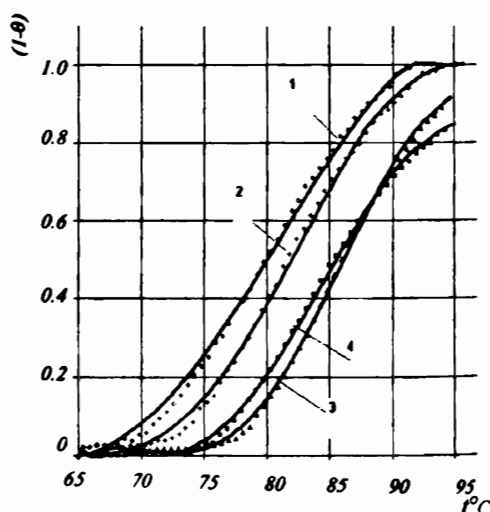


Рис.2. Кривые плавления комплексов ДНК т.т. с БЭ при различных c : 1 – 0,33; 2 – 0,4; 3 – 0,5; 4 – 0,51. Концентрация ДНК – $6,6 \cdot 10^{-5} M$; pH 7,0; $\mu_{Na^+} = 2,2 \cdot 10^{-2} M$.

зывания. Этот способ взаимодействия, по всей вероятности, имеет электростатический характер, так как при высоких ионных силах происходит экранирование фосфатных групп ДНК, из-за чего положительно заряженные группы БЭ не взаимодействуют с отрицательно заряженными фосфатными группами ДНК, по этой причине насыщение мест связывания на ди-ДНК происходит при меньших концентрациях лиганда.

Дальнейшее увеличение концентрации лиганда приводит к возрастанию ширины интервала плавления комплекса, т.е. стабилизатор ди-структуры ДНК становится ее же дестабилизатором, т.к. в точке $\delta(\Delta T/T_m)^2 = 0$ участки ДНК насыщены лигандом, в то время как оц-участки еще остаются ненасыщенными, и лиганд начинает взаимодействовать с этими участками. Из рис. 3Б видно, что зависимость $\delta(1/T_m)$ от c линейно возрастает до определенных значений c ($c \approx 0,5$), а при более высоких значениях c эта зависимость отклоняется от линейности (кр. 1–3). Из рис. 3Б видно, что наклон кривых зависимостей $\delta(1/T_m)$ от c уменьшается при увеличении ионной силы раствора. Это является косвенным подтверждением того, что при низких ионных силах у БЭ появляется дополнительный, слабый способ связывания с ДНК. Видимо, при низких ионных силах нет препятствия для реализации другого (других) более слабого (слабых) по сравнению с интеркаляционным и полуинтеркаляционным способами связывания типа взаимодействия. Эти результаты в пределах ошибки находятся в хорошем соответствии с литературными данными [3, 4].

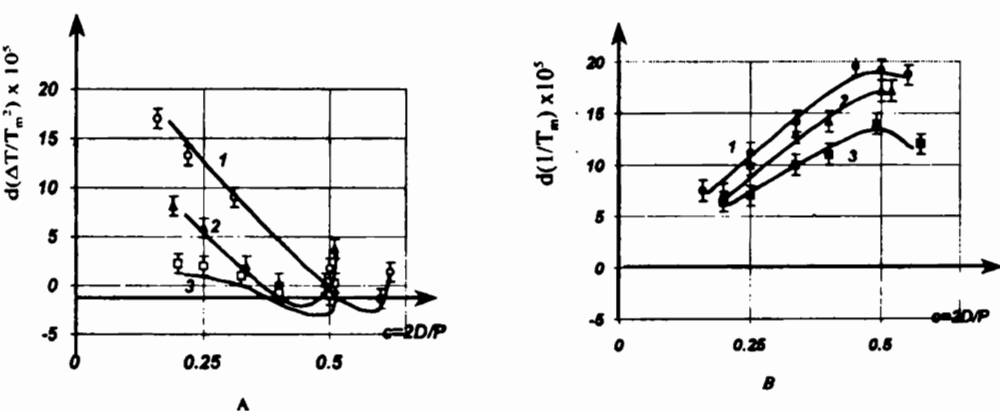


Рис.3. Экспериментальные кривые зависимостей $\delta(\Delta T/T_m^2) \cdot 10^5$ (А) и $\delta(1/T_m) \cdot 10^5$ (Б) от c ($c=2D/P$), полученные из кривых плавления комплексов ДНК с БЭ при ионных силах $\mu_{Na^+}=2,2 \cdot 10^{-3} M$ (кр. 1), $\mu_{Na^+}=1,0 \cdot 10^{-2} M$ (кр. 2), $\mu_{Na^+}=2,2 \cdot 10^{-2} M$ (кр. 3), $pH=7,0$. Показаны среднеквадратичные ошибки.

Впервые полученные экспериментальные результаты являются доказательством обсужденных в работах [3, 4] теоретических выводов о том, что число способов взаимодействия БЭ с ДНК зависит от ионной силы раствора и при насыщении мест связывания лигандом на ди-ДНК, когда еще существуют свободные участки на оц-ДНК, стабилизатор двойной спирали становится дестабилизатором.

Аналогичные исследования были проведены также с комплексами БЭ с $\text{poly}[d(A-T)]\text{-poly}[d(A-T)]$, ДНК *Сд-фага* и ДНК *Cl. Perfringenes* (экспе-

риментальные данные не приводятся). Эти данные находятся в хорошем соответствии с результатами, полученными для ДНК т.т. Эти результаты указывают на существование еще одного слабого способа взаимодействия БЭ с макромолекулой, которое выявляется при низких ионных силах $\mu \approx 2,2 \cdot 10^{-3} M Na^+$ и не зависит GC-содержания ДНК.

Авторы благодарят проф. В.И. Иванова и проф. О.Ф. Борисову за обсуждение результатов.

Кафедра биофизики

Поступила 18.09.2000



ЛИТЕРАТУРА

1. Lazurkin Yu.S., Frank-Kamenetskii M.D., Trifonov E.N. – Biopolymers, 1970, v.9, p. 1253–1263.
2. Wakelin L.P.G. – Medical. Res.Rev., 1986, v.6, p. 375–390.
3. Karapetian A.T., Mehrabian N.M., Terzikian G.A., Vardevanian P.O., Antonian A.P., Borisova O.F., Frank-Kamenetskii M.D. – J. Biomol. Struct. Dyn., 1996, v. 14, № 2, p. 275–283.
4. Karapetian A.T., Mehrabian N.M., Terzikian G.A., Antonian A.P., Vardevanian P.O., Frank-Kamenetskii M.D. – In Structure, Motion, Interaction and Expression of Biological Macromolecules. Adenine Press, 1998, p.259–266.
5. Косаганов Ю.Н., Лазуркин Ю.С., Сидоренко Н.В. – В сб.: Структура, свойства и генетические функции ДНК, (1-я конференция РБО ИАЭ им. Н.В.Курчатова). М., 1966, с. 53.
6. Полетаев А.И., Иванов В.И., Минченкова Л.Е., Щелкина А.К. – Мол.биол., 1969, т. 3, с. 303.
7. Karapetian A.T., Vardevanian P.O., Terzikian G.A., Frank-Kamenetskii M.D. – J. Biomol. Struct. Dyn., 1990, v. 8, №1, p. 131–138.
8. Вардеванян П.О., Антонян А.П., Манукян Г.А., Карапетян А.Т., Щелкина А.К., Борисова О.Ф. – Мол. биол., 2000, т. 34, № 2, с. 310–315.
9. Тищенко Е.И., Карапетян А.Т., Борисова О.Ф. – Мол. биол., 1996, т. 30, в. 6, с.1370–1377.
10. Wadkins R.M., Jovin T.M. – Biochem., 1991, v. 30, p. 9469–9478.
11. Wadkins R.M., Jares-Erijman A.E., Klement R., Rüdiger A., Jovin T.M. – J.Mol.Biol., 1996, v. 262, p. 53–68.
12. Карапетян А.Т., Пермогоров В.И., Франк-Каменецкий М.Д., Лазуркин Ю.С. – Мол. биол., 1972, т. 6, с. 867–874.

ԱԹ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ. Գ.Ա. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ. Ա.Պ. ԱՆՏՈՆՅԱՆ.
Պ.Հ. ԿԱՐԴԵՎԱՆՅԱՆ

ԴՆԹ-ի ՀԵՏ ԷԹԻԴԻՈՒՄԻ ԲՐՈՍԻԴԻ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ
ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Ամփոփում

Հետազոտված է էթիդիումի բրոմիդի հետ ԴՆԹ-ի առաջացրած համաձայնությունների պարույր-կծիկ անցումը լիզանդի բարձր կոնցենտրացիաների դեպքում իոնական ուժի փոփոխության $2,2 \cdot 10^{-3} M \leq \mu_{Na^+} \leq 2,2 \cdot 10^{-2} M$ միջակայքում: Բացահայտված է, որ լիզանդ/ԴՆԹ որոշակի բարձր հարա-

բերության դեպքում համամիացության հալման միջակայքը՝ ΔT -ն, հավասարվում է մաքուր ԴՆԹ-ի հալման միջակայքին՝ $\Delta_0 T$ -ին: Ցույց է տրված, որ այդ հարաբերության արժեքը կախված է լուծույթի իոնական ուժից:

A.T. KARAPETIAN, G.A. MANOUGIAN, A.P. ANTONIAN, P.O. VARDEVANIAN

THE INVESTIGATION OF THE PECULIARITIES OF THE DNA'S INTERACTION WITH EtBr

Summary

DNA's helix-coil transition with ethidium bromide (EtBr) has been investigated within the limits of ionic strength $2,2 \cdot 10^{-3} M \leq \mu \leq 2,2 \cdot 10^{-2} M$. It was revealed that at some DNA-ligand ratios the transition width of complexes ΔT becomes equal to the width of "free" DNA $\Delta_0 T$. It was shown that equalization takes place depending on the ionic strength of solution.

УДК 612.82

Կենսաբանություն

2

Ա. Ֆ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ՄԱՐԴՈՒ ԱՐՏԱՔԻՆ ՇՆՉԱՌՈՒԹՅԱՆ ԿԱՄԱՅԱԿԱՆ
ՕՊՏԻՄԱԼ ՓՈՔՐԱՅՈՒՄԸ ՄՏԱՎՈՐ ԵՎ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ
ԾԱՆՐԱԲԵՌՆՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ

Հայտնի է, որ շնչառությունը, ինչպես և վեգետատիվ մյուս ֆունկցիաները, կրում են ավտոնոմ բնույթ, մասնակցում հոմեոստազի պահպանմանը և սահմանափակվում ինքնակարգավորմամբ: Դրանով են պայմանավորված օրգանիզմի ներքին միջավայրի այնպիսի հաստատուններ, ինչպիսիք են զարկերակային արյան, ուղեղային հեղուկի, PO_2 -ի, PCO_2 -ի, pH-ի կայուն մակարդակները: Դրա հետ մեկտեղ շնչառության պրոցեսում, թոքային օդափոխության կարգավորման էֆերենտ օղակում կարևոր դեր է կատարում կամայական սոմատիկ նյարդային համակարգը:

Կրծքավանդակի շնչառական շարժումները կապված են շնչառական մկանների կծկման և թուլացման հետ: Այստեղից էլ մարդու շնչառության կարգավորումը կրում է երկակի բնույթ՝ մի կողմից ավտոնոմ, մյուս կողմից՝ մեծ կիսազնդերի կեղևի մասնակցությամբ շնչառական մկանների կծկման կամայական փոփոխություններով պայմանավորված, որը սկզբունքորեն չի տարբերվում շարժողական համակարգի օղակների կարգավորման ձևից: Կեղևում կան հատուկ էֆերենտ նեյրոններ, որոնք ընդգրկվում են արտաքին տարրեր գրգիռների ռեակցիաների մեջ և դրդումը փոխանցում բուլբար շնչառական կենտրոն [1-3]:

Նույն մեխանիզմով մարդը կարող է կամայականորեն փոխել շնչառական շարժումների ռիթմը և խորությունը, երկարացնել շնչառության տևողությունը մինչև 30-60 վայրկյան և ավելի: Դա նշանակում է, որ կամայական շնչառությունը կարող է իրականանալ լայն շրջանակներում, սակայն դրա հետ մեկտեղ շնչառության տևողությունը սահմանափակվում է՝ պայմանավորված օրգանիզմի ներքին միջավայրի մի քանի կարևոր կենսական ցուցանիշներ կայուն մակարդակների վրա պահպանելու անհրաժեշտությամբ: Արտաքին շնչառության կամայական օպտիմալացման հետ կապված գիտական ուղղությունը հիմնված է օրգանիզմի ադապտացիոն հնարավորությունների ուսումնասիրության վրա [4, 5]:

Մեր հետազոտությունների նպատակն է արտաքին շնչառության կամայական օպտիմալացման ճանապարհով արագացնել ադապտացիայի պրոցեսը, որն իրականացվում է շնչառության ինտենսիվության խիստ չափավորված փոքրացումով: Դա հնարավորություն է տալիս փոքրացնել շնչառու-

յան թույլեցողական ծավալը և մեծացնել օրգանիզմի կողմից թթվածնի օգտագործման գործակիցը: Հնչառության թույլեցողական ծավալի կամայական օպտիմալ փոքրացումը (ՇՐԾԿՕՓ) հանգեցնում է օրգանիզմի թթվածնային ծավալի խնայողությանը ոչ միայն օրգանային, հյուսվածքային, այլև բջջային, ենթաբջջային և մոլեկուլային մակարդակներով [6, 7]:

Այս ուսումնասիրությունները հատկապես կարևոր են Հայաստանի բնակչության կամայական (չափավոր հիպօքսիա և այլ գործոններ) պայմաններում:

Աշխատանքի մեթոդիկա: ՇՐԾԿՕՓ-ի գիտափորձը ժամանակի մեծ ծախս չի պահանջում, այն կարելի է կատարել 3–10 րոպեի ընթացքում: Ներշնչումն ու արտաշնչումը կատարվում են քթով: Ներշնչման տևողությունը կամայական ձևով մեծացվում է մինչև 3–5–7 վ, միաժամանակ ուշադրությունն ուղղելով շնչառության թույլեցողական ծավալի (ՇՐԾ) կամայական փոքրացմանը: Այս համաճարարությունը ձևակերպվում է հետևյալ կերպ. «Երկարացրեք ներշնչումը, որքան հնարավոր է ներշնչեք քիչ օդ, ներշնչման երկարացումը (3–5–7 վ) անհրաժեշտ է ուղեկցել օդի բարակ շիթի ներմուծումով»: Ներշնչման ավարտի պահին պետք է պահպանել շնչառության շարունակման հնարավորությունը: Կամայական ներշնչմանը հաջորդող արտաշնչումը մնում է ոչ կամայական, ինչը նպաստում է շնչառական մկանների արտա-հայտված թուլացմանը, ՇՐԾ-ի փոքրացմանը: Ներշնչման ժամանակի կամայական երկարացումը, ՇՐԾ-ի միաժամանակյա փոքրացումը չպետք է ուղեկցվեն կրծքավանդակի շնչառական շարժումների թվի ավելացմամբ և ուսագոտու բարձրացմամբ: Պետք է ուշադրություն դարձնել նաև, որ ներշնչումը և արտաշնչումը կատարվեն անձայն:

Ստացված արդյունքները և դրանց քննարկումը: Ձեռք բերված ՇՐԾԿՕՓ-ի ավտոմատացումը ոչ կամայական շնչառության անցնելու ժամանակ համապատասխանում է շնչառության հաճախականության նվազմանը: Դա վկայում է շնչառական կենտրոնի նոր ռիթմով աշխատելու մասին, որն էլ արտացոլվում է շնչառական շարժումներում ՇՐԾԿՕՓ-ի ավարտից հետո: Հետազոտվողների ՇՐԾԿՕՓ-ը որոշվել է մինչև մարզումը և մեկամսյա մարզումից հետո՝ ինչպես մտավոր, այնպես էլ ֆիզիկական ծանրաբեռնվածությունների դեպքում: Սովորական շնչառության թույլեցողական ծավալի փոքրացման, ինչպես նաև շնչառության թույլեցողական ծավալի կամայական օպտիմալ փոքրացման (ՇՐԾԿՕՓ) ժամանակ ստացված տվյալները ներկայացված են աղյուսակ 1-ում:

Այս տվյալները ցույց են տալիս, որ ՇՐԾ-ի օգտագործման %-ը, ՇՐԾԿՕՓ-ի ժամանակ զգալի չափով մեծացել է: Ֆիզիկական և մտավոր ծանրաբեռնվածությամբ զբաղվող անձանց մեկամսյա մարզումից հետո փորձի նույն պայմաններում նկատվում են ՇՐԾԿՕՓ-ի դրական տեղաշարժեր, որոնք արտահայտվում են արտաքին շնչառության խնայողությունում (աղ. 2):

Աղյուսակ 2-ից երևում է, որ մեկամսյա մարզումից հետո տեղի են ունենում ներգրավված բոլոր բարդ ֆիզիոլոգիական և կենսաքիմիական պրոցեսների որոշակի տեղաշարժեր, որոնց արդյունքում մեծանում է ինչպես յուրաքանչյուր լիտր ծավալի թթվածնի յուրացումը, այնպես էլ աերոբ շնչառության մակարդակը: Կարևորն այն է, որ տեղի է ունենում բոլոր այդ փոփոխությունների ավտոմատացում, այլ կերպ ասած, ոչ կամայական շնչառության ժամանակ վերոհիշյալ փոփոխությունների պահպանում ինչ-

պես հանգիստ, այնպես էլ մտավոր ու ֆիզիկական ծանրաբեռնվածության պայմաններում: Այսպիսով ՇՐԾ-ն հանդիսանում է արտաքին շնչառության խնայողության ցուցանիշ ոչ միայն հանգստի, այլև ֆիզիկական և մտավոր ծանրաբեռնվածության պայմաններում: ՇՐԾ-ի օպտիմալ փոքրացումը ֆիզիկական աշխատանքի ժամանակ կարող է բարձրացնել ֆիզիկական աշխատունակությունը՝ ենթադրելով ծախսի փոքրացման հաշվին:

Աղյուսակ 1

Փորձի պայմանները	Հաճախությունը (1 րոպեում)	Շնչառության րոպեական ծավալը (մլ)	Մեռյալ տարածության օդի ծավալը (նորմայում 150 մլ)	Գազափոխանակվող օդի ծավալը (մլ)	Շնչառության րոպեական ծավալի օգտագործման %-ը
սովորական շնչառություն	15	9300	2250	7050	75,8
կամայական օպտիմալ փոքրացում	6	8500	900	7600	89,4
	4	8300	600	7700	92,8

Աղյուսակ 2

Փորձի պայմանները	Շնչառության հաճախությունը (1 րոպեում)	Շնչառության րոպեական ծավալը (մլ)
Սինչև մարզումը		
սովորական շնչառություն	14	9300
ՇՐԾԿՕՓ-ը ֆիզիկական աշխատանքի դեպքում	4	16600
ՇՐԾԿՕՓ-ը մտավոր աշխատանքի դեպքում	4	10900
Մարզումից հետո		
սովորական շնչառություն	12	8600
ՇՐԾԿՕՓ-ը ֆիզիկական աշխատանքի դեպքում	4	13100
ՇՐԾԿՕՓ-ը մտավոր աշխատանքի դեպքում	4	9100

Եզրակացություններ:

1. ՇՐԾԿՕՓ-ի ժամանակ մետաբոլիզմի, շնչառական ֆերմենտների ակտիվության, անբոր շնչառության ադապտացիոն փոփոխությունները հանգեցնում են օրգանիզմի թթվածնային պահանջի նոր մակարդակի՝ թթվածին ապահովող օրգան - համակարգերի գործունեության տեղաշարժերի:
2. Արտաքին շնչառության կամայական օպտիմալ փոքրացման ճանապարհով զգալի չափով փոքրանում է ՇՐԾ-ն և մեծանում է թթվածնի օգտագործման գործակիցը:
3. ՇՐԾ-ի կամայական օպտիմալ փոքրացման ժամանակ խիստ փոքրանում է գազափոխանակությանը չմասնակցող մեռյալ տարածության օդի ծա-

վալը և հակառակը՝ մեծանում է գազափոխանակությանը մասնակցող ավելեղային օդի ծավալը:

4. Մեկամսյա ՇՐԾԿՕՓ-ի մարզումների արդյունքում ստացվել են շնչառության խնայողության արտահայտված դրական տեղաշարժեր, ֆիզիկական ծանրաբեռնվածության դեպքում ՇՐԾ-ի փոքր անը կարող է հանգեցնել ֆիզիկական աշխատունակության բարձրացման՝ ի հաշիվ էներգետիկ ծախսի փոքրացման:

Մարդու և կենդանիների ֆիզիոլոգիայի ամբիոն

Ստացվել է 16.07.2000

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Агаджанян Н. А., Катков А. Ю. – Физиология человека, 1983, т. 9, N4, с. 519–526.
2. Сороко С. И., Родкина Т. П. Изменение центральных и вегетативных механизмов регуляции при воздействии экспериментальной высокогорной гипоксии. Материалы симпозиума "Интеграция механизмов регуляции функций". Майкоп, 1996, с. 77–78.
3. Бреслав И. С., Исаев Г. Г. – Физиология дыхания. С-Пб.: Наука, 1994, 680 с.
4. Гандельсман А. Б., Евдокимова Т. А., Хутов Л. М. Биоэнергетика и показатели внешнего дыхания в различных видах спорта. В кн.: Биоэнергетика. Л., 1973, с. 18–29.
5. Малкин В. Б., Горес О. П. – Успехи физиол. наук, 1996, N 5, с. 87–99.
6. Федоренко В. И. Влияние экономичности внешнего дыхания на физиологическое состояние студентов. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. биол. наук. М., 1982.
7. Шик Л. Л. – Успехи физиол. наук, 1998, т. 29, N 2, с. 3–11.

А. Ф. ГРИГОРЯН

ПРОИЗВОЛЬНОЕ ОПТИМАЛЬНОЕ УМЕНЬШЕНИЕ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПРИ УМСТВЕННОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКАХ

Резюме

Настоящее исследование ставит целью ускорить процесс адаптации путем произвольной оптимизации внешнего дыхания. Это дает возможность уменьшить минутный объем дыхания и повысить коэффициент использования кислорода организмом. При произвольном оптимальном уменьшении минутного объема дыхания (ПОУМОД) увеличивается продолжительность его фаз до 3–5–7 сек., что при длительной тренировке автоматизируется, и дыхательный центр приобретает новый ритм работы.

В результате уменьшается частота дыхания до 6, 4, а свободного произвольного – до 15, 16 в минуту.

При этом уменьшается минутный объем дыхания, соответственно и мертвого пространства, что и способствует заметному увеличению объема воздуха, участвующего в газообмене. После месячной тренировки по ПОУМОД у испытуемых, занятых физическим и умственным трудом, происходят физиологические и биохимические сдвиги во внешнем и тканевом дыхании, что способствует повышению использования кислорода, входящего в его минутный объем, а также уровня аэробного дыхания.

A.F. GRIGORIAN

**SELF OPTIMAL DECREASE OF MAN'S EXTERNAL BREATHING
UNDER MENTAL AND PHYSICAL CONDITIONS**

Summary

The present work has an aim to quicken the adaptation process through the volitional optimization of reduction the minutary volume of breathing and the using exponent of oxygen raises.

During the optimal volitional reduction of minutary volume breathing (OVR of MVB) prolonged the breathing phases to 3–5–7 seconds. The prolonged trainings of OVR of MVB brings to breathing frequency automation and respiration center works in a new rythm.

As a result the frequency of breathing movement in a minute and free no volitional breathing to 15, 16 in a minute. During that redacted the minutary volume of breathing and corresponding the volume of dead space (which is not involved in exchange of gases) thanks to it the volume of air presented in exchange of gases visible increases. The one-month OVR of MVB trainings with mental and physical activity brings to physiological and biochemical changes in external and tissue breathing. That brings to increase of the oxygen using (which is involved in minutary volume of breathing) and the level of aerob breathing.

Биология

УДК 581.1+621.3+635.21

Ю.Г. ПОПОВ, Дж.А. АГАДЖАНЫАН, М.Т. ПЕТРОСЯН, С.А. САРКИСЯН,
Ф.Р. КАЗАРЯН, Ж.В. ЦОВЯН

ПОЛУЧЕНИЕ СОЛЕУСТОЙЧИВЫХ ЛИНИЙ ТОПИНАМБУРА

Изучено влияние солевого стресса на стерильные растения топинамбура (*Helianthus tuberosus* L.) и его каллусную ткань. С целью получения устойчивых к засолению клеточных линий и стерильных растений в процессе пассирования в среде постепенно увеличивалась концентрация NaCl, под действием которого происходило накопление одного из осмопротекторов – свободного пролина. Синтез пролина стимулировался низкими концентрациями NaCl (0.5 и 1.0%). Увеличение концентрации до 2% угнетало рост как каллусной ткани, так и стерильных растений. Добавление экзогенного пролина (0.2%) в соледержащую среду косвенно подтверждает его роль как защитного фактора. В среде, содержащей наряду с NaCl пролин, угнетающее действие соли уменьшалось. У каллусов на регенерационных средах шел морфогенез, не носящий массового характера. Полученные регенеранты выращивались и сохранялись микроочеренкованием.

Сопоставление с литературными данными позволяет сделать заключение о сходстве клеточных механизмов выносливости к засолению у культивируемых *in vitro* клеток и у целых растений. Полученные солеустойчивые каллусные линии и растения-регенеранты топинамбура могут послужить основой для дальнейшей селекционной работы по выведению растущих на солончаках сортов топинамбура.

Увеличение содержания солей в искусственно орошаемых почвах засушливых зон постепенно снижает их плодородие. Поэтому исследования по физиологии солеустойчивости и селекции растений на устойчивость к засолению представляют исключительный интерес. Повышенное засоление, подобно засухе и низкотемпературным стрессам, приводит к изменению водного баланса и резкому падению тургора [1–3]. В ответ на засоление почвы растения включают специфические, определяющие их устойчивость к солевому стрессу механизмы, которые до конца не выяснены. Для изучения токсического влияния солей и клеточных механизмов формирования толерантности используются изолированные культуры. Этот метод позволяет разграничить солеустойчивость клеток и тканей, обусловленную их генетической природой и физиологическим состоянием, изучить ответную реакцию растительной клетки на стресс в зависимости от состава среды и других факторов. В культивируемых *in vitro* клетках, как и в растениях, растущих в условиях *in vivo*, происходит осморегуляция. Благодаря тому, что в изолированных культурах снимается регулирующее воздействие целого организма, в них возникают различные по устойчивости к засолению клеточные линии, среди которых могут оказаться очень ценные для практики сельско-

го хозяйства соматоклональные варианты. Основной принцип создания клеточных линий, устойчивых к засолению, заключается в том, что в культуральных средах для пассирования толерантных популяций постепенно увеличивается концентрация солей. Путем отбора возникающих при этом соматоклональных вариантов были получены устойчивые к повышенным концентрациям солей клеточные линии у нескольких видов табака, люцерны, сорго, сахарной свеклы, риса, пшеницы. Устойчивость к селективному фактору сохраняется и на уровне растений-регенерантов, например, у табака и овса. Проявление этого признака наблюдается в течение нескольких поколений [2, 4, 5].

Проблема селекции солеустойчивых культурных растений имеет особенно большое значение для Араратской долины, где находятся десятки тысяч гектаров засоленных земель. В солончаках Араратской долины преобладают хлоридные, карбонатные и бикарбонатные засоленные почвы, в которых содержание солей колеблется от 0.6 до 3.0% [6]. В представленной работе приводятся данные по изучению в регулируемых условиях устойчивости клеточных линий топинамбура к засолению. Выбор этого растения для изучения солевыносливости диктуется тем, что неприхотливый к условиям возделывания топинамбур может оказаться хорошей моделью при изучении роли долины и образующихся под его воздействием продуктов в устойчивости растения к стрессам.

Методы исследований. Каллусные культуры и стерильные растения топинамбура выращивали при 27°C на агаризованной среде Мурасиге-Скуга (МС) [7].

Для регенерации использовали среду МС с кинетином 3 мг/л, 6-бензиламинопурином (БАП) 2 мг/л, I-нафтилуксусной кислотой (НУК) 0.2 мг/л (среда R) и МС с НУК 0.1 мг/л (среда R₁).

В питательные среды вносилось 0.5; 1.0 и 2.0% NaCl. Стерильные (пробирочные) растения в отличие от каллусных культур выращивались при 16-часовом фотопериоде (1000 лк).

Определение содержания свободного пролина проводилось по методу Бейтса с соавторами [8]. Повторность опытов трехкратная.

В таблице представлены средние данные 3-х опытов.

Результаты и их обсуждение. Влияние солевого стресса изучалось на стерильных растениях топинамбура, полученных из верхушечной меристемы клубня, и на его каллусной ткани листового происхождения. Растения и каллусы культивировались на среде МС с добавлением 0.5; 1.0 или 2.0% NaCl. Часть каллусов на средах с 0.5% и 1.0% соли росла, образуя различающиеся морфологически, интенсивностью роста и степенью устойчивости к NaCl клоны белого цвета, которые вот уже в течение нескольких лет поддерживаются на той же среде. На среде с 2.0% NaCl число таких клонов было крайне незначительно, в основном каллусная ткань быстро начинала темнеть и погибала. На солесодержащих средах с различным составом фитогормонов выживали и некоторые из стерильных растений.

Поскольку более критическим тестом на солеустойчивость служит способность растений-регенерантов выживать и расти на засоленных почвах, нами была проведена серия экспериментов по индукции морфогенеза у полученных толерантных каллусных тканей, так как спонтанный морфогенез у солеустойчивых линий происходил в темноте крайне редко. У каллусов III

пассажа на средах R_1 и R шла регенерация, неносящая, однако, массового характера. Все регенеранты – как образовавшиеся в темноте в результате спонтанного морфогенеза, так и возникшие путем индукции на средах R_1 и R – после культивирования на регенерационных средах в условиях освещения в дальнейшем размножались микрочеренкованием.

С целью получения более устойчивых к засолению линий каллусные ткани III и IV пассажей и стерильные растения переносились со среды с 0.5% NaCl на среды с 1%, 1.5% и 2.0% NaCl, а со среды с 1.0% NaCl – на среды с 1.5% и 2.0% NaCl. Однако на средах с 2% NaCl после кратковременного роста каллусные ткани и растения погибали, тогда как часть каллусов и растений на средах с 1% и 1.5% NaCl выживала.

Растительная клетка в некоторых стрессовых ситуациях, в том числе при засолении, включает такой защитный механизм, как синтез осмопротекторов, среди которых наиболее распространенным является пролин [3, 9–14]. Предполагается, что пролин стабилизирует белки и мембраны в условиях низкой водной активности и высокой температуры. Помимо действия в качестве осмопротектора пролин также участвует в регуляции редокс-потенциалов, защищает макромолекулы от денатурации [15]. Доказательством того, что накопление пролина является не только ответом на стресс, но и защитной реакцией клетки, может служить работа, в которой показано, что клеточные линии моркови, обладающие сверхсинтезом пролина, проявляют повышенную устойчивость к NaCl [16]. В другом исследовании установлено, что устойчивость клеточных линий табака к аналогу пролина – азетидин-2-карбоновой кислоте – коррелировала с устойчивостью к хлориду натрия [17]. В упомянутых работах, к сожалению, получены лишь каллусные клоны, что не позволило проследить экспрессию новых признаков на уровне растений. Синтез пролина осуществляется различными путями и контролируется разными факторами [9, 18–20].

Исходя из сказанного, представлялось интересным определение содержания свободного пролина в каллусных тканях и стерильных растениях топиамбура при культивировании на средах с различными концентрациями NaCl. Полученные данные приведены в таблице.

Объект	Концентрация NaCl, %	Содержание пролина, $\mu\text{M}/\text{г}$ сырого веса
каллус	0	0.44
	0.5	7.92
	1.0	5.78
	2.0	0.32
растения	0	0.50
	0.5	4.38
	1.0	6.67
	2.0	0.57

Как видно из таблицы, на среде с 0.5% NaCl к 20–25 дню культивирования содержание пролина в каллусах по сравнению с контролем увеличивается в 20 раз, на среде с 1.0% NaCl – в 11 раз, а на среде с 2.0% NaCl концентрация пролина, наоборот, даже несколько снижается. Сходные результаты получены и со стерильными растениями. Однако в связи с меньшей, по всей вероятности, чувствительностью целого растения к стрессу максимальный уровень содержания пролина в стерильных растениях наблюдается

при более высокой концентрации NaCl – 1.0%. Фактически относительно низкие концентрации соли в среде – 0.5% и 1.0% – вызывают стимуляцию синтеза пролина. Увеличение концентрации NaCl в среде до 2.0% угнетает рост как каллусов, так и стерильных растений. Отсутствие изменений в содержании пролина на среде с 2.0% NaCl указывает на тот предел, при котором в клетках происходят необратимые внутренние изменения и механизм ответной адаптивной реакции нарушается. Аналогичные данные получены и в отношении других растительных объектов [12, 21].

Вызванная добавлением экзогенного пролина в питательную солосодержащую среду стимуляция роста калусных тканей топинамбура также косвенно подтверждает его роль как защитного фактора. При наличии в питательной среде 1.5% NaCl рост тормозится. При добавлении же в среду вместе с 1.5% NaCl 0.2% пролина отрицательное действие солевого стресса значительно сглаживается: в этих условиях темп пролиферации частично восстанавливается.

Содержание свободного пролина ($\mu\text{M/g}$) в каллусных тканях и в стерильных растениях топинамбура, культивируемых на средах с разными концентрациями NaCl

Сопоставляя наши и литературные данные, можно прийти к заключению, что клеточные механизмы выносливости к засолению сходны для культивируемых *in vitro* клеток и целых растений. Следовательно, полученные нами солеустойчивые каллусные линии и растения-регенеранты могут послужить основой для дальнейшей селекционной работы по выведению растущих на солончаках сортов топинамбура.

*Кафедра физиологии растений
и микробиологии*

Поступила 24.01.2001

ЛИТЕРАТУРА

1. Веретенников А. В. Уч. пособие. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1987, с. 256.
2. Сидоров В. А. Битехнология растений. Клеточная селекция. Киев: Наукова думка, 1990, с. 147–149.
3. Delauney A., Verma D. P. S. – Plant J., 1993, v. 4, p. 215–223.
4. Атанасов А. И. Биотехнология в растениеводстве. Новосибирск, 1993, с. 241.
5. Глеба Ю. Ю., Сытник К. М. Клеточная инженерия растений. Киев: Наукова думка, 1984.
6. Эдилян Р. А., Петросян Г. П., Розова Н. Н. Почвы армянской ССР. Ер.: Айастан, 1976, с. 298–311.
7. Murashige T., Skoog F. – J. Plant Physiol., 1962, v. 15, №13, p. 473–497.
8. Bates L. S., Waldren R. P., Teare I. D. – J. Plant and Soil, 1973, v. 39, p. 205–207.
9. Савицкая Н. Н. Научный доклад Высшей школы биологической науки, 1976, №2, с. 50–60.
10. Voetberg G., Steward C. R. – J. Plant Physiol, 1984, v. 76, p. 567–570.
11. Greenway H., Setter T. L. Austr. – J. Plant Physiol., 1979, v. 6, №1, p. 69.
12. Калинкина Л. Г., Строгонов Б. П. – Физиология растений, 1986, т. 3, №4, с. 746.
13. Binzel M. L., Hasegawa P. M., Rhodes D. – J. Plant Physiol., 1987, v. 84, p. 1408–1415.
14. Сохансандж А., Неумывакин Л. В., Мосейко Н. А., Пирузян Э. С. – Генетика, 1997, т. 33, №7, с. 906–913.
15. Мусийчук К. А., Курбанмагомедов М. К., Кобец Н. С., Неумывакин Л. В., Мовсесян Н. Р., Пирузян Э. С. – Материалы Меж. научно-практической конференции молодых ученых. Брянск, 2000, с. 53–54.
16. Riccardi G., Calla R., Camerino G., Ciferri O. – J. Plant and Cell Physiol, 1983, v. 24, №6, p. 1073–1078.

17. Майсурян А. Н., Хадеева Н. В., Дризде И. Л. — Тез. докл. Всесоюз. конф. по генетике соматических клеток в культуре. М.: Звенигород, 1986, с. 29–30.
18. Barnett N. M., Naylor A. W. — J. Plant Physiol., 1966, v. 41, No7, p. 1222.
19. Dasher W. V., Erickson S. S. — J. Bot. Rev., 1981, v. 47, No3, p. 349.
20. Шевякова Н. И., Дмитриева Г. А., Кузнецов Вл. В. Тезисы докладов VI съезда общества физиологов растений России. М., 1999, т.1, с. 496.
21. Ошмарина В. И. — Всесоюз. IV конференция: Культура клеток растений и биотехнология. Кишинев, 1983, с. 162.

Յու. Գ. ՊՈՊՈՎ, Զ. Ա. ԱՂԱՋԱՆՅԱՆ, Մ.Թ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Ս.Հ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ,
Ֆ. Ռ. ԿԱԶԱՐՅԱՆ, Ժ.Վ. ԾՈՎՅԱՆ

ԳԵՏՆԱԽՆՉՈՐԻ ԱՂԱԴԻՍԱՑԿՈՒՆ ԳԾԵՐԻ ՍՏԱՑՈՒՄԸ

Ամփոփում

Ուսումնասիրվել է աղային ստրեսի ազդեցությունը գետնախնձորի (*Helianthus tuberosus* L.) ստերիլ բույսերի և կալլուսային հյուսվածքների վրա: Աղակալման նկատմամբ աղադիմացկուն բջջային գծեր և ստերիլ բույսեր ստանալու նպատակով աճման ընթացքում սննդամիջավայրում աստիճանաբար ավելացվել է NaCl-ի կոնցենտրացիան, որի ազդեցության տակ տեղի է ունենում օսմոպրոտեկտորներից մեկի՝ ազատ պրոլինի կուտակում: Պրոլինի սինթեզը խթանվել է NaCl-ի ցածր կոնցենտրացիաների (0.5%; 1.0%) դեպքում: NaCl-ի կոնցենտրացիայի մեծացումը մինչև 2% ճնշել է ինչպես կալլուսային հյուսվածքի, այնպես էլ ստերիլ բույսերի աճը: Էկզոգեն պրոլինի (0.2%) ավելացումը աղ պարունակող միջավայրին ամուղղակիորեն հաստատում է նրա դերը որպես պաշտպանական գործոն: Միջավայրում, որտեղ NaCl-ի հետ միասին պարունակվում է պրոլին, աղի ճնշող ազդեցությունը նվազում է: Ռեգեներացիոն միջավայրում կալլուսային հյուսվածքներում տեղի է ունենում մորֆոգենեզ, որը չի կրում զանգվածային բնույթ: Ստացված ռեգեներանտները աճեցվել և պահպանվել են միկրոկտրոնացման ճանապարհով:

Մեր և գրական տվյալների համադրումը փուլ է տալիս եզրակացնել, որ *in vitro* աճեցվող բջիջների և ամբողջական բույսերի աղակալման նկատմամբ դիմացկունության բջջային մեխանիզմները նման են: Աղադիմացկուն կալլուսային գծերը և ռեգեներանտ բույսերը կարող են հիմք ծառայել աղուտներում գետնախնձորի նոր սորտերի ստացման հետագա սելեկցիոն աշխատանքների համար:

Yu. G. POPOV, J.A. AGADJANIAN, M.T. PETROSSIAN, S.A. SARKISSIAN,
F.R. KAZARIAN, J.V. TSOVIAN

OBTAINING OF TOPINAMBUR'S SALT-RESISTANT LINES

Summary

The influence of salt stress upon sterile topinambur plants (*Helianthus tuberosus* L.) and its callus tissues was studied. In order to get salt-resistant cell

lines and sterile plants, the concentration of NaCl in the nutrient medium was gradually augmented during the passages which led to the accumulation of one of the osmoprotectants - the free proline - under the influence of such treating. The proline synthesis was stimulated by low concentrations of NaCl (0,5% and 1%). The increase of NaCl concentration till 2% suppressed the growth of both the callus tissue and sterile plants. The addition of exogenous proline to the salt-containing medium has confirmed indirectly its role as a defence factor. The suppressing influence of the salt was decreased in the medium, containing both NaCl and proline. There was morphogenesis of the calli upon the regeneration media, though not of mass character. The regenerants received were grown and preserved by means of micrografting.

Comparison with the literature data allows to conclude that there is a resemblance of cell mechanisms of salt-tolerance acquisition between cultivated in vitro cells and intact plants. The obtained salt-resistant callus lines and regenerant-plants of topinambur could serve as the base for subsequent selection of topinambur sorts, which will grow on the salines.

УДК 582. 287

Н.Г. ГАРИБЯН, С.М. БАДАЛЯН

МАТЕРИАЛЫ К ИЗУЧЕНИЮ МАКРОСКОПИЧЕСКИХ ГРИБОВ АРМЕНИИ

Приводятся сведения о видовом составе макромицетов лесов Вираайоцских гор северной части Армении. Обнаружены 168 видов макромицетов, из которых 163 относятся к отделу Basidiomycota, классу Basidiomycetes, подклассу Holobasidiomycetidae, с 14 порядками, 30 семействами, 83 родами, а 5 видов – к отделу Ascomycota, представленному 2 порядками, 4 семействами и 5 родами. Из выявленных видов 101 относится к съедобным, 21 – к ядовитым, остальные – к условно съедобным и несъедобным грибам.

Исследования макромицетов в Армении начаты в 50-х годах минувшего столетия на кафедре ботаники ЕГУ. Первоначально они проводились во флористическом направлении. В результате многолетних наблюдений в 12 флористических районах республики было отмечено более 1200 видов макромицетов, относящихся к различным таксономическим и экологическим группам грибов [1–5]. С 80-х годов исследования макроскопических грибов в Армении были развернуты в новых направлениях, в частности по изучению культуральных особенностей мицелия, с целью выявления дополнительных таксономических признаков наряду с традиционно используемыми характеристиками плодовых тел, их биохимического состава, физиологической и фармакологической активности. Начаты исследования в области популяционной экологии и видообразования, а также генетики макромицетов. Оценена возможность использования этих организмов в качестве природного источника биологически активных метаболитов (БАМ) и перспективность их использования в микобиотехнологии [6, 7].

Несмотря на довольно подробное исследование микофлоры Армении, некоторые ее регионы остались в этом плане неизученными. К таким относятся Вираайоцские горы северной части Армении, изучению микофлоры макромицетов лесов которых и посвящается данная статья.

Вираайоцские горы тянутся вдоль границы Армении и Грузии. Они состоят из небольших цепей Лалвара, Леджана и Лока. Исследуемый регион входит в состав Лорийского флористического района Армении [8, 9].

Физико-географические условия этого региона способствуют развитию богатой растительности. В лесной зоне климат умеренный: лето теплое, со средней температурой 18–20°C, реже 35°C; зима – мягкая, снежная, средняя температура минус 4°, а минимальная – 30°. Леса занимают площадь около 6 км². Они начинаются на высоте 600–700 м н.у.м. и достигают высоты 1700–1800 м. До высоты 1300 м формируются лесные коричневые почвы, где

простираются дубово-грабовые леса, а выше на высоте 1300–1800 м – бурые лесные почвы с буково-грабовыми лесами.

Основными лесообразующими породами являются грузинский дуб (*Quercus iberica*) и горный дуб (*Quercus macranthera*), а также восточный бук (*Fagus orientalis*) и восточный граб (*Carpinus orientalis*). В лесах встречаются также клен, липа, ясень, сосна, тисс, грецкий орех, орешник и другие виды деревьев. Кустарниковый подлесок состоит из бузины, шиповника, ежевики, смородины, можжевельника, боярышника, барбариса. Широко распространены злаковые и различные травянистые растения. Баланс влажности в этом регионе благоприятен для развития не только растительности, но и богатой грибной флоры.

Материал и методы. Плодовые тела были собраны маршрутным методом, начиная с раннего лета до поздней осени в течение 15 лет (1981–1996 гг.). Определение их видов проводилось на свежем материале с применением светового микроскопа (МБС–9, РЗО, Польша) и общепринятых морфологических и хемотаксономических методов [10]. В процессе работы использовали различные отечественные и зарубежные определители [11–31]. В данной статье систематика макромицетов приводится по последнему изданию Словаря грибов Айнсворда и Бисби [32]. Авторские названия видов уточнялись по Зингеру [33].

Результаты и обсуждения. Наши многолетние наблюдения выявили большое видовое разнообразие макромицетов на исследуемой территории Армении. Из обнаруженных 168 видов 163 относятся к отделу *Basidiomycota*, а 5 – к отделу *Ascomycota*. Отдел *Basidiomycota* представлен одним классом *Basidiomycetes*, подклассом *Holobasidiomycetidae*, 14 порядками, 30 семействами и 83 родами, отдел *Ascomycota* – двумя порядками, 4 семействами и 5 родами (табл. 1).

Многие из выявленных нами видов широко распространены и в других регионах Армении. Это *Pleurotus ostreatus*, *Marasmius oreades*, *Laccaria laccata*, *Flammulina velutipes*, *Coprinus micaceus*, *Schizophyllum commune*, а также *Lycoperdon pyriforme*, *Lycoperdon perlatum*, *Bovista nigrescens*, *Calvatia utriformis* и др.

Видовой состав макромицетов лесов Вираайоцских гор отличается следующими эколого-трофическими группами – микоризообразователями, подстилочными сапротрофами, ксилотрофами, гумусовыми сапротрофами и копротрофами (табл. 2).

Микоризообразователи представлены 15 родами базидиальных макромицетов, в частности *Amanita*, *Russula*, *Lactarius*, *Boletus* и др., а также одним родом и видом *Sarcosoma globosum*, относящимся к сумчатым грибам (*Ascomycota*). Выявленные грибы образуют микоризу с различными видами древесных пород. Однако среди них есть и более узкоприуроченные виды. Так, *Russula queletii* образует микоризу только с хвойными породами, а *Lactarius piperatus* – только с дубом. Некоторые из встречающихся в этом регионе макромицетов-микоризообразователей обитают не только на почве, но и на пнях, являясь при этом ксилотрофами. К их числу относятся *Paxillus involutus* и *Paxillus atrotomentosus*.

Довольно многообразно представлена эколого-трофическая группа подстилочных сапротрофов. К ним относятся виды родов *Clitocybe*, *Lepista*, *Marasmius*, *Mycena*, *Collybia* и др. На лесной подстилке обитают также

Систематика, экология и съедобность выявленных макромицетов
лесов Вирайицских гор Армении

Отдел, класс, подкласс, порядок, семейство	Род	Вид	Экологи- ческая группа	Съедоб- ность
1	2	3	4	5
asidiomycota asidiomycetes olobasidiomycet- ae				
garicales				
tricholomataceae	<i>Tricholoma</i>	<i>Tricholoma terreum</i> (Schaeff. : Fr.) Kumm. <i>T. saponaceum</i> (Fr.) Kumm. <i>T. sulphureum</i> (Bull. : Fr.) Kumm. <i>T. psammopus</i> (Kalch.) Quel. <i>T. imbricatum</i> (Fr.) Kumm.	ГС ГС ГС	СД СД ЯД
	<i>Calocybe</i>	<i>Calocybe gambosum</i> (Fr.) Donk.	ГС ГС	СД НСД СД
	<i>Thicholomopsis</i>	<i>Thicholomopsis rutilans</i> (Schaeff. : Fr.) Sing.	ГС	УСД
	<i>Lyophyllum</i>	<i>Lyophyllum decastes</i> (Fr. : Fr.) Sing. <i>L. connatum</i> (Schum. : Fr.) Sing	ПЛС ПЛС	СД СД
	<i>Clitocybe</i>	<i>Clitocybe dealbata</i> (Sow. : Fr.) Gillet <i>C. gibba</i> (Pers. : Fr.) Kumm. <i>C. geotropa</i> (Bull.) Quel. <i>C. clavipes</i> (Fr.) Kumm. <i>C. nebularis</i> (Batsch. : Fr.) Kumm. <i>C. odora</i> (Bull. : Fr.) Kumm.	ПЛС ПЛС ПЛС ПЛС ПЛС ПЛС	ЯД СД СД СД УСД СД
	<i>Armillaria</i>	<i>Armillaria mellea</i> (Vahl : Fr.) Karst.	КС	СД
	<i>Melanoleuca</i>	<i>Melanoleuca grammopodia</i> (Bull. Fr.) Pat. <i>M. melaleuca</i> (Pers. : Fr.) Murr.	ГС ГС	СД СД
	<i>Lepista</i>	<i>Lepista personata</i> (Fr. : Fr.) Cooke <i>nuda</i> (Bull. : Fr.) Cooke <i>L. sordida</i> (Fr.) Sing	ПЛС ПЛС/ГС ПЛС	СД СД СД
	<i>Oudemansiella</i>	<i>Oudemansiella mucida</i> (Schrad. : Fr.) Hohn. <i>O. radicata</i> (Rehl. : Fr.) Sing.	ПЛС/КС ПЛС	СД СД
	<i>Flammulina</i>	<i>Flammulina velutipes</i> (Curt. : Fr.) Sing.	КС	СД
	<i>Leucopaxillus</i>	<i>Leucopaxillus giganteus</i> (Fr.) Sing.	ПЛС	СД
	<i>Laccaria</i>	<i>L. amethystina</i> (Bolt. : Hook.) Murr. <i>L. laccata</i> (Scop. : Fr.) Berk. & Br.	ГС ГС	СД СД

<i>Marasmius oreades</i> (Bolt. : Fr.) Fr.	ПЛС	СД
<i>M. rotula</i> (Scop. : Fr.) Fr.	ПЛС	НСД
<i>M. alliaceus</i> (Jacq. : Fr.) Fr.	ПЛС	НСД
<i>M. scorodoni</i> (Fr.) Fr.	ПЛС	СД
<i>M. androsaceus</i> (L. : Fr.) Fr.	ПЛС	НСД
<i>Mycena alcalina</i> (Fr. : Fr.) Kumm.	ПЛС	НСД
<i>M. galericulata</i> (Scop. : Fr.) S. F. Gray	ПЛС/КС	НСД
<i>M. haematopus</i> (Pers. : Fr.) Kumm.	ПЛС	СД
<i>M. pura</i> (Pers. : Fr.) Kumm.	ПЛС	ЯД
<i>M. inclinata</i> (Fr.) Quel.	ПЛС	НСД
<i>Xeromphalina campanella</i> (Batsch : Fr.) Kuhn. & Maire	ПЛС	НСД
<i>Collybia fusipes</i> (Bull. : Fr.) Quel.	ПЛС	НСД
<i>C. fuscopurpurea</i> (Pers. : Fr.) Kumm.	ПЛС	НСД
<i>C. confluens</i> (Pers. : Fr.) Kumm.	ПЛС	НСД
<i>C. peronata</i> (Bolt. : Fr.) Kumm.	ПЛС	НСД
<i>C. acervata</i> (Fr.) Kumm.	ПЛС	СД
<i>Hygrophorus eburneus</i> (Bull. : Fr.) Fr.	МЗ	СД
<i>H. chrysodon</i> (Batsch : Fr.) Fr.	МЗ	СД
<i>Entoloma sericeum</i> (Bull.) Quel.	ПЛС	СД
<i>Clitopilus prunulus</i> (Scop. : Fr.) Kumm.	ГС	СД
<i>Amanita muscaria</i> (L. : Fr.) Pers. : Hook.	МЗ	ЯД
<i>A. rubescens</i> (Pers. : Fr.) S. F. Gray	МЗ	СД
<i>A. pantherina</i> (D. C. : Fr.) Kumm.	МЗ	ЯД
<i>A. phalloides</i> (Vaill. : Fr.) Secr. : Schumm.	МЗ	ЯД
<i>A. porphyria</i> (A. & S. : Fr.) Kumm.	МЗ	НСД
<i>A. gemmata</i> (Fr.) Gill.	МЗ	ЯД
<i>A. vaginata</i> (Bull. : Fr.) Vitt.	МЗ	СД
<i>A. citrina</i> (Schaeff.) S. F. Gray	МЗ	ЯД
<i>Volvariella speciosa</i> (Fr. : Fr.) Sing.	ГС	СД
<i>V. bombycina</i> (Schaeff. : Fr.) Sing.	ГС	СД
<i>Pluteus cervinus</i> (Schaeff. : Fr.) Kumm.	КС	СД
<i>Agaricus silvaticus</i> Schaeff. : Secr.	ГС	СД
<i>A. campestris</i> L.:Fr.	ГС	СД
<i>A. bisporus</i> (Lange) Imbach.	ГС	СД
<i>A. bitorquis</i> (Quel.) Sacc.	ГС	СД
<i>A. arvensis</i> Schaeff. : Fr.	ГС	СД
<i>A. xanthodermus</i> Gen.	ГС	ЯД
<i>Lepiota cristata</i> (Bolt. : Fr.) Kumm.	ГС	ЯД
<i>Macrolepiota procera</i> (Scop. : Fr.) Sing.	ГС	СД
<i>Coprinus comatus</i> (Mull. : Fr.) S. F. Gray	ГС/КП	СД
<i>C. atramentarius</i> (Bull. : Fr.) Fr.	ГС/КП	СД
<i>C. domesticus</i> (Bolt. : Fr.) S. F. Gray	КС/ПЛС	НСД
<i>C. lagopus</i> (Fr.) Fr.	ГС/КП	НСД
<i>micaceus</i> (Bull. : Fr.) Fr.	ГС	СД

<i>Psathyrella</i>	<i>Psathyrella hydrophila</i> (Bull.) Maire	ПЛС	СД
<i>Agrocybe</i>	<i>Agrocybe praecox</i> (Pers. : Fr.) Fayod	ПЛС/ГС	СД
	<i>A. dura</i> (Fr.) Sing.	ПЛС/ГС	СД
<i>Conocybe</i>	<i>Conocybe tenera</i> (Schaeff. : Fr.) Fayod	ПЛС	НСД
<i>Panaeolus</i>	<i>Panaeolus campanulatus</i> (L. : Fr.) Quel.	ПЛС	НСД
<i>Stropharia</i>	<i>Stropharia coronilla</i> (Bull. : Fr.) Quel.	ГС/ПЛС	СД
	<i>S. aeruginosa</i> (Curt. : Fr.) Quel.	ГС/ПЛС	НСД
	<i>S. semiglobata</i> (Batsch : Fr.) Quel.	ГС/КП	НСД
<i>Pholiota</i>	<i>Pholiota aurivella</i> (Fr.) Kumm.	КС	СД
	<i>Ph. alnicola</i> (Fr.) Sing.	КС	СД
	<i>Ph. flammans</i> (Fr.) Kumm.	КС	НСД
	<i>Ph. lenta</i> (Fr.) Sing.	КС/ПЛС	СД
	<i>Ph. destruens</i> (Brond.) Gill.	КС	НСД
	<i>Ph. sguarrosa</i> (Pers. : Fr.) Kumm.	КС	НСД
<i>Nematoloma</i>	<i>Nematoloma fasciculare</i> (Huds. : Fr.) Karst.	КС	ЯД
	<i>N. sublateralitium</i> (Fr.) Karst.	КС	ЯД
	<i>N. capnoides</i> (Fr.) Karst.	КС	СД
<i>Kuhneromyces</i>	<i>Kuhneromyces mutabilis</i> (Schaeff. : Fr.) Sing. & Sm.	КС	СД
<i>Cortinarius</i>	<i>Cortinarius armillatus</i> (Fr. : Fr.) Fr.	МЗ	СД
	<i>C. violaceus</i> (L. : Fr.) Fr.	МЗ	СД
	<i>C. purpurascens</i> (Fr.) Fr.	МЗ	СД
<i>Inocybe</i>	<i>Inocybe godeyi</i> Gill.	МЗ	ЯД
	<i>I. asterospora</i> Quel.	МЗ	ЯД
<i>Russula</i>	<i>Russula cyanoxantha</i> (Schaeff. : Schw.) Fr.	МЗ	СД
	<i>R. foetens</i> Pers. : Fr.	МЗ	СД
	<i>R. fellea</i> (Fr.) Fr.	МЗ	НСД
	<i>R. xerampelina</i> (Schaeff. : Secr.) Fr.	МЗ	СД
	<i>R. mustelina</i> Fr.	МЗ	СД
	<i>R. emetica</i> (Schaeff. : Fr.) Pers. : Fr.	МЗ	ЯД
	<i>R. delica</i> Fr.	МЗ	СД
	<i>R. vesca</i> Fr.	МЗ	СД
	<i>Russula queletii</i> Fr.	МЗ	СД
	<i>R. adusta</i> (Pers. : Fr.) Fr.	МЗ	СД
	<i>R. sanguinea</i> Fr.	МЗ	СД
	<i>R. flava</i> (Romell)	МЗ	СД
<i>Lactarius</i>	<i>Lactarius deliciosus</i> (L. : Fr.) S. F. Gray	МЗ	СД
	<i>L. zonarius</i> (Bull.) Fr.	МЗ	СД
	<i>L. piperatus</i> (Fr.) S. F. Gray	МЗ	СД
	<i>L. rufus</i> (Scop. : Fr.) Fr.	МЗ	НСД
	<i>L. blennius</i> (Fr.) Fr.	МЗ	УСД

	<i>L. vellereus</i> (Fr.) Fr.	МЗ	СД
	<i>L. torminosus</i> (Schaeff. : Fr.) S. F. Gray	МЗ	ЯД
<i>Boletus</i>	<i>Boletus erythropus</i> Pers.	МЗ	СД
	<i>B. calopus</i> Fr.	МЗ	Сд
	<i>B. rhodoxanthus</i> (Krombh.) Kall.	МЗ	ЯД
	<i>B. edulis</i> Bull. : Fr.	МЗ	СД
	<i>B. satanas</i> Lenz	МЗ	ЯД
<i>Xerocomus</i>	<i>Xerocomus subtomentosus</i> (L. : Fr.) Quel.	МЗ	СД
	<i>X. chrysenteron</i> (Bull.) Quel.	МЗ	СД
<i>Suillus</i>	<i>Suillus granulatus</i> (L. : Fr.)	МЗ	СД
	<i>S. luteus</i> (L. : Fr.) S. F. Gray	МЗ	СД
	<i>S. bovinus</i> (L. : Fr.)	МЗ	СД
<i>Leccinum</i>	<i>Leccinum scabrum</i> (Bull. : Fr.) S. F. Gray	МЗ	СД
<i>Paxillus</i>	<i>Paxillus involutus</i> (Batsch : Fr.)Fr.	КС/МЗ	ЯД
	<i>P. atrotomentosus</i> (Batsch : Fr.) Fr.	КС/МЗ	ЯД
<i>Gomphidius</i>	<i>Gomphidius glutinosus</i> (Schaeff. : Fr.) Fr.	МЗ	СД
	<i>G. rutilus</i> (Schaeff. : Fr.)	МЗ	СД
<i>Pleurotus</i>	<i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq. : Fr.) Kumm.	КС	СД
	<i>P. cornucopiae</i> Roll.	КС	СД
	<i>P. pulmonarius</i> (Fr.) Quel.	КС	СД
<i>Panus</i>	<i>Panus rudis</i> Fr.	КС	СД
	<i>P. tigrinus</i> (Bull. : Fr.) Sing.	КС	СД
<i>Panellus</i>	<i>Panellus stypticus</i> (Bull. : Fr.) Karst.	КС	НСД
<i>Polyporus</i>	<i>Polyporus squamosus</i> (Huds. : Fr.) Fr.	КС	СД
	<i>P. varius</i> (Pers. : Fr.) Fr.	КС	НСД
<i>Fomes</i>	<i>Fomes fomentarius</i> (L. : Fr.) Gill.	КС	НСД
<i>Meripillus</i>	<i>Meripilus giganteus</i> (Fr.)Karst.	КС	НСД
<i>Coriolus</i>	<i>Coriolus versicolor</i> (Fr.) Quel.	КС	НСД
<i>Laetiporus</i>	<i>Laetiporus sulphureus</i> (Bull. : Fr.) Murr.	КС	СД
<i>Piptoporus</i>	<i>Piptoporus betulinus</i> (Bull. : Fr.) Karst.	КС	НСД
<i>Fistulina</i>	<i>Fistulina hepatica</i> Fr.	КС	СД
<i>Schizophyllum</i>	<i>Schizophyllum commune</i> (Fr.)	КС	НСД
<i>Ganoderma</i>	<i>Ganoderma lucidum</i> (Fr.) Karst.	КС	НСД
	<i>G. applanatum</i> (Pers.) Pat.	КС	НСД

Hymenochaetaceae	<i>Inonotus</i>	<i>Inonotus dryadeus</i> (Pers. : Fr.) Murr.	КС	НСД
Cantharellales Hydnaceae	<i>Hydnum</i>	<i>Hydnum repandum</i> L. : Fr.	МЗ	СД
Cantharellaceae	<i>Cantharellus</i>	<i>Cantharellus cibarius</i> Fr.	МЗ	СД
Craterellaceae	<i>Craterellus</i>	<i>Craterellus cornucopioides</i> (L. : Fr.) Pers.	МЗ	СД
Clavariadelphaceae	<i>Clavariadelphus</i>	<i>Clavariadelphus ligula</i> (Schaeff. : Fr.) Don.	ПЛС	СД
Hericiales Auriscalpiaceae	<i>Auriscalpium</i>	<i>Auriscalpium vulgare</i> S. F. Gray	ПЛС	НСД
Telephorales Telephoraceae	<i>Sarcodon</i>	<i>Sarcodon imbricatus</i> (L. : Fr.) Karst.	ГС	СД
Gomphales Ramariaceae	<i>Ramaria</i>	<i>Ramaria botrytis</i> (Pers. : Fr.) Ricken	МЗ	СД
Lycoperdales Lycoperdaceae	<i>Lycoperdon</i>	<i>Lycoperdon perlatum</i> Pers. <i>L. pyriforme</i> Pers.	ГС КС	СД СД
	<i>Calvatia</i>	<i>Calvatia candida</i> (Rostk.) Hollos <i>C. utriformis</i> (Pers.) Jaap	ГС ГС	СД СД
	<i>Bovista</i>	<i>Bovista plumbea</i> Pers. <i>B. nigrescens</i> Pers.	ГС ГС	СД СД
Sclerodermatales Sclerodermataceae	<i>Scleroderma</i>	<i>Scleroderma verrucosum</i> Pers.	ГС	ЯД
Geastraceae	<i>Geastrum</i>	<i>Geastrum rufescens</i> Pers.	ГС	НСД
Ascomycota Xylariales Xylariaceae	<i>Xylaria</i>	<i>Xylaria polymorpha</i> (Pers.) Grev.	КС	НСД
Pezizaceae	<i>Peziza</i>	<i>Peziza repanda</i> Pers.	ГС	НСД
	<i>Aleuria</i>	<i>Aleuria aurantia</i> (Mull.) Fuck.	ГС	СД
Sarcoscyphaceae	<i>Sarcoscypha</i>	<i>Sarcoscypha coccinea</i> Jacq. Cke	КС	СД
Sarcosomataceae	<i>Sarcosoma</i>	<i>Sarcosoma globosum</i> (Schmiedel) Casp.	МЗ	НСД

Примечание: МЗ – микоризообразователь, ПЛС – подстилочный сапротроф, КС – кситроф, ГС – гумусовый сапротроф, КП – копротроф, СД – съедобный, УСД – условно съедобный, НСД – несъедобный, ЯД – ядовитый.

Clavariadelphus ligula, а на шишках сосны – *Auriscalpium vulgare*. На хвойном опаде встречаются *Gomphidius rutilus* и *Gomphidius glutinosus*, образующие микоризу с сосной.

Количественный анализ экологических групп и съедобности
выявленных макромицетов

Эколого-трофические группы и съедобность грибов	Отдел <i>Basidiomycota</i>	Отдел <i>Ascomycota</i>	Всего
микоризообразователи	53	1	54
подстилочные сапротрофы	43	—	43
ксилотрофы	38	2	40
гумусовые сапротрофы	38	2	40
копротрофы	4	—	4
съедобные	99	2	101
условно съедобные	4	—	4
несъедобные	39	3	42
ядовитые	21	—	21

Среди выявленных нами макромицетов 40 видов относятся к экологической группе ксилотрофов. Большинство из них ведет сапротрофный образ жизни. Это виды *Tricholomopsis rutilans*, *F. velutipes*, *Nematoloma fasciculare*, *Nematoloma capnoides*, *Nematoloma sublateralitium*, *Kuhneromyces mutabilis* и др. порядка *Agaricales*, а также виды *Polyporus squamosus*, *Polyporus varius*, *Coriolus versicolor* из порядка *Poriales* и *Sch. commune* из порядка *Schizophyllales*. На полуразложившейся древесине обитает вид *L. pyriforme*, а из обнаруженных аскомицетов — *Xylaria polymorpha* и *Sarcoscypha coccinea*. Некоторые виды ксилотрофов, кроме древесины, в качестве субстрата используют лесную подстилку. К ним относятся *Oudemansiella radicata*, *Coprinus domesticus*, *Mycena galericulata*, которые входят в экологическую группу как ксилотрофов, так и подстилочных сапротрофов.

Среди обнаруженных ксилотрофов есть виды, ведущие также паразитический образ жизни. К их числу принадлежат *Armillaria mellea*, *Fistulina hepatica*, *Ganoderma lucidum*, *G. applanatum* и *Laetiporus sulphureus*.

Гумусовые сапротрофы представлены видами родов *Agaricus*, *Macrolepiota*, *Tricholoma*, *Melanoleuca*, *Calvatia* и *Bovista*. Из обнаруженных аскомицетов гумусовыми сапротрофами являются *Peziza repanda* и *Aleuria aurantia*.

Из экологической группы копротрофов в лесах Вираайоцских гор встречаются четыре вида: *Coprinus comatus*, *Coprinus atramentarius*, *Coprinus lagopus* и *Stropharia semiglobata*.

Среди обнаруженных макромицетов имеется 21 ядовитый вид, один из которых — *Boletus rhodoxanthus* — отмечается для Армении впервые [34–35].

Кафедра ботаники

Поступила 06.12.2000

ЛИТЕРАТУРА

1. Мелик-Хачатрян Дж. Г. Микофлора Северо-Восточной Армении. Ер.: Изд-во ЕГУ, 1964, 294с.
2. Мелик-Хачатрян Дж. Г. Микофлора Армянской ССР. Агариковые грибы. Ер.: Изд-во ЕГУ, 1980, т.5, 540 с.

3. Мелик-Хачатрян Дж. Г., Мартиросян С.Н. Микофлора Армянской ССР. Гастеромицеты и афиллофоровые грибы. Ер.: Изд-во ЕГУ, 1971, т.2, 381 с.
4. Нанагюлян С. Г., Таслахчян М. Г. Макромицеты Дилижанского и Хосровского заповедников Армении. Ер.: Изд-во ЕГУ, 1991, 198 с.
5. Нанагюлян С. Г. Макромицеты Армении (видовая, пространственная структура). – Автореф. дис. на соискание уч. ст. докт. биол. наук. Ер.: ЕГУ, 1997.
6. Бадалян С. М. Систематика, био-экология и физиологическая активность серно-желтого опенка. Ер.: Изд-во ЕГУ, 1993, 195с.
7. Бадалян С. М. Биологические особенности некоторых базидиальных макромицетов (морфология, экология и физиологическая активность). – Автореф. дис. на соиск. уч. ст. докт. биол. наук, Ер.: 1998, 52с.
8. Флора Армении. под ред. А. Л. Тахтаджяна, Ер.: 1954, т. 1, 290с.
9. Հայկական ՍՍՀ ֆիզիոլոգիական աշխարհագրությունը: Եր. ՀՍՍՀ ԳԱ հրատ., 1971. 470 էջ:
10. Дудка И. А., Вассер С. П. и др. Методы экспериментальной микологии. Киев: Наукова думка, 1982, с. 40–92.
11. Васильева Л. Н. Агариковые шляпочные грибы Приморского края. Л.: Наука, 1973, 327с.
12. Вассер С. П. Флора грибов Украины. Базидиомицеты. Агариковые грибы. Киев: Наукова думка, 1980, 327с.
13. Вассер С. П. Флора грибов Украины. Базидиомицеты. Аманитальные грибы. Киев: Наукова думка, 1992, 166с.
14. Зерова М. Я. Атлас грибов Украины. Киев: Наукова думка, 1974, 251 с.
15. Зерова М. Я., Роженко Г. Л. Визначник грибів України. Базидіоміцети. Київ: Наукова думка, 1979, т.5, кн.2, 565 с.
16. Морочковский С. Ф., Зерова М. Я., Смицька М. Ф. Визначник грибів України. Аскомицети. Київ: Наукова думка, 1969, т.2, 515с
17. Пармасто Э. Х. Определитель рогатиковых грибов СССР. М.-Л.: Наука, 1965, 165с.
18. Самгина Д. И. Флора споровых растений Казахстана. Агариковые грибы. Алма-Ата, 1985, т.13, кн. 2, 267 с.
19. Смицкая М. Ф. Флора грибов Украины. Оперкулятные дискомицеты. Киев: Наукова думка, 1980, 220 с.
20. Сержанина Г. И., Яшкин И.Я. Грибы. Минск: Наука и техника, 1986, 232 с.
21. Сосин П. Е. Определитель гастеромицетов СССР. Л.: Наука, 1973, 164с.
22. Нейздоминого Э. Л. Шляпочные грибы СССР. Род Cortinarius Fr. Л.: Наука, 1983, 240 с.
23. Булах Е. М., Вассер С. П. Низшие растения, грибы и мохообразные советского Дальнего Востока. Базидиомицеты. Л.: Наука, 1990, т.1, 405 с.
24. Бондарцев А. С. Трутовые грибы Европейской части СССР и Кавказа. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1953, 727с.
25. Бондарцева М. А., Пармасто Э. Х. Определитель грибов СССР. Порядок Афиллофоровые. Л.: Наука, 1986, в.1, 192с.
26. Andary C., Courtecuisse R., Bourrier M.Y. Atlas Microphotographique Pour L'Expertise Et Le Controle Des Champignons Comestibles Et Leurs Falsifications. Montpellier, 1991, 547p.
27. Moser M. Die ruhrlinge und Blatterpilze (*Polyporales*, *Boletales*, *Agaricales*, *Russulales*). Kl. Kryptog. Fl. Jena : Fischer, 532 p.
28. Bresinsky A., Besl H. A Colour Atlas Of Poisonous Fungi. London: Wolfe Publ. Ltd, 1990, 295 p.
29. Горленко М. В., Бондарцева М. А., Гарибова Л. В. и др. Грибы СССР, М.: Мысль, 1980, 303с.
30. Дудка И. А., Вассер С. П. Грибы. Киев: Наукова думка, 1987, 534с.
31. Phillips R. Mushrooms and Other Fungi of Great Britain and Europe, 1981, 287p.
32. Ainsworth G. and Bisby's H. Dictionary of the fungi. CAB International, University press, Cambridge, 1995, 616 p.
33. Singer R. The Agaricales in Modern Taxonomy. Koeltz Scientific Books 4th Ed., Koengigsten, Western Germany. 1986, 981 p.
34. Бадалян С. М., Гарибян Н. Г. – Материалы II Республиканской научной конференции. Ер.: Изд-во ЕГУ, 1996. с. 22–23.
35. Бадалян С. М., Гарибян Н. Г. – Ученые записки ЕГУ, 1997, N 2, с. 63–66.

ՆՅՈՒԹԵՐ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՄԱԿՐՈՍԿՈՊԻԿ
ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՄԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Ամփոփում

Հոդվածում բերվում են տվյալներ Հայաստանի հյուսիսային մասի Վիրահայոց լեռների անտառների մակրոմիցետների տեսակային կազմի վերաբերյալ: Հայտնաբերված են 168 տեսակի մակրոմիցետներ, որոնցից 163-ը պատկանում են *Basidiomycota* բաժնին, որը ներկայացված է *Basidiomycetes* դասով, *Holobasidiomycetidae* ենթադասով, 14 կարգով, 30 ընտանիքով, 83 ցեղով: Հայտնաբերված տեսակներից 5-ը պատկանում են *Ascomycota* բաժնին, որը ներկայացված է 2 կարգով, 4 ընտանիքով և 5 ցեղով: Հայտնաբերված սնկերից 101-ը ուտելի են, իսկ 21-ը թունավոր: Մնացած տեսակները պատկանում են պայմանական ուտելի և ոչ ուտելի սնկերի խմբին:

H.G. GHARIBIAN, S.M. BADALIAN

MATERIALS FOR THE STUDY OF MACROSCOPIC FUNGI
OF ARMENIA

Summary

The list of macroscopic fungi of Virahaioc mountains region of north Armenia is given. 168 species of macrofungi were revealed 163 of which belong to division *Basidiomycota*, which includes class *Basidiomycetes* and subclass *Holobasidiomycetidae*, 14 orders, 30 families, 83 genus. 5 species belong to division *Ascomycota*, which is presented by 2 orders, 4 families and 5 genus. Among the revealed species 101 edible and 21 poisonous mushrooms were described.

УДК 591.1.05

Ա.Ա. ԱԳԱԺՅԱՆ, Ա.Մ. ԱԳԱԺՅԱՆ, Լ.Ր. ԿՄԱՆՅԱՆ

СОДЕРЖАНИЕ СВОБОДНЫХ АМИНОКИСЛОТ И ПРОЛИНА В НЕКОТОРЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЯХ

Изучено содержание свободных аминокислот в том числе и пролина в некоторых лекарственных растениях (полынь горькая, чабер, семена и бобы фасоли). Содержание свободного пролина в них в 30 раз больше, чем у других растений и подвергается значительному изменению во время вегетации. В течение 10 дней постепенно увеличивается содержание пролина, затем оно практически исчезает, а в конце исследуемого периода доходит до своего максимума (239 мкМ), что связано с фазой их цветения.

Актуальность использования лекарственных растений неизмеримо возросла в последние десятилетия. Преимуществом лекарственных растений являются их малая токсичность и возможность длительного применения без существенных побочных осложнений. Количественное содержание активных веществ в лекарственных растениях зависит от стадии их развития. Важным обстоятельством, в особенности для дикорастущих лекарственных растений, является то, что они развиваются на различных по составу почвах. Этот состав отражается на количественном содержании активных веществ в этих растениях [1]. Диапазон фармакологического действия растений чрезвычайно широк. Растения содержат успокаивающие и возбуждающие вещества, которые оказывают кровоостанавливающее действие и снижают свертываемость крови, вызывают желчегонный, спазмолитический, отхаркивающий, бронхолитический и др. эффекты. Выделенные из растений алколоиды, сердечные гликозиды и др. природные соединения составляют фундамент современной терапии [2–4].

В последние годы значительная продвинутость в изучении физиологической роли в растениях наблюдается лишь в отношении свободного пролина. Обнаружена избирательная аккумуляция пролина в пыльце, которая в 10 раз выше, чем в листьях и стеблях [5]. Проллин используется при синтезе хлорофилла [6,7]. Резко увеличивается содержание свободного пролина в растениях, подвергнутых различным экстремальным воздействиям [6].

Здесь мы изучаем содержание свободных аминокислот, в частности пролина, в некоторых лекарственных растениях (полынь горькая, чабер, семена и бобы фасоли), влияние их экстрактов на интенсивность роста, накопление биомассы дрожжей, а также на содержание свободного пролина в дрожжах. Исследовано влияние смесей лекарственных растений, рекомендуемых при болезнях почек, мочевыводящих путей и при сахарном диабете.

Материал и методика. Объектом исследования служили некоторые растения, используемые в традиционной медицине. Пролин определяется методом Блюменкранта [8], а свободные аминокислоты – по Лиссицкому и Лоран [9].

Результаты и обсуждение. Изучено содержание свободных аминокислот, в том числе и пролина, у полыни горькой, чабера, семян и бобов фасоли, которые успешно применяются в народной медицине. Полученные данные приведены в табл.1 и 2.

Таблица 1

*Содержание свободного пролина в различных органах
полыни горькой, мкМ на 100 г сухого веса*

Органы	Содержание пролина
листья	40±2.1
стебли	20±1.3
корень	110±3.5
цветки	330±8.8
листья петрушки	25±1.6

Данные табл. 1 свидетельствуют, что содержание свободного пролина в цветках полыни превышает таковое в листьях и стеблях в 8 и 16 раз соответственно, а в корнях – 3 раза. Листья петрушки приведены в качестве контроля для сравнения.

Таблица 2

Содержание свободных аминокислот в листьях некоторых лекарственных растений, мкМ на 100 г сухого веса

Аминокислоты	Растения			
	чабер	полынь горькая	фасоль	
			семена	бобы
про	7.0±0.4	152±15.3	5.2±0.3	4.35±0.3
арг	62.0±2.5	8.7±0.6	0.51±0.1	42.2±2.2
тре	31.9±2.1	8.7±0.6	15.9±1.1	3.1±0.2
ала	12.3±3.7	13.8±0.9	5.9±0.3	9.6±0.7
тир	49.7±2.4	357.3±9.2	3.7±0.2	9.7±0.7

Данные табл. 2 показывают, что содержание пролина почти одинаково в семенах и бобах фасоли, а в чабере и в полыни горькой оно превышает данные последних в 2 и 30 раз соответственно. Столь высокое содержание пролина у полыни горькой, по-видимому, определяет ее целебные свойства, в частности, необходимые при применении ее в качестве протектора при радиационном поражении организма [10].

Интересующие нас растения значительно отличаются и по содержанию некоторых других аминокислот (табл.2). Более интересно, на наш взгляд, различие содержания свободного аргинина, т.к. с этой аминокислотой связывают применение в традиционной медицине настоя и отвара бобов фасоли и чабера при лечении сахарного диабета. Содержание аргинина в чабере в

полтора раза превышает таковое в бобах фасоли. Имеются веские аргументы [11] о роли нитрооксида (NO) в этом процессе, образующегося из аргинина под действием NO-синтазы. В течение последних десяти лет накопились данные о роли NO в межклеточной передаче сигнала. Начало этому направлению было положено вследствие выявления в тканях животных биохимических систем, способных генерировать NO при использовании аргинина в качестве исходного соединения, а также идентификации NO как одного из главных факторов релаксации сосудов. Наконец был установлен механизм его действия посредством активации гуанилатциклазы. В зависимости от места образования нитрооксида, катализируемого NO-синтазой, NO может участвовать в феноменах пластичности нейронов [11,12].

Как отмечено выше, количественное содержание активных веществ в лекарственных растениях зависит от стадии развития данного растения, а также от состава почв [3].

Нас интересовали изменения сухих веществ и содержание свободного пролина в листьях полыни горькой в разные сроки вегетационного периода, собранных в Котайкском районе. Исследования начались с 20-го апреля 1998 г. и продолжались по 20-ое мая того же года (см. табл. 3).

Таблица 3

*Изменения сухих веществ и свободного пролина в листьях
полыни горькой в различных фазах роста (урожай 1998 г.)*

Сроки сбора	Сухой вес (%)	Содержание пролина, мкМ на 100 г сухого веса
20.04	16.0	144.0
22.04	18.6	155.0
27.04	19.0	172.0
29.04	19.5	200.0
4.05	19.3	14.2
6.05	19.7	6.1
11.05	19.6	0.5
13.05	19.6	0.2
18.05	19.6	113.0
20.05	36.8	239.0

Из табл. 3 видно, что динамика сухих веществ не претерпевает особых изменений в течение исследуемого периода. Лишь в конце наших фенологических исследований – 20-го мая 1998 г., что совпадает с фазой цветения растений, количество сухих веществ в листьях полыни горькой почти удваивается и составляет 36.8 %.

Что касается динамики свободного пролина, то здесь наблюдается довольно интересная и своеобразная картина. В начале вегетации, в течение девяти дней, постепенно увеличивается содержание свободного пролина, после чего оно резко падает и на 21-ый день вегетации доходит до минимума и обнаруживается в виде следов, через 5 дней – вновь резко повышается, а еще через 2 дня – удваивается. Это объясняется тем, что в течение вегетации растения, как только появляются цветочные почки, происходит обильный отток свободного пролина из листьев и вегетативных почек в генеративные почки, поэтому содержание его в листьях обнаруживается в виде едва

заметных следов. Сказанное аргументировано тем, что в наших ранних исследованиях [13] показано, что максимальное количество свободного пролина обнаруживается в репродуктивных органах многих растений. Это биологически оправдано, т.к. многими авторами [5] доказано участие свободного пролина в акте оплодотворения, т.е. в репродуктивной системе растений. Убедительно обосновано, что отсутствие свободного пролина в репродуктивных органах или его незначительное содержание приводит к бесплодию [5,14].

Кафедра биохимии

Поступила 16.04.2001



ЛИТЕРАТУРА

1. Иорданов Д., Николов П., Боячинов А. Фитотерапия. София, 1976.
2. Овчиников Ю.А. Боорганическая химия. М.: Мир, 1987.
3. Соколов С.Я., Замотева И.П. Справочник по лекарственным растениям. М., 1988.
4. Турова А.Д., Сапожникова Э.Н., Ли Вын Дюк. Лекарственные растения СССР и Вьетнама. М.: Наука, 1987.
5. Бритиков Е.А. Биологическая роль пролина. М.: Наука, 1975.
6. Савицкая Н.Н. – Научн. доклад высшей школы. Биол. науки, 1976, №2, с. 49.
7. Duranton H., Mail M. C. – R. Acad. Sci., 1961, v. 253, №7.
8. Blumenkrantz N. – Clin. Biochem., 1980, v.13, p. 177–183.
9. Lissitzky S., Laurent S. – Bull. Soc. Chim. Biol., 1955, p. 1113–1142.
10. Давтян М.А., Агаджанян А.Х. Актуальные проблемы экспериментальной и клинической медицины. Ер., 1988.
11. Ашмарин И.Г. Нейрохимия. М.: Наука, 1996.
12. Балаболкин М.И. Эндокринология. М.: Мир, 1998.
13. Искандарян Ж.Г., Агаджанян А.А., Агаджанян А.Х. – Сборник статей молодых ученых, Естественные науки ЕГУ. Ер., 2000, с. 93–96.
14. Бритиков Е.А., Мусатова Н.А. – Физиология растений, 1964, №11, с. 464.

Ա.Ա. ԱՂԱԶԱՆՅԱՆ, Ա.Խ. ԱՂԱԶԱՆՅԱՆ, Լ.Պ. ԹՈՒՄԱՆՅԱՆ

ՈՐՈՇ ԴԵՂԱԲՈՒՅՍԵՐԻ ԱԶԱՏ ԱՄԻՆԱԹԹՈՒՆԵՐԻ ԵՎ
ՊՐՈԼԻՆԻ ՊԱՐՈՒՆԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ամփոփում

Ուսումնասիրվել է մի քանի դեղաբույսերի ազատ ամինաթթուների այդ թվում նաև ազատ պրոլինի պարունակությունը: Պրոլինի ամենաբարձր պարունակությունը հայտնաբերվել է դառը օշինդրում: Վեգետացիայի ընթացքում ազատ պրոլինի քանակությունը խիստ փոփոխության է ենթարկվում: Վեգետացիայի կեսին այն հայտնաբերվում է հետքերի ձևով, իսկ ծաղկման փուլը սկսվելիս՝ հասնում է իր մաքսիմալ արժեքին (239 մկՄ):

A.A. AGHADJANIAN, A.Kh. AGHADJANIAN, L.P. TUMANIAN

THE AMOUNT OF FREE AMINO ACIDS AND PROLINE
IN SOME HERBS

Summary

The amount of free amino acids has been studied, including the proline in some herbs. The biggest amount of proline was discovered in the bitter wormwood. The amount of free proline is subject to considerable changes during the period of vegetation. The amount of proline gradually increases within 10 days, after which it practically vanishes, and at the end of the investigated period when the phase of flowering begins, it reaches its maximum (239 *mcm*).

Երկրաբանություն

УДК 550.343.4

Հ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Ա.Ս. ԱՎԱՆԵՍՅԱՆ, Մ.Ա. ԱՎԱՆԵՍՅԱՆ

**ՀՀ ՏԱՐԱԾՔԻ ԼԱՅՆԱԿԱՆ ՏԵԿՏՈՆԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՅՑՆԵՐԻ ԴԵՐՆ
ՍԵՅՍՄԻԿ ՎՏԱՆԳԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ԳՈՐԾՈՒՄ**

Երկրաբանների մեծ մասը ՀՀ տարածքում առանձնացնում է համակովկասյան (հյուսիսարևմտյան) ուղղության չորս խոշոր կառուցվածքաֆորմացիոն զոնաներ՝ Վիրահայոց-Ղարաբաղի (Ալավերդի-Կապանի), Բազում-Ջանգեզուրի, Մերձարաքսյան և Միջինարաքսյան: Դրանց կազմում առանձնացվում են ավելի ցածր կարգի տեկտոնական կառույցներ (ենթազոնաներ, անտիկլինորիումներ, սինկլինորիումներ, բարձրացումներ, իջույթներ և այլն), որոնց մեծ մասն ունի երկայնակի տարածում, իսկ որոշ մասը կողմնորոշված է տվյալ զոնայի նկատմամբ լայնակի կամ շեղակի: Նշված բոլոր կառույցները սահմանազատված են երկայնական ու լայնական ուղղության տարբեր բնույթի տեկտոնական բեկվածքներով [1]:

Անհրաժեշտ է նշել, որ այժմ երկրաբանների ու երկրաֆիզիկոսների զգալի մասը գտնում է, որ ՀՀ տարածքում և ընդհանրապես ամբողջ Կովկասում գոյություն ունեն լայնական (հակակովկասյան) ուղղության խոշոր տեկտոնական տեղախախտումներ (դիսլոկացիաներ), այդ թվում բեկվածքային զոնաներ, որոնք հատում են գլխավոր երկրատեկտոնական զոնաները խաչաձև կամ շեղ: Դրանց առկայությունը հիմնավորվում է երկրաբանաերկրաֆիզիկական համալիր ուսումնասիրությունների տվյալներով: Այդ հարցը լուսաբանված է բազմաթիվ գիտական հոդվածներում և մենագրություններում [1-9]:

Մեր կողմից փորձ է արված կատարելու Փոքր Կովկասի և հարակից շրջանների լայնակի տեկտոնական շրջանացում՝ ելնելով հետևյալ տվյալներից [8].

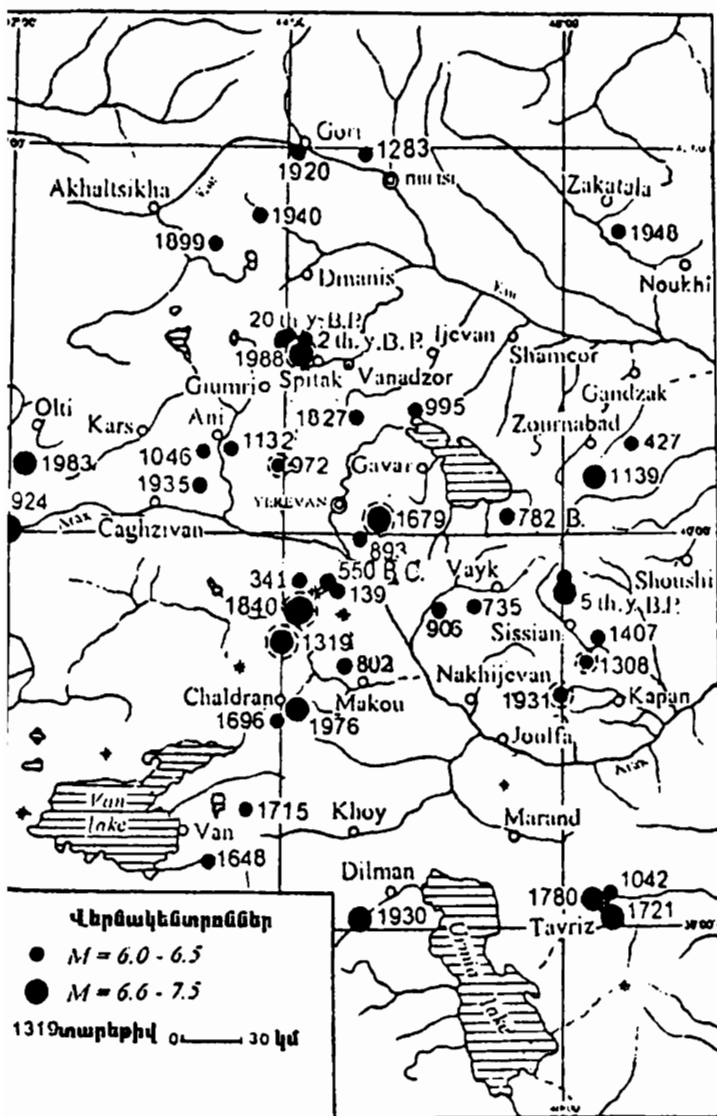
ա) ծաղկունյաց անտիկլինորիումում բայկալյան ծալքավոր հիմքը բնորոշվում է մերձմիջօրեական ուղղության կառուցվածքային պլանով [1];

բ) ՀՀ տարածքում զգալի տարածում ունեն մերձմիջօրեական և հյուսիսարևելյան ուղղության ծալքերը, բեկվածքները, ճեղքերը, բարձրացումները, իջույթները [1,7,10];

գ) ՀՀ տարածքում բացահայտված է մետաղագոյացման և մագմայականության լայնակի զոնայականությունը [3, 4, 7];

դ) նորագույն տեկտոնական կառույցներն առավելապես ունեն մերձմիջօրեական և հյուսիս-արևելյան կողմնորոշում, հետևաբար, նորագույն տեկտոնական փուլում տեղի է ունեցել տարածքի կառուցվածքային պլանի վերակառուցում [1, 7];

րաշարժերի վերնակենտրոններն ունեն գծային տեղաբաշխում և կամ շեղ հատում է ընդհանուր կովկասյան ուղղությամբ տոնական զոնաները: Բացահայտված են նաև լայնակ և երկրաշարժաձիգ բեկվածքներ (նկ. 1) [1, 5, 10-12];



յաստանի և հարակից շրջանների ուժեղ երկրաշարժերի վերնակենտրոնները (փորձային և ուղիղներ, 1997թ.):

ոցեն-չորրորդական հրաբխային կենտրոններն առավել ջորեական ուղղության գծային տեղաբաշխում; րահակ դաշտի ու մի շարք տեղային անբնականոնություն (յին երկրաֆիզիկական դաշտերն ունեն լայնակի (մեղ լություն; տիեզերական նկարներում նույնպես առանձնացվում են ների համակարգեր, որոնք սահմանազատում են երկրա

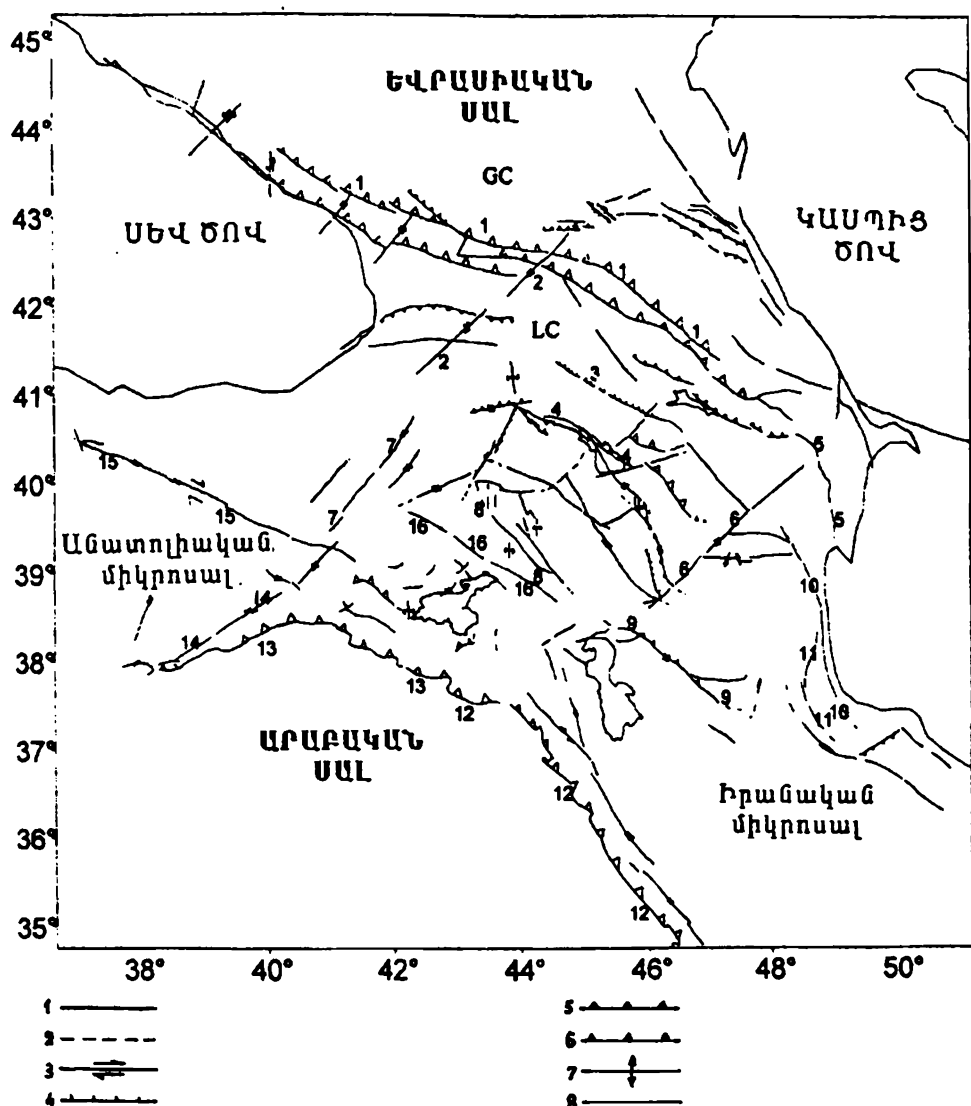
կորները:

Հարկ է նշել, որ լայնական տեկտոնական կառույցները (բարձրացումներ, իջույթներ, բեկվածքներ, ծալքեր և այլն) հանրապետության տարածքի որոշ հատվածների երկրաբանական կառուցվածքում և մորֆոստրուկտուրայում բավականին լավ են արտահայտված, իսկ որոշ տեղամասերում ունեն թաքնված բնույթ: Այստեղ որոշակի հետաքրքրություն է ներկայացնում լայնակի անտիկլինալների, սինկլինալների, միաթեք ծալքերի առկայությունը, որոնք հայտնի են Փ. Կովկասի մեգանտիկլինորիումի կենտրոնական մասերում և թևերում: Ըստ որում, թևերում դրանք ավելի հաճախ են հանդիպում, իսկ հյուսիս-արևելյան լանջում (Ալավերդու, Տավուշի անտիկլինորիումներ, Իջևանի սինկլինորիում) դառնում են տիրապետող: Լայնակի տեկտոնական դիսլոկացիաների տեղաբաշխման և փոխհարաբերության մանրակրկիտ վերլուծությունը վկայում է տվյալ տարածաշրջանում լայնակի տեկտոնական զոնալականության առկայության մասին:

Ելնելով վերոհիշյալ նկատառումներից՝ Փ. Կովկասում և հարակից տարածքներում կարելի է առանձնացնել հետևյալ լայնակի տեկտոնական զոնաները. Աջարաթրիալեթի, Ծաղկունյաց-Լոքի, Վալք-Մոսկոլադի, Կապան-Ֆիզուլիի բարձրացումների և դրանց միջև ընկած Արագած-Ախալքալաքի, Հրազդան-Իջևանի, Նախիջևան-Սիսիանի և Ստորինարաքսյան իջվածքների զոնաները: Նշված զոնաներն ունեն տարանցիկ բնույթ, հատում են տարբեր հասակի գլխավոր տեկտոնական զոնաները և վերահսկում են մագմայական ու նստվածքային ֆորմացիաների, ծալքավոր կառույցների տեղաբաշխումը, ներծին հանքայնացումը, երկրաշարժականությունը, պլիոցեն-չորրորդական հրաբխականությունը:

Դիտարկվող տարածաշրջանում ուժեղ երկրաշարժերի վերնակենտրոնների տեղաբաշխման մեջ նկատվում է հետևյալ օրինաչափությունը: Վերնակենտրոնները կենտրոնացված են մերձմիջօրեական ուղղության երեք խոշոր զոնաներում՝ Արևմտյան (Տիկոր-Ախուրյանի), Կենտրոնական (Արարատ-Ագատ-Սևանի) և Արևելյան (Սյունիքի): ՀՀ տարածքից դուրս՝ արևմուտքում, առանձնացվում է Էրզրում-Բորժոմ-Կազբեկի, իսկ հարավ-արևելքում՝ Ստորինարաքսյան խոշոր լայնական բեկվածքները: Նշված բեկվածքային զոնաները հաճախ դեպի հյուսիս-արևելք և հարավ-արևմուտք հետամտվում են մինչև Սկյութական սալը և Արաբական պլատֆորմի հյուսիսային եզրը՝ հատելով բոլոր երկրատեկտոնական զոնաները (նկ. 2): Այդ կապակցությամբ հետաքրքիր տվյալներ են բերվում Յու. Շչուկինի, Վ. Տրիֆոնովի [13], Ս. Նազարեթյանի [5] և այլոց աշխատություններում: Նշված հեղինակները Ալպյան ծալքավոր մարզում առանձնացնում են երկրաշարժածին կառույցների երկու հիմնական ուղղություններ: Դրանցից առաջինը համընկնում է գլխավոր տեկտոնական տարրերի հյուսիս-արևմտյան կամ մերձգոլգահեռական տարածման հետ, իսկ երկրորդը՝ կողմնորոշված է դրանց խաչաձև կամ անկյունագծային: Հետաքրքիր է, որ այդ հեղինակների կարծիքով լայնական երկրաշարժածին կառույցներն ունեն ավելի խոր տեղադրում (20կմ և ավել), քան երկայնակիները (մինչև 20կմ): Այդ մույն հետազոտողները Կովկասում խորքային երկրաշարժածին դիսլոկացիաների խտությունները համադրում են ժամանակակից երկրաշարժածին դիսլոկացիաների հետ 5-20կմ խորություններում: Դրանց կողմից կազմված քարտեզում խորությունների հավասարագծերն ունեն առավելապես հակակոմպլասյան ուղղություն: Նշված հեղինակներից ա-

ռաջին երկուսը նույնիսկ ժխտում են ընդհանուր կովկասյան ուղղությամբ գլխավոր տեկտոնական կառույցների և երկրաշարժերի վերնակենտրոններ միջև եղած ծագումնային կապը, քանզի վերնակենտրոնների գծային զոնաները ձգվում են այդ կառույցների տարածմանը խաչաձև:

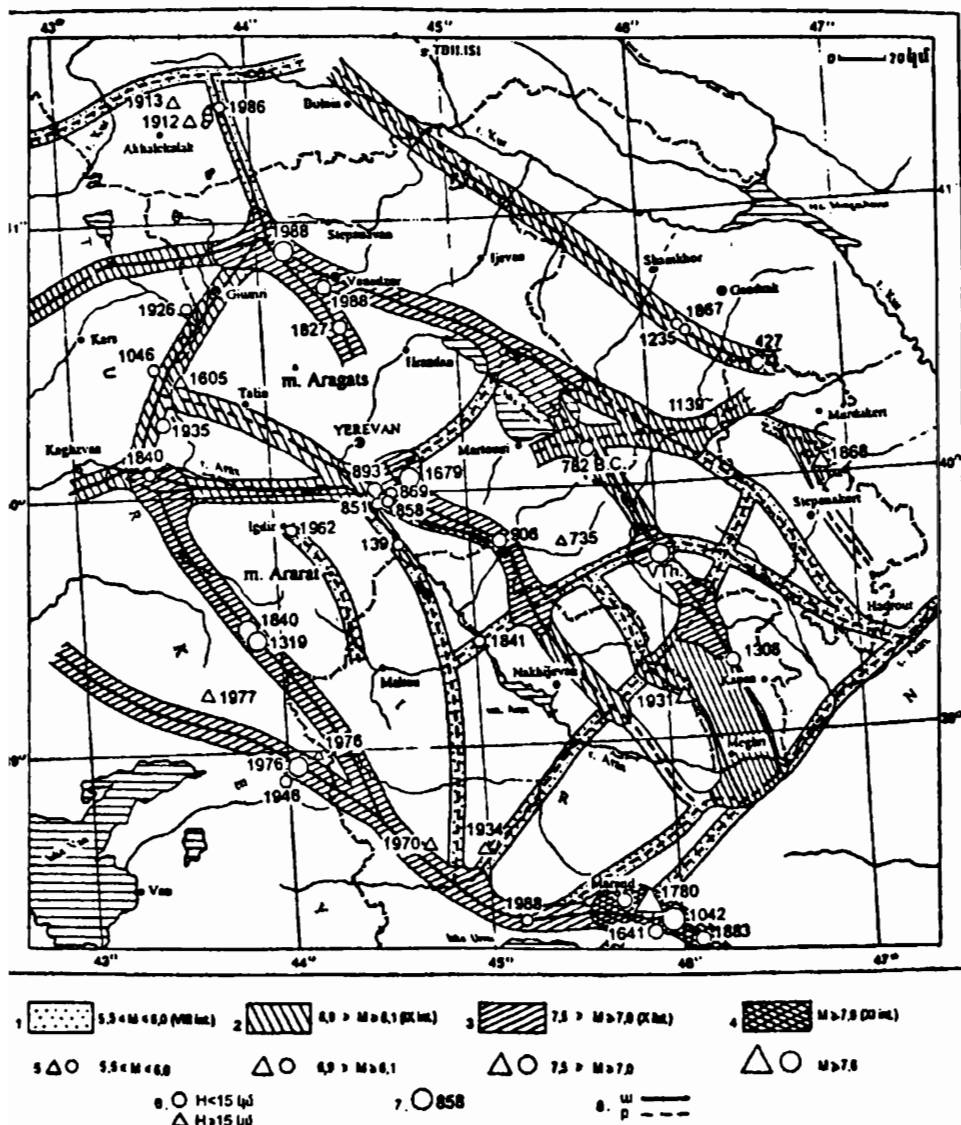


Նկ. 2: Կովկաս-Արևելյան Անատոլիա-Հյուսիսարևմտյան Իրան տարածաշրջանի ակտիվ բեկվածքների քարտեզ (ըստ Ա. Ավանեսյանի և Ս. Բալասանյանի, 1998թ.):

1 - ակտիվ բեկվածքները, 2 - հնարավոր ակտիվ բեկվածքները, 3 - կողաշարժեր, սլաքները ցույց են տալիս տեղաշարժման ուղղությունները, 4 - վարձատրեր, 6 - վրաշարժեր, 7 - ընդարձակման գոտիներ, 8 - այլ բեկվածքներ: Նշանակումները քարտեզի վրա՝ GC - Մեծ Կովկաս, LC - Փոքր Կովկաս: 1-16 գլխավոր բեկվածքները՝ 1 - Մեծ Կովկասի, 2 - Բորժոմ-Կազբեկի, 3 - Նախափորրկովկասյան, 4 - Փամբակ-Սևանի, 5 - Արևմտակասպիական, 6 - Ստորինարաքսյան, 7 - Հյուսիսարևելյանանատոլիական, 8 - Գայլատուի, 9 - հյուսիս-բավրիզյան, 10 - Թալիշի, 11 - Նուրի, 12 - Ջազրուսի, 13 - Բիթլիսի, 14 - Արևելաանատոլիական, 15 - Հյուսիսանատոլիական, 16 - Հյուսիսվանաձյան:

Նորագույն տեկտոնական դիսլոկացիաների, հրաբխային կենտրոնների ղեղաբաշխումը, մասամբ նաև երկրաշարժային օջախների վիճակագրական ռվյալները վկայում են այն մասին, որ ՀՀ տարածքում պլիոցենում և անթրոպոգենում առավել ակտիվ գործել են լայնական բեկվածքները (Ջավախքի, ռադզվան-Գյումրիի, Արագած-Ստեփանավանի, Ազատ-Կրասնոսելսկի, Սիլիան-Իշխանասարի, Ստորինարաքսյան):

Ստորև բերվում են որոշ նկատառումներ լայնակի տեկտոնական դիսլոկացիաների, այդ թվում, երկրաշարժային զոնաների ձևավորման և զարգացման վերաբերյալ (նկ.2, 3):



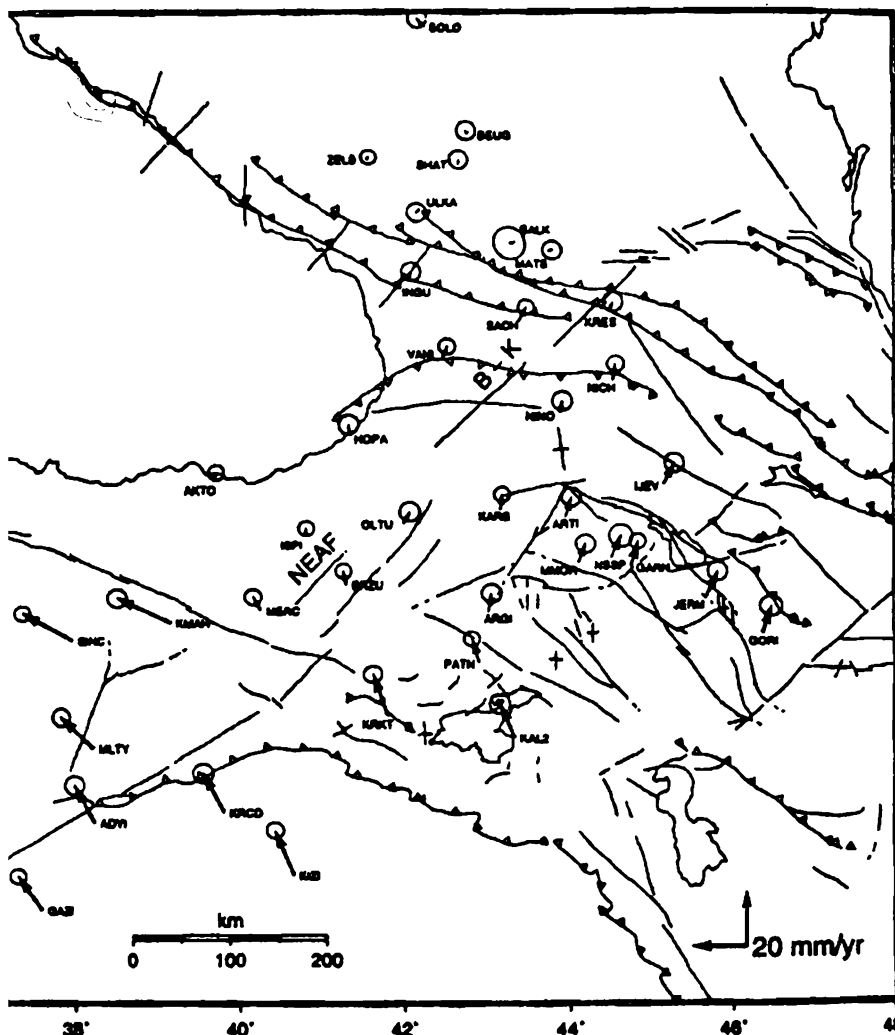
Նկ. 3: Հայաստանի Հանրապետության և հարակից տարածքների սեյսմածին (հնարավոր երկրաշարժերի օջախների) գոտիների քարտեզ (ըստ Ս. Բալասանյանի և ուրիշների, 1999թ. 12): 1-4 - երկրաշարժածին գոտիներ ըստ մագնիտուդայի (M) և ինտենսիվության (բալերով ASK-64 սանդղակով), 5 - ուժեղ երկրաշարժերի վերնակենտրոններ, 6 - օջախի խորությունը, 7 - երկրաշարժի տարեթիվը, 8 - ակտիվ բեկվածքներ՝ հստակ (ա), ենթադրյալ (բ):

Եվրասիական և Աֆրիկաարաբական սալերի սահմանային զոնայում տեղաբաշխված Հայաստանի և հարակից տարածքների տեկտոնական կառուցվածքի ձևավորումը և զարգացումը պայմանավորված է այդ սալերի և, մասնավորապես, Իրանական և Սև ծով-Կասպիական (Այսրկովկասյան) մանրասալերի տեղաշարժմամբ և բախմամբ (կոլիզիա): Կախված սալերի շարժման բնույթից՝ տարածքի մինչկոլիզիոն (մինչպալեոցենյան) և հետկոլիզիոն (հետմիոցենյան) կառուցվածքային պլանների միջև դիտվում է որոշակի տարբերություն: Կոլիզիոն և հետկոլիզիոն փուլերում տեկտոնական կառույցների զարգացումը կապված է նշված սալերի բախման հետ, այդ պատճառով նորագույն տեկտոնական կառույցները իրենց բնույթով, տեղաբաշխմամբ և կողմնորոշմամբ զգալի չափով տարբերվում են հին կառույցներից, որոնց ձևավորման ու զարգացման մեջ որոշակի դեր է խաղացել նաև սալերի տարաշարժը (սպրեդինգ):

Ըստ երևույթին, սալերի բախման ընթացքում տեկտոնական կառույցների ձևավորման գործում որոշակի դեր է խաղացել նաև մանրասալերի ներքին բեկորային (խճանկարային) կազմությունը: Սալերի հյուսիսային ուղղության բախման պրոցեսում արտահայտվել է նաև մանրասալերի առանձին բեկորների զարգացման անհատականությունը՝ կապված տեղաշարժման նշանի ու արագության տարբերության, տեկտոնական լարվածությունների փոփոխության հետ: Այդ պատճառով նորագույն տեկտոնական փուլում տեղի է ունեցել մինչ այդ ձևավորված համակովկասյան կառուցվածքային պլանի մասնակի վերակառուցում, որն ուղեկցվել է լայնական տեկտոնական դիսլոկացիաների զարգացմամբ և նույն ուղղության տեկտոնական զոնայականության ձևավորմամբ: Այստեղ պետք է հաշվի առնել նաև հետևյալ հանգամանքը: Հորիզոնական սեղմման տեկտոնական շարժումների և սալերի բախման ընթացքում կոլիզիայի զոնայում ակտիվանում են նաև սալերի առանձին բեկորների ուղղաձիգ, հատկապես վերընթաց շարժումները: Այստեղ արտահայտվում է հորիզոնական և ուղղաձիգ շարժումների փոխկապվածությունը: Այդ պրոցեսները շարունակվում են նաև հոլոցենում: Նման պատկերացումները հիմք են տալիս ենթադրելու, որ ՀՀ տարածքի զարգացման պլիոցեն-հոլոցենյան փուլում մեծացել են լայնական բեկվածքային զոնաների երկրաշարժաակտիվությունը, հրաբխականությունը և որ այդ զոնաները կարևոր դեր են խաղացել երկրաշարժերի օջախների և վերնակենտրոնների տեղաբաշխման գործում:

Վերոհիշյալ տվյալները վկայում են այն մասին, որ հանրապետության սեյսմիկ շրջանացման քարտեզներում բավականին ակնառու պետք է արտահայտվի նաև լայնական զոնայականությունը, սակայն առ այսօր կազմված քարտեզներում այդ հանգամանքը բավարար չափով հաշվի չի առնվել: Գոյություն ունեցող քարտեզներում [14] երկրաշարժական զոնաները կամ գոտիներն ունեն համակովկասյան ուղղություն, այստեղ չի երևում լայնական երկրաշարժածին զոնաների որոշակի ազդեցությունը, որը համդիսանում է այդ քարտեզների հիմնական թերություններից մեկը: Հետաքրքիր է, որ նշված քարտեզների հեղինակների կողմից կազմված երկրաշարժածին զոնաների համարյա բոլոր սխեմաներում առանձնացված են լայնակի երկրաշարժածին բեկվածքների զոնաներ, սակայն նույն հեղինակները սեյսմիկ շրջանացման քարտեզներ կազմելիս դրանց մասին կարծես թե մոռացել են: Մեր կողմից կազմված Փ. Կովկասի և հարակից տարածքների լայնական տեկտոնական դիսլոկացիաների սխեմաներում [7, 8] նույնպես առանձնացված են լայնակի

աշարժածին բեկվածքների զոնաներ (Ջավախքի, Կաղզվան-Գյումրիի լած-Սպիտակ-Ստեփանավանի, Արարատ-Ագատ-Սևանի, Վայքի, Սի-Իշխանասարի, Ստորինարաքսյան): ՀՀ տարածքի սեյսմիկ շրջանաց իոր քարտեզում [12] որոշ լայնական ակտիվ բեկվածքներ առանձնաց ին որպես երկրաշարժածին (երկրաշարժերի հնարավոր օջախների) գո ր (նկ. 3): Այդ հանգամանքը հաշվի է առնվել սեյսմիկ վտանգի հաշ ճան



4: Կովկաս-Արևելյան Թուրքիա տարածաշրջանի ակտիվ բլոկների տեղաշարժման ուղղությունները և արագությունը ըստ GPS տվյալների [15]:

մակ: Սակայն դրանց սեյսմիկ պոտենցիալի համեմատաբար ավել զնահատումը էականորեն չի ազդել ընդհանուր գոտիավորման վրա ռեգի հեղինակների կարծիքով առավելագույն սեյսմիկ վտանգի գոտիներ արածված են համակովկասյան ուղղությամբ և միայն Տեկոր-Ախուրյա յնական ակտիվ բեկվածքի երկայնքով առանձնացված է 9 բալանո (0.4g) սեյսմիկ վտանգի գոտի: Մեր կարծիքով այդպիսի լայնական բեկ

վածքների թվին պետք է դասել նաև Ազատ–Սևանի և Իշխանասարի բեկվածքները:

Ելնելով վերը շարադրված նկատառումներից՝ սույն աշխատանքում փորձ է արվում ՀՀ տարածքի սեյսմիկ վտանգի գնահատման խնդրում մասնագետների ուշադրությունը հրավիրել լայնական ուղղության երկրաշարժաժին ակտիվ բեկվածքների վրա՝ հաշվի առնելով հետևյալը: Մեր կարծիքով չի բացառվում այն հանգամանքը, որ լայնական բեկվածքների պոտենցիալ սեյսմիկ վտանգը ավելի պակաս չէ, քան համակովկասյան երկրաշարժաժին գոտիներինը: Վերջին տարիների համապարփակ պոզիցիոն համակարգի (GPS) արբանյակային գեոդեզիական դիտարկումները ցույց են տալիս, որ ՀՀ տարածքում և հարակից շրջաններում առավելագույն հորիզոնական տեղաշարժերը և լարվածության դաշտերի կոնցենտրացիան տեղի են ունենում լայնական ուղղությամբ [15]: Դա վկայում է լայնական տեկտոնական բեկվածքների ակտիվացման մասին, որը կարող է հիմք հանդիսանալ այդ բեկվածքների սեյսմիկ պոտենցիալի վերագնահատման համար (նկ.4):

ԵՊՀ, ՍՊԱԾ

Ստացվել է 21.11.2000

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Габриелян А., Саркисян О., Симонян Г. Сейсмоструктуртика Арм. ССР. Изд-во ЕГУ, 1981.
2. Кашкай М. А., Тамразян Г. Н. Поперечные (антикавказские) дислокации Крымско-Кавказского региона. М.: Недра, 1967.
3. Меликсетян Б. М., Архипов Б. К. и др. – Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле, 1976, №1.
4. Волчанская И. К., Джрбашян Р. Т., Саркисян О. А. и др. – Советская геология, 1981, №8.
5. Назаретян С. Н. Глубинные разломы территории Арм. ССР. Изд-во АН Арм. ССР, 1984.
6. Саркисян О. А., Волчанская И. К. – Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле, 1973, №4.
7. Саркисян О.А. – Ученые записки ЕГУ, 1978, №2.
8. Саркисян О. А. – Сб. науч. трудов к 50-летию геол. ф-та. Изд-во ЕГУ, 1988.
9. Шатский И.С. – Геология, 1948, №5.
10. Симонян Г. П. – Сб. науч. трудов к 50-летию геол. ф-та. Изд-во ЕГУ, 1988.
11. Аванесян А.С., Саркисян О.А. – Ученые записки ЕГУ, 1999, №2.
12. Balassanian S. Yu., Martirosian A. H. et al. Natural Hazards. Kluwer Academic Publishers, 1999, v. 18, p. 227–236.
13. Щукин Ю.К., Трифонов В.Г. – В кн.: Тектоническая расслоенность литосферы новейших подвижных зон. М.: Недра, 1982.
14. Симонян Г.П. – Ученые записки ЕГУ, 1997, № 2.
15. Mc. Clunsky S., Balassanian S. Yu., Barka A., et al. – Jomal of Geophysical Research, 2000, v. 105, No. B3, p. 5695–5719.

Օ.Ա. ՏԱՐԿԻՅԱՆ, Ա.Տ. ԱՎԱՆԵՍՅԱՆ, Մ.Ա. ԱՎԱՆԵՍՅԱՆ

РОЛЬ ПОПЕРЕЧНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ТЕРРИТОРИИ РА В ДЕЛЕ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

Резюме

Геолого-геофизические данные свидетельствуют об активизации поперечных (близмеридиональных) тектонических дислокаций на территории РА

и сопредельных районов в неотектоническом этапе и голоцене. Космические геодезические наблюдения показывают, что максимальные горизонтальные перемещения и концентрации напряженности полей также происходят в поперечном направлении. Все это указывает на активизацию поперечных (трансверсальных) разломов, что необходимо учесть при оценке сейсмического потенциала этих разломов, а следовательно, и при составлении карты сейсмического районирования республики.



H.H. SARGSIAN, A.S. AVANESSIAN, M.A. AVANESSIAN

THE ROLE OF THE TRANSVERSE TECTONIC STRUCTURES OF THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF ARMENIA IN SEISMIC HAZARD ASSESSMENT

Summary

Geological and geophysical data testify to the important role of transverse (near meridional) tectonic dislocations in tectonic structure of the RA territory and adjacent areas.

GPS observation data show that maximal horizontal motion and stress concentration also occur in transverse direction. All these indicate the transverse seismogenic fault's activation in assessment of seismic potential of these faults and therefore in compiling the seismic zonation map of the republic.

Երկրաբանություն

УДК 553.57

Հ.Պ.ԳՈՒՅՈՒՄՅԱՆ

ՕՊԱԼԻՏՆԵՐԸ ՈՐՊԵՍ ՆՈՐ ՏԻՊԻ ՈՉ ՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ՕԳՏԱԿԱՐ
ՀԱՆԱԾՈ ԱՐՇԵՍՏԱԿԱՆ ՎՈԼԱՍՏՈՆԻՏԻ ԵՎ ԱՐԺԵՔԱՎՈՐ ԱՅԼ
ՍԻԼԻԿԱՏՆԵՐԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Ոչ մետաղային օգտակար հանածոների թվին են պատկանում այն ապարները և միներալները, որոնք չեն օգտագործվում մետաղներ ստանալու համար: Այժմ հայտնի է այս օգտակար հանածոների մոտ 150 արդյունաբերական տեսակ, որոնք օգտագործվում են բնական ձևով որպես լեռնաքիմիական հումք կամ քիմիական բարդ մշակումներից հետո որպես լեռնատեխնիկական հումք: Արտահանման ծավալներով և դրամական արժեքով ոչ մետաղային օգտակար հանածոները զիջում են միայն վառելիքային հումքին: Ոչ մետաղային հումքի տարեկան արդյունահանման համաշխարհային արժեքը 80-ական թվականների սկզբին կազմում էր 80 մլրդ դոլար [1]:

Մաքուր սիլիկահողի որոնման խնդիրը արդիական էր և հրատապ մեր հանրապետության արդյունաբերության բնականոն զարգացման ընթացքում առնվազն մինչև 90-ական թվականները: Մաքուր և ոչ շատ կարծր սիլիկահողային հումքն ունի հատուկ կարևորություն վոլաստոնիտի, տարբեր մետաղների սիլիկատների և հիդրոսիլիկատների սինթեզման համար, գերմաքուր սիլիցիումի երկօքսիդի ստացման համար, էլեկտրոնային-օպտիկական սարքաշինության, կերամիկական, էլեկտրատեխնիկական և արդյունաբերության հեռանկարային այլ ուղղությունների զարգացման համար:

Քվարցիտների-օպալիտների հանքավայրը հայտնաբերվել է 80-ական թվականների սկզբին, գտնվում է Զանգեզուրի լեռնաշղթայի ջրբաժանային մասում, նրա արևելյան և արևմտյան լանջերի վրա, Մավարդ և Գոմշատեղ լեռնազագաթների միջև: Հանքավայրն իրենից ներկայացնում է Գոմշատեղ լեռան գագաթից 400–500 մ խորությամբ ամբողջ զանգվածը (հարավային տեղամաս), որտեղ առավելաբար տարածված են մոնոքվարցիտները, կաոլինային քվարցիտները, խալցեդոնացված օպալիտները, խալցեդոնիտները և արգիլիզիտները: Մավարդ և Գոմշատեղ լեռնազագաթների միջև թամբը (հյուսիսային տեղամաս) կազմված է համարյա ամբողջությամբ օպալիտներից, որոնք ավելի լայն տարածում ունեն լեռնաշղթայի մաս արևմտյան լանջերի վրա [2,3]:

Օպալիտները սպիտակ, ծակոտկեն, փխրուն (կավանման օպալիտ) կամ ապակենման մոխրագույն, բաց մոխրագույն, բաց վարդագույն, կաթնասպիտակ, խեցային կոտրվածքով (ապակենման օպալիտ) ապարներ են: Կազմված են օպալից (մինչև 97%) և աննշան քանակության տարբեր միներալներից՝ քվարց, խալցեդոն, ռուտիլ, մագնետիտ, կաոլին, հալուսագիտ, լիմոնիտ,

յարոզիտ. ռեալզար, ատրիպիզմենտ, բնածին ծծումբ: Սիլիկահողը ներկայացված է ռենտգենաամորֆ օպալով. α -կրիստոբալիտով և տրիդիմիտով. որոնք բնորոշվում են ապակյա և թաքնված բյուրեղային ստրուկտուրաներով՝ տեղ-տեղ անցնելով նրբահատիկային: Խալցեդոնով և քվարցի հատիկներով վերաբյուրեղացած մասերը կազմում են օպալիտի ծավալի 2-3%-ը: Երկաթի պարունակությունը շատ փոքր է ($\text{Fe}_2\text{O}_3=0,10+0,66\%$, միջինը՝ 0,27%), մ գտնվում է օքսիդների (մագնետիտ, հեմատիտ) և հիդրօքսիդների (յարոզիտ) ձևով: Այս ամենը հեշտացնում է օպալիտի մշակումը և ապահովում շահավետ տեխնոլոգիա: Կավճանման օպալիտներում սիլիկահողի միջին պարունակությունը 94,02% է (անջուր հիմքի վրա հաշվարկի դեպքում՝ ավելի բարձր):

Հիդրոթերմալ մետամորֆային (ֆումարոլային-սոլֆատարային) ծագման օպալիտը նոր տիպի սիլիկահողային հումք է դարձել նոր տեխնոլոգիական սխեմաների մշակման շնորհիվ. որոնք բացահայտեցին տնտեսության մեջ նրանց կիրառման ոլորտները:

Վոլաստոնիտը պատկանում է ոչ մետաղային օգտակար հանածոների նոր պրոգրեսիվ տեսակներին: Նրա տարեկան համաշխարհային հանույթը 0,5 մլն տոննա է. որից 0,4 մլն տոննան բաժին է ըկնում ԱՄՆ-ին: Արդյունահանվող վոլաստոնիտի կեսից ավելին օգտագործվում է կերամիկական արդյունաբերության մեջ (վոլաստոնիտային կերամիկա): Չնայած նախկին Խորհրդային Միության տարածքում վոլաստոնիտային հանքավայրերի առկայությանը (100-ից ավելի) վոլաստոնիտի արդյունահանում չէր կատարվում [1]: Այս հանքանյութերը հարստացման համար դժվար մատչելի են վնասակար խառնուրդների մեծ քանակության պատճառով (պիրոքսեն, մոնաքար, սկապուլիտ և այլն): Վոլաստոնիտի հանքանյութերից ստացված կոնցենտրատների գործնական արժեքը մեծ չէ, և նրանք կարող են օգտագործվել միայն ցածր որակային պահանջներ ներկայացնող արդյունաբերական ճյուղերում: Այդ իսկ պատճառով բնական վոլաստոնիտը իր տեղը զիջելու է արհեստականին. եթե ստեղծվեն պայմաններ նրա արտադրության համար: Արհեստական վոլաստոնիտը առաջինը սինթեզել են հայ գիտնականները Ընդհանուր և անօրգանական քիմիայի ինստիտուտի փորձարարական գործարանում դեռևս 70-ական թվականների սկզբին մեֆելինային սինթետների հումքի մշակման պրոցեսի ընթացքում կավահողի, սոդայի և այլ բազմաթիվ նյութերի ստացմանը զուգահեռ, ապա Դոնբասից բերովի քվարցային ավազներից՝ արտադրելով տարեկան մի քանի հարյուր տոննա:

Քվարցիտները և քվարցային ավազները (մասնավորապես Ուրթի և Ամուլսարի) նպաստավոր հումք չեն սիլիկատային արտադրության համար մեծ կարծրության, վնասակար խառնուրդներ և "ներկող" տարրեր պարունակելու պատճառով: Այս առումով բացառիկ նպաստավոր են Գոմշատեղի օպալիտները. որոնց ֆիզիկաքիմիական և ստրուկտուրային հատկանիշները համապատասխանում են արհեստական վոլաստոնիտ և այլ սիլիկատներ ստանալու պահանջներին^{*}. Այսպիսի հումքի մեջ սկալիները չպետք է գերազանցեն 0,5%-ը, իսկ սուլֆիդները՝ 0,1-0,2%-ը: Սիլիկահողի հումքը պետք է մաքուր լինի խառնուրդ միներալներից (ամֆիբոլ, պիրոքսեն, բիոտիտ, անդալուզիտ, պիրիտ) և ունենա օպալ-կրիստոբալիտային կազմ, բնորոշվի փոքր ծավալա-

^{*} Հանքավայրի տարբեր տիպի սիլիկահողային ապարների տեխնոլոգիական և փորձարարական մշակումները և հետազոտությունները իրականացվել են ՀՀ ԳԱԱ ընդհանուր և անօրգանական քիմիայի ինստիտուտում Ս.Ս. Կարախանյանի ղեկավարությամբ:

յին կշռով. մեծ ծակոտկենությանը, ակտիվ սիլիկահողի մեծ պարունակությամբ և համեմատաբար փոքր կարծրությամբ (5-ից ցածր ըստ Մոոսի սանդղդակի): Սիլիկահողի պարունակությունը պետք է լինի մեծ 90%-ից օպալ-կրիստոբալիտային ապարների համար և 95%-ից մեծ՝ քվարցիտների համար:

Օպալիտները դիտարկվում են որպես լեռնատեխնիկական կոմպլեքսային նոր հումք հիդրոքսիմիական մշակման համար ավալային-սիլիկահողային լուծույթներ ստանալու և դրանք կիրառելու մատրիումի, կալիումի, կալցիումի, ցինկի, պղնձի սիլիկատների, տարբեր ալյումոսիլիկատների, ցեոլիտների, վոլաստոնիտի, գերմաքուր սիլիկահողային նյութերի և սրանց հիման վրա քվարցի և օպտիկական ապակու, հատուկ նշանակության ապակիների կոմպլեքսային բովախառնուրդների և սիլիկատային նյութերի, մասնավորապես, ադսորբենտների, քրոմատոգրաֆիայի և կատալիզի կրողների ստացման համար, ինչպես նաև որպես լցանյութեր թղթի, ռետինատեխնիկական, պոլիմերային արդյունաբերության և արտադրության հեռանկարային այլ ուղղությունների համար: Վերոհիշյալ մետաղների սիլիկատները նոր են և որոշելու համար նրանց կիրառման արդյունավետ ուղղությունները տնտեսության, գիտության և տեխնիկայի մեջ անհրաժեշտ են նրանց հատկությունների հետևողական ուսումնասիրություններ: Օպալիտներից սինթեզվող մատրիումի հիդրոսիլիկատներն անփոխարինելի են տարբեր նշանակության և ծավալի հակակոռոզիոն տարողությունների և ջրատար խողովակների արտադրության համար: Տարբեր երկրների պահանջարկը մատրիումի հիդրոսիլիկատի (Բելառուս) կամ վոլաստոնիտի (Ֆինլանդիա, Չեխիա, Ճապոնիա) նկատմամբ կազմում է տարեկան մի քանի տասնյակ հազար տոննա: Այս երկրները ծրագրում էին սինթետիկ վոլաստոնիտ և մատրիումի հիդրոսիլիկատ ստանալ Հայաստանից դեռևս 70-ական թվականների վերջին Հրազդանի լեռնաքիմիական կոմբինատի գործարկման դեպքում:

Օպալիտները հեռանկարային հումք են նախ և առաջ սիլիկատային արտադրության համար, որոնց մշակումը ավալային-հիդրոթերմալ պայմաններում հնարավորություն է տալիս ստանալու մի ամբողջ շարք սիլիկատային նյութեր: Սիլիկահող պարունակող ապարներից նախ ստացվում են ավալային-սիլիկահողային լուծույթներ՝ $R_2O:SiO_2$ տարբեր հարաբերություններով: Սրանց հիման վրա մշակվել և ներդրվել է մի շարք սիլիկատային նյութերի և առաջին հերթին մատրիումի մետասիլիկատների սինթեզման տեխնոլոգիան: Այդ արտադրությունը հաջողությամբ իրականացվում է Ընդիանուր և անօրգանական քիմիայի ինստիտուտի փորձարարական գործարանում: Այս լուծույթների և մատրիումի մետասիլիկատների հիման վրա, ըստ Ս.Ս. Կարախանյանի, հնարավոր է ստանալ համարյա բոլոր մետաղական տարրերի սիլիկատները: Բացի այդ սողա պարունակող սիլիկահողից ստացվել է սիլիցիումի մաքուր երկօքսիդ, որը համապատասխանում է քվարցային և օպտիկական ապակու ստացման պահանջներին: Նույն ինստիտուտի փորձարարական գործարանում մշակվել և ներդրվել է կալցիումի հիդրոսիլիկատների, պարբերական համակարգի երկրորդ խմբի բոլոր տարրերի սիլիկատների և պարբերական համակարգի երկրորդ խմբի բոլոր տարրերի սիլիկատների ստացման տեխնոլոգիապես արդյունավետ սխեման *:

* Այս օպալիտներից վոլաստոնիտը սինթեզվում է ավելի վաղ մշակած սխեմայի նկատմամբ Գ. Հ. Գրիգորյանի տեխնոլոգիական ..կարճ սխեմայով.. որը բնորոշվում է լավ տեխնոլոգիական-տնտեսական ցուցանիշներով:

Օպալիտներից ստացված սիլիցիումի երկօքսիդը (խառնուրդ-տարրերի 1.10⁻⁴ պարունակությամբ) լիովին բավարարում է էլեկտրոնային-օպտիկական սարքաշինության պահանջները և մի քանի ցուցանիշներով՝ ջերմադիմացկունություն, բյուրեղացման կայունություն, կիրառման հուսալիություն և երկարատևություն՝ գերազանցում է մինչև այժմ այս նպատակների համար (այդ թվում բրազիլական լեռնային բյուրեղի հումքից) ստացվածները: Գոմշատեղի հանքավայրի օպալիտներից ստացված սիլիցիումի երկօքսիդի գործարանային փորձարկումները ցույց տվեցին, որ հալ քիմիկոսների մեթոդով հիդրոթերմալ պայմաններում սինթեզվածը լրիվ բյուրեղանում է՝ առաջացնելով անհրաժեշտ չափերի բյուրեղներ օպտիկական և քվարցային ապակիների ստացման համար:

Վոլաստոնիտը կիրառվում է որպես հավելույթ կերամիկական, ճենապակու և հախճապակու զանգվածի մեջ, աբրազիվների, ագրոցեմենտի, լաքերի – մերկանյութերի, ցելուլոզային թղթի արդյունաբերության, զոդող էլեկտրոդների, պլաստիկ, կաուչուկային և այլ շինվածքների մեջ, ավտոմոբիլաշինության, անբոտիեզերական արդյունաբերության տարբեր ոլորտներում, ինչպես նաև բարձր արդյունավետության պարարտանյութերի պատրաստման համար [4,5]: Վոլաստոնիտի հիմքի վրա շինված կերամիկական իրերը չափազանց ամուր են և կարող են կիրառվել բարձր ճնշումների տակ [4]: Վոլաստոնիտն օգտագործվում է նաև հետևյալ պլաստիկ նյութերի պատրաստման համար՝ պոլիամիդներ, պոլիէթերներ, ինժեներային պլաստմասսաներ, ֆեմոլային ձուլվածքներ, պոլիուրետաններ և էպօքսիդային խեժեր, որոնք բնորոշվում են ցածր խոնավատարությամբ, բարձր ջերմային կայունությամբ, բարձր ջերմահաղորդականությամբ և թույլ խնամակցությամբ պոլիմերների նկատմամբ [5]: Այս տեսակետից ավանդական օպալ-կրիստոբալիտային (դիատոմիտ, պերլիտ, տրեպել, ռադիոլյարիտ, սպոնգոլիտ, օպոքներ), ինչպես նաև քվարցային (հիդրոթերմալ և ռեզիոնալ-մետամորֆային քվարցիտներ) կազմի հանքանյութերից ոչ մեկը իրենց ֆիզիկամեխանիկական և ֆիզիկաքիմիական հատկանիշներով չեն կարող փոխարինել սոլֆատարային ծագման օպալիտներին, որոնք համարվում են արդիական բազմանպատակային հումք քիմիական սիլիկատային արդյունաբերության համար: Բարձր որակի և առայժմ հազվագյուտ լինելու պատճառով նպատակահարմար չէ օպալիտների օգտագործումը ավանդական և համեմատաբար էժանագին բնագավառներում, որտեղ հումքի սպառումը շատ մեծ է՝ շինանյութերի, թղթի, ջերմամեկուսիչների արտադրության մեջ որպես լցանյութեր կամ ապակու և բյուրեղապակու արտադրության մեջ:

Գոմշատեղի օպալիտները և քվարցիտները տարածականորեն և ծագմանաբանական առումով կապված են միոցենյան հրաբխականության հետ, անդեզիտային, անդեզիտ-դագիտային լավաների և հրաբխկորային ապարների հետ, որոնք տարածված են Չանգեզուրի լեռնաշղթայի ջրբաժանում, Սալվարդ, Գոմշատեղ, Շահապոնք հին հրաբխային կառույցների շրջանում: Սրանք տուֆերի և տուֆաքերեկչիաների տարրալուծման արդյունք են ետհրաբխային ֆունարոլային – սոլֆատարային թթվային սուլֆատ-քլորիտային և սուլֆատային կազմի [6] ֆլուիդների ազդեցության տակ: Ըստ որում պահպանվել են առաջնային ապարների մակրոսկոպիկ և միկրոսկոպիկ ստրուկտուրային-տեքստուրային առանձնահատկությունները: Գոմշատեղի քվարցիտների պաշարները վիթխարի են, գերազանցում են հայտնի հիդրոթերմալ ծագման քվարցիտների հանքավայրերի պաշարները (Ուրծի, Ջերմուկի, Ամուլսարի, Արզականի, Փամբակի, Շահնազարի) երկու կարգով: Երկ-

որորդային քվարցիտների պաշարները չափվում են միլիարդ տոննաներով, իսկ օպալիտներինը, արգիլիզիտներինը՝ տասնյակ միլիոն տոննաներով:

Միլիկահողային արտադրության պահանջները ապագայում լիովին ապահովելու համար անհրաժեշտ է ֆումարոլային-սոլֆատարային օպալիտների զարգացման նոր դաշտեր որոնել միոպլիոցենյան հասակի հին հրաբխային կառույցների (պալեոփոկականների) զարգացման տարածքներում: Սա չի վերաբերում նույն ֆորմացիայի երկրորդային քվարցիտներին, որոնց պաշարները Գոմշատեղի հանքավայրում չափվում են միլիարդ տոննաներով: Հարկ է նշել, որ այս հանքավայրերի քվարցիտները զիջում են օպալիտներին միայն աննպաստ ֆիզիկամեխանիկական հատկություններով, այն է՝ քվարցիտներին բնորոշ բարձր կարծրությամբ: Ըստ որում Գոմշատեղի քվարցիտներն ավելի միատարր են և մաքուր, քան օպալիտները և այս հատկանիշներով որևէ տեխնիկական խնդիր չեն ստեղծում: Միլիկահողի պարունակությունը քվարցիտներում հասնում է 98%-ի, միջինը՝ 96.25%, Fe_2O_3 -ի պարունակությունը 0,20-0,73% է, միջինը՝ 0,40%:

Չանգեզուրի միոցենյան հասակի գազահիդրոթերմալ կամ ֆումարոլային-սոլֆատարային ծագման օպալիտների նմանատիպ ապարներ հայտնի են միայն Կամչատկա-Կուրիլյան աղեղի գործող հրաբուխների խառնարաններում և կալեբրանների շրջանում (Շեվելուչ, Ութոն, Էբեկո, Մենդելեև և այլն): Այս հրաբուխներում այժմ էլ նկատվում է ինտենսիվ սոլֆատարային գործունեություն օպալիտների, արգիլիզիտների, ծծմբի նստվածքների և երկրորդային կվարցիտների առաջացումով [6] հար և նման Գոմշատեղի հին հրաբխային կառույցի ֆումարոլային-սոլֆատարային առաջացումներին: Իսկ Հայաստանում և նախկին Միության տարածքում հայտնի օպալ-կրիստոբալիտային ապարները օրգանական կամ նստվածքային ծագման են (ղիատոմիտ, ռադիոլարիտ, սպոնգոլիտ, օպոքներ): Գոմշատեղի տիպի օպալիտներն առայժմ եզակի են ալպիական ծալքավոր գոտիներում, մասնավորապես, միոպլիոցենյան հրաբխականության հետ կապված:

Կանադայում կարծր քվարցիտների արդյունաբերական վերամշակումը կատարվում է 70-ական թվականների սկզբից: Կարծում ենք, որ կարծր քվարցիտների արդյունաբերական օգտագործման խնդիրը կլուծվի մոտ ապագայում նաև մեր երկրում: Այն ժամանակ Գոմշատեղի հանքադաշտը կդառնա սիլիկահողի բարձրարժեք նոր, վիթխարի մասշտաբների հանքավայր: Քվարցիտներից կարելի կլինի սինթեզել նույն նյութերը, ինչ որ օպալիտներից՝ ապահովելով հանրապետությունը բարձրորակ սիլիկահողի հումքով: Այսպիսով, շնորհիվ տեխնոլոգիական մշակումների, օպալիտները վերածվեցին թանկարժեք բարձր տեխնոլոգիական սիլիկահողային նոր տիպի բնական հումքի:

Վոլաստոմիտի զանգվածային կիրառումը արդյունաբերության մեջ, տեխնիկայի և գիտության տարբեր ոլորտներում հնարավոր է նրա արհեստական սինթեզման տեխնոլոգիական պրոցեսի ներդրումով: Արհեստական վոլաստոմիտի և այլ մետաղների սիլիկատների ու հիդրոսիլիկատների ստացման պրոցեսի տարածումն աշխարհում ունենալու է հեղափոխական նշանակություն և ըստ էության նշանավորելու է "նոր քարի դարի" սկիզբը այս հազարամյակում:

*Միներալոգիայի, պետրոգրաֆիայի
և երկրաբանության ամբիոն*

Ստազվել է 15.12.2000

1. Неметаллические полезные ископаемые СССР. Справочное пособие. Под ред. В.П.Петрова. М.: Недра, 1984, 407 с.
2. Карапетян А.И., Гуюмджян О.П., Налбандян Э.М. – Изв.АН Арм.ССР, Науки о Земле, 1985, т.28, №2, с.36–41.
3. Карапетян А.И., Гуюмджян О.П., Налбандян Э.М. – Изв. АН Арм.ССР, Науки о Земле, 1986, т.29, №2, с.11–23.
4. Wollastonite. Ind. Miner. (Gr.Britain), 1998, №365, с.73.
5. Щепелев Ю.Ф., Зудима С.П. Волластонит как керамическое сырье. В сб.: Новые виды неметаллических полезных ископаемых. М.: Наука, 1976, 204 с.
6. Набоко С.И., Гидротермальный метаморфизм пород в вулканогенных областях. М.: Изд-во АН СССР, 1969, 172 с.

О.П. ГУЮМДЖЯН

ОПАЛИТЫ – НОВЫЙ ТИП НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ВОЛЛАСТОНИТА И ДРУГИХ ЦЕННЫХ СИЛИКАТОВ

Резюме

Среди известных на территории Армении кремнесодержащих пород наиболее богатыми окисью кремния и чистыми от элементов-примесей являются опалиты и кварциты нововыявленного в Зангезуре Гомшатехского месторождения фумарольного–сульфатарного происхождения. На основании новых технологических схем сотрудниками ИОНХ НАН Республики Армения опалиты выдвинуты в качестве нового исключительно ценного сырья в керамическом и силикатном производстве для получения, в частности, искусственного волластонита, гидросиликата натрия, силикатов различных металлов, двуокиси кремния особой чистоты, а также варки электровакуумного и оптического стекол. Опалиты стали новым типом неметаллического полезного ископаемого благодаря новым технологическим схемам, которые выявили новые области их применения в промышленности, науке и технике.

H.P. GOUYUMDJIAN

THE FUMAROLE–SULFATE ORIGIN OPALITES AS A MINE–DEPOSITE OF NEW TYPE AND A HIGH TECHNOLOGICAL BASE FOR SILICATE PRODUCTION

The opalites and qwarzites of newly discovered mine–deposit of Gomshategh are the most famous ones- due to the rich content of silicate rocks and silicium–oxide, free of elementary mixtures. On the bases of new technological schemes, the specialists of The Institute of Common and Disorganic Chemistry of The National Academy of Sciences of Armenia found out, that the opalites are being represented as a unique base material for production of ceramic, electronical–optical equipment, and especially for production of artificial wollastonite, sodium–hydrosilicate, several metallic silicates and a highly pure silicium–oxide for production of optical and electronical–vacuum glass.

The opalites became a new type of nonmetallic deposite–material due to new technologies that revealed new spheres of their practical use in science and engineering.

УДК 539.3

И.М. КАРАХАНЫ

О ГРАНИЧНОМ УСЛОВИИ ПРИ ДИФРАКЦИИ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ НА БЕСКОНЕЧНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье обосновывается граничное условие типа скачка, которое рассматривалось в граничной задаче, рассмотренной в [1], связанной с дифракцией гармонической волны на упругом полубесконечном включении.

В работе [1] с использованием метода факторизации матриц-функций (см. [2–4]) было разрешено матричное уравнение Винера – Хопфа, возникшее в граничной задаче дифракции гармонической волны на упругое полубесконечное включение. В данной статье обосновывается граничное условие типа скачка, рассмотренное в [1].

Пусть упругая антиплоская гармоническая волна из бесконечности падает на тонкое упругое включение с толщиной δ (см. [5,6]).

Верхнее и нижнее полупространства (с номерами $\langle 1 \rangle$ и $\langle 3 \rangle$) будем по-прежнему считать изотропными полупространствами с разными упругими свойствами, а среда $\langle 2 \rangle$ – упругое бесконечное включение со своими свойствами. Если предположить, что среда находится в антиплоском состоянии, то в каждой среде вектор упругого перемещения

$$\bar{V}^{\langle j \rangle}(x, y, t) = \{0; 0; V^{\langle j \rangle}(x, y, t)\}. \quad (1)$$

Тогда (см. [7,8]) уравнение упругого колебания в каждой среде $\langle j \rangle$, где $j=1,2,3$, есть

$$\frac{\partial^2 V^{\langle j \rangle}}{\partial t^2} = c_j^2 \Delta V^{\langle j \rangle}. \quad (2)$$

Здесь $c_j^2 = \frac{G_j}{\rho_j}$, а ρ_j и G_j – соответственно плотность и модуль сдвига

для $\langle j \rangle$ -ой среды.

Определим через

$$\beta_j^2 = \left(\frac{c}{c_j}\right)^2 - 1, \quad k_2 = k_1 \operatorname{tg} \theta_0, \quad \text{где } c = \frac{\omega}{k_1}.$$

В этом случае решения уравнения (2) в средах $\langle 1 \rangle$ – $\langle 3 \rangle$ с учетом отра-

жения в среде <1> и преломления в среде <2> соответственно запишутся в виде

$$\begin{cases} V^{<1>}(x, y, t) = v_0 e^{-i(\omega t + k_1 x)} [e^{-ik_1 y \operatorname{tg} \theta_0} + A e^{i\beta_1 k_1 y}], \\ V^{<2>}(x, y, t) = v_0 e^{-i(\omega t + k_1 x)} [B \sin \beta_2 k_1 y + C \cos \beta_2 k_1 y], \\ V^{<3>}(x, y, t) = v_0 e^{-i(\omega t + k_1 x)} D e^{-ik_1 \beta_3 y}. \end{cases} \quad (3)$$

Используя условия согласования на границах включения из соотношения (3), получаем:

на границе включения $y=0$

$$\begin{cases} V^{<1>}(x, 0, t) = V^{<2>}(x, 0, t), \\ G_1 \frac{\partial V^{<1>}(x, 0, t)}{\partial y} = G_2 \frac{\partial V^{<2>}(x, 0, t)}{\partial y}, \end{cases} \quad (4)$$

а на границе включения $y=-\delta$

$$\begin{cases} V^{<2>}(x, -\delta, t) = V^{<3>}(x, -\delta, t), \\ G_2 \frac{\partial V^{<2>}(x, -\delta, t)}{\partial y} = G_3 \frac{\partial V^{<3>}(x, -\delta, t)}{\partial y}. \end{cases} \quad (5)$$

Полагая

$$\beta = \beta_2 k_1 \delta, \quad \bar{D} = D e^{i\beta_3 k_1 \delta}, \quad a_1 = i \frac{\beta_1 G_1}{\beta_2 G_2}, \quad a_3 = i \frac{\beta_3 G_3}{\beta_2 G_2},$$

из (4), (5) имеем

$$\begin{cases} 1 + A = C, \\ a_1 \left(A - \frac{\operatorname{tg} \theta_0}{\beta_1} \right) = B, \\ -B \sin \beta + C \cos \beta = \bar{D}, \\ B \cos \beta + C \sin \beta = -a_3 \bar{D}. \end{cases} \quad (6)$$

Из соотношения (6) получаем, что

$$\begin{cases} \bar{D} = \frac{a_1 \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \theta_0}{\beta_1} \right)}{(a_1 + a_3) \cos \beta + (1 - a_1 a_3) \sin \beta}, \\ 1 + A = a_1 \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \theta_0}{\beta_1} \right) \frac{1 - a_3 \sin \beta}{(a_1 + a_3) \cos \beta + (1 - a_1 a_3) \sin \beta}, \\ A - \frac{\operatorname{tg} \theta_0}{\beta_1} = - \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \theta_0}{\beta_1} \right) \frac{a_3 + \sin \beta}{(a_1 + a_3) \cos \beta + (1 - a_1 a_3) \sin \beta}. \end{cases} \quad (7)$$

Исходя из (7), имеем

$$\begin{cases} v = \frac{V^{<1>}(x, 0, t)}{V^{<3>}(x, -\delta, t)} = \frac{1+A}{D}, \\ \mu = \frac{G_1 \frac{\partial V^{<1>}(x, 0, t)}{\partial y}}{G_3 \frac{\partial V^{<3>}(x, -\delta, t)}{\partial y}} = -\frac{a_1}{a_3} \frac{A - \frac{\operatorname{tg} \theta_0}{\beta_1}}{D}. \end{cases} \quad (8)$$

Если $k_1 \delta \ll 1$ и полупространства $<1>$ и $<3>$ совпадают как упругие среды, то, учитывая соотношения (7) из (8), имеем

$$\begin{cases} v \cong 1 - i \frac{G_1 \beta_1 k_1 \delta}{G_2}, \\ \mu \cong 1 - i \frac{G_2 \beta_2^2 k_1 \delta}{\beta_1 G_1}. \end{cases} \quad (9)$$

В итоге, так как

$$V^{<1>}(x, y, t) = V^{<3>}(x, y, t) = V(x, y, t),$$

искомые граничные условия на упругом бесконечном включении запишутся в виде

$$\begin{cases} V(x, +0, t) = v V(x, -0, t), \\ \frac{\partial V(x, +0, t)}{\partial y} = \mu \frac{\partial V(x, -0, t)}{\partial y}. \end{cases} \quad (10)$$

Кафедра механики сплошной среды

Поступило 13.04.2001

ЛИТЕРАТУРА

1. Саркисян В.С., Караханян И.М. – Ученые записки ЕГУ, 2001, N 2, с. 32–39.
2. Нобл Б. Метод Винера – Хопфа. М.: И–Л, 1962.
3. Бабешко Б.А. Обобщенный метод факторизации в пространственно динамических смешанных задачах теории упругости. М.: Наука, 1984.
4. Саркисян В.С. Контактные задачи для полуплоскостей и полос с упругими накладками. Ер.: Изд-во ЕГУ, 1983.
5. Гринченко В.Т., Мелешко В.В. Гармонические колебания и волны в упругих телах. Киев: Наукова Думка, 1981.
6. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Физика сплошной среды. М.: Мир, 1966.
7. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. М.: Наука, 1973.
8. Хан Х. Теория упругости. М.: Мир, 1988.

Ի.Մ. ԿԱՐԱԽԱՆՅԱՆ

ԱՆՎԵՐՋ ՆԵՐԴԻՐԻ ՎՐԱ ՀԱՐՄՈՆԻԿ ԱԼԻՔԻ ԴԻՖՐԱԿՑԻԱՅԻ ՀԵՏ
ԿԱՊՎԱԾ ԵԶՐԱՅԻՆ ՊԱՅՄԱՆԻ ՄԱՍԻՆ

Ամփոփում

Տվյալ հոդվածում հիմնավորվում է թռիչքի տիպի եզրային այն պայմանը, որը դիտարկվում է [1]-ում քննարկվող սահմանային խնդրում՝ կապված առաձգական կիսաանվերջ ներդիրի վրա հարմոնիկ ալիքի դիֆրակցիայի հետ:



I.M. KARAKHANIAN

ON BOUNDARY CONDITION BY DIFFRACTION OF HARMONIC
WAVE ON THE INFINITE INCLUSION

Summary

In the given article the jump type boundary condition is proved, which was considered in a boundary problem discussed in [1], connected with a harmonic wave diffraction on the half-infinite inclusion.

УДК 576.24:541.4

Ս.Գ. ԵՐՎԱՆԴՅԱՆ, Ե.Հ. ՄԻՄՆՅԱՆ, Ա.Ա. ՆԵՔԻՇ,
Գ.Լ. ՄԵԽՉՅԱՆ, Ռ.Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ԴԵՐԸ ԱՐԱԿԱՆ ԳԱՄԵՏՈՅԻՏԻ ՁԵՎԱՎՈՐՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

Շրջակա միջավայրի մուտագեն բնության սպոնտան և անթրոպոգեն գործոններով հագեցվածությունը բերում է բնական պոպուլյացիաների այլասերման: Այլ տեստ-համակարգերի շարքում միջավայրի աղտոտվածության ինդիկացիայի համար հետազոտողների կողմից առաջարկվում է նաև միկրոգամետոֆիտային ստերիլության, ֆերտիլության վերլուծության տեստը [1–3]: Ենթադրվում է, որ հոմեոստազը պոպուլյացիայում որոշակիորեն կախված է նաև միկրոգամետոֆիտային մրցակցությունից, որը զգալիորեն տատանվում է՝ կախված միջավայրի պայմաններից: Ներկայացված հաղորդման մեջ շարադրված են Հայկական ատոմակայանի տարածքում (I կետ) և նրանից 30 կմ հեռավորության վրա գտնվող Մերձավանում (II կետ) աճող խաղողի բույսերի արական գամետոֆիտի հետազոտությունների ամփոփիչ տվյալները: Փորձարկման օբյեկտ է ընտրվել ժողովրդական սելեկցիայի և նոր սելեկցիոն սորտերի հասուն արական գամետոֆիտը: Սորտերի մեծ խմբի (Շահումյանի, Չարենցի, Մեղրաբույր, Ներկառատ, Բուրմուք, Քիշմիշի սև, Քիշմիշի սպիտակ, Արարատի, Հաղխի, Արաքսենի, Մսխալի, Ոսկեհատ, Կանգուն, Գառան դմակ, Արենի, Հայաստան, Տոկուն, Հայկական մուսկատ, Հաջաբաշ, Փարվանա) միկրոգամետոֆիտային վերլուծությունը կատարվել է ծաղկափոշու հիմնական՝ ֆերտիլության, ստերիլության և ձևաբանական չափանիշների առումով (տրամագիծ, ծավալ, ապերտուրաների՝ ծվման անցքերի թիվ, ձև, համասեռություն):

Բազմամյա հետազոտությունների արդյունքների վերլուծությունը վկայում է, որ արական գամետոֆիտի որակական բնութագիրը մեծապես կախված է արտաքին պայմանների ազդեցությունից և գենոտիպից: Այդ ենթադրությունն առավել համոզիչ է արտահայտվել ծաղկափոշու ստերիլության վերլուծության ժամանակ: Հետազոտվող սորտերի մի զգալի խմբի համար (Հաղխի, Մսխալի, Ոսկեհատ, Քիշմիշի սև և այլն) երկու կետում էլ արձանագրվել է առավելագույն (90 %-ից բարձր) ֆերտիլություն: Որոշ սորտերի ստերիլությունը խիստ տատանվել է՝ կախված տվյալ տարվա կլիմայական պայմաններից: Օրինակ, Արարատի սորտի բույսերի համար տարբեր տարիների սվյալները, որոնք ինչ-որ չափով նույնիսկ հակասական են, հաստատում են վերոհիշյալ միտքը: 1996 թ. II կետում գրանցվել է (տոկոսներով) 5.7 ± 0.1 ստերիլություն, 1997 և 1998 թթ. համապատասխանորեն՝ 43.4 ± 0.26 և 30.45 ± 0.46 : Իսկ I կետում նույն ցուցանիշները նշված տարիներին կազմել են 7.7 ± 0.25 , 97.13 ± 0.10 և $3.7 \pm 0.17\%$: 1999 թ. անսովոր տաք ձմռան պայմաններ

րում այդ նույն սորտի դեպքում ձևավորվել է ամուլ ծաղկափոշու 30 % մակար-դակ: Ընդհանուր առմամբ սորտերի հիմնական խմբաքանակում բոլոր տարի-ներին գրանցվել է ստերիլության կայուն ցուցանիշ:

Ըստ հետազոտության արդյունքների՝ համեմատաբար հաստատուն են ձևաքանական հատկանիշները: Փորձարկման բոլոր տարիներին հետազոտ-վող սորտերի փոշեհատիկների տրամագիծը տատանվել է 25–26 մկմ-ի սահ-մաններում, ծավալը՝ 6000–8000 մկմ³-ի: Այդ, ինչպես նաև հիմնական չափա-նիշի՝ ստերիլության առումով հաստատվել է մի կողմից գենոտիպային ա-ռանձնահատկությունը, մյուս կողմից՝ հատկանիշի հարաբերական կայու-նությունը: Յուրօրինակ ցուցանիշներ են գրանցվել փոշեհատիկների մյուս չա-փանիշի՝ ապերտուրաների վերաբերյալ: Ուսումնասիրվող գենոտիպերի հիմ-նական խմբի համար (Մեղրաբույր, Արարատի, Հաղխի, Շահումյանի, Չա-րենցի, Քիշմիշի սև) փոշեհատիկների 60%-ը եղել է երեք ապերտուրաներով: Նկատվել են նաև առավելագույն՝ չորս, և նվազագույն՝ մեկից-երկու ապեր-տուրաներով փոշեհատիկներ՝ լավ արտահայտված վեգետատիվ և գեներա-տիվ կորիզներով: Տիպիկ՝ կլոր-օվալաձև փոշեհատիկները գերակշռել են, չնայած հանդիպել են նաև հսկա, գաճաճ, գլանաձև, սեղանաձև և նորմալից շեղված այլ ձևերի փոշեհատիկներ: Ձևաքանական չափանիշների վերաբեր-յալ ստացված տվյալների համադրումը ցույց է տվել, որ չնայած առանձին տատանումներին, խաղողի հետազոտվող սորտերի հիմնական զանգվածը համասեռ է, որը ևս նրա կենսունակությունն ապահովող գործոններից է: Ու-չազրավ է այն, որ այդ չափանիշը դրսևորվել է բարձր ֆերտիլությամբ օժտ-ված սորտերի համար:

Այսպիսով, խաղողի մեծաթիվ սորտերի արական գամետոֆիտի վերա-բերյալ ստացված արդյունքների համեմատական վերլուծությունը հանգեց-նում է այն մտքին, որ օպտիմալ ֆերտիլությամբ և ձևաքանական չափանիշ-ներով օժտված գենոտիպերը կարող են մյուս հանդիսանալ բիոինդիկացիայի և գենետիկ-սելեկցիոն աշխատանքների համար: Ամենայն հավանականությ-յամբ, վերոհիշյալ չափանիշներով ծաղկափոշում միկրոգամետոֆիտային բարձր մրցունակությունը հանդիսացել է այն մեխանիզմներից մեկը, որը նպաստել է, որ խաղողի բույսերի, ինչպես նաև վեգետատիվ ճանապարհով բազմացող շատ այլ բուսատեսակների պոպուլյացիան այլասերումից պահ-պանվի: ՀԱԿ-ի տարածքում աճող խաղողի տարբեր սորտերի արական գա-մետոֆիտի որակական չափանիշներում էական փոփոխություններ չեն գրանցվել:

*Բջջագենետիկայի պրոբլեմային լաբորատորիա,
բջջաբանության և գենետիկայի ամբիոն*

Ստացվել է 28.09.2000

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Nilan R.A., Rosichan J.J., Arenar P., Hodgdon A.Z., Kleinbors D. – Environ. Health Perspect, 1981, N 37, p. 19–25.
2. Лях В.Д. – Цитология и генетика, 1995, т. 29, № 6, с. 76–82.
3. Ервандян С.Г., Симонян Е.Г., Арутюнян Р.М., Небиш А.А., Бегларян С.Г., Снхчян Г.Л. – Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, 1999, в.2, № 7 (19), с. 54–56.

С.Г. ЕРВАНДЯН, Е.Г. СИМОНЯН, А.А. НЕБИШ, Г.Л. СНХЧЯН, Р.М. АРУТЮНЯН

РОЛЬ СРЕДЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МУЖСКОГО ГАМЕТОФИТА РАСТЕНИЙ

Резюме

Проведенные на различных сортах винограда неоднократные многолетние исследования свидетельствуют о том, что у большинства генотипов как в пределах Армянской атомной электростанции, так и за ее пределами формировалась гомогенная фертильная пыльца с активной конкурентоспособностью. Генотипы с такими качествами микрогаметофита могут использоваться для биоиндикации и в генетико-селекционных работах.

S.G. YERVANDIAN, E.H. SIMONIAN, A.A. NEBISH, G.L. SNKHCHIAN,
R.M. HARUTUNIAN

THE ROLE OF ENVIRONMENT IN DEVELOPMENT OF MALE GAMETOPHYTES OF PLANTS

Summary

Investigations for many years on some different sorts of grape grown in the region of Armenian nuclear power plant and outside it suggest that the most of homogenous fertile pollen develop with active competition ability. Genotypes with such qualities of microgametophyte can be used for biomonitoring and works in genetic selection field.

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

А.С. Галстян, Л.С. Габриелян, А. С. Амирян, Ш.А. Маркарян – Спектроскопия диэлектрической релаксации и изучение структуры и динамики растворов диалкилсульфоксидов	3
--	---

МАТЕМАТИКА

Т.Л. Гарибян – О локализации спиральных особенностей степенных рядов. II	18
П.С. Геворкян – Об эквивариантной подвижности плоских инвариантных компактов	26
А.Г. Матевосян – Дифференциальная игра сближения с m целевыми множествами для стохастических линейных систем	31
В.А. Нерсисян – Допустимые комплексы трехмерных плоскостей проективного пространства $P^6(1)$	35
А.М. Амбарцумян – Об интерпретаторе простого монадического ПРОЛОГа	40

МЕХАНИКА

А.А. Гукасян, Т.А. Симонян – Об игровом подходе управления движением двухзвенного манипулятора	49
Л.А. Мазманиян – Об устойчивости вращательных движений волчка по действующей силе	57

ФИЗИКА

А.А. Геворгян – Поляризационные функции естественно-гиротропных сред во внешнем магнитном поле	61
--	----

ХИМИЯ

Ф.В. Мирзоян, Э.Х. Айриян, Ж.В. Саркисян, С.М. Вардапетян – Изучение взаимодействия фуксина с молибдогерманиевой гетерополикислотой	72
Ш.С. Закарян, Г.Г. Дарбинян, Г.Н. Шапошникова, А.Г. Хачатрян – Амперометрическое определение теллура (IV) тиомочевинной	78

М.Л. Ерицян, Г.Г. Галстян, Р.А. Карамян, Г.П. Пирумян – Сополимеризация акриловой кислоты с натриевой солью 1,3-диаллилизотиоцианурата	82
Э.Е. Капанцян, Р.А. Саркисян, С.Д. Багдасарян, Э.Н. Оганисян, М.Г. Арутюнян, Г.Л. Григорян – Взаимодействие молибдена (IV) с щавелевой кислотой.....	86
С.М. Акопян – Факторы, действующие на реакцию аминирования 2-оксо-3-алкил-6-метил-1,4-диоксанов	91

БИОЛОГИЯ

А.В. Неркарарян, Р.Р. Вардапетян, А.Б. Киракосян – Изоферментный состав лактатдегидрогеназы и морфогенетические потенции каллусных культур.....	95
А.Т. Карапетян, Г.А. Манукян, А.П. Антонян, П.О. Вардеванян – Исследование особенностей взаимодействия бромистого этидия с ДНК.....	102
А.Ф. Григорян – Произвольное оптимальное уменьшение внешнего дыхания человека при умственной и физической нагрузках.....	108
Ю.Г. Попов, Дж.А. Агаджанян, М.Т. Петросян, С.А.Саркисян, Ф.Р. Казарян, Ж.В. Цовян – Получение солеустойчивых линий топинамбура	113
Н. Г. Гарибян, С.М. Бадалян – Материалы к изучению макроскопических грибов Армении	119
А.А. Агаджанян, А.Х. Агаджанян, Л.Р. Туманян – Содержание свободных аминокислот и пролина в некоторых лекарственных растениях	129

ГЕОЛОГИЯ

О.А. Саркисян, А.С. Аванесян, М.А. Аванесян – Роль поперечных тектонических сооружений территории РА в деле оценки сейсмической опасности	134
О.П. Гуямджян – Опалиты – новый тип неметаллического полезного ископаемого для получения искусственного волластонита и других ценных силикатов	143

СООБЩЕНИЯ

И.М. Караханян – О граничном условии при дифракции гармонической волны на бесконечное включение	149
С.Г. Ервандян, Е.Г. Симонян, А.А. Небиш, Г.Л. Снхчян, Р.М. Арутюнян – Роль среды при формировании мужского гаметофита растений.....	153

CONTENTS

REVIEWS

A.S. Galstian, L.S. Gabrielian, A.S. Amirian, S.A. Markarian – A dielectric relaxation spectroscopy and structure and dynamics of dialkylsulfioxides' solutions.....	3
---	---

MATHEMATICS

T.L. Gharibian – On location of spiral singularities of power series. II	18
P.S. Gevorgian – On equivariant movability of plane invariant compacts	26
A.G. Matevosian – Differential rapprochement game with m target sets for stochastic linear systems	31
V.A. Nersesian – Possible complexes of three-dimensional planes in projective space P^n . I	35
A.M. Hambardzumyan – On simple monadic PROLOG interpreter	40

MECHANICS

A.A. Ghukasian, T.A. Simonian – Game approach for double link manipulator movement	49
L.A. Mazmanian – About the stability of the rotary motion of the gyroscope by the influential force.....	57

PHYSICS

A.H. Gevorgyan – Polarization functions of natural gyrotropic media existing in external magnetic field	61
--	----

CHEMISTRY

F.V. Mirzoyan, E.Kh. Hairyan, Zh.V. Sarkisian, S.M. Vardapetian – The study of interaction between fuchsin and molybdo germanic heteropolyacid	72
Sh.S. Zakarian, G.G. Darbinian, G.N. Shaposhnikova, H.G. Khachatryan – Amperometric determination of tellurium (IV) by thiourea.....	78
M.L. Yeritsian, G.G. Galstian, R.A. Caramian, G.P. Piroumian – So-polymerization of acryl acid with sodium salt of 1,3-diallilcyanurat	82
E.Y. Ghapantsian, R.A. Sarkisian, S.D. Baghdasarian, E.N. Hovanissian, M.G. Harutiunian, G.L. Grigorian – Interaction of molybdenum (VI) with oxalate acid	86

S.M. Hakobian – Factors influencing the amine reaction of the 2-oxo-3-alkyl-6-methyl-1,4-dioxanes.....	91
---	----

BIOLOGY

A.V. Nerkararian, H.R. Vardapetian, A.B. Kirakosian – Lactate dehydrogenase isoenzymes pattern and morphogenetic potentials of the callus cultures	95
A.T. Karapetian, G.A. Manougian, A.P. Antonian, P.O. Vardevanian – The investigation of the peculiarities of the DNA's interaction with EtBr.....	102
A.F. Grigorian – Self optimal decrease of man's external breathing under mental and physical conditions	108
Yu.G. Popov, J.A. Agadjanian, M.T. Petrossian, S.A. Sarkissian, F.R. Kazarian, J.V. Tsovian – Obtaining of topinambur's salt-resistant lines	113
H.G. Gharibian, S.M. Badalian – Materials for the study of macroscopic fungi of Armenia.....	119
A.A. Aghadjanian, A.Kh. Aghadjanian, L.P. Tumanian – The amount of free amino acids and proline in some herbs	129

GEOLOGY

H.H. Sargsian, A.S. Avanesian, M.A. Avanesian – The role of the transverse tectonic structures of the territory of the republic of Armenia in seismic hazard assessment.....	134
H.P. Gouyungjian – The fumarole–sulfate origin opalites as a mine–deposit of new type and a high technological base for silicate production	143

COMMUNICATIONS

I.M. Karakhanian – On boundary condition by diffraction of harmonic wave on the infinite inclusion	149
S.G. Yervandian, E.H. Simonian, A.A. Nebish, G.L. Snkhchian, R.M. Harutiunian – The role of environment in development of male gametophytes of plants.....	153

ԿԱՆՈՆՆԵՐ ՀԵՂԻՆԱԿՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

1. «Գիտական տեղեկագիր» հանդեսում հրատարակվում են Երևանի պետական համալսարանում կատարված տեսական ու փորձարարական բնույթի օրիգինալ հոդվածներ, հաղորդումներ ու նամակներ՝ մաթեմատիկայի, կիրառական մաթեմատիկայի, մեխանիկայի, ֆիզիկայի, ռադիոֆիզիկայի, քիմիայի, կենսաբանության, երկրաբանության և ֆիզիկական աշխարհագրության բնագավառներից, ինչպես նաև սակնարկային հոդվածներ՝ պատվիրված խմբագրության կողմից:
2. Ընդունվում են գիտական նոր հրատարակությունների, մեկագրությունների և դասագրքերի, ԵՊՀ մասնակցությամբ կայացած գիտաժողովների և գիտական դպրոցների, ինչպես նաև համալսարանում աշխատող անվանի գիտնականների հոբելյանների մասին համառոտ նյութեր:
3. Բնագրերը ներկայացվում են երկու օրինակով, համակարգչային շարվածքով՝ «Word» ծրագրով (հայերեն տեքստը՝ Times Armenian, ռուսերենը՝ Albion տառատեսակներով) կամ մեքենագրված երկու ինտերվալով՝ հայերեն կամ ռուսերեն լեզվով, ռուսերեն կամ հայերեն և անգլերեն ամփոփումներով՝ ներառյալ ազգանունները և հոդվածի վերնագիրը: Վերին ձախ անկյունում գրվում է ՄԺԿ-ն, հաջորդ տողում հեղինակների անվանատառերն ու ազգանունները, այնուհետև հոդվածի վերնագիրը: Դրան հետևում է հոդվածի համառոտ ամփոփումը: Այն պետք է համապատասխանի հայերեն և անգլերեն ամփոփումներին, որտեղ պետք է շարադրված լինեն աշխատանքի գլխավոր արդյունքները՝ առանց գրական հղումների, 100 բառից ոչ ավելի ծավալով:
4. Հոդվածի ծավալը աղյուսակներով չպետք է գերազանցի 10 էջը, հաղորդմանը՝ 4, նամակինը՝ 2:
Հոդվածները ձևակերպվում են հստակ ենթաբաժիններով: *Ներածություն* կամ *Խնդրի դրվածքը*, որտեղ պետք է հիմնավորվի տվյալ հետազոտության անհրաժեշտությունն ու հրատապությունը, *Հետազոտության մեթոդիկան* և *Եզրակացություն*, որտեղ հստակ ձևակերպվում են ստացված արդյունքները և հետևությունները:
5. Հղումները պետք է լինեն քննարկվող խնդրի հետ առնչվող ժամանակակից հրատարակումների վրա: Դրանք բերվում են բնագրի լեզվով ըստ հանդիպման հերթականության, կարգային համարը նշվում է քառակուսի փակագծերում ([1], [2-5]): Հոդվածի վերջում նույն հաջորդականությամբ բերվում է գրականության ցուցակը՝ կարգային համարը, հեղինակների ազգանուններն ու անվանատառերը: Պարբերական հրատարակությունների համար այնուհետև հաջորդում է ամսագրի ընդունված կրճատ անվանումը առանց չափերտների, հրատարակման թվականը, հատորի ու թողարկման համարները, հերթական համարը, էջը, գրքերի դեպքում՝ վերնագիրը, հրատարակման վայրը, հրատարակչությունը, թվականը: Չհրատարակված աշխատանքի վերաբերյալ (բացի դիսերտացիայից) գրականության մեջ նշել չի բույլատրվում:
6. Սինոնյմ նյութը աղյուսակի և նկարի ձևով ներկայացնել չի բույլատրվում:
7. Թույլատրվում է 5-ից ոչ ավելի նկար երկու օրինակից (հստակ լուսանկար կամ գծագրեր արված սև տուշով առանձին սպիտակ րոթի վրա): Յուրաքանչյուր նկարի հակառակ կողմի վրա գրվում է՝ կարգային համարը, հոդվածի վերնագիրը և հեղինակների ազգանունները: Տեքստի լուսանցքներում նշվում են նկարները և աղյուսակների տեղերը: Նկարների բացատրությունները անհրաժեշտ է ներկայացնել առանձին էջի վրա ըստ հերթականության:
8. Բանաձևերը գրվում են պարզ և ազատ (ձեռագիր ներկայացնելիս) սև տուշով կամ բանաքով: Անհրաժեշտ է սև մատիտով նշել իրար նմանվող մեծատառերը և փոքրատառերը ($\underline{S}$, $\overline{s}$, $\underline{V}$, $\overline{v}$), ինդեքսները և ցուցիչները ($A^{\cup}, B^{\cap}$): Կարմիր մատիտով ընդգծել հունական տառերը:
9. Հոդվածի տեքստի վերջում՝ ձախ կողմում, նշվում է այն ամբիոնը կամ լաբորատորիան, որտեղ կատարվել է աշխատանքը:
10. Հոդվածը ստորագրվում է բոլոր հեղինակների կողմից:
11. Խմբագրությունը հեղինակին տալիս է առաջին սրբագրությունը, որտեղ ուղղման ենթակա են տպագրության սխալները:
12. Հանդեսը կարելի է ձեռք բերել խմբագրությունում՝ նախապես բաժանորդագրվելով: