

Научно-теоретический и информационно-методический журнал
Белорусского республиканского фонда
фундаментальных исследований

Издается с III квартала 1997 г.



№ 4 [54], 2010

**ВЕСТНИК
ФОНДА
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Зарегистрирован
в Министерстве информации
Республики Беларусь,
свидетельство о регистрации
№ 426 от 29.05.2009

Учредитель:
Белорусский
республиканский
фонд
фундаментальных
исследований

220072, г. Минск,
пр. Независимости, 66;
тел. 284-07-42,
284-25-05

Издатель:
РУП «Издательский дом
«Беларуская навука»

Главный редактор
В. А. Орлович

Заместители главного редактора
Е. М. Бабосов
В. И. Недилько

Ответственный секретарь
Н. Н. Костюкович

Члены редколлегии:

В. Ф. Багинский	М. И. Мушинский
Н. Н. Бамбалов	П. Г. Никитенко
А. В. Бильдюкевич	В. Н. Новиков
П. А. Витязь	В. П. Пархоменко
И. В. Гайшун	Б. А. Плотников
М. И. Демчук	В. И. Прокошин
А. К. Карабанов	В. И. Стражев
А. В. Кильчевский	Л. М. Томильчик
А. В. Кухарев	Ю. С. Харин
П. Д. Кухарчик	Л. В. Хотылева
А. И. Лесникович	И. И. Цыркун
А. А. Махнач	В. Н. Шимов
А. Г. Мрочек	

Минск, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ

Соглашение между Государственным комитетом по науке Министерства образования и науки Республики Армения и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований о научно-техническом сотрудничестве	9
Приложение к Соглашению о сотрудничестве между Государственным комитетом по науке Министерства образования и науки Республики Армения и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований.....	12
Протокол договоренности о сроках проведения конкурса проектов фундаментальных исследований, выполняемых совместно коллективами армянских и белорусских ученых в 2011—2013 годах на основании Соглашения между Государственным комитетом по науке Министерства образования и науки Республики Армения и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований о научно-техническом сотрудничестве	16

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ФОНДА

Соглашение Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Витебского областного исполнительного комитета о проведении совместного тематического конкурса фундаментальных и прикладных научных исследований и его долевого финансировании.....	17
Положение о совместном тематическом конкурсе фундаментальных и прикладных научных исследований по проблемам Витебской области.....	19
Протокол договоренности о планируемой тематике, сроках проведения и объемах финансирования совместного тематического конкурса фундаментальных и прикладных научных исследований «БРФФИ—Витебск-2011» на основании Соглашения между Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований и Витебским областным исполнительным комитетом	22

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ АКАДЕМИЙ НАУК

Патон Б. Е. Об основных результатах деятельности МААН (сентябрь 2009 г. — октябрь 2010 г.)	23
Меморандум о взаимопонимании между Международной ассоциацией академий наук и Межгосударственным фондом гуманитарного сотрудничества государств — участников Содружества Независимых Государств	35
Постановление от 15 октября 2010 г. № 209 «Об основных результатах МААН (сентябрь 2009 г. — октябрь 2010 г.)»	37
Постановление от 15 октября 2010 г. № 211 «Об обновленном составе координационного комитета по вычислительной математике»	41
Постановление от 15 октября 2010 г. № 212 «Об утверждении состава Научного совета по науковедению и Положения о нем»	43
Постановление от 15 октября 2010 г. № 213 «Об утверждении положения о Премии им. Д. С. Лихачева»	47

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Стародубцева М. Н., Егоренков Н. И. Анализ релаксационных состояний полимеров и биополимеров на основе карт латеральных сил, получаемых методом атомно-силовой микроскопии.....	51
Шабловский Я. О. Структурная гиротропия неполярных энантиоморфных кристаллов	58

Рупасова Ж. А., Гаранович И. М., Шпитальная Т. В., Рудаковская Р. Н. Особенности формирования пигментного фонда ассимилирующих органов сортов кизила настоящего (<i>Cornus mas</i> L.) украинской селекции при интродукции в условиях Беларуси.....	68
Барун В. В., Иванов А. П., Петрук В. Г., Кватернюк С. М. Развитие оптических методов диагностики биологических тканей по рассеянному излучению. II. Поляризационная и пространственно-разрешенная спектроскопия.....	79
Ширвель П. И., Клус С. А. Моделирование напряженно-деформированного состояния цилиндрических оболочек конечной длины при неравномерном нагреве и нейтронном облучении.....	90
Башилов А. В. Использование GLS-анализа с масс-селективным детектированием при стандартизации растительного сырья <i>Polemonium caeruleum</i> L. и <i>Filipendula hexapetala</i> Gilib.....	101
Сойка А. К., Боднарь И. Т., Сологуб И. О. Влияние сильного магнитного поля на двулучепреломление кристаллов, активированных парамагнитными примесями.....	110
Корень Л. В., Хотылёва Л. В. Влияние экспрессии генов типа развития у разных по геномному составу линий тритикале на формирование продуктивности.....	116
Марченко И. Г. Локальное облучение электронами как метод управления быстродействием полупроводниковых структур для силовой электроники.....	125
Перечень материалов, опубликованных в журнале «Вестник Фонда фундаментальных исследований» в 2010 г.....	133

Национальная академия наук Беларуси

The scientific-theoretical and information-methodical journal
of the Belarusian Republican Foundation
for Fundamental Research

Issued since the 3rd quarter of 1997



N 4 [54], 2010

Registered in
The Ministry of Information
of the Republic of Belarus,
Certificate
№ 426 of May 29, 2009

The founder:
The Belarusian
Republican
Foundation
for Fundamental
Research

220072, Minsk,
Independence Av., 66;
ph. 284-07-42,
284-25-05

The publisher:
RUE «Publishing House
«Belaruskaya navuka»

**VESTNIK
OF THE FOUNDATION
FOR FUNDAMENTAL
RESEARCH**

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief
V. A. Orlovich

Deputy Editors-in-Chief
E. M. Babosov
V. I. Nedił'ko

Executive Secretary
N. N. Kostyukovich

Editorial board members:

V. F. Baginsky	A. G. Mrochek
N. N. Bambalov	M. I. Mushinsky
A. V. Bilydukevich	P. G. Nikitenko
I. V. Gaishun	V. N. Novikov
M. I. Demchuk	V. P. Parkhomenko
A. K. Karabanov	B. A. Plotnikov
Yu. S. Kharin	V. I. Prokoshin
L. V. Khotylyova	V. N. Shimov
A. V. Kilchevsky	V. I. Strazhev
P. D. Kukharchik	L. M. Tomilchik
A. V. Kukharev	I. I. Tsyркun
A. I. Lesnikovich	P. A. Vityaz
A. A. Makhnach	

Minsk, 2010

CONTENTS

INTERNATIONAL RELATIONS

The Agreement between the State Committee of Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Armenia and the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research on Scientific and Technical Cooperation	9
Appendix to the Agreement between the State Committee of Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Armenia and the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research on Scientific and Technical Cooperation.....	12
The Protocol of agreement on terms of competition of fundamental research projects carried out jointly by teams of Armenian and Belarusian scientists in 2011–2013 on the basis of the Agreement between the State Committee of Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Armenia and the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research on Scientific and Technical Cooperation	16

THE FOUNDATION ACTIVITIES

The Agreement of the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research and the Vitebsk Oblast Executive Committee to hold a joint thematic competition of fundamental and applied scientific research and its participation financing.....	17
The Regulations of joint thematic competition of fundamental and applied research on problems of Vitebsk Oblast.....	19
The Protocol of agreement on the proposed topics, terms and level of funds for joint thematic competition of fundamental and applied research «BRFFR—Vitebsk-2011» on the basis of the Agreement between the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research and the Vitebsk Oblast Executive Committee	22

THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ACADEMIES OF SCIENCES ACTIVITIES

Paton B. Ye. On the main results of the International Association of Academies of Sciences activities (September, 2009 – October, 2010)	23
The Memorandum of Understanding between the International Association of Academies of Sciences and the Interstate Fund for Humanitarian Cooperation of the States – Members of the Commonwealth of Independent States	35
The Decision No. 209 of October 15, 2010 «On the main results of IAAS activities (September, 2009 – October, 2010)»	37
The Decision No. 211 of October 15, 2010 «On renewed composition of the coordinating committee on computational mathematics».....	41
The Decision No. 212 of October 15, 2010 «On approving the composition of the Scientific council on the science of science and its Regulations».....	43
The Decision No. 213 of October 15, 2010 «On approving D.S. Likhachev Prize's Regulation»	47

SCIENTIFIC PUBLICATIONS

Starodubtseva M. N., Yegorenkov N. I. Analysis of relaxational state of polymers and biopolymers based on cards of lateral forces obtained by atomic force microscopy	51
Shablovsky Ya. O. Structural gyrotropy of non-polar enantiomorphic crystals	58
Rupasova J. A., Garanovich I. M., Shpitalnaya T. M., Rudakovskaya R. N. Peculiarities of formation of pigment fund of assimilating organs of <i>Cornus mas</i> L. of Ukrainian selection in conditions of Belarus	68
Barun V. V., Ivanov A. P., Petruk V. G., Kvaternyuk S. M. Development of optical methods for diagnosing biological tissues by scattered light. II. Polarization and spatially resolved spectroscopy.....	79

Shyrvel P. I., Klus S. A. The simulating of stress-strain state for short cylindrical shell under irregular temperature and nuclear radiation acting.....	90
Bashilov A. V. Using GLC-analysis with mass-selective detection in the standardization of plant raw <i>Polemonium caeruleum</i> L. and <i>Filipendula hexapetala</i> Gilib.	101
Soika A. K., Bodnar I. T., Solohub I. O. The influence of high magnetic field on birefringent properties of crystals activated by paramagnetic admixture	110
Koren L. V., Khotyleva L. V. The influence of developmental-type gene expression on productivity development in triticales lines different in genome composition	116
Marchenko I. G. Local electron irradiation as method of regulation of semiconductor structures speed for power electronics.....	125
A list of materials published in the journal «Vestnik of the Foundation for Fundamental Research» in 2010.....	133

Национальная академия наук Беларуси

Национальная академия наук Беларуси

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ

СОГЛАШЕНИЕ

между Государственным комитетом по науке Министерства образования и науки Республики Армения и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований о научно-техническом сотрудничестве

Государственный комитет по науке Министерства образования и науки Республики Армения и Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований, именуемые в дальнейшем Сторонами,

руководствуясь Соглашением между Правительством Республики Армения и Правительством Республики Беларусь о научно-техническом сотрудничестве от 31 октября 2000 года,

руководствуясь взаимным желанием укреплять отношения и развивать традиционные дружественные связи между народами обоих государств,

исходя из интересов развития науки в Республике Армения и Республике Беларусь, заключили настоящее соглашение (далее — Соглашение) о нижеследующем:

Статья 1

Предметом настоящего Соглашения является содействие развитию сотрудничества между научными коллективами и исследователями Республики Армения и Республики Беларусь с целью поддержки совместных фундаментальных научных исследований в областях, представляющих интерес для обеих Сторон.

Статья 2

В рамках Соглашения Сторонами осуществляется сотрудничество в форме проведения совместных конкурсов:

научно-исследовательских проектов, выполняемых совместно коллективами белорусских и армянских ученых с последующим их финансированием;

проектов по организации совместных армяно-белорусских и белорусско-армянских научных мероприятий (съездов, конференций, семинаров и т. д.), проводимых соответственно на территории Республики Армения и Республики Беларусь.

Научные направления, по которым проводятся конкурсы, положения о конкурсах, сроки и условия проведения, а также объем и порядок финансирования определяются по взаимной договоренности Сторон не позднее трех месяцев до объявления соответствующего конкурса.

По соглашению Сторон могут быть использованы и другие формы сотрудничества в области фундаментальной науки.

Каждая Сторона также может оказывать поддержку научному сотрудничеству между учеными Республики Армения и Республики Беларусь в одностороннем порядке.

Статья 3

Стороны содействуют друг другу в обмене научными материалами и литературой, в том числе изданной при поддержке каждой из Сторон, при этом их взаимная передача будет производиться в соответствии с законодательством, действующим в государстве каждой из Сторон.

Статья 4

Стороны содействуют друг другу в проведении экспертизы научных проектов и привлечении ведущих армянских и белорусских ученых в качестве экспертов.

Статья 5

Охрана и распределение прав на объекты интеллектуальной собственности, полученные в ходе сотрудничества в рамках настоящего Соглашения, осуществляются в соответствии с национальным законодательством и международными договорами государств Сторон.

Перед началом выполнения совместного проекта участвующие в его выполнении белорусская и армянская стороны (организации-исполнители) заключают между собой Соглашение о защите и использовании прав интеллектуальной собственности.

Полученная в ходе сотрудничества в рамках настоящего Соглашения научная и научно-техническая информация, которая не относится к интеллектуальной собственности и открыта к опубликованию в соответствии с законодательством государств Сторон, может быть открыта для мировой научной общественности путем использования общепринятых способов ее распространения.

Статья 6

Стороны публикуют информацию, связанную с выполнением настоящего Соглашения, в своих периодических изданиях.

Статья 7

Совместная деятельность в рамках настоящего Соглашения осуществляется в соответствии с международными обязательствами и национальным законодательством государств Сторон.

Вопросы, связанные с реализацией настоящего Соглашения, решаются путем переписки или на встречах представителей Сторон.

Статья 8

По взаимному согласию Сторон в настоящее Соглашение могут быть внесены изменения и дополнения, оформляющиеся дополнительными соглашениями и вступающие в силу со дня их подписания.

Статья 9

Срок действия настоящего Соглашения составляет пять лет и вступает в силу с момента его подписания.

Если за шесть месяцев до истечения срока действия настоящего Соглашения ни одна из Сторон не предложит в письменном виде другой Стороне прекратить его действие, то срок его действия автоматически продлевается на следующие пять лет.

Стороны могут досрочно прекратить действие настоящего Соглашения. В этом случае каждая из Сторон уведомит об этом другую Сторону в письменной форме за шесть месяцев до предполагаемой даты досрочного прекращения действия настоящего Соглашения.

Прекращение действия настоящего Соглашения не окажет влияния на выполнение проектов, которые могут быть заключены в период его действия, если Стороны не договорятся об ином.

Совершено 4 ноября 2010 г. в двух подлинных экземплярах, на русском и армянском языках, причем все тексты имеют одинаковую юридическую силу.

Подписи сторон:

За Государственный комитет по науке
Министерства образования и науки
Республики Армения

Председатель Государственного
комитета по науке Министерства
образования и науки Республики
Армения

С. Г. Арутюнян

За Белорусский республиканский
фонд фундаментальных исследований

Председатель Научного совета
Белорусского республиканского
фонда фундаментальных
исследований

В. А. Орлович

ПРИЛОЖЕНИЕ

к Соглашению о сотрудничестве между Государственным комитетом по науке Министерства образования и науки Республики Армения и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований

ПОРЯДОК

проведения конкурсов научных проектов в рамках Соглашения

1. Общие положения

Государственный комитет по науке Министерства образования и науки Республики Армения и Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований, именуемые в дальнейшем — Стороны, в соответствии с положениями статьи 2 Соглашения о сотрудничестве от 4 ноября 2010 г., настоящим Порядком определяют условия и сроки проведения Сторонами конкурсов проектов фундаментальных исследований, выполняемых совместно коллективами армянских и белорусских ученых (далее — конкурсы), а также порядок финансирования поддержанных проектов.

2. Условия конкурсов

2.1. Целью конкурсов является финансовая поддержка инициативных научно-исследовательских проектов, осуществляемых совместно армянскими и белорусскими учеными.

Стороны проводят конкурсы раз в два года, начиная с 2010 года.

Конкурсы проводятся по следующим научным направлениям:

- математика, механика и информатика;
- физика и астрономия;
- химия;
- биология и медицинская наука;
- науки о человеке и обществе;
- науки о Земле;
- информационные технологии и вычислительные системы;
- фундаментальные основы инженерных наук.

К участию в конкурсах не допускаются:

проекты, представленные на конкурсы по истечении объявленного срока;

проекты, уже финансируемые из государственного бюджета Республики Армения или Республики Беларусь;

проекты, получившие ранее поддержку Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований или других фондов и организаций Республики Беларусь и Республики Армения.

Стороны обеспечивают проведение конкурсов, независимой экспертизы заявок и финансирование поддержанных проектов каждая в своей стране.

Стороны принимают к рассмотрению заявки на выполнение проектов от творческих коллективов ученых.

2.2. Соруководители с армянской и белорусской сторон заблаговременно согласовывают тему исследования, распределение обязанностей по проекту и совместный план-график работ. Заявки, поданные по одному проекту, должны иметь одинаковые названия проекта и одних и тех же соруководителей с армянской и белорусской сторон.

Согласованные заявки подаются одновременно: армянскими соруководителями проекта — в Государственный комитет по науке Министерства образования и науки Республики Армения, белорусскими соруководителями проекта — в Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований. Формы заявок устанавливаются каждой Стороной самостоятельно.

Несогласованные заявки или заявки, поданные только с одной стороны, а также после оговоренного срока подачи, не рассматриваются.

Правила участия в конкурсе ученых в качестве руководителей или исполнителей устанавливаются каждой Стороной самостоятельно.

2.3. Каждая Сторона проводит независимую экспертизу заявок согласно процедуре, принятой этой Стороной.

Итоговое решение принимается на основании совместного обсуждения результатов экспертизы. Количество научных проектов, поддерживаемых по результатам экспертизы, будет определяться исходя из возможностей бюджета каждой Стороны.

2.4. Продолжительность выполнения каждого проекта — два года.

Правила и формы отчетности устанавливаются каждой Стороной независимо.

Руководители групп армянских и белорусских ученых представляют промежуточные (годовые) и итоговые отчеты в Государственный комитет по науке Министерства образования и науки Республики Армения и Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований соответственно.

3. Сроки проведения конкурсов

3.1. Стороны принимают следующий график проведения конкурсов:

объявление и начало приема заявок на новый конкурс — декабрь;

окончание приема заявок — январь;

согласование Сторонами списков поданных заявок и проведение независимой экспертизы заявок — февраль-март;

обсуждение Сторонами результатов экспертизы и принятие совместного решения — апрель;

финансирование проектов и отчетность: начало финансирования проектов — май;

представление руководителями проектов отчетов, проведение Сторонами экспертизы и утверждение отчетов — согласно правилам, принятым в Государственном комитете по науке Министерства образования и науки Республики Армения и Белорусском республиканском фонде фундаментальных исследований соответственно.

3.2. Перед объявлением очередного конкурса Стороны согласовывают текст объявления и уточняют конкретные сроки проведения конкурса.

4. Финансирование поддержанных проектов

4.1. Финансирование поддержанных проектов осуществляется по принципу: каждая Сторона финансирует в установленном порядке только участников своей страны.

Финансовая поддержка проектов будет осуществляться на безвозмездной и безвозвратной основе, вне зависимости от возраста, ученой степени, ученого звания и должности ученых — участников проекта.

Стороны обязуются ежегодно выделять в полном объеме средства на финансирование проектов, предусмотренные на текущий год.

4.2. Условием предоставления финансовой поддержки является обязательство ученых опубликовать результаты исследований в отечественных и международных изданиях с упоминанием о полученной поддержке от Государственного комитета по науке Министерства образования и науки Республики Армения и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

4.3. Финансирование поддержанных проектов Сторонами будет осуществляться ежегодно, начиная с 2011 года.

Объем ежегодного финансирования отдельного проекта устанавливается каждой Стороной самостоятельно по результатам экспертизы заявки или промежуточного отчета на базовой основе средней величины научных грантов, принятых каждой Стороной.

5. Заключительные положения

5.1. Вопросы, связанные с реализацией данного Приложения к Соглашению, решаются путем переписки или на встречах представителей Сторон.

Условия настоящего Приложения к Соглашению могут быть дополнены и изменены по взаимному согласию с обязательным составлением письменного документа.

Стороны оставляют за собой право на расторжение настоящего Приложения к Соглашению. При этом Стороны обязуются выполнить взятые до расторжения Приложения обязательства по финансированию проектов.

Дополнения, изменения или расторжение Приложения к Соглашению оформляются соответствующими протоколами, которые вступают в силу со дня их подписания.

5.2. Координацию действий по реализации данного Приложения к Соглашению осуществляют:

со стороны Государственного комитета по науке Министерства образования и науки Республики Армения — отдел планирования научных кадров, квалификации и содействия исследованиям;

со стороны Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований — отдел зарубежных связей и информационного обеспечения.

Настоящее Приложение к Соглашению подписано 4 ноября 2010 г. в двух подлинных экземплярах, на русском и армянском языках, причем все тексты имеют одинаковую юридическую силу.

Подписи сторон:

За Государственный комитет по науке
Министерства образования и науки
Республики Армения

Председатель Государственного
комитета по науке Министерства
образования и науки Республики
Армения

С. Г. Арутюнян

За Белорусский республиканский
фонд фундаментальных
исследований

Председатель Научного совета
Белорусского республиканского
фонда фундаментальных
исследований

В. А. Орлович

Национальная академия наук Беларуси

ПРОТОКОЛ

договоренности о сроках проведения конкурса проектов фундаментальных исследований, выполняемых совместно коллективами армянских и белорусских ученых в 2011—2013 годах на основании Соглашения между Государственным комитетом по науке Министерства образования и науки Республики Армения и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований о научно-техническом сотрудничестве

Мы, нижеподписавшиеся, представители сторон Соглашения между Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований (далее — БРФФИ) и Государственным комитетом по науке Министерства образования и науки Республики Армения (далее — ГКНА) в лице председателя Научного совета БРФФИ В. А. Орловича и председателя ГКНА С. Г. Арутюняна, удостоверяем, что сторонами достигнута договоренность о сроках проведения конкурса проектов фундаментальных исследований, выполняемых совместно коллективами армянских и белорусских ученых в 2011—2013 годах:

начало приема заявок	с 1 декабря 2010 года,
окончание приема заявок	до 31 января 2011 года,
экспертиза заявок	до 30 марта 2011 года,
утверждение проектов	до 30 апреля 2011 года
начало финансирования	май 2011 года.

Протокол подписан 4 ноября 2010 года в двух экземплярах.

За Государственный комитет по науке
Министерства образования и науки
Республики Армения

Председатель Государственного
комитета по науке Министерства
образования и науки Республики
Армения

За Белорусский республиканский
фонд фундаментальных
исследований

Председатель Научного совета
Белорусского республиканского
фонда фундаментальных
исследований

С. Г. Арутюнян

В. А. Орлович

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ФОНДА

СОГЛАШЕНИЕ

Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Витебского областного исполнительного комитета о проведении совместного тематического конкурса фундаментальных и прикладных научных исследований и его долевом финансировании

Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (далее — БРФФИ) в лице председателя Научного совета академика В. А. Орловича, действующего на основании Устава БРФФИ, с одной стороны, и Витебский областной исполнительный комитет (далее — облисполком) в лице первого заместителя председателя В. Г. Новацкого, действующего на основании Закона Республики Беларусь от 4 января 2010 г. № 108-З «О местном управлении и самоуправлении в Республике Беларусь», с другой стороны, заключили настоящее соглашение о нижеследующем.

1. Принимая во внимание:

приоритетность фундаментальных и прикладных научных исследований для Витебской области и актуальность их результатов для повышения качества жизни людей и уровня экономики региона;

необходимость обеспечения устойчивого социально-экономического развития региона с учетом его трансграничного положения;

важность разработки новых подходов к управлению природными комплексами и развитию природно-ресурсного потенциала, БРФФИ и облисполком проводят совместный тематический конкурс фундаментальных и прикладных научных исследований по проблемам Витебской области (далее — Конкурс) в 2011—2015 годах.

2. Конкурс проводится в соответствии с Перечнем приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011—2015 годы, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 № 585, с учетом Концепции социально-экономического развития области. Тематика Конкурса ежегодно согласуется сторонами Соглашения и не должна превышать двух направлений исследований на каждый очередной конкурс. Исследования преимущественно должны быть направлены на обеспечение научного задела для заданий региональной научно-технической программы Витебской области.

3. Стороны настоящего соглашения принимают на себя обязательства предусматривать ежегодное финансирование расходов на проведение исследований в рамках Конкурса при подготовке соответствующих проектов закона

Республики Беларусь и решения Витебского областного Совета депутатов о бюджетах на очередной финансовый год.

Каждый этап работ по тематикам конкурса содержит фундаментальные исследования, финансируемые за счет средств БРФФИ, и прикладные исследования, финансируемые за счет средств облисполкома. Фундаментальные исследования (50 % общего финансирования) по тематикам конкурса проводятся за счет средств БРФФИ. Прикладные исследования (50 % общего финансирования) по тематикам конкурса проводятся за счет средств облисполкома. Итоговый объем финансирования определяется на основании решения экспертных советов и может не соответствовать заявленной сумме, но не должен превышать согласованных размеров.

4. Конкурс проводится на условиях, изложенных в Положении о Конкурсе.

5. Головной организацией, на которую возлагается организация Конкурса (далее — головная организация-исполнитель), определяется Государственное научное учреждение «Институт технической акустики Национальной академии наук Беларуси».

6. С победителями конкурсного отбора проектов БРФФИ головная организация-исполнитель заключает договоры на проведение научных исследований в пределах объемов выделяемого финансирования.

7. В конце каждого календарного года, а также по окончании выполнения проектов головная организация-исполнитель представляет научные и финансовые отчеты по проектам в БРФФИ и облисполком. Решение о продолжении финансирования работ по проектам на очередной год принимается на основе экспертизы отчетов.

8. Финансирование из средств областного бюджета производится через систему государственного казначейства на основании представленных исполнителями документов (договоры, накладные, счета-фактуры, акты выполненных работ и другое). Копии платежных поручений с указанием сумм, перечисленных по каждому договору, высылаются в БРФФИ. После получения копий платежных поручений БРФФИ осуществляет перечисление своей доли средств в соответствии с Положением о конкурсах БРФФИ.

9. Настоящее Соглашение заключено на русском языке в двух экземплярах, имеющих равную юридическую силу.

От Белорусского республиканского
фонда фундаментальных
исследований

От Витебского
областного исполнительного
комитета

Председатель Научного совета

Первый заместитель председателя

В. А. Орлович

В. Г. Новацкий

18 октября 2010 г.

ПОЛОЖЕНИЕ

о совместном тематическом конкурсе фундаментальных и прикладных научных исследований по проблемам Витебской области

Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (далее — БРФФИ) совместно с Витебским областным исполнительным комитетом (далее — облисполком) в соответствии с заключенным между ними Соглашением проводят в 2010—2015 годах совместный тематический конкурс на получение финансовой поддержки проектов фундаментальных и прикладных научных исследований по проблемам Витебской области (далее — Конкурс).

Основная цель Конкурса — консолидация усилий республиканских и региональных органов для финансирования фундаментальных и прикладных научных исследований по проблемам Витебской области.

БРФФИ и облисполком приняли следующие основные положения:

1. Сроки проведения Конкурса:

объявление Конкурса	ноябрь текущего года;
окончание приема заявок	декабрь текущего года;
экспертиза и утверждение проектов	март следующего года;
начало финансирования	2 квартал следующего года.

2. К участию в Конкурсе допускаются инициативные научные проекты, которые могут быть выполнены в течение одного или двух лет.

Предпочтение отдается:

— междисциплинарным проектам, предлагаемым совместно учеными разных областей знаний;

— проектам ученых, работающих на территории Витебской области, а также ученых из других регионов Республики Беларусь, работающих совместно с учеными данного региона;

— проектам с участием зарубежных ученых;

— проектам, выполняемым совместно учеными из академических, вузовских и отраслевых научных организаций.

3. Финансовая поддержка проектов осуществляется в виде безвозмездных грантов, на конкурсной основе, независимо от ведомственной принадлежности и правового статуса научных и иных организаций, а также возраста, ученой степени, ученого звания и должности научного работника.

Ученый может являться руководителем только одного научного проекта и обязуется во время выполнения проекта не менее 9 месяцев в каждом году работать в Республике Беларусь.

4. К участию в Конкурсе не допускаются:

— заявки, оформленные не по правилам;

— заявки, направленные после окончания объявленного срока приема;
— проекты, получившие ранее поддержку БРФФИ и других фондов, финансирующих фундаментальные и прикладные научные исследования в Республике Беларусь.

Не допускается параллельная подача идентичных заявок на общий конкурс БРФФИ и настоящий Конкурс.

5. Условием участия в Конкурсе является обязательство ученых сделать результаты исследований общественным достоянием, опубликовав их в отечественных и международных изданиях с упоминанием о полученной по Конкурсу поддержке.

6. При представлении заявок на исследования, требующие использования дорогостоящей инфраструктуры (например, сложных приборов коллективного пользования) и дорогостоящих образцов, добытых в рамках других программ и проектов (например, образцов горных пород, биологических образцов и препаратов), авторам необходимо приложить письменное согласие руководителей соответствующих организаций на доступ к такой инфраструктуре и образцам.

7. Заявка на Конкурс вносится в головную организацию-исполнитель по установленным БРФФИ формам в четырех экземплярах. В обязательном порядке представляется также дискета с файлами заявочных материалов, сформированными в соответствии с инструкцией по составлению электронного варианта заявки. Заявитель несет ответственность, вплоть до снятия проекта с Конкурса, за соответствие электронного варианта заявки варианту заявки на бумажном носителе.

Материалы заявки должны включать:

— титульный лист заявки;
— аннотацию;
— обоснование проекта;
— научную биографию руководителя проекта;
— калькуляцию сметной стоимости проекта с расшифровкой статей затрат, при этом количество штатных единиц не должно превышать восьми. Приобретение оборудования не финансируется. При наличии организаций-соисполнителей представляется также лист согласования расходов, ограничение на количество штатных единиц в этом случае сохраняется.

К материалам заявки прилагаются в двух экземплярах копии опубликованных научных трудов (аннотированный перечень монографий) по тематике проекта (до 5 наименований),

БРФФИ воздерживается от рекомендаций по изменению содержания материалов, представленных на Конкурс.

Авторам предоставляется право указывать нежелательных экспертов (но не организации) по своему проекту. Информация об этом приводится на отдельном листе, который прилагается к материалам заявки.

8. Все поступающие на Конкурс заявки проходят двухэтапную независимую экспертизу. На первом этапе заявки рассматриваются региональным экспертным советом, который выносит решение о соответствии их региональным приоритетам, условиям Конкурса и о передаче на экспертизу в БРФФИ. На втором этапе решения о поддержке проектов и объеме их финансирования

со стороны БРФФИ и региона по результатам экспертизы — экспертным советом Конкурса, формируемым в порядке, изложенном в пункте 10 настоящего Положения.

9. Рассмотрение заявок проводится в условиях строгой конфиденциальности. Члены экспертных советов, эксперты, обслуживающие Конкурс, технические работники обязуются не разглашать содержание проектов и сведения об их обсуждении. Члены регионального экспертного совета не участвуют в голосовании при рассмотрении проектов, в которых они являются руководителями или исполнителями.

10. Региональный экспертный совет Конкурса формируется в следующем порядке:

кандидатура председателя регионального экспертного совета утверждается облисполкомом и согласовывается с бюро Научного совета БРФФИ;

одним из заместителей председателя регионального экспертного совета назначается полномочный представитель Научного совета БРФФИ в Витебской области;

председатель регионального экспертного совета формирует совет из числа авторитетных научных сотрудников и специалистов различных областей научных знаний;

состав регионального экспертного совета утверждается председателем Научного совета БРФФИ и председателем облисполкома. В состав экспертного совета по должности с правом решающего голоса вводятся по одному представителю БРФФИ и облисполкома;

председатель регионального экспертного совета и его заместители полномочны решать все текущие спорные вопросы.

11. Результаты отбора конкурсных заявок (список поддержанных проектов и объемы их финансирования) утверждаются Научным советом БРФФИ. Списки поддержанных проектов публикуются.

12. По окончании этапов выполнения работ, а также в конце каждого года и по окончании проекта, руководитель проекта представляет отчет о проделанной работе в головную организацию-исполнитель, которая передает отчеты на рассмотрение региональному экспертному совету. Научные и финансовые отчеты по проектам по принятой в БРФФИ форме с заключением регионального экспертного совета головная организация-исполнитель представляет в БРФФИ и облисполком в установленные сроки. Результаты экспертизы отчетов утверждаются Научным советом или бюро Научного совета БРФФИ.

От Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований

От Витебского

областного исполнительного комитета

Председатель Научного совета

Первый заместитель председателя

В. А. Орлович

В. Г. Новацкий

18 октября 2010 г.

ПРОТОКОЛ

договоренности о планируемой тематике, сроках проведения и объемах финансирования совместного тематического конкурса фундаментальных и прикладных научных исследований «БРФФИ—Витебск-2011» на основании Соглашения между Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований и Витебским областным исполнительным комитетом

Мы, нижеподписавшиеся, представители сторон Соглашения между Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований (далее — БРФФИ) и Витебским областным исполнительным комитетом (далее — облисполком) в лице председателя Научного совета БРФФИ В. А. Орловича и первого заместителя председателя облисполкома В. Г. Новацкого, удостоверяем, что сторонами достигнута договоренность о проведении в 2011—2015 годах совместного тематического конкурса фундаментальных и прикладных научных исследований «БРФФИ—Витебск-2011» по следующей тематике:

1. Разработка интенсивных и ресурсосберегающих технологий для повышения конкурентоспособности экономики региона;
2. Эффективное использование и возобновление природных ресурсов региона.

Установлены следующие сроки проведения конкурса:

начало приема заявок	с 1 ноября 2010 г.,
окончание приема заявок	до 30 декабря 2010 г.,
экспертиза и утверждение проектов	до 30 марта 2011 г.

Объем финансирования в 2011 г. составит 140 (сто сорок) миллионов белорусских рублей за счет средств БРФФИ. Общий объем финансирования в 2012 г. составит 180 (сто восемьдесят) миллионов — всего, в том числе:

160 (сто шестьдесят) миллионов белорусских рублей за счет средств облисполкома;

20 (двадцать) миллионов белорусских рублей за счет средств БРФФИ.

Настоящий протокол является основанием для планируемых каждой Стороной на 2011—2012 годы объемов финансирования по выполнению Соглашения.

Протокол подписан 18 октября 2010 года в двух экземплярах.

От Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований	От Витебского областного исполнительного комитета
--	--

Председатель Научного совета	Первый заместитель председателя
------------------------------	---------------------------------

В. А. Орлович

В. Г. Новацкий

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ АКАДЕМИЙ НАУК

Б. Е. ПАТОН

ОБ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МААН

(сентябрь 2009 г. — октябрь 2010 г.)

*Доклад президента Международной ассоциации академий наук,
президента Национальной академии наук Украины академика НАН Украины
к заседанию Совета МААН*

(г. Москва, 15 октября 2010 г.)

Уважаемые коллеги!

Отчетный доклад о деятельности Международной ассоциации академий наук (МААН, Ассоциация) охватывает период с 24 сентября 2009 г. по настоящее время, т. е. год. Разрешите остановиться только на основных результатах работы Ассоциации в этот период, насущных проблемах и перспективных направлениях ее деятельности.

Учитывая, что 2010 г. объявлен Годом науки и инноваций и МААН задействована в выполнении ряда его мероприятий, в плане реализации решений Совета МААН, принятых в Кишиневе 23 сентября 2009 г., была проведена значительная работа по укреплению и развитию международного научного сотрудничества в СНГ.

Ассоциация приняла активное участие в учреждении Международного инновационного центра нанотехнологий СНГ (МИЦНТ). Его создание опиралось на инициативу Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ), Российского научного центра «Курчатовский институт» и Международной ассоциации академий наук, которая была зафиксирована в Соглашении о сотрудничестве в создании Международного инновационного центра нанотехнологий стран СНГ, подписанного руководителями упомянутых организаций 13 февраля 2009 г. Представители 10 организаций из 6 стран СНГ подписали на форуме, состоявшемся 17—18 декабря 2009 г. в Дубне, учредительные документы МИЦНТ. Среди этих организаций: ОИЯИ, Национальная академия наук Украины, Национальная академия наук Республики Армения, Национальная академия наук Кыргызской Республики.

МИЦНТ был зарегистрирован в форме некоммерческого партнерства Министерством юстиции Российской Федерации 5 апреля 2010 г. МААН является одним из партнеров МИЦНТ, в число которых также входят РНЦ «Курчатовский институт», Межгосударственный фонд гуманитарного сотрудниче-

ства государств — участников СНГ, Министерство образования и науки Российской Федерации, Российская корпорация нанотехнологий (РОСНАНО) и ряд других организаций.

Для развития материальной базы МИЦНТ идет работа по привлечению внешнего финансирования. В марте 2010 г. ОИЯИ и МИЦНТ совместно с партнерами стали победителями крупного конкурса государственной корпорации «Роснано» на право создания инфраструктурного Нанотехнологического центра в Дубне. За счет средств РОСНАНО закупается современное оборудование на сумму 1,087 млрд руб., которое размещается в ОИЯИ и крупных компаниях — резидентах особой экономической зоны «Дубна».

Создание МИЦНТ — это важный шаг в реализации принятого Советом глав государств СНГ решения об Обращении Совета Международной ассоциации академий наук от 5 октября 2007 г. (Душанбе) по активизации сотрудничества в области прикладной и фундаментальной науки, а также решения Совещания руководителей государственных организаций по науке и технике стран СНГ с участием представителей МААН (1–3 октября 2008 г., Бишкек).

Определенный вклад внесла МААН в организацию и проведение IV Форума творческой и научной интеллигенции государств — участников СНГ, состоявшегося 24–25 сентября 2009 г. в Кишиневе. В работе Форума приняли участие представители многих академий наук и организаций, входящих в МААН. Во время Форума был принят Меморандум о взаимопонимании между Международной ассоциацией академий наук и Межгосударственным фондом гуманитарного сотрудничества государств — участников СНГ, который подписали президент МААН академик НАН Украины Б. Е. Патон и председатель Правления МФГС М. Е. Швыдкой (прилагается).

В плане реализации упомянутого Меморандума МААН при финансовой поддержке МФГС была организована и 2–3 июня 2010 г. проведена в Донецке и Енакиеве (Украина) международная научно-практическая конференция «Технические музеи как инструмент сохранения исторического наследия и важный элемент развития мировой цивилизации». На конференции были выработаны практические рекомендации по созданию в г. Енакиеве Донецкой области политехнического музея «Украинский техноленд», что позволило бы сохранить как часть мировой цивилизации историю создания, начиная с середины XIX века, на территории дореволюционной России, позже Советского Союза, а сейчас государств СНГ, уникального промышленного комплекса.

МААН выступила соорганизатором Конкурса молодых ученых стран СНГ на соискание международной премии Совета по гуманитарному сотрудничеству государств — участников СНГ и Межгосударственного фонда гуманитарного сотрудничества государств — участников СНГ «Содружество дебютов». При этом ученые ряда академий наук приняли участие в работе жюри упомянутой премии, которое определило победителей конкурса в номинациях «Гуманитарные и социальные науки», «Технические науки», «Естественные науки», а также предложило кандидатуру лауреата в специальной номинации МААН.

Продолжалось взаимодействие МААН с ЮНЕСКО. Так, по Программе участия в деятельности государств — членов ЮНЕСКО в 2010—2011 годах Ассоциацией был подготовлен и направлен в ЮНЕСКО проект (финансовый запрос) на проведение в 2011 г. в Киеве международного симпозиума «Перемещение центров научно-технологической активности на европейском пространстве и межстрановая мобильность ученых и специалистов: современные тенденции». Проект был поддержан национальными комиссиями по делам ЮНЕСКО Азербайджана, Грузии и Украины. В ЮНЕСКО также были направлены комментарии и предложения МААН к Проекту программы и бюджета ЮНЕСКО на 2012—2013 годы.

МААН оперативно информировала своих членов о проводимых ЮНЕСКО конкурсах. По результатам такой работы МААН поддержала выдвижение Комиссией Российской Федерации по делам ЮНЕСКО кандидатуры директора Института экологического почвоведения Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова академика РАН Г. В. Добровольского в качестве номинанта на получение Международной премии ЮНЕСКО — Обианга Нгеми Мбасога за исследования в области наук о жизни.

В Киеве 22 июня 2010 г. был подписан Меморандум о взаимопонимании между Международной ассоциацией академий наук и Международной ассоциацией государственных органов аттестации научных и научно-педагогических кадров высшей квалификации. Документ предусматривает осуществление сотрудничества обеих ассоциаций в научной сфере, в первую очередь в области аттестации научных и научно-педагогических кадров высшей квалификации.

МААН принимала участие в организации и проведении ряда крупных международных форумов.

Так, Ассоциация широко была представлена в международной конференции «Победа над фашизмом в 1945 году: ее значение для народов СНГ и мира», состоявшейся 8 апреля 2010 г. в Москве. В работе конференции приняли участие президенты академий наук Республики Армения, Беларуси, Республики Казахстан, Российской Федерации, Республики Таджикистан, Украины, а также руководители ряда других академий наук, входящих в МААН.

В Киеве 16—17 июня 2010 г. под эгидой МААН был проведен международный симпозиум «Актуальные проблемы научно-технологической и инновационной политики в контексте формирования общеевропейского научного пространства: опыт и перспективы».

В центре внимания МААН также находилось выполнение ряда международных программ научных исследований. В частности, с января 2010 г. начато выполнение международной научной программы «Астрономия в Приэльбрусье. 2010—2014 гг.», инициированной РАН и НАН Украины и одобренной МААН. Программа включает 42 проекта фундаментальных, прикладных и поисковых исследований. В ее рамках сотрудничают 38 научных организаций, среди которых Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Институт астрономии РАН и многие другие ведущие астрономические учреждения стран СНГ и дальнего зарубежья.

Продолжалось выполнение Международной программы «Современные проблемы радиобиологии: наука и практика». Особое внимание в программе уделено проблеме медико-биологических последствий Чернобыльской катастрофы, которая привела к повышению уровня облучения населения на обширных территориях Беларуси, России и Украины. Важной формой работы по этой программе является создание международных научных лабораторий. Уже плодотворно работает Международная радиобиологическая лаборатория при Институте радиобиологии НАН Беларуси. Ведется работа по созданию на базе НАН Украины Международной лаборатории микроэволюционных процессов, в работе которой будут принимать участие ученые многих стран, изучая образование новых форм разных организмов в результате повышенного уровня мутагенного фона окружающей среды. 25–29 мая 2010 г. в г. Обнинск, Московская обл., состоялась X Международная школа по радиобиологии для молодых ученых, в которой в качестве лекторов принимали участие радиобиологи из стран СНГ, задействованные в реализации программы. В соответствии с планом подготовки к 25-летию со дня аварии на ЧАЭС готовятся к публикации сборники статей «Уроки Чернобыля. 25 лет спустя» (на русском языке) и «The Lessons of Chernobyl: 25 Years Later» на английском языке (Издательство Nova Science Publishers, Inc., N.-Y., USA). В сборники включены статьи ведущих радиобиологов и радиэкологов России, Украины, Беларуси, Армении. На основе материалов статей планируется подготовить экспертный документ, который будет содержать оценку влияния аварии на различные стороны жизни человека и окружающей среды и прогнозы на будущее на основании современных данных, последних достижений науки и согласованных точек зрения участников подготовки документа. Очередное, 7-е заседание Международного совета по упомянутой программе (председатель — академик РАН А. И. Григорьев) состоится в конце октября 2010 г. в Москве во время работы IV Съезда по радиационным исследованиям — Съезда Российского радиологического общества.

Состоялись ежегодные научные сессии советов Ассоциации.

Научный совет по новым материалам (председатель — академик НАН Украины Б. Е. Патон) провел 26–27 мая 2010 г. в Институте электросварки им. Е. О. Патона (Киев) 15-ю сессию на тему «Новые процессы получения и обработки металлических материалов». Во время сессии состоялись заседания двух секций совета: «Полимерные материалы» и «Материалы на основе меди и тяжелых цветных металлов», в которых приняли участие около 120 ученых и специалистов из Беларуси, Казахстана, России и Украины.

С 18 по 21 мая 2010 г. в г. Звенигород (Россия) прошло 14-е заседание Объединенного научного совета по фундаментальным географическим проблемам (председатель — академик РАН В. М. Котляков), посвященное проблеме инновационных и интеграционных процессов в регионах и странах СНГ, участию географов в исследовании этих процессов. В его работе участвовали 45 ученых из географических учреждений Азербайджана, Армении, Беларуси, России, Туркменистана и Украины.

Совет директоров научных библиотек и информационных центров академий наук (председатель — академик НАН Украины А. С. Онищенко) продол-

жал свою деятельность по формированию единого библиотечно-информационного пространства. В качестве примера этой работы можно привести следующее. Ряд национальных библиотек приняли участие в реализации проекта Межгосударственного фонда гуманитарного сотрудничества государств — участников СНГ, в рамках которого были открыты 46 виртуальных читальных залов электронной библиотеки диссертаций Российской государственной библиотеки (365 тыс. полных текстов авторефератов диссертаций и диссертаций). В национальных библиотеках Молдовы, Туркменистана, Казахстана созданы Центры русской книги. Важным фактором взаимодействия библиотек и информационных центров на протяжении многих лет был и остается книгообмен. Только Национальная библиотека Украины им. В. И. Вернадского за 9 месяцев 2010 г. отправила своим партнерам по книгообмену 902 экз. научной периодики НАН Украины и, в свою очередь, получила от них 1503 экз. журналов и книг.

Советом по книгоизданию (председатель — член-корреспондент РАН В. И. Васильев) организовано проведение международного конкурса «Научная книга» МААН на лучший научно-издательский проект, итоги которого будут подведены в ноябре 2010 г. Книги, представленные на этот конкурс, демонстрировались на Московской международной книжной выставке-ярмарке (ММКВЯ-2010) под самостоятельным фризом на выставочном стенде Издательского комплекса РАН. Начат регулярный выпуск журнала «Научная книга» в качестве печатного органа Совета по книгоизданию под руководством международного научно-редакционного совета.

9 апреля 2010 г. в Москве состоялось V заседание Международной ассоциации институтов истории стран СНГ (президент — академик РАН А. О. Чубарьян). Его участники отметили, что необходимо уделять больше внимания работе по изданию документальных материалов и источников и продолжить начатую совместную работу в области истории повседневности. В итоговом документе, принятом на заседании, признана необходимость приступить к созданию концепции совместного труда по истории Великой Отечественной войны.

13—21 июня 2010 г. в Минске прошла очередная, V Международная летняя школа молодых ученых-историков стран СНГ, посвященная 65-й годовщине победы в Великой Отечественной войне. Около 70 участников школы представляли Азербайджан, Армению, Беларусь, Казахстан, Кыргызстан, Молдову, Россию, Таджикистан, Узбекистан и Украину. В качестве приглашенных лекторов перед слушателями выступили также ученые из Германии. По итогам проведенной школы к публикации готовится сборник докладов и сообщений. В 2010 г. вышел в свет 4-й номер научного альманаха Международной ассоциации институтов истории стран СНГ «Историческое пространство (проблемы истории стран СНГ)».

В Бюракане (Республика Армения) на базе Бюраканской астрофизической обсерватории им. В. А. Амбарцумяна НАН Республики Армения с 12 сентября по 2 октября 2010 г. состоялась Третья международная школа молодых астрофизиков, в которой приняли участие молодые ученые из Армении, России и Украины.

Регулярно выходил в свет международный научный и общественно-политический журнал «Общество и экономика», издаваемый на базе Российской академии наук. Как и в предыдущие годы, журнал специализируется на освещении актуальных проблем экономической, социальной и политической жизни стран, академии наук которых входят в МААН. Редколлегией и редакцией журнала прорабатывается вопрос издания Международного академического вестника по общественным наукам как приложения к журналу «Общество и экономика».

Как и в предыдущие годы, результативной была работа организаций — ассоциированных членов МААН по решению задач, стоящих перед Ассоциацией.

Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках соглашений о сотрудничестве, заключенных с Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований (БРФФИ), НАН Украины, Вьетнамской академией наук и технологий (ВАНТ) поддержал и профинансировал около 200 научных проектов, выполняемых российскими учеными совместно с учеными Республики Беларусь, Вьетнама и Украины. Помимо этого, РФФИ и НАН Украины в рамках расширения форм сотрудничества объявили в 2010 г. конкурс по организации и проведению двухсторонних российско-украинских и украино-российских научных семинаров и поездок ученых двух стран на эти мероприятия. Также продолжено новое направление сотрудничества в виде конкурсной поддержки трехсторонних научных проектов. В настоящее время подготовлен к объявлению второй конкурс научных проектов, выполняемых совместно учеными России, Беларуси и Украины. В числе организаторов конкурса выступают два ассоциированных члена МААН: с российской стороны — РФФИ, с белорусской — БРФФИ; украинскую сторону представляет Государственный фонд фундаментальных исследований. В рамках программы «Мобильность молодых ученых» РФФИ продолжает поддержку стажировок молодых ученых из стран СНГ в российских научных организациях. В 2010 г. финансовую поддержку для прохождения научной стажировки получили 35 молодых ученых из Армении, Беларуси, Казахстана, Кыргызстана, Молдовы, Узбекистана, Украины.

Деятельность БРФФИ в рамках МААН была направлена на создание условий для плодотворного сотрудничества белорусских ученых со своими коллегами по Ассоциации. Особого внимания заслуживают следующие примеры. Достигнута договоренность между БРФФИ и Академией наук Молдовы (АНМ) о проведении в 2009—2010 гг. совместного конкурса фундаментальных научных проектов по таким направлениям, как использование человеческих, материальных и информационных ресурсов в целях устойчивого развития; биомедицина и здравоохранение; нанотехнологии, промышленная инженерия, новые вещества и материалы; повышение эффективности и обеспечение безопасности энергетического комплекса. Согласно договоренности объявлен совместный конкурс фундаментальных научных проектов «БРФФИ—АНМ-2010», по итогам которого принято к финансированию 19 проектов. В ходе переговоров с Вьетнамской академией наук и технологий (ВАНТ) по итогам совместного конкурса проектов «БРФФИ—ВАНТ-2010» принято к финансированию 10 проектов. В результате конкурса проектов с Национальной акаде-

мией наук Азербайджана (НАНА) «БРФФИ—НАНА-2010» принято к финансированию 10 проектов. Всего в 2010 г. Фондом финансируется выполнение белорусскими учеными 676 проектов с зарубежными коллегами из 30 стран, в том числе с учеными из России — 403, Украины — 70, Молдовы — 38, Вьетнама — 22 проекта.

В плане реализации Соглашения о сотрудничестве Международной ассоциации академий наук и Российского научного центра «Курчатовский институт» 19 мая 2010 г. в Москве президентом НАН Украины Б. Е. Патонем и директором РНЦ «Курчатовский институт» М. В. Ковальчуком было подписано Соглашение о сотрудничестве Национальной академии наук Украины и Российского научного центра «Курчатовский институт». Оно предусматривает расширение сотрудничества и укрепление разносторонних связей в сфере науки, новых технологий и инновационной деятельности, определяет приоритетные направления сотрудничества. Во время визита делегации НАН Украины в начале июля 2010 г. в РНЦ «Курчатовский институт» была достигнута договоренность об организации представительства РНЦ «Курчатовский институт» в Киеве и Харькове, что позволит привлекать украинских ученых для проведения совместных исследований в области ядерной физики и энергетики, физики плазмы и управляемого термоядерного синтеза, нанотехнологий и др. Важным событием стало подписание в конце декабря 2009 г. ректором МГУ В. А. Садовничим и директором РНЦ «Курчатовский институт» М. В. Ковальчуком Соглашения о стратегическом партнерстве между Московским государственным университетом им. М. В. Ломоносова и Российским научным центром «Курчатовский институт». Соглашение направлено на координацию и наиболее эффективное использование образовательного, научного и инновационного потенциала Университета и Центра для достижения качественно нового уровня высшего профессионального образования, подготовки кадров высшей научной квалификации, повышения уровня совместных научных исследований и выполнения инновационных разработок. 5 июля 2010 г. в РНЦ «Курчатовский институт» открылись III Высшие курсы для молодых ученых, аспирантов и студентов старших курсов стран СНГ по современным методам исследования наносистем и материалов «Синхротронные и нейтронные исследования наносистем (СИН-нано-2010)». Его учредителями выступили РНЦ «Курчатовский институт», Объединенный институт ядерных исследований, Институт кристаллографии им. А. В. Шубникова РАН и, впервые, МААН. Финансовую поддержку курсам оказал Межгосударственный фонд гуманитарного сотрудничества государств — участников СНГ. Основная цель Высших курсов — привлечь молодежь стран СНГ к исследованиям по актуальным направлениям современной науки с использованием уникальных мегаустановок, ознакомить с последними достижениями в области исследования наносистем и материалов, возможностями использования различных экспериментальных методов в нанодиагностике. В течение двух недель более 60 молодых исследователей из 10 стран Содружества слушали лекции известных ученых, принимали участие в тематических круглых столах, прошли научную практику на экспериментальной базе ОИЯИ, РНЦ «Курчатовский институт», а также Института кристаллографии им. А. В. Шубникова РАН.

В центре внимания МААН находились также вопросы интеграции науки и образования, подготовки научных кадров. В связи с этим важную роль в Ассоциации играют Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова и Московский физико-технический институт (государственный университет). Оба университета проводят активную деятельность по подготовке в интересах стран СНГ высококвалифицированных специалистов, применяя для этого различные организационные формы обучения.

Продолжали успешно функционировать и развиваться филиалы МГУ, созданные в Украине, Узбекистане, Казахстане, Азербайджане и Таджикистане. В начале июля 2010 г. ректор МГУ В. А. Садовничий и Президент Таджикистана Эмомали Рахмон в торжественной обстановке открыли новое здание филиала МГУ в Душанбе, первые студенты которого начали учебу в сентябре 2009 г. Особо следует отметить то, что в ноябре 2009 г. Президент Российской Федерации Д. А. Медведев подписал Федеральный закон № 259-ФЗ «О Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова и Санкт-Петербургском государственном университете», определяющий особый статус МГУ как лидера высшего образования России, который трудами многих поколений своих выдающихся ученых и педагогов обеспечил признанные во всем мире достижения российской системы профессионального образования, основанной на фундаментальной науке. 27 сентября 2010 г. Председатель Правительства Российской Федерации В. В. Путин провел рабочую встречу с ректором МГУ В. А. Садовничим, на которой обсуждалась программа развития МГУ до 2020 г. В частности, для реализации программы распоряжением Правительства предусмотрены дополнительные средства: на 2010 и 2011 годы в сумме 5 млрд руб.

В ноябре 2009 г. распоряжением Правительства Российской Федерации Московский физико-технический институт (государственный университет) отнесен к категории «национальный исследовательский университет» (НИУ). Приоритетными направлениями развития НИУ МФТИ являются физика и технологии наноструктур, наносистем, наноматериалов и нанофизика; информационные, телекоммуникационные технологии, суперкомпьютеры, прикладное математическое моделирование; физика и технологии приборов, систем и устройств на новых физических принципах. По Программе развития НИУ МФТИ на 2009—2018 гг. на базе «системы Физтеха» должна быть создана новая образовательная технология подготовки и переподготовки специалистов для инновационной деятельности в сфере науки и наукоемких технологий, учитывающая требования современной экономики. Реализация мероприятий по всем проектам предусматривает в период 2010—2014 гг. освоение около 1 млрд руб. на развитие материально-технической базы МФТИ и модернизации учебного процесса. МФТИ успешно провел в 2010 г. набор студентов на 1 курс. Средний балл 86,3 зачисленных по ЕГЭ стал лучшим среди всех вузов России. Продолжалось сотрудничество с научными учреждениями РАН и НАН Украины в деле совместной подготовки кадров. В частности, в 2010 г. по результатам работы в Киеве выездной комиссии МФТИ и Физико-технического учебно-научного центра НАН Украины на первый курс МФТИ было зачислено 33 украинских студента.

Продолжалась издательская деятельность Ассоциации. Вышли в свет очередные номера бюллетеня МААН № 51 и 52, а также научные издания ряда советов МААН.

Подытоживая изложенное, можно отметить, что за прошедший год Ассоциацией сделаны важные шаги по укреплению и развитию научного сотрудничества в Содружестве, внесен весомый вклад в реализацию ряда крупных мероприятий в рамках Года науки и инноваций в СНГ.

О некоторых направлениях деятельности МААН на ближайшую перспективу.

Академии наук и организации, входящие в МААН, продолжают осуществлять свою деятельность в очень непростых финансово-экономических условиях. По утверждениям экспертов, восстановление мировой экономики от глобального финансово-экономического кризиса происходит не столь быстро, как это оценивалось ранее. Ведущие экономисты мира предполагают даже возможность возникновения второй волны кризиса. Все это, естественно, не может не сказываться на финансовом обеспечении сферы науки и академий наук, в частности во многих странах СНГ, в которых научную отрасль, к глубокому сожалению, в основном, все еще финансируют по остаточному принципу. В связи с этим можно привести некоторые данные, которые характеризуют ситуацию в Украине.

Премьер-министр Украины Н. Я. Азаров считает, что Украина сможет выйти из экономического кризиса только через два-три года. При этом, эксперты Европейского банка развития и реконструкции прогнозируют рост ВВП Украины в 2010 г. до 4 %, однако возврат реального ВВП до докризисного уровня 2008 г. произойдет лишь в 2013 г. Сегодня же, по данным Н. Я. Азарова, Украина производит меньше, чем в 2007 г. В результате, если в 2010 г. в Государственном бюджете Украины для обеспечения деятельности НАН Украины предусмотрено 2062 млн грн. (без капитальных расходов), то аналогичная проектная цифра на 2011 г. составляет 2056 млн грн.

В последнее время в СНГ много говорится об инновационном пути развития экономики, необходимости ее модернизации. Однако следует иметь в виду, что почти два десятилетия в экономике стран Содружества в основном используется научно-технический задел еще советского времени. Фактически это подтвердил Президент Российской Федерации Д. А. Медведев на заседании Комиссии по модернизации и технологическому развитию экономики России, посвященном инновационному развитию оборонно-промышленного комплекса (22 сентября 2010 г., Московская область, Раменский приборостроительный завод). Цитирую: «Мы знаем и то, что ... до сих пор ряд российских научно-исследовательских организаций, конструкторских бюро занимается оптимизацией советских разработок. Это, наверное, нужно делать, но нам нужны новые решения». Несомненно, имеются в виду принципиально новые решения, которых без фундаментальной науки не достичь. Поэтому не устаю повторять, что в сложившейся ситуации научному сообществу надо неустанно вести кропотливую работу с властными структурами как в отдельной стране, так и с органами СНГ, имея в виду Совет глав государств и Совет глав правительств Содружества, а также с бизнес-элитами, чтобы радикально изменить

отношение к науке во многих странах СНГ, и чтобы правильные слова, произносимые ими, подтверждались бы финансовыми и иными ресурсами, в которых так нуждается наука.

Не могу пройти мимо темы Сколково. Это, без сомнения, амбициозный проект, успешная реализация которого может выполнить роль локомотива в построении инновационной экономики России. Представляется, что одним из основополагающих факторов успеха проекта создания Инновационного центра «Сколково» является масштабное участие в нем флагманов науки и образования России, к числу которых следует, прежде всего, отнести Российскую академию наук и Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова. В России уже принят Федеральный закон «Об инновационном центре «Сколково», ряд нормативных актов, регламентирующих процедуру трудоустройства иностранных специалистов, привлекаемых к участию в сколковском проекте. Представляется, что научное сообщество стран СНГ также могло бы предложить ряд интересных проектов для Сколково. МААН, безусловно, крайне заинтересована в успешной реализации сколковского проекта.

В ряде стран СНГ, в частности в России, реализуются масштабные меры по развитию вузовской науки. МААН всецело это поддерживает. Без использования самых современных средств и методов в образовательном процессе, без органичного единства учебного процесса и современных исследований невозможно подготовить высококвалифицированного специалиста. И именно университеты всегда были для академий наук, образно говоря, кузницей кадров с высоким творческим потенциалом. В то же время упомянутые меры не должны осуществляться за счет недофинансирования академического сектора науки, что приведет к его деградации и неизбежным пагубным последствиям и для высшего образования и для экономики в целом. В связи с этим представляется важным иметь государственные программы и проекты, направленные на углубление взаимодействия науки и высшего образования, достижение более тесной кооперации академической и вузовской науки, а также на развитие образовательной компоненты в научно-исследовательских учреждениях академий наук. Это направление, безусловно, должно быть в поле зрения МААН.

На совместном заседании Совета Евразийской ассоциации университетов и Совета Международной ассоциации академий наук планируется подписать Соглашение о сотрудничестве обеих ассоциаций. Чтобы этот документ заработал, в чем мы все, безусловно, заинтересованы, необходимо постоянно наполнять его конкретными совместными проектами, мероприятиями и акциями. В их числе могли бы быть следующие:

за годы своей деятельности МААН накопила определенный опыт взаимодействия с органами СНГ. В частности, дважды в 1994 и 2007 годах по обращениям Совета МААН Советом глав государств СНГ принимались решения по развитию научного сотрудничества в нашем Содружестве. Представляется, что в будущем по вопросам науки и образования обращения в органы СНГ могли бы готовиться и направляться совместно от обеих ассоциаций;

заслуживает внимания подготовка совместных проектов на рассмотрение ЮНЕСКО, учитывая то, что решением ЮНЕСКО МААН включена в число организаций, с которыми ЮНЕСКО поддерживает рабочие отношения;

перспективным представляется объединение усилий МААН и Евразийской ассоциации университетов по развитию сотрудничества с Межгосударственным фондом гуманитарного сотрудничества государств — участников СНГ путем реализации совместных проектов и мероприятий;

совместное использование современного научного оборудования и приборов университетов и научных организаций;

при МААН на протяжении многих лет плодотворно работает ряд научных советов, комитетов, союзов. В их составе представители университетов могли бы быть представлены значительно более широко.

Участники совместного заседания, посвященного рассмотрению темы «Образование и наука в решении задач инновационного развития на пространстве СНГ», выскажут свое видение по развитию сотрудничества Евразийской ассоциации университетов и Международной ассоциации академий наук.

В центре внимания МААН, несомненно, должны быть вопросы развития учрежденного в декабре 2009 г. Международного инновационного центра нанотехнологий СНГ. В частности, МААН и ее члены могли бы принять участие в формировании банка данных по инновационным проектам стран СНГ, организациям, оборудованию для использования в сфере нанотехнологий; работе по подготовке кадров в сфере нанотехнологий и инновационного менеджмента; расширении практики проведения в странах СНГ международных конференций, семинаров, выставок и других мероприятий, связанных с деятельностью в сфере нанотехнологий и инноваций; развитии различных форм сотрудничества с бизнес-сообществом, профессиональными объединениями, ассоциациями организаций, ведущих деятельность в сфере нанотехнологий.

Необходимо и в дальнейшем прилагать всяческие усилия для решения вопросов создания международных научно-исследовательских центров на базе уникальных научных комплексов, расположенных на территории государств — участников СНГ. Ведь каждый такой центр мог бы стать важным элементом общего научно-технологического пространства СНГ, о создании которого в Содружестве говорится уже полтора десятилетия. К сожалению, реальных сдвигов здесь очень мало. Пользуясь случаем, хочу проинформировать о состоянии дел с подготовкой проекта российско-украинского межправительственного соглашения о создании и статусе Международного центра астрономических и медико-биологических исследований в Приэльбрусье. В настоящее время в Украине завершается внутригосударственная процедура согласования упомянутого проекта, подготовленного в НАН Украины с учетом замечаний РАН, после чего он будет направлен на рассмотрение в Российскую Федерацию.

Следует развивать плодотворное сотрудничество с Межгосударственным фондом гуманитарного сотрудничества государств — участников СНГ в рамках подписанного МААН с этим Фондом в 2009 г. Меморандума о взаимодействии. В связи с этим важно предложить на рассмотрение МФГС несколько крупных интересных проектов МААН, в том числе и тех, которые были бы

тематически связаны с проводимым в 2011 г. в СНГ Годом историко-культурного наследия.

В последние годы у МААН были достаточно ограниченные контакты с Региональным офисом ЮНЕСКО в Венеции, обусловленные сменой приоритетов в его деятельности. В частности, Венецианским офисом внимание стало уделяться в основном образовательным проектам. Кроме того, установленный для него мандат ограничивает регион деятельности офиса Италией и балканскими странами. Естественно, что МААН заинтересована в определенном изменении сложившейся ситуации, учитывая то плодотворное взаимодействие, которое Ассоциация имела с Венецианским офисом в прежние годы. В связи с этим представляет интерес информация, полученная от директора Венецианского офиса г-на Энгельберта Руоса во время его пребывания в Киеве с официальным визитом в конце мая 2010 г. По его просьбе в Президиуме НАН Украины состоялась встреча для обсуждения вопросов взаимодействия МААН и Венецианского офиса. Из этой информации следует, что офис все-таки планирует заниматься вопросами развития академической науки и трансформационными процессами в этой сфере, а также намерен добиваться расширения мандата своей деятельности. Это позволило бы подписать предлагаемый нашей Ассоциацией Меморандум о взаимопонимании между МААН и Региональным офисом ЮНЕСКО в Венеции.

По сложившейся практике МААН старается использовать разного рода юбилейные даты, имеющие отношение к сфере науки, для повышения научного просвещения общественности, престижа науки и ученых, воспитания академических традиций. 2011 год богат на юбилеи ряда выдающихся ученых. Остановлюсь на таких. В феврале 2011 года исполняется 100 лет со дня рождения выдающегося математика и механика, президента Академии наук СССР Мстислава Всеволодовича Келдыша. В Российской Федерации правительственным решением образован организационный комитет по подготовке и проведению этого юбилея, которому поручено разработать соответствующий план основных мероприятий. Представляется, что к празднованию 100-летия со дня рождения М. В. Келдыша должны быть причастны все академии наук, входящие в МААН, реализуя, в том числе и на своем уровне, различного рода мероприятия. В центре внимания МААН, несомненно, должно быть празднование 300-летия со дня рождения М. В. Ломоносова — русского ученого-энциклопедиста мирового значения, первого русского академика Петербургской академии наук.

Традиционно Совет МААН принимает ряд решений. Их проекты для рассмотрения членами Совета МААН прилагаются.

Благодарю за внимание.

**МЕМОРАНДУМ О ВЗАИМОПОНИМАНИИ
МЕЖДУ МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИЕЙ
АКАДЕМИЙ НАУК И МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫМ ФОНДОМ
ГУМАНИТАРНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА ГОСУДАРСТВ —
УЧАСТНИКОВ СОДРУЖЕСТВА НЕЗАВИСИМЫХ ГОСУДАРСТВ**

Международная ассоциация академий наук (далее именуемая МААН) и Межгосударственный фонд гуманитарного сотрудничества государств — участников Содружества Независимых Государств (далее именуемый МФГС), совместно именуемые далее «Стороны»,

учитывая положения Договора о создании Межгосударственного фонда гуманитарного сотрудничества государств — участников Содружества Независимых Государств от 25 мая 2006 года и Соглашения о создании Международной ассоциации академий наук от 23 сентября 1993 года,

движимые стремлением к налаживанию и развитию отношений равноправного и конструктивного сотрудничества между Сторонами, руководствуясь целями и задачами Сторон, достигли взаимопонимания в следующем:

1. Стороны будут осуществлять сотрудничество для достижения общих целей в гуманитарной сфере, в первую очередь в области науки и образования, культуры, работы с молодежью.

2. Сотрудничество Сторон в рамках настоящего Меморандума будет осуществляться с учетом основополагающих документов Сторон, а также других документов, действующих в МААН и МФГС.

3. Стороны в целях развития сотрудничества в областях, указанных в пункте 1 настоящего Меморандума, будут содействовать разработке совместных программ и мероприятий, которые рассматриваются и утверждаются полномочными органами Сторон в установленном порядке.

4. Реализация совместных программ и мероприятий, утвержденных органами Сторон, производится на основании дополнительных документов, согласованных органами Сторон в установленном порядке и включающих меры по их выполнению.

В каждом конкретном случае финансирование совместных программ и мероприятий по направлениям, предусмотренным настоящим Меморандумом, будет осуществляться на основании дополнительных документов, согласованных органами Сторон в установленном порядке.

5. Стороны на основе взаимной договоренности будут регулярно обмениваться информацией по совместным программам и мероприятиям, документами по вопросам, представляющим взаимный интерес, а также проводить соответствующие консультации.

6. Стороны вправе:
ссылаться на установленные отношения в документах по совместным программам и проектам, представляющим взаимный интерес.

упоминать об установленных отношениях в информационных материалах, бюллетенях, отчетах, справках, официальных ссылках, сообщениях для прессы, интервью и т. п.

7. Представители Сторон по взаимной договоренности могут приглашаться для участия в мероприятиях, проводимых МААН и МФГС, а также на заседания их органов.

8. Ни одна из Сторон не будет использовать и не будет давать разрешения никакой третьей стороне на использование наименования, сокращенного наименования или официальной эмблемы друг друга для рекламных, популяризаторских или других целей, не получив на то письменного разрешения от другой Стороны.

9. По взаимному согласию в настоящий Меморандум могут быть внесены изменения, которые оформляются соответствующим протоколом.

10. Настоящий Меморандум о взаимопонимании и намерениях вступает в силу с момента его подписания Сторонами.

Совершено в г. Кишиневе, 24 сентября 2009 г. в двух экземплярах на русском языке, причем оба текста имеют одинаковую силу. Один экземпляр хранится в МААН, другой — в МФГС.

За Международную
ассоциацию академий
наук

За Межгосударственный Фонд
Гуманитарного Сотрудничества
государств — участников
Содружества Независимых Государств

Б. Е. Патон

М. Е. Швыдкой

Национальная академия наук Молдовы

Совет Международной ассоциации академий наук

ПОСТАНОВЛЕНИЕ

15 октября 2010 г.

№ 209

г. Москва

Об основных результатах МААН
(сентябрь 2009 г. — октябрь 2010 г.)

В соответствии с решением постановления Совета МААН от 23 сентября 2009 г. № 207 (Кишинев) «О предложении ректора МГУ академика РАН В. А. Садовниченко» в Москве во время V Форума творческой и научной интеллигенции государств — участников СНГ в Фундаментальной библиотеке МГУ состоялось совместное заседание Совета Евразийской ассоциации университетов (ЕАУ) и Совета Международной ассоциации академий наук (МААН). Была рассмотрена тема «Образование и наука в решении задач инновационного развития на пространстве СНГ», заслушаны доклады президента ЕАУ В. А. Садовниченко и президента МААН Б. Е. Патона, проведено их обсуждение, подписаны итоговые документы.

Участникам заседания был роздан также доклад президента МААН Б. Е. Патона «Об основных результатах деятельности МААН (сентябрь 2009 г. — октябрь 2010 г.)» для подведения членами Совета МААН итогов деятельности МААН за отчетный период.

Рассмотрев итоги работы МААН за отчетный период, учитывая результаты совместного заседания Совета ЕАУ и Совета МААН, Совет Международной ассоциации академий наук отмечает следующее.

Ассоциация приняла активное участие в учреждении Международного инновационного центра нанотехнологий СНГ (МИЦНТ), учредительные документы которого были подписаны представителями 10 организаций из 6 стран СНГ на форуме, состоявшемся 17—18 декабря 2009 г. в г. Дубна.

НАН Украины совместно с РАН в соответствии с Протоколом совещания руководителей государственных организаций по науке и технике с участием представителей МААН (1—3 октября 2008 г., Бишкек) проведена работа по подготовке проекта Соглашения между Правительством Российской Федерации и Кабинетом Министров Украины о создании и статусе Международного научно-исследовательского центра астрономических и медико-биологических исследований в Приэльбрусье (Кабардино-Балкарская Республика, Российская Федерация).

Ряд мероприятий реализован в тесном взаимодействии с Межгосударственным фондом гуманитарного сотрудничества государств — участников

СНГ (МФГС) в рамках Года науки и инноваций, каким был объявлен в СНГ 2010 год. Так, МААН выступила соорганизатором Конкурса молодых ученых стран СНГ на соискание международной премии Совета по гуманитарному сотрудничеству государств — участников СНГ и МФГС. При финансовой поддержке МФГС под эгидой МААН 2—3 июня 2010 г. в Донецке и Енакиево (Украина) была проведена международная научно-практическая конференция «Технические музеи как инструмент сохранения исторического наследия и важный элемент развития мировой цивилизации».

В июне 2010 г. был подписан Меморандум о взаимопонимании между Международной ассоциацией академий наук и Международной ассоциацией государственных органов аттестации научных и научно-педагогических кадров высшей квалификации.

Продолжалось выполнение Международной программы «Современные проблемы радиобиологии: наука и практика». Важной формой работы по этой программе является создание международных научных лабораторий. Уже плодотворно работает Международная радиобиологическая лаборатория при Институте радиобиологии НАН Беларуси. Ведется работа по созданию на базе НАН Украины Международной лаборатории микроразволюционных процессов.

С января 2010 г. начато выполнение международной научной программы «Астрономия в Приэльбрусье. 2010—2014 гг.», инициированной РАН и НАН Украины и одобренной МААН.

Состоялись ежегодные научные сессии советов МААН: по фундаментальным географическим проблемам (18—21 мая 2010 г., г. Звенигород, Россия); по новым материалам (26—27 мая 2010 г., Киев). Советом по книгоизданию (председатель — чл.-корр. РАН В. И. Васильев) организовано проведение международного конкурса «Научная книга» МААН на лучший научно-издательский проект. 9 апреля 2010 г. в Москве состоялось V заседание Международной ассоциации институтов истории стран СНГ (президент — акад. РАН А. О. Чубарьян).

Плодотворно работали организации, входящие в МААН со статусом ассоциированного члена, по решению задач, стоящих перед Ассоциацией.

5 июля 2010 г. в Российском научном центре «Курчатовский институт» открылись III Высшие курсы для молодых ученых, аспирантов и студентов старших курсов стран СНГ по современным методам исследования наносистем и материалов «Синхротронные и нейтронные исследования наносистем (СИН-нано-2010)». Его учредителями выступили РНЦ «Курчатовский институт», Объединенный институт ядерных исследований, Институт кристаллографии им. А. В. Шубникова РАН и МААН. Финансовую поддержку оказал МФГС.

Важными событиями стало подписание в декабре 2009 г. Соглашения о стратегическом партнерстве между Московским государственным университетом им. М. В. Ломоносова и Российским научным центром «Курчатовский институт» и в мае 2010 г. Соглашения о сотрудничестве Национальной академии наук Украины и Российского научного центра «Курчатовский институт».

Продолжалась активная, плодотворная деятельность МГУ и МФТИ по подготовке в интересах стран СНГ высококвалифицированных специалистов.

Проведена работа по организации совместного заседания Совета Евразийской ассоциации университетов и Совета Международной ассоциации академий наук на базе МГУ.

В центре внимания МААН также находились взаимодействие с ЮНЕСКО, региональное научное сотрудничество, в частности академий наук Украины, Беларуси и Молдовы, организация и проведение международных форумов и школ молодых ученых, безвалютный обмен книжно-журнальной продукцией, работа международной редколлегии журнала «Общество и экономика», издательская деятельность. Совет Международной ассоциации академий наук постановляет:

1. Принять к сведению доклад президента МААН академика НАН Украины Б. Е. Патона «Об основных итогах деятельности МААН (сентябрь 2009 г. — октябрь 2010 г.)».

2. Одобрить деятельность Ассоциации за отчетный период.

3. Отметить весомый вклад МААН в развитие международного научного сотрудничества, в частности в реализацию ряда мероприятий, в рамках объявленного в СНГ Года науки и инноваций.

4. Одобрить подготовленное и согласованное с Евразийской ассоциацией университетов Соглашение о сотрудничестве между Евразийской ассоциацией университетов и Международной ассоциацией академий наук.

Уполномочить президента МААН академика НАН Украины Б. Е. Патона подписать упомянутое Соглашение от имени МААН.

5. Считать целесообразным:

— продолжить регулярную работу с государственными органами с целью существенного увеличения финансирования сферы науки, в том числе академического сектора науки, принятия ими действенных мер по поддержке молодых ученых, стимулированию инновационной активности реального сектора экономики, созданию и развитию наукоемких отраслей, заинтересованных в использовании принципиально новых разработок ученых;

— принимать активное участие в становлении и развитии Международного инновационного центра нанотехнологий СНГ и использовании его возможностей. В частности, уделить должное внимание формированию банка данных по инновационным проектам стран СНГ, организациям, оборудованию для использования в сфере нанотехнологий, а также работе по подготовке кадров в сфере нанотехнологий и инновационного менеджмента;

— содействовать активизации работы по созданию Международного научно-исследовательского центра астрономических и медико-биологических исследований в Приэльбрусье (Кабардино-Балкарская Республика, Российская Федерация) путем подписания межправительственного российско-украинского соглашения;

— углублять взаимодействие с Межгосударственным фондом гуманитарного сотрудничества государств — участников СНГ. Подать на его рассмотрение ряд новых проектов, в том числе тематически связанных с проводимым в 2011 году в СНГ Годом историко-культурного наследия;

— развивать и расширять сотрудничество с Евразийской ассоциацией университетов, координировать усилия МААН и ЕАУ в проведении диалога

с властными структурами СНГ по актуальным вопросам сферы науки и высшего образования;

— осуществлять меры и действия по укреплению и развитию плодотворных связей с ЮНЕСКО, продолжить контакты с руководством Регионального офиса ЮНЕСКО в Венеции по установлению с ним партнерских отношений, в частности путем подписания меморандума о взаимопонимании;

— уделять особое внимание вопросам подготовки и аттестации научных и научно-педагогических кадров высшей квалификации, использовать соответствующий опыт, накопленный в странах СНГ, привлекая для этого возможности Международной ассоциации государственных органов аттестации научных и научно-педагогических кадров высшей квалификации;

— принять активное участие в 2011 г. в праздновании юбилейных дат ряда выдающихся ученых. В частности: 300-летия со дня рождения М. В. Ломоносова — русского ученого-энциклопедиста мирового значения, внесшего значительный вклад в развитие многих естественных и гуманитарных наук, первого русского академика Петербургской академии наук; 100-летия со дня рождения выдающегося математика и механика, президента Академии наук СССР М. В. Келдыша;

— поддержать предложение по созданию в г. Енакиеве Донецкой обл. (Украина) Политехнического музея «Украинский техноленд» в качестве общего для пространства СНГ туристического, образовательного и исследовательского музейного центра истории науки и техники.

Президент Международной
ассоциации академий наук
академик НАН Украины

Б. Е. Патон

Совет Международной ассоциации академий наук

ПОСТАНОВЛЕНИЕ

15 октября 2010 г.

г. Москва

№ 211

Об обновленном составе
координационного комитета
по вычислительной математике

Международный координационный комитет по вычислительной математике (далее — Координационный комитет) создан при Международной ассоциации академий наук постановлением Совета МААН от 2 декабря 1998 г. № 75. Этим же постановлением был утвержден состав Координационного комитета, Положение о нем и назначен председатель комитета.

Учитывая предложения академий наук и организаций, входящих в МААН, по обновлению состава Координационного комитета, Совет Международной ассоциации академий наук постановляет:

1. Утвердить обновленный состав Международного координационного комитета по вычислительной математике (прилагается).

2. Назначить сопредседателями Координационного комитета заведующего отделом Института математики НАН Украины академика НАН Украины В. Л. Макарова и директора Института математического моделирования РАН члена-корреспондента РАН Б. Н. Четверушкина.

3. Просить Национальную академию наук Украины и Российскую академию наук оказывать содействие организационно-технической деятельности Координационного комитета.

Считать пп. 2 и 3 постановления Совета МААН от 2 декабря 1998 г. № 75 утратившими силу.

Президент Международной
ассоциации академий наук
академик НАН Украины

Б. Е. Патон

Приложение
к постановлению Совета МААН
от 15 октября 2010 № 211

СОСТАВ

Международного координационного комитета по вычислительной математике при МААН

- Макаров В. Л. — заведующий отделом Института математики НАН Украины, академик НАН Украины, сопредседатель;
- Четверушкин Б. Н. — директор Института математического моделирования РАН, член-корреспондент РАН, сопредседатель;
- Аюпов Ш. А. — директор Института математики и информационных технологий АН Республики Узбекистан, академик АН РУ;
- Вахания Н. Н. — заместитель академика-секретаря Отделения математики и физики НАН Грузии, академик НАН Грузии;
- Гаджиев А. Г. — член-корреспондент НАН Азербайджана;
- Гайндрик К. В. — главный научный сотрудник Института математики и информатики Академии наук Молдовы, член-корреспондент АНМ;
- Гулин А. В. — заведующий кафедрой вычислительных методов Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, доктор физ.-мат. наук;
- Забрейко П. П. — профессор кафедры математических методов и теории управления Белорусского государственного университета, доктор физ.-мат. наук, проф.;
- Иванов В. В. — директор лаборатории информационных технологий Объединенного института ядерных исследований, доктор физ.-мат. наук;
- Кожамкулов Т. А. — вице-президент НАН Республики Казахстан, академик НАН РК;
- Марчук Г. И. — академик РАН;
- Нерсисян А. Б. — академик НАН Республики Армения;
- Панков П. С. — главный научный сотрудник Института теоретической и прикладной математики НАН Кыргызской Республики, член-корреспондент НАН КР;
- Тыргышников Е. Е. — директор Института вычислительной математики РАН, член-корреспондент РАН;
- Усманов З. Д. — академик Академии наук Республики Таджикистан;
- Цибульский В. Ф. — главный научный сотрудник РИЦ «Курчатовский институт», доктор техн. наук;
- Янович Л. А. — главный научный сотрудник Института математики НАН Беларуси, член-корреспондент НАН Беларуси

Совет Международной ассоциации академий наук

ПОСТАНОВЛЕНИЕ

15 октября 2010 г.

г. Москва

№ 212

Об утверждении состава
Научного совета по науковедению
и Положения о нем

На заседании Совета МААН 23 сентября 2009 г. (Кишинев) было принято решение о создании при МААН Научного совета по науковедению, назначены его сопредседатели, одобрены основные задачи, направления деятельности Совета и его структура. Во исполнение этого решения в академиях наук и организациях, входящих в МААН, была проведена работа по формированию состава Научного совета по науковедению и подготовке Положения о нем.

Совет Международной ассоциации академий наук постановляет:

1. Утвердить состав Научного совета по науковедению (прилагается).
2. Утвердить Положение о Научном совете по науковедению (прилагается).

Президент Международной
ассоциации академий наук
академик НАН Украины

Б. Е. Патон

Состав

**Научного совета по науковедению
при Международной ассоциации академий наук**

Иванов Владимир Викторович	— заместитель главного ученого секретаря Президиума Российской академии наук, доктор экономических наук, сопредседатель научного совета
Малицкий Борис Антонович	— директор Центра исследований научно-технического потенциала и истории науки им. Г. М. Доброва НАН Украины, доктор экономических наук, сопредседатель научного совета
Семенов Евгений Васильевич	— директор Российского научно-исследовательского института экономики, политики и права в научно-технической сфере, доктор философских наук, сопредседатель научного совета

- Аллахвердян Александр — старший научный сотрудник Института истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН, кандидат экономических наук
- Григорьевич
- Аревшатян Сергей — начальник научно-организационного управления Президиума НАН Республики Армения, кандидат геологических наук
- Генрикович
- Артюхин Михаил — руководитель Центра мониторинга миграции научных и научно-педагогических кадров Института социологии и социальных технологий НАН Беларуси, кандидат философских наук
- Иванович
- Батурин Юрий — директор Института истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН, член Координационного совета МФТИ, доктор юридических наук
- Михайлович
- Грачев Олег Алексеевич — заведующий отделом Центра исследований научно-технического потенциала и истории науки им. Г. М. Доброва НАН Украины, кандидат технических наук, заместитель сопредседателей Научного совета
- Дикусар Александр — главный научный сотрудник Института прикладной физики АН Молдовы, член-корреспондент АН Молдовы
- Иванович
- Дыйканбаева Токтобю- — директор Института экономики НАН Кыргызской Республики, доктор экономических наук
- бю Саякбаевна
- Квеситадзе Георгий — сотрудник Президиума НАН Грузии
- Мгалоблишвили Леван — советник президента НАН Грузии, доктор технических наук
- Иосифович
- Никитенко Петр — директор Института экономики НАН Беларуси, академик НАН Беларуси
- Георгиевич
- Садыгов Аминага — начальник Научно-организационного отдела Президиума НАН Азербайджана, доктор физико-математических наук
- Бахман оглу

ПОЛОЖЕНИЕ

о Научном совете по науковедению при Международной ассоциации академий наук

1. Общие положения

1. Научный совет по науковедению при Международной ассоциации академий наук (далее — Совет) создается в целях содействия развитию сотрудничества ученых, научных коллективов, организаций и учреждений академий наук — членов Международной ассоциации академий наук (далее — МААН, Ассоциация) по исследованию теоретических и прикладных проблем, координации исследовательских программ в области науковедения, методологии

и социологии науки, истории науки и техники, планирования и организации совместных работ.

2. Совет является постоянно действующим координирующим органом, осуществляющим свою деятельность в пределах полномочий, добровольно делегированных ему академиями наук — членами МААН.

В своей деятельности Совет подотчетен Совету МААН, руководствуется Положением «О Международной ассоциации академий наук» и настоящим Положением.

3. Для выполнения указанных в п. 1 целей Совет:

формирует секции по основным направлениям теоретического и прикладного науковедения: научно-техническому потенциалу и научно-инновационной политике, философии и социологии науки, истории науки и техники;

создает временные (целевые) рабочие группы для подготовки экспертных заключений, рекомендаций и предложений по важнейшим прикладным проблемам науковедения;

организует подготовку международных программ научных исследований по науковедению;

организует и проводит форумы, симпозиумы и конференции по проблемам науковедения.

II. Руководство и основные функции Совета

1. Персональный состав, Положение о Совете и все последующие изменения в них утверждаются на заседании Совета МААН.

2. Возглавляют Совет три сопредседателя. В состав Совета входят заместитель сопредседателей и ученый секретарь — представители академии наук, президент которой в данное время возглавляет Совет МААН. Кандидатуры заместителя сопредседателей и ученого секретаря согласуются с сопредседателями Совета. Заместитель сопредседателей и ученый секретарь Совета организуют текущую работу и готовят заседания Совета.

3. Заседания Совета проводятся по мере необходимости, но не реже двух раз в год, как правило, в той академии наук, президент которой в данное время возглавляет Совет МААН.

4. Вопросы для обсуждения на заседаниях Совета могут вноситься членами Совета или учеными-науковедами, привлекаемыми к работе Совета в составе рабочих групп. Упомянутые ученые-науковеды участвуют в заседаниях Совета с правом совещательного голоса.

5. Принимаемые на заседаниях Совета решения носят рекомендательный характер.

6. Подготовленные Советом международные программы научных исследований в области науковедения, экспертные заключения и другие решения Совета, после их одобрения Советом МААН, направляются в государственные органы стран, академии которых входят в Ассоциацию.

7. Координация работы Совета возлагается на Центр исследований научно-технического потенциала и истории науки им. Г. М. Доброва Национальной академии наук Украины.

III. Основные направления деятельности Совета

1. Сбор и анализ информации о состоянии научного, научно-технического и инновационного потенциалов стран — участниц МААН.

2. Выявление приоритетных направлений исследований в области науковедения.

3. Содействие созданию и совместному использованию межакадемических, межведомственных, межгосударственных организационных и информационно-коммуникационных структур и систем, имеющих целью:

проведение исследований в сфере реализации научной, научно-технической и инновационной политики;

научно-техническое прогнозирование;

мониторинг приоритетных направлений научных исследований, технологических разработок и научно-технических инноваций;

проведение научной и научно-технической экспертизы разработок;

анализ и разработку предложений по повышению научной продуктивности ученых и исследовательских коллективов, цитирование научных публикаций и признание международного авторитета журналов и научных изданий академий наук и организаций, входящих в МААН;

разработка механизмов повышения эффективности научных исследований и разработок;

разработка предложений по созданию единого научного пространства;

исследование и мониторинг процесса формирования единого научного пространства стран, академии наук которых входят в МААН, интеграции науки и образования, подготовки и миграции научных кадров.

4. Содействие информированию научной общественности стран, академии наук которых входят в МААН, о результатах исследований, проводимых учеными научных учреждений академий наук и организаций, входящих в Ассоциацию, по актуальным проблемам науковедения.

5. Издание международного печатного органа Совета. Координация совместных информационно-коммуникационных и издательских проектов.

6. Взаимодействие с международными организациями ученых-научковедов и научными центрами по науковедению и содействие участию в их работе ученых академий наук и других организаций, входящих в МААН.

7. Участие в пределах своей компетенции в совершенствовании правового регулирования сферы науки, экспертно-правовое и аналитическое обеспечение модельного законодательства, направленного на гармонизацию законодательства в области науки государств, академии наук которых являются членами МААН: представление предложений о направлениях развития законодательства, разработка рекомендаций по формированию модельной законодательной основы для реализации принципов межгосударственного регулирования науки, участие в экспертизе и разработке модельных законодательных актов, регулирующих деятельность в области науки.

Совет Международной ассоциации академий наук

ПОСТАНОВЛЕНИЕ

15 октября 2010 г.

г. Москва

№ 213

Об утверждении положения
о Премии им. Д. С. Лихачева

С целью повышения интереса к историческим и современным проблемам межнационального культурного обмена и межгосударственного научного сотрудничества в контексте развития книжной культуры, а также выявления и поощрения ученых и специалистов, добившихся наилучших научных результатов в области изучения книжной культуры, Совет по книгоизданию (СКИ) при Международной ассоциации академий наук выступил с инициативой об учреждении «Премии им. Д. С. Лихачева Международной ассоциации академий наук за лучшие научные работы, внесшие крупный вклад в изучение истории, теории и современных проблем книжной культуры». Им достигнута договоренность с некоммерческой организацией «Фонд книжной культуры» о выплате денежного поощрения лицам, удостоенным этой премии.

Совет Международной ассоциации академий наук постановляет:

1. Одобрить инициативу СКИ при МААН об учреждении «Премии им. Д. С. Лихачева Международной ассоциации академий наук за лучшие научные работы, внесшие крупный вклад в изучение истории, теории и современных проблем книжной культуры».

2. Организацию и проведение ежегодного конкурса и награждения Премией поручить СКИ при МААН.

3. Утвердить Положение о Премии им. Д. С. Лихачева Международной ассоциации академий наук (приложение).

4. Просить академии наук и организации, входящие в МААН, обеспечить участие своих представителей в упомянутых мероприятиях.

Президент Международной
ассоциации академий наук
академик НАН Украины

Б. Е. Патон

Приложение
к постановлению Совета МААН
от 15 октября 2010 г. № 213

Одобрено
решением III Сессии Совета
по книгоизданию при Международной
ассоциации академий наук
(Минск, 16—18 сентября 2009 г.)

ПОЛОЖЕНИЕ

о Премии им. Д. С. Лихачева Международной ассоциации академий наук

I. Общие положения

1. Премия им. Д. С. Лихачева Международной ассоциации академий наук учреждена Советом МААН по представлению Совета по книгоизданию (СКИ) при МААН в соответствии с пунктом 2.2 «Положения о Совете по книгоизданию при МААН», утвержденного постановлением Совета МААН от 2 декабря 2008 г. № 190 «О деятельности Совета по книгоизданию при МААН». Присуждается по результатам открытого научно-творческого конкурса, организуемого и проводимого СКИ при МААН по поручению МААН. Соучредитель Премии — некоммерческая организация «Фонд книжной культуры».

2. Премия присуждается ежегодно за лучшие научные работы, внесшие крупный вклад в изучение истории, теории и современных проблем книжной культуры.

3. Премия учреждена в целях содействия решению следующих задач:
формирование интегрированного научно-информационного пространства;
повышение интереса к историческим и современным проблемам международного культурного обмена и межгосударственного научного сотрудничества в контексте развития книжной культуры;
пропаганда прогрессивных научных подходов и эффективной методологии организации и проведения исследований, их объективной оценке;
выявление и поощрение ученых и специалистов, добившихся наилучших научных результатов в области изучения книжной культуры; популяризация и продвижение научного наследия ученых.

II. Экспертная комиссия по присуждению Премии

4. Экспертная комиссия по присуждению Премии служит ее публичным представительным органом. Формируется СКИ при МААН от лица МААН сроком на 3 года из представителей стран (по одному от каждой страны), представленных в СКИ при МААН, утвержденном в установленном порядке Советом МААН, с включением в Комиссию до пяти общепризнанных специалистов (по выбору СКИ при МААН).

5. В компетенцию Экспертной комиссии входит рассмотрение заявок на участие в конкурсе, определение лауреатов, внесение технических и рабочих поправок в Положение о Премии.

6. Председатель и Сопредседатель Экспертной комиссии избираются простым большинством голосов членов Комиссии и согласовываются с Учредителями Премии. Они отвечают за работу Комиссии, лично ведут ее заседания, участвуют в церемонии награждения лауреатов, в необходимых случаях делегируют свое право одному из членов Комиссии.

7. Из состава Экспертной комиссии назначается ее Исполнительный секретарь, в обязанности которого входит организация решения протокольных вопросов, связанных с работой Комиссии.

8. Экспертная комиссия по присуждению Премии публикует объявления о конкурсе, размещает информацию о результатах своей работы и намечаемых мероприятиях с использованием сайта Международной ассоциации академий наук, Бюллетеня СКИ при МААН и журнала «Научная книга».

III. Порядок проведения конкурса

9. Правом предоставления работ на конкурс обладают члены национальных академий наук, ученые, а также сотрудники научных организаций, издательств, научных библиотек, вузов и других структур, связанных с изучением и популяризацией истории и теории книжной культуры, представители которых входят в состав СКИ при МААН.

10. К рассмотрению допускаются научные труды (монографии, книги, серии статей и т. п.), изданные после завершения процедуры приема работ на очередной конкурсный год, но не менее чем за три месяца до очередного определения лауреатов Комиссией. Коллективные работы на конкурс не принимаются. Представленные на конкурс серии монографий (книг) или статей должны быть изданы в течение не более чем трех лет. При этом наличие работ, вышедших в год проведения конкурса, обязательно.

11. Выдвижение работ на конкурс производится с начала календарного года и до 30 июня.

12. Поступившие на конкурс работы изучаются членами Экспертной комиссии, и на ее заседании определяется их научная значимость. Работы, признанные Комиссией актуальными, но требующими, по мнению большинства членов Комиссии, дополнительной оценки, могут быть направлены на отзыв ведущим общепризнанным специалистам.

13. Подведение итогов конкурса и награждение лауреатов Премии проводится от имени МААН на ежегодной Сессии СКИ при МААН.

IV. Определение лауреата Премии

14. Лауреат Премии определяется в два этапа. На первом этапе из числа выдвинутых на Премию соискателей на основании оценки членов Экспертной комиссии открытым голосованием простым большинством голосов формируется шорт-лист, в который входят до пяти соискателей. На втором этапе большинством в 2/3 голосов членов Комиссии открытым голосованием опре-

деляется лауреат Премии. По решению Экспертной комиссии в рамках Премии номинантам могут вручаться поощрительные дипломы.

15. Не позднее, чем за месяц до церемонии официального награждения Экспертная комиссия оглашает имена номинантов.

V. Награждение

16. Лицам, удостоенным Премии, присваивается звание «Лауреат премии им. Д. С. Лихачева Международной ассоциации академий наук за лучшие научные работы, внесшие крупный вклад в изучение истории, теории и современных проблем книжной культуры».

17. Лауреаты награждаются дипломами установленного образца и медалями лауреата премии им. Д. С. Лихачева. Размер денежного поощрения определяется СКИ при МААН по согласованию с соучредителем Премии — Фондом «Книжная культура». Выплачивает поощрение Фонд «Книжная культура».

VI. Церемония вручения премии

18. Церемония вручения Премии приурочивается к ежегодной Сессии СКИ при МААН.

19. Место проведения церемонии определяется СКИ при МААН с учетом установленного места проведения очередной его Сессии и согласовывается с Учредителями Премии.

20. Расходы на церемонию вручения Премии, а также другие издержки по организации подготовительных и других мероприятий, связанных с присуждением Премии, несет Фонд «Книжная культура» и организация, на которую возложено обеспечение деятельности СКИ при МААН.

21. Звание Лауреата премии им. Д. С. Лихачева присуждается однократно.

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

УДК 54-126:57.086.2/.3

М. Н. СТАРОДУБЦЕВА¹, Н. И. ЕГОРЕНКОВ²

АНАЛИЗ РЕЛАКСАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЙ ПОЛИМЕРОВ И БИОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ КАРТ ЛАТЕРАЛЬНЫХ СИЛ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

¹Гомельский государственный медицинский университет

²Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого

(Поступила в редакцию 19.01.2010)

Изучены карты горизонтальных (латеральных, боковых) и вертикальных отклонений иглы-зонда при сканировании на атомно-силовом микроскопе в интервале температур 20–100 °С поверхности синтетического аморфного полимера (поливинилбутирала) и эритроцита — естественного биокомпозиата, механические свойства которого определяются в основном свойствами цитоскелета (актин-спектриновой сети). Показана возможность применения АСМ для изучения перехода полимеров, включая биополимеры, из одного в другое релаксационное состояние. Установлено существование в эритроците в области 40–50 °С релаксационного перехода, обладающего характерными для перехода полимеров из стеклообразного в высокоэластическое состояние чертами. Полученные данные могут рассматриваться как подтверждающие гипотезу о том, что цитоскелет в физиологических условиях обладает свойствами «мягкого стекла».

Введение. Механические (например, напряжение разрушения, относительное удлинение, модули упругости, тангенс угла механических потерь), а также связанные с ними фрикционные (например, коэффициент трения, износ) и адгезионные (например, сопротивление отрыву, сдвигу и отслаиванию) свойства аморфных полимеров, включая биополимеры, связаны с их релаксационным состоянием, которое зависит от температуры и скорости деформации [1; 2]. При этом имеет место температурно-временная (скоростная) аналогия. Аморфные полимеры существуют в трех основных релаксационных состояниях: стеклообразном, высокоэластическом (вязко-упругом) и вязко-текучем. Конструкционные аморфные полимеры предназначаются, в основном, для эксплуатации

в стеклообразном состоянии. В связи с существованием температурно-временной аналогии различают структурное и механическое стеклование и, соответственно, температуру структурного (T_c) и температуру механического (T_m), точнее структурно-механического стеклования (по характеру влияния на свойства полимеров увеличения скорости деформации аналогично уменьшению температуры). При уменьшении скорости деформации температура механического стеклования стремится к значению температуры структурного стеклования (при небольших скоростях механического воздействия, характерных для большинства реальных ситуаций, они практически совпадают). Поэтому наиболее важной характеристикой аморфных полимеров является температура структурного стеклования. Следует отметить, что при бесконечно медленной скорости деформации температура вязко-текучего состояния также приближается к температуре структурного стеклования (высокоэластическое состояние — это механическое, релаксационное свойство полимера). Релаксационные свойства полимеров связаны с подвижностью их основных структурно-кинетических единиц: макромолекул (вязко-текучее состояние); сегментов макромолекул, включающих от нескольких до нескольких десятков атомов основной цепи (высокоэластическое состояние); отдельных атомных групп (стеклообразное состояние). У линейных полиуглеводородов предельная длина сегмента как структурно-кинетической единицы составляет, как правило, 20—25 атомов основной цепи. Для высокоэластического состояния полимеров характерны большие упругие (высокоэластические) деформации, составляющие десятки, сотни и даже тысячи процентов. Ниже температуры стеклования полимер теряет способность к большим обратимым деформациям.

Свойства аморфно-кристаллических полимеров, а также композиционных материалов на основе аморфных и аморфно-кристаллических полимеров, включая биокompозиты, также в значительной мере зависят от релаксационного состояния аморфных областей полимеров.

Клетки человека, животных и растений являются природными органическими композитами (биокompозитами), поведение которых при механических воздействиях определяется в основном свойствами входящих в них биополимеров и параметрами окружающей среды. Упругие и адгезионно-фрикционные свойства клеток существенно зависят от температуры [3; 4]. Клетки существуют, как правило, в определенном температурном диапазоне, при выходе за пределы которого клеточная структура и основные биополимеры клеток разрушаются. Например, при нагревании эритроцитов выше 43—54 °C происходит трансформация дискоцитов в сфероциты с последующим лизисом клеток (термогемоллизом), связанным с тепловой денатурацией основного белка мембранного скелета — спектрина [3]. Удаление воды из клетки (высушивание) позволяет изучать свойства клеточного композита в более широком интервале температур.

Уникальные возможности изучения структурно-механических свойств полимеров предоставляет атомно-силовая микроскопия (АСМ), а точнее атомно-силовой микроскоп, оборудованный термоплатформой. В процессе сканирования поверхности образца на атомно-силовом микроскопе в контактном режиме производится запись карты вертикальных отклонений (рельефа поверхности) и карты отклонений в горизонтальной плоскости (карты латеральных, боковых

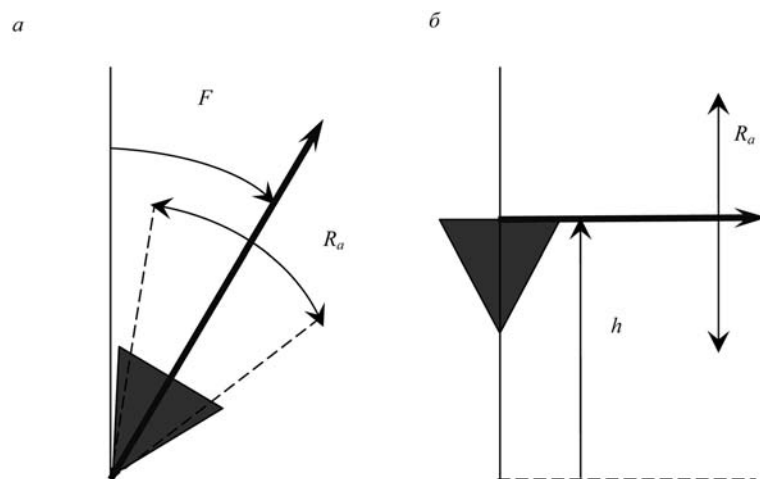


Рис. 1. Схема, разъясняющая смысл АСМ-параметров в режимах записи боковых (а) и вертикальных (б) отклонений АСМ-острия. F — среднее значение боковых отклонений АСМ-зонда (среднее значение латеральных сил); h — среднее значение вертикальных отклонений (средний уровень рельефа) АСМ-зонда; R_a — среднеквадратическое отклонение от среднего значения параметра (F или h)

сил) иглы-зонда прибора, закрепленной на упругой консоли (кантивелере) прибора (рис. 1). Карта латеральных сил несет в себе информацию не только о рельефе поверхности, но и о механических (когезионных, адгезионных и фрикционных) свойствах материала, их изменениях и характере распределения этих изменений по поверхности образца.

Целью исследования являлся анализ полученных в интервале температур 20—100 °С карт латеральных сил и карт рельефа поверхности синтетического аморфного карбоцепного полимера (поливинилбутирала) и биологического композита (эритроцита) для оценки их релаксационных состояний.

Выбор объектов исследования был обусловлен тремя причинами. Во-первых, поливинилбутираль является одним из основных широко используемых аморфных полимеров, а эритроцит — одной из широко изучаемых клеток крови человека и животных. Механические свойства поверхностного слоя клеток определяются их кортикальным цитоскелетом и липидным бислоем. При этом основной вклад в механические свойства вносит цитоскелет. В случае эритроцитов цитоскелет называют мембранным скелетом в связи с тем, что он представляет собой двухмерную белковую сеть, расположенную непосредственно под плазматической мембраной и скрепленную с ней с помощью специальных белков. Во-вторых, верхний температурный предел работоспособности поливинилбутирала и эритроцитов близки (T_c поливинилбутирала составляет 57 °С [5], а температура денатурации спектрина, одного из основных белков мембранного скелета эритроцитов, близка к 50 °С [3]). В-третьих, механические свойства этих объектов хорошо изучены другими методами. Известно, что упругие модули как синтетических аморфных полимеров [2], так и включающей цитоскелет мембраны эритроцитов [6] уменьшаются при увеличении температуры в рассматриваемом диапазоне.

Материалы и методы исследования. АСМ проводили на атомно-силовом микроскопе «НТ-206» («МикроТестМашины», Республика Беларусь) в контактном режиме сканирования с использованием близких по упругим свойствам игл-зондов (MicroMash): CSC38 (уровень В, коэффициент жесткости 0,01—0,08 Н/м) для эритроцитов и CSC21 (уровень А, коэффициент жесткости 0,03—0,3 Н/м) для поливинилбутирала. Регистрировали топографию, карты вертикальных отклонений АСМ-зонда и карты латеральных сил поверхности образцов.

Изучение температурных зависимостей АСМ-параметров проводили в диапазоне температур от 20 до 100 °С, используя входящую в комплект прибора «НТ-206» термоплатформу ТТ-01. После достижения образцом определенной температуры, он выдерживался при этой температуре для установления теплового равновесия в течение 5—10 мин. Прибор обеспечивал измерение и поддержание температуры с точностью 0,1 °С.

Использовали порошкообразный поливинилбутираль (ацеталь поливинилового спирта и масляного альдегида) марки ПШ-1 (ГОСТ 9439-97). Пленки из него толщиной 500 мкм получали плавлением слоя порошка на алюминиевой фольге в среде воздуха при температуре 200 °С (время — 10 мин). Полученные пленки поливинилбутирала при комнатной температуре были полупрозрачны и имели слегка белесый цвет. Исследовали поверхность пленки полимера, контактировавшего в процессе плавления порошка с воздухом.

Цельную кровь беспородных здоровых 3-месячных крыс с добавлением антикоагулянта гепарина наносили на обезжиренные предметные стекла размером 0,8 × 0,8 см в виде тонкого мазка и высушивали мазок крови на воздухе.

Результаты статистического анализа полученных экспериментальных данных представлены на рисунках в виде границ доверительного интервала с доверительной вероятностью 0,95 ($n = 2-4$).

Результаты и их обсуждение. Проведено изучение обусловленных температурой среды изменений в распределении латеральных сил (F) и вертикальных отклонений (h) АСМ-зонда при сканировании поверхности пленки поливинилбутирала и поверхности эритроцита размером от (1 × 1) мкм до (10 × 10) мкм. На рис. 2, *a* и *b* представлены температурные зависимости параметров распределения латеральных сил и рельефа участков поверхности поливинилбутирала. Величина средних значений латеральных сил (F) участка поверхности образца существенно не изменяется при его нагреве от комнатной температуры до температуры 50—55 °С. При температуре 55 °С и выше наблюдается уменьшение средних значений F и увеличение разброса параметров F и h вокруг средних значений. При этом средний уровень рельефа практически не изменяется во всем исследуемом диапазоне температур. При температуре выше 60 °С разброс параметров F и h по величине может достигать или превышает средние значения этих параметров. Визуально полимер становится прозрачным и практически бесцветным. Температура 57 °С, как отмечалось выше, является температурой структурного стеклования поливинилбутирала и разделяет его стеклообразное и высокоэластическое (при значимой скорости механического воздействия) или вязко-текущее (при бесконечно медленной скорости воздействия) состояния. В высокоэластическом состоянии время релаксации структурно-кинетических единиц полимеров уменьшается с увели-

чением температуры более существенно, чем в стеклообразном состоянии. При этом заметно изменяются все упругие модули полимера [1; 2].

На рис. 2 представлены температурные зависимости параметров распределения латеральных сил и рельефа участков поверхности сухих препаратов эритроцитов. Основные закономерности температурных зависимостей АСМ-параметров для эритроцитов качественно схожи с закономерностями, наблюдаемыми для поливинилбутирала. При температуре выше 40 °С (нормальная температура тела у крыс 37,5–39,5 °С) средние значения параметров F и h уменьшаются, а разброс величин вокруг средних значений параметров существенно увеличивается, хотя и не достигает средних значений параметров, что наблюдается для аморфного полимера (рис. 2, *в* и *г*). Значения латеральных сил изменяются приблизительно на 20 000 условных единиц, а средний уровень рельефа — только на несколько нанометров.

Схожесть изменения характера температурных зависимостей механических свойств (латеральных сил) поверхностного слоя биокompозита и аморфного поливинилбутирала (синтетического полимера) дает основание предположить, что для эритроцитов область температур 40–50 °С может рассматриваться как область температуры стеклования (ветрификации) биополимеров, входящих

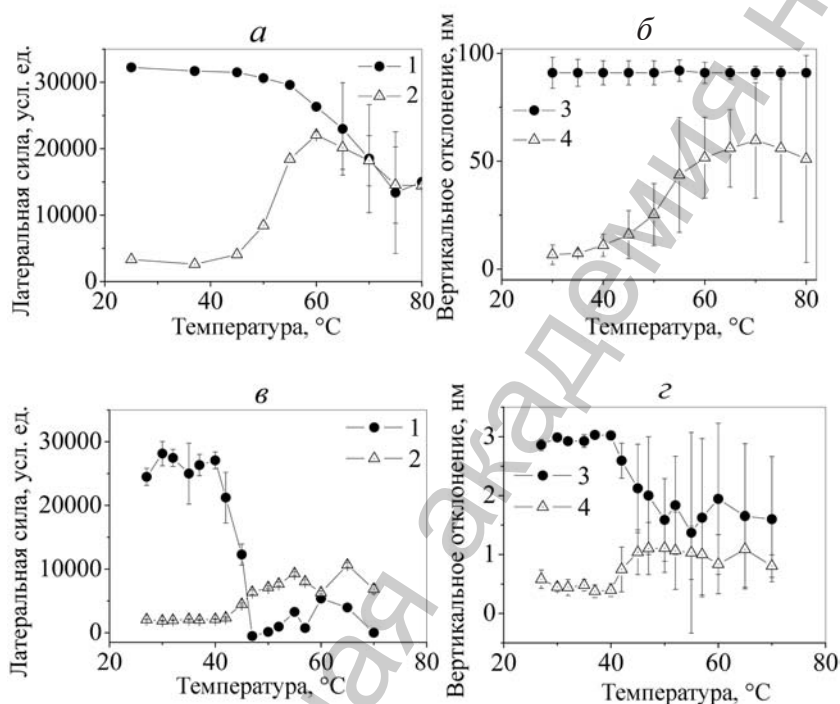


Рис. 2. Температурные зависимости АСМ-параметров для поливинилбутирала (*a* и *б*) и эритроцитов (*в* и *г*). На рис. *a* и *в* представлены средние значения и разброс вокруг средних значений латеральных сил: 1 — F и 2 — R_a . На рис. *б* и *г* представлены средние значения и разброс вокруг средних значений вертикальных отклонений АСМ-зонда: 3 — h и 4 — R_a . Размеры областей сканирования: 10 × 10 мкм для поливинилбутирала и 3 × 3 мкм для эритроцитов

в состав мембранного скелета эритроцитов. Следует также отметить, что примерно в этой же области температур другими методами фиксируется фазовый переход в липидном бислое [1]. Липидные монослои мембран могут находиться, как известно, в двух структурно различающихся состояниях — в жидкокристаллическом состоянии и в состоянии геля [7]. Однако экспериментально показано, что сдвиговая жесткость эритроцитов обусловлена только их мембранным скелетом. Липидный же бислой практически не оказывает влияния на модуль упругости эритроцитов при сдвиге (в отличие от модулей упругости эритроцитов при изотропном растяжении или изгибе) [8]. На величину боковых отклонений АСМ-зонда (параметр F) при сканировании поверхности материала оказывает влияние именно сопротивление деформации сдвига, а не изотропного растяжения или изгиба.

Вывод о том, что составляющий основу цитоскелета биополимер (белок спектрин) при температурах ниже 40 °С находится в стеклообразном состоянии согласуется с современной гипотезой о цитоскелете как статистической полимерной сетке, которая находится *in vivo* (при температурах 40 °С и ниже) в состоянии «мягкого стекла» (soft glass) [9; 10]. Такой подход, например, позволяет связать механизмы проведения механического сигнала в живой клетке при воздействии ряда факторов, включающих и температуру, с релаксационными свойствами структуры цитоскелета (подвижностью его структурно-кинетических единиц).

Для оценки механических свойств полимеров и биополимеров широко используют различные модули упругости, а также параметры сил трения и адгезии. Следует отметить, что записываемые при АСМ-сканировании (скольжении иглы-зонда) участка поверхности полимеров, включая биополимеры, и композитов на их основе карты латеральных сил несут информацию как о релаксационных свойствах, так и молекулярных силах (когезионных силах полимера и адгезионных силах «полимер—зонд»). Эти карты комплексно характеризуют механические, фрикционные и адгезионные свойства полимера, что обуславливает, по всей вероятности, необходимость введения для системы «образец—зонд» (пары трения) нового параметра, подобного времени релаксации структурных единиц полимера.

Заключение. Показана возможность применения атомно-силовой микроскопии для изучения температурных интервалов перехода полимеров, включая биополимеры, из одного релаксационного состояния в другое релаксационное состояние.

Установлено существование в эритроците релаксационного перехода в области 40—50 °С, который обладает характерными для аморфных полимеров чертами перехода из стеклообразного в высокоэластическое состояние.

Полученные экспериментальные данные могут рассматриваться как подтверждающие гипотезу о том, что цитоскелет клетки при температурах ниже 40 °С (физиологические условия) обладает свойствами «мягкого стекла» и теряет эти свойства (приобретает свойства, характерные для высокоэластического состояния) при температурах, превышающих нормальную температуру организма.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Б09-020).

Литература

1. Никольский В. Г. // Энцикл. полимеров. М., 1977. Т. 3. С. 489—498.
2. Бартенев Г. М. // Энцикл. полимеров. М., 1972. Т. 1. С. 559—568.
3. Черницкий Е. А., Воробей А. В. Структура и функции эритроцитарных мембран. Минск, 1981. — 216 с.
4. Waugh V., Evans E. A. // *Biophys. J.* 1979. Vol. 26. P. 115—132.
5. Розенберг М. Э. // Энцикл. полимеров. М., 1974. Т. 2. С. 781.
6. Ивенс И., Скеллак Р. Механика и термодинамика мембран. М., 1982. — 304 с.
7. Антонов В. Ф., Смирнова Е. Ю., Шевченко Е. В. Липидные мембраны при фазовых превращениях. М., 1992. — 136 с.
8. Fitcher Th. // *Red cell membrane transport in health and disease.* Berlin; Heidelberg; New York; Honkong; London; Mailand; Paris; Tokio, 2003. P. 61—82.
9. Lenormand G., Fredberg J. J. // *Biorheology.* 2006. Vol. 43. P. 1—30.
10. Stamenovic D. // *Cell. Mol. Life Sci.* 2008. Vol. 65(22). P. 3592—3605.

M. N. STARODUBTSEVA, N. I. YEGORENKOV

ANALYSIS OF RELAXATIONAL STATE OF POLYMERS AND BIOPOLYMERS BASED ON CARDS OF LATERAL FORCES OBTAINED BY ATOMIC FORCE MICROSCOPY

Summary

The maps of lateral and vertical atomic force microscope (AFM) tip deviations during scanning of the surfaces of synthetic amorphous polymer (butyral resin) and rat erythrocytes (natural biocomposite which mechanical properties were determined basically by cytoskeleton mechanical properties) were studied at temperature of 20—100 °C. It is shown the opportunity of AFM application to study polymer transition from one relaxational state into another one and the existence of relaxational transition within temperature interval of 40—50 °C for erythrocytes. The erythrocyte biocomposite transition had basic features of glass transition for polymers. Our results provide evidence of hypothesis that cytoskeleton behavior is like “soft glassy material” under the physiological conditions.

УДК 548.31

Я. О. ШАБЛОВСКИЙ

**СТРУКТУРНАЯ ГИРОТРОПИЯ
НЕПОЛЯРНЫХ ЭНАНТИОМОРФНЫХ КРИСТАЛЛОВ***Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого**(Поступила в редакцию 08.10.2010)*

Выявлены некоторые качественные и количественные закономерности структурной гиротропии неполярных энантиоморфных кристаллов с учетом их полиморфизма. В частности, установлена кристаллографическая природа анизотропных воздействий, переключающих гиротропию низкотемпературных модификаций таких кристаллов. Найдены аналитические выражения взаимосвязи характеристик гирационных эффектов в области полиморфного превращения.

В современной химии важную роль играют структурно-чувствительные эффекты, интенсивность проявления и само наличие которых определяются анизотропией строения вещества. Особый интерес в указанном классе явлений представляет гиротропия (оптическая активность), исследование которой дает сведения, недоступные для получения иным путем [1].

Гиротропия обычно рассматривается в органической и координационной химии как основное проявление хиральности молекул либо комплексов, содержащих стереогенные атомы (молекулярная гиротропия) [2; 3]. Наряду с этим у многих кристаллических соединений обнаруживается структурная гиротропия [4; 5]: кристаллическая структура может быть гиротропной даже при отсутствии стереогенных атомов.

До конца прошлого века структурная гиротропия изучалась преимущественно в контексте комплексных кристаллохимических задач [4]. В последние два десятилетия потребности лабораторной и технологической практики значительно расширились [6], и проблема структурной гиротропии приобрела самостоятельное значение. Однако качественно новый подход к этому кристаллохимическому явлению еще только намечается [7]. До настоящего времени удовлетворительно изучена лишь гиротропия полярных кристаллов [8; 9]. В целом же теория структурной гиротропии не развивалась с середины прошлого века [10—13]. В данной работе предпринята попытка частично восполнить этот пробел. Целью проведенного нами теоретического исследования являлось установление закономерностей влияния внешних термодинамических условий на структурную гиротропию кристаллов.

Основная сложность аналитического описания структурной гиротропии обусловлена необходимостью учета полиморфизма, свойственного подавляющему большинству гиротропных кристаллов. До сих пор решение этой проблемы предлагалось лишь для простейшего случая, когда гиротропная структурная модификация кристалла полярна [13]. Нами рассматриваются неполярные кристаллы.

По сравнению с хорошо изученными полярными кристаллами аналитическое описание гиротропии неполярных кристаллов существенно затрудняется необходимостью использования при этом описании величин, имеющих высокий (≥ 2) тензорный ранг. Поэтому в настоящей работе для достижения поставленной цели используется общий термодинамический подход в сочетании с формализмом теории кристаллографических групп.

При рассмотрении гиротропии кристаллов необходимо различать две возможности: 1) кристалл неэнантиоморфен; 2) кристалл энантиоморфен. Гиротропия неэнантиоморфных кристаллов — специфическое явление, недоступное для прямого измерения и не применяемое на практике [14]. Здесь анализируются закономерности гиротропии энантиоморфных неполярных кристаллов.

Вначале рассмотрим случай, когда полиморфное превращение кристалла не сопровождается возникновением либо исчезновением гиротропии (гиротропный диморфизм), что имеет место при переходах с изменением симметрии структур 622 — 32, 622 — 222, 422 — 222 и 432 — 23.

Будем исходить из того, что структурную гиротропию можно описать не только псевдотензором гирации \mathbf{g} , но и дуальным ему антисимметричным тензором \mathbf{G} : $G_{jkl} = -G_{kjl}$ [4; 11]. В общем случае тензор \mathbf{G} имеет девять различных компонент, но для неполярных энантиоморфных кристаллических структур отличны от нуля только те три его компоненты, у которых $j \neq k \neq l$. Последнее означает [10], что в таких структурах вектор напряженности электрического поля световой волны, распространяющейся в направлении координатной оси c_l и линейно поляризованной вдоль оси c_j , приобретает дополнительную (вторичную) составляющую колебаний вдоль оси c_k . Если линейный размер элементарной ячейки кристаллической решетки в направлении c_l равен ζ_l , то на пути светового луча, проходящего через кристалл толщиной d_l , располагается «стопка» d_l / ζ_l элементарных ячеек. Каждая из них поворачивает плоскость поляризации световой волны на угол

$$\delta\vartheta_l = \text{arctg} \frac{\mathcal{E}_k}{\mathcal{E}_j} = \text{arctg} \frac{\mathcal{E}_k}{\sqrt{\mathcal{E}^2 - (\mathcal{E}_k)^2}}, \quad (1)$$

где \mathcal{E}_j и \mathcal{E}_k — амплитуды первичной и вторичной составляющих вектора напряженности электрического поля световой волны после прохождения элементарной ячейки; \mathcal{E} — амплитуда напряженности этого поля на входе в кристалл.

Моделируем осциллирующий в направлении c_k связанный заряд элементарной ячейки совокупностью N гармонических осцилляторов, полагая, что их собственные частоты f_k образуют непрерывный спектр, ограниченный сверху пороговой частотой f_k , а общее число эквивалентной совокупности

осцилляторов пропорционально интенсивности возбуждающей (первичной) волны:

$$0 < f_k \leq \bar{f}_k, \quad N = \varpi \bar{\varepsilon}^2, \quad (2)$$

где ϖ — константа. Применяя известные приемы (см., например, [15]), нетрудно определить статистическую сумму рассматриваемой колебательной системы:

$$Z \approx \exp \left[N \left(-\frac{3\bar{\varepsilon}_k}{8T} + \frac{\pi^4}{15} \left(\frac{T}{\bar{\varepsilon}_k} \right)^3 \right) \right], \quad (3)$$

где

$$\bar{\varepsilon}_k = \frac{2\pi\hbar\bar{f}_k}{\kappa_B}; \quad \varepsilon_k = \frac{2\pi\hbar f_k}{\kappa_B};$$

T — температура; \hbar — постоянная Планка; κ_B — постоянная Больцмана.

Поскольку рассматриваемые колебания (как первичные, так и вторичные) предполагаются гармоническими, энергия \mathcal{E} этих колебаний пропорциональна их интенсивности. Тогда, воспользовавшись соотношением [16]

$$\mathcal{E} = N\kappa_B T^2 \frac{\partial \ln Z}{\partial T},$$

из (1)–(3) получаем следующее приближенное выражение температурной зависимости оптической активности:

$$\vartheta_l \approx \frac{d_l}{\zeta_l} \arctg \left[\left(\frac{\Phi(T)}{1 - \Phi(T)} \right)^{1/2} \right], \quad (4)$$

где

$$\Phi(T) = \varpi\kappa_B \left(\frac{3\bar{\varepsilon}_k}{8} + \frac{\pi^4}{5\bar{\varepsilon}_k^3} T^4 \right).$$

Теперь обратимся к случаю, когда полиморфный кристалл гиротропен только в одной из своих структурных модификаций (мономодификационная гиротропия). У таких кристаллов гиротропия является главным эффектом, определяющим природу полиморфного превращения. Температурная зависимость гиротропии в этом случае описывается в рамках общего термодинамического подхода, предложенного нами ранее [17; 18]. Здесь мы проанализируем кристаллохимическую сторону обсуждаемой проблемы.

Одной из важнейших закономерностей кристаллохимии полиморфизма является понижение симметрии структуры полиморфного соединения при его

переходе в низкотемпературную модификацию. Это означает, что если структуре низкотемпературной модификации (НТМ) соответствует группа симметрии g , а структуре высокотемпературной модификации (ВТМ) — группа симметрии g^* , то существует такая кристаллографическая надгруппа \mathcal{G} , что

$$g \subset \mathcal{G}, \quad g^* \subseteq \mathcal{G}.$$

Изменения симметрии анизотропной структуры подчиняются общему принципу Кюри [19]: диссимметрия, появившаяся в системе, должна наличествовать в причинах, обусловивших эту диссимметрию. Вместе с тем полиморфные превращения обычно индуцируются изотропными воздействиями — охлаждением (нагревом) и гидростатическим сжатием. Противоречие между понижением симметрии анизотропной структуры кристалла при его полиморфном превращении и изотропией внешнего воздействия, вызывающего это превращение, устраняется за счет того, что при переходе в НТМ кристаллы разбиваются на домены. Структура отдельного домена имеет симметрию группы g , тогда как симметрия структуры полидоменного кристалла НТМ в целом соответствует группе \mathcal{G} . Расположение доменов в кристалле НТМ подчинено элементам симметрии, утраченным при полиморфном переходе, вследствие чего симметрия кристалла в целом до и после перехода неизменна. Явление доменизации хорошо известно, однако принято подразумевать, что оно свойственно сегнетоэлектрикам и магнетикам. Между тем, в действительности, в силу принципа Кюри доменизация имеет место у всех полиморфных кристаллов. Для нашего рассмотрения этот факт имеет принципиальное значение, поскольку воздействия, монодоменизирующие НТМ полиморфного кристалла, способны изменять знак его оптической вращательной способности в монодоменированном состоянии («переключение» гиротропии). Кристаллографические характеристики анизотропных воздействий, обеспечивающих монодоменизацию НТМ неполярных энантиоморфных кристаллов, указаны в таблице, где приняты следующие обозначения: E_i ($i = 1, 2, 3$) — напряженность электрического поля; X_μ ($\mu = 1, 2, \dots, 6$) — механическое напряжение; M_i — момент кручения. Там же названы заимствованные из работ [20—33] известные примеры соединений, обнаруживающих монодоменизацию гиротропию.

Кристаллографические закономерности монодоменизации гиротропии

Переход	Соединение	Монодоменизирующие воздействия	Линейное соотношение
$m\bar{3}m - 32$	HgS, HgSe, HgTe	$E_1X_1 = -E_1X_2 = -E_2X_6;$ $E_1X_4 = -E_2X_5$	$\Psi_{11} \sim \Psi_{14} \sim g_{11} \sim g_{33} \sim c_{14}$
$m\bar{3} - 32$	RbNO ₃ , CsNO ₃	$E_1M_1 = E_2M_2; E_3M_3$	
$6/mmm - 32$	—	$X_1X_4 = -X_2X_4 = X_5X_6$	
$\bar{6}2m - 32$	Na ₂ ThF ₆	$E_1X_4 = -E_2X_5;$ $E_1M_1 = E_2M_2; E_3M_3;$ $X_1X_4 = -X_2X_4 = X_5X_6$	$\Psi_{14} \sim g_{11} \sim g_{33} \sim c_{14}$

Окончание таблицы

Переход	Соединение	Моноденизирующие воздействия	Линейное соотношение
$\bar{3}m - 32$	$\text{AlF}_3, \text{ScF}_3,$ $\text{Cs}_3\text{As}_2\text{Cl}_9$	$E_1X_1 = -E_1X_2 = -E_2X_6;$ $E_1X_4 = -E_2X_5$ $E_1\dot{M}_1 = E_2\dot{M}_2; E_3\dot{M}_3$	$\Psi_{11} \sim \Psi_{14} \sim g_{11} \sim g_{33}$
$m\bar{3} - 23$	—	$E_1X_4 = E_2X_5 = E_3X_6;$	$\Psi_{14} \sim g_{11}$
$m\bar{3}m - 23$	NH_3	$E_1\dot{M}_1 = E_2\dot{M}_2 = E_3\dot{M}_3$	
$m\bar{3}m - 422$	$\text{In}_2\text{S}_3,$ $\text{Zn}_2\text{GeO}_4,$ $\text{Er}_2\text{Ge}_2\text{O}_7$	$E_1X_4 = -E_2X_5$	$\Psi_{14} \sim g_{11} \sim g_{33}$
$4/mmm - 422$	TeO_2	$E_1\dot{M}_1 = E_2\dot{M}_2; E_3\dot{M}_3$	
$6/mmm - 622$	CsCuCl_3		
$m\bar{3}m - 222$	$\text{Ag}_2\text{Se}, \text{CsClO}_4$		
$\bar{4}3m - 222$	—	$E_1X_4; E_2X_5; E_3X_6$	$\Psi_{14} \sim \Psi_{25} \sim \Psi_{36} \sim g_{11} \sim g_{22} \sim g_{33}$
$mmm - 222$	$\text{RbBeF}_3,$ HgClBr	$E_1\dot{M}_1; E_2\dot{M}_2; E_3\dot{M}_3$	
$m\bar{3}m - 432$	—	$E_1\dot{M}_1 = E_2\dot{M}_2 = E_3\dot{M}_3$	—
$\bar{4}3m - 23$	ZrOS		

Полиморфное превращение однозначно определяется конечным множеством f элементов симметрии кристаллической структуры, утрачиваемых (либо приобретаемых) ею при этом превращении:

$$f = g^* \setminus g.$$

Множеству f соответствует набор тензорных инвариантов j_m , описывающих свойства, которыми обладает НТМ, но не обладает ВТМ в силу того, что эти свойства запрещены симметрией ВТМ:

$$j_m \in (\mathcal{S} \setminus \mathcal{S}^*), \quad m = 1, 2, \dots,$$

где \mathcal{S} и \mathcal{S}^* — множества инвариантов групп g и g^* соответственно. Инвариант низшего ранга в таком наборе — основной инвариант — характеризует главный эффект, обусловленный понижением симметрии структуры, и таким образом определяет кристаллохимическую природу соответствующего полиморфного превращения.

Все инварианты j_m по определению соответствуют одному и тому же искажению структуры $g^* \rightarrow g$, поэтому при любой термодинамической траектории полиморфного перехода все эти инварианты изменяются по одному и тому же закону. Следовательно, температурные зависимости инвариантов j_m совпадают с точностью до постоянного множителя. То же верно для их барических зависимостей.

Указанная закономерность детализирована в последнем столбце таблицы, где названы характеристики НТМ неполярных энантиоморфных кристаллов, взаимосвязанные линейной корреляцией (знак \sim). Приняты следующие обозначения: g_{ij} — компонента псевдотензора гирации ($i, j = 1, 2, 3$); $c_{\mu\nu}$ — жесткость ($\mu, \nu = 1, 2, \dots, 6$); $\Psi_{i\nu}$ — пьезокоэффициент; симметричная пара тензорных индексов обозначается в соответствии с общепринятым правилом Фойгта.

В качестве примера обсудим корреляцию

$$\Psi_{14} \sim g_{11} \sim g_{33}, \tag{5}$$

прогнозируемую нами для кристаллов, испытывающих переходы из модификаций со структурами, отвечающими группам $m\bar{3}m$ либо $4/mmm$, в модификацию со структурой, отвечающей группе 422, а также для кристаллов, испытывающих переходы из модификации со структурой, отвечающей группе $6/mmm$, в модификацию со структурой, отвечающей группе 622. Согласно (5), в этом случае температурные и барические зависимости величин Ψ_{14} , g_{11} и g_{33} совпадают с точностью до постоянного множителя, т. е.

$$\frac{\Psi_{14}}{g_{11}} = \text{const}, \quad \frac{g_{11}}{g_{33}} = \text{const}.$$

Последнее позволяет легко прогнозировать температурную (либо барическую) зависимость пьезокоэффициента по известной температурной (либо, соответственно, барической) зависимости гиротропии. И наоборот, характер эволюции гиротропии в неизотермических либо неизобарических условиях можно прогнозировать по известной температурной (либо, соответственно, барической) зависимости пьезокоэффициента. Иллюстрацией к сказанному может служить выполненная нами оценка температурной зависимости пьезокоэффициента Ψ_{14} трихлорокупрата (II) цезия CsCuCl_3 , испытывающего при температуре $T_\lambda \approx 423 \text{ K}$ полиморфный переход $6/mmm \rightarrow 622$. Представленная на рис. 1 зависимость $\Psi_{14}(T)$ рассчитана на основе результатов измерений гиротропии CsCuCl_3 , выполненных в работе [34]. Ограниченный объем имеющихся в литературе данных не позволил определить

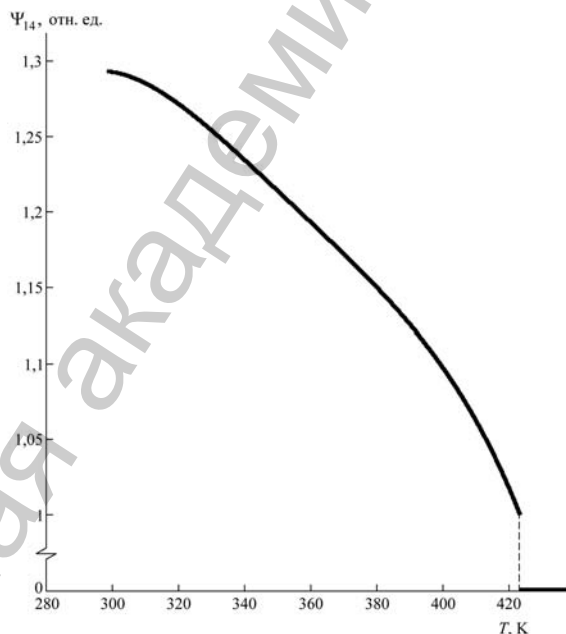


Рис. 1. Температурная зависимость пьезокоэффициента трихлорокупрата (II) цезия

численные значения коэффициентов пропорциональности, отвечающих линейным корреляциям (5). Поэтому зависимость $\Psi_{14}(T)$ представлена на рис. 1 в относительных единицах.

Гиротропия обладает высокой чувствительностью к механическим и электрическим воздействиям и может не только изменяться, но и индуцироваться ими [35; 36]. Методики измерения соответствующих гирационных эффектов — пьезогирации и электрогирации — хорошо известны [9], однако их применение в практике структурных исследований сдерживается отсутствием количественной теории этих явлений [37]. Получим аналитические выражения взаимосвязей величин, характеризующих гирационные эффекты.

Пьезогирация описывается тензором $\Pi_{ij\mu} = (\partial g_{ij} / \partial X_{\mu})_T$. Воспользовавшись тем, что

$$\left(\frac{\partial g_{ij}}{\partial X_{\mu}} \right)_T \equiv \frac{\partial(g_{ij}, T)}{\partial(X_{\mu}, T)},$$

после стандартного преобразования якобиана можно получить следующее равенство, выражающее взаимосвязь компонент пьезогирационного тензора с соответствующими компонентами термогирационного тензора $\tau_{ij} = (\partial g_{ij} / \partial T)_X$:

$$\frac{\Pi_{ij\mu} - \Pi_{ij\mu}^0}{\tau_{ij}} = \xi_{\mu}. \quad (6)$$

Здесь $\xi_{\mu} = -(\partial T / \partial X_{\mu})_{\Delta(T)}$, $\Pi_{ij\mu}^0 = (\partial g_{ij} / \partial X_{\mu})_{\Delta(T)}$, а вспомогательный параметр

$$\Delta^{(T)} = T - T_{\lambda}(X_{\mu}) \quad (7)$$

удовлетворяет требованию

$$\frac{\Delta^{(T)}}{T_{\lambda}(X_{\mu})} > 1, \quad (8)$$

где T_{λ} — температура полиморфного превращения. С учетом (7) и (8) величина $\Pi_{ij\mu}^0$ представляет собой «регулярную» (высокотемпературную) составляющую пьезо-гирационного тензора, нечувствительную к полиморфному превращению, т. е.

$$\Pi_{ij\mu}^0 = \text{const}. \quad (9)$$

Для кристаллов с центросимметричной ВТМ $\Pi_{ij\mu}^0 \equiv 0$.

Из (7) следует, что

$$\left(\frac{\partial T}{\partial X_{\mu}} \right)_{\Delta(T)} = \left(\frac{\partial T_{\lambda}}{\partial X_{\mu}} \right)_{\Delta(T)}. \quad (10)$$

На фазовых диаграммах подавляющего большинства полиморфных соединений линии сосуществования структурных модификаций в пределах достигнутой экспериментальной точности имеют практически постоянный наклон:

$$\xi_{\mu} = \text{const.} \quad (11)$$

Возвращаясь к соотношению (6), с учетом (9), (11) заключаем: температурные зависимости термогирации и пьезогирации совпадают с точностью до постоянного множителя ξ_{μ} .

По своей аналитической структуре соотношение (6) аналогично рассмотренному в работе [38] корреляционному соотношению для компонент тензора линейного теплового расширения α_{μ} . Объединение упомянутых соотношений приводит к равенству

$$\frac{P_{ij\mu} - P_{ij\mu}^0}{\tau_{ij}} = \frac{\alpha_{\mu} - \alpha_{\mu}^0}{C_p / T} = \xi_{\mu}, \quad (12)$$

где C_p — изобарная теплоемкость. В свою очередь, формула (12) позволяет получить равенства

$$\xi_{\mu} P_{ij\nu} - \xi_{\nu} P_{ij\nu} = \xi_{\mu} P_{ij\nu}^0 - \xi_{\nu} P_{ij\nu}^0, \quad (13)$$

$$\xi_{\mu} \alpha_{\nu} - \xi_{\nu} \alpha_{\mu} = \xi_{\mu} \alpha_{\nu}^0 - \xi_{\nu} \alpha_{\mu}^0; \quad (14)$$

верхним индексом «0» обозначены регулярные составляющие соответствующих величин.

Выражения (12)—(14) справедливы для любых полиморфных гиротропных кристаллов. Для неполярных гиротропных кристаллов помимо (12)—(14) верны равенства

$$\frac{\kappa_{ijk} - \kappa_{ijk}^0}{\tau_{ij}} = \xi_k^E, \quad (15)$$

$$\xi_l^E \kappa_{ijk} - \xi_k^E \kappa_{ijl} = \xi_l^E \kappa_{ijk}^0 - \xi_k^E \kappa_{ijl}^0. \quad (16)$$

Здесь $\kappa_{ijk} = (\partial g_{ij} / \partial E_k)_{T,X}$ — тензор электрогирации; $\xi_k^E = -(\partial T_{\lambda} / \partial E_k)_X$.

Применение формул (6), (12)—(16) позволяет сократить объем независимых прямых измерений, необходимых для всестороннего изучения температурного поведения свойств кристалла в области его полиморфного превращения. Например, $P_{ij\mu}(T)$ можно рассчитать, зная ξ_{μ} и $\tau_{ij}(T)$. Эту возможность иллюстрирует расчет температурных зависимостей компонент P_{111} и P_{113} , выполненный нами по формуле (6) для типичного неполярного энантиоморфного кристалла диоксида кремния SiO_2 (рис. 2). Потребовавшиеся для расчетов значения ξ_1 , ξ_3 и зависимость $\tau_{ij}(T)$ для диоксида кремния были заимствованы из работ [39; 40].

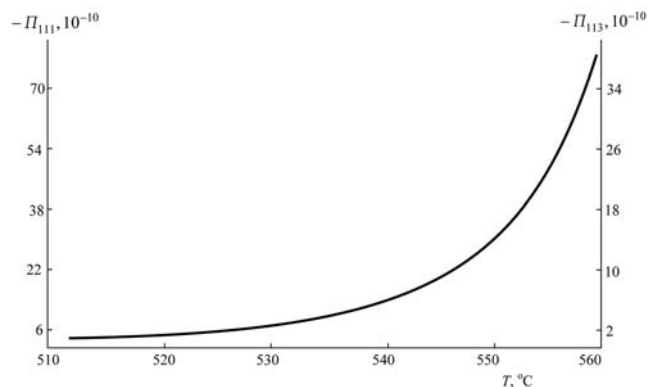


Рис. 2. Температурные зависимости пьезогирации диоксида кремния

По результатам проведенного исследования структурной гиротропии неполярных энантиоморфных кристаллов можно сделать следующие выводы.

1. Температурная зависимость оптической вращательной способности кристалла, обладающего гиротропным диморфизмом, описывается формулой (4).

2. Проведенный теоретико-групповой анализ полиморфных превращений кристаллов, обнаруживающих

мономодификационную гиротропию, позволил, во-первых, определить кристаллографическую природу анизотропных воздействий, переключающих гиротропию таких кристаллов, а во-вторых, выявить линейные корреляции между тензорными характеристиками их низкотемпературных модификаций (см. таблицу).

3. Взаимосвязи характеристик полиморфных гиротропных кристаллов выражаются формулами (6), (12)–(16).

Настоящая работа выполнена в рамках проекта Х07М-051, финансируемого Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований.

Литература

1. Краббе П. Применение хирооптических методов в химии / пер. с англ. под ред. Е. И. Клабуновского. М., 1974. — 168 с.
2. Shellen J. // Chemical Reviews. 1975. Vol. 75, N 3. P. 323–331.
3. Richardson F. // Chemical Reviews. 1979. Vol. 79, N 1. P. 17–36.
4. Кизель В. А., Бурков В. И. Гиротропия кристаллов. М., 1980. — 304 с.
5. Исаев В. А., Аванесов А. Г., Сережкин В. Н. // Журн. неорганич. химии. 2008. Т. 53, № 7. С. 1219–1223.
6. Сусликов Л. М., Сливка В. Ю., Лисица М. П. Твердотельные оптические фильтры на гиротропных кристаллах. Киев, 1998. — 294 с.
7. Yoge v - E i n o t a D., A v n i r D. // Tetrahedron: Asymmetry. 2006. Vol. 17, N 19. P. 2723–2725.
8. Шувалов Л. А., Иванов Н. Р. // Кристаллография. 1964. Т. 9, № 3. С. 363–372.
9. Влох О. Г. Явления пространственной дисперсии в параметрической кристаллооптике. Львов, 1984. — 156 с.
10. Волькенштейн М. В. // Успехи химии. 1940. Т. 9, № 10. С. 1089–1123.
11. Шубников А. В. Основы оптической кристаллографии. М., 1958. — 275 с.
12. K u h n W. // Annual Review of Physical Chemistry. 1958. Vol. 9, N 10. P. 417–438.
13. A i z u K. // Physical Review. 1964. Vol. 133, N 6. P. 1584–1588.
14. O' L o a n e J. K. // Chemical Reviews. 1980. Vol. 80, N 1. P. 41–61.
15. Кацнельсон М. И., Трефилов А. В. Динамика и термодинамика кристаллической решетки. М., 2002. С. 113–132.
16. Судариков С. А., Капуцкий Ф. Н. Физическая химия. Минск, 1981. С. 297–302.

17. Шабловский Я. О. // Журн. физ. химии. 2001. Т. 75, № 7. С. 1217—1220.
18. Шабловский Я. О. // Журн. физ. химии. 2006. Т. 80, № 1. С. 59—63.
19. Шубников А. В. // Вопр. минералогии и геохимии. М., 1946. С. 128—163.
20. Тонков Е. Ю. Фазовые превращения соединений при высоком давлении: В 2 т. М., 1988. Т. 1. — 464 с.; Т. 2. — 358 с.
21. Тонков Е. Ю. Фазовые диаграммы соединений при высоком давлении. М., 1983. — 280 с.
22. Сорокин В. И., Бокша С. С., Ушаковская Т. В. // Геохимия. 1984. № 1. С. 132—136.
23. Ohtani A., Seike T., Motobayashi M., Onodera A. // J. of Physics and Chemistry of Solids. 1982. Vol. 43, N 7. P. 627—632.
24. Rappoport E. // J. of Physics and Chemistry of Solids. 1966. Vol. 27, N 8. P. 1349—1363.
25. Wadhawan V. // Acta Crystallographica. 1979. Vol. 35, N 4. P. 629—633.
26. Бенделиани Н. А., Атабаева Э. Я., Агошков В. М. // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. 1983. Т. 19, № 5. С. 816—819.
27. Range K.-J., Engert G., Weiss A. // Solid State Communications. 1969. Vol. 7, N 24. P. 1749—1752.
28. Suono Y., Akimoto S.-I., Matsui Y. // J. of Solid State Chemistry. 1971. Vol. 3, N 3. P. 369—380.
29. Shannon R., Sleight A. // J. of Inorganic Chemistry. 1968. Vol. 7, N 8. P. 1649—1655.
30. Peercy P., Fritz I., Samara G. // J. of Physics and Chemistry of Solids. 1975. Vol. 36, N 10. P. 1105—1122.
31. Clark J., Rappoport E. // J. of Physics and Chemistry of Solids. 1970. Vol. 31, N 2. P. 247—254.
32. Richter P., Pistorius C. // J. of Solid State Chemistry. 1971. Vol. 3, N 2. P. 197—205.
33. Атабаева Э. Я., Бенделиани Н. А. // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. 1979. Т. 15, № 3. С. 466—469.
34. Hirotsu S. // J. of Physics. C: Solid State Physics. 1975. Vol. 8, N 1. P. L12—L16.
35. Schirrer P. // Chemical Physics. 1978. Vol. 28, N 1. P. 357—362.
36. Жданов Ю. А., Алексеев Ю. Е., Компанцева Е. В., Вергейчик Е. Н. // Успехи химии. 1992. Т. 61, № 6. С. 1025—1046.
37. Пентин Ю. А., Вилков Л. В. Физические методы исследования в химии. М., 2006. — 683 с.
38. Гиргель С. С., Шабловский Я. О. // Журн. физ. химии. 1996. Т. 70, № 12. С. 2284—2286.
39. Coe R., Paterson M. // J. of geophys. researches. 1969. Vol. 74, N 12. P. 4921—4948.
40. Савада Ш., Судзукити Т. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1977. Т. 41, № 3. С. 501—509.

Ya. O. SHABLOVSKY

STRUCTURAL GYROTROPY OF NON-POLAR ENANTHIOMORPHIC CRYSTALS

Summary

Qualitative and quantitative conformities of structural gyrotropy of non-polar enantiomorphic crystals are presented with account of their polymorphism. In particular, crystallographic nature of anisotropic actions for switching gyrotropy of low-temperature modifications of such crystals is revealed. Analytical expressions interrelating characteristics of gyration effects in the polymorphic transformation region are found.

УДК 634.737:581.19:522.4(476)

Ж. А. РУПАСОВА, И. М. ГАРАНОВИЧ,
Т. В. ШПИТАЛЬНАЯ, Р. Н. РУДАКОВСКАЯ

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПИГМЕНТНОГО ФОНДА
АССИМИЛИРУЮЩИХ ОРГАНОВ СОРТОВ КИЗИЛА
НАСТОЯЩЕГО (*CORNUS MAS L.*) УКРАИНСКОЙ СЕЛЕКЦИИ
ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ**

Центральный ботанический сад НАН Беларуси

(Поступила в редакцию 24.02.2010)

Приведены результаты сравнительного исследования в двулетнем цикле наблюдений сезонной динамики фотосинтезирующих пигментов в ассимилирующих органах природной дикорастущей формы и интродуцированных в условиях Беларуси 5 сортов *Cornus mas L.* украинской селекции (Владимирский, Выдубецкий, Евгения, Лукьяновский и Радость). Установлены отчетливые внутривидовые различия темпов накопления хлорофиллов и каротиноидов, в значительной степени определявшиеся характером погодных условий в период вегетации растений. Наиболее высокое содержание обеих форм пластидных пигментов в листьях исследуемых таксонов кизила отмечено в период завершения формирования листовых пластин, приходящийся на вторую-третью декады июня. Для природной формы кизила и для сорта Выдубецкий показано обеднение пигментного фонда пластид в течение сезона, тогда как для сортов Евгения и Радость, напротив, его пополнение к осени, на фоне отсутствия существенных сезонных изменений в нем у сортов Владимирский и Лукьяновский. На протяжении обоих сезонов устойчиво поддерживалось отставание сортового материала от дикорастущей формы кизила в суммарном содержании в листовой ткани зеленых и желтых пластидных пигментов соответственно на 16—75 и 6—64 %, при наиболее выраженных контрастах с ней, ослабевающих к осени, у сорта Выдубецкий и наименьших — у сорта Радость. В середине летнего периода для тестируемых сортов *Cornus mas L.* показано практически полное нивелирование межсезонных различий в накоплении в ассимилирующих частях фотосинтезирующих пигментов. При этом для сортового материала в большинстве случаев было характерно меньшее, чем у природной формы кизила, соотношение содержания в них хлорофиллов и каротиноидов.

Введение. Важнейшим аспектом интродукционных исследований является оценка состояния пигментного фонда ассимилирующих органов растений,

в значительной степени определяющего их фотосинтетическую продуктивность [1; 2]. При этом скорости биосинтеза и распада пигментов хлоропластов, соотношением которых регулируется их концентрация на отдельных этапах сезонного развития растений, определяются видовыми генетическими программами [3]. Вместе с тем фотохимическая система фотосинтетического аппарата, как наиболее характерная и специфическая основа его функционирования, позволяет интродуценту активно реагировать на изменение условий среды, поскольку, по мнению А. А. Ничипоровича [4], именно хлорофилл создает «запас мощности», который используется растением в процессе адаптации к новым условиям существования.

В связи с этим при изучении биологии развития интродуцированных в Беларусь сортов кизила настоящего украинской селекции, выведенных в условиях более теплого относительно Беларуси климата с жарким летом и обилием солнечных дней, особый научный и практический интерес обретает сравнительное исследование сезонной динамики фотосинтезирующих пигментов в их ассимилирующих органах, а также в таковых природной дикорастущей формы данного вида в местных условиях.

Материалы и методы исследований. Для решения поставленной задачи в 2008—2009 гг. трижды за вегетационный период определяли содержание сухих веществ по ГОСТ 8756.2-82 [5]; хлорофиллов *a* и *b* по методу Т. Н. Годнева [6]; каротина и суммы каротиноидов по методу Д. И. Сапожникова [7] в свежих усредненных пробах листьев 5 сортов *Cornus mas* L. — Владимирский, Выдубецкий, Евгения, Лукьяновский и Радость, а также его природной дикорастущей формы из коллекционного фонда Центрального ботанического сада НАН Беларуси. Все определения выполнены в трехкратной биологической повторности. Данные обработаны методами вариационной статистики с использованием программы Excel.

Результаты и их обсуждение. Полученные нами экспериментальные данные, приведенные в табл. 1, показали, что концентрация пластидных пигментов в листовой ткани исследуемых представителей генофонда *Cornus mas* L. обладает выраженной внутривидовой и сезонной изменчивостью. Наиболее высокие ее значения в условиях сезона 2008 г. характеризовали период завершения формирования листовых пластин в последней декаде июня. По нашим оценкам, суммарное содержание хлорофиллов в сухой массе листьев сортового кизила в это время варьировалось в диапазоне значений 415—625 мг%, причем у сортов Лукьяновский и Радость оно примерно в 1,5 раза было выше, чем у остальных сортов. В листовой ткани дикорастущей формы кизила суммарное содержание зеленых пластидных пигментов почти вдвое превышало таковое у наиболее высокохлорофилловых сортов и достигало 1175 мг% сухой массы.

Подобная картина характеризовала и каротиноидный комплекс исследуемых объектов, в котором суммарное содержание желтых пигментов в листовой ткани сортового материала варьировалось в диапазоне 102—141 мг% сухой массы при наибольших значениях у сортов Лукьяновский и Радость. Наиболее же высоким содержанием каротиноидов, как и хлорофиллов, характеризовались ассимилирующие органы дикорастущей формы кизила.

Таблица 1. Содержание фотосинтезирующих пигментов в асимилирующих органах исследуемых таксонов *Cornus mas* L., мг% сухой массы, 2008–2009 гг.

Таксон	Первый год исследований			Второй год исследований		
	Сумма хлорофиллов		Сумма каротиноидов	Сумма хлорофиллов		Сумма каротиноидов
	$M \pm m$	t_{cr}	$M \pm m$	$M \pm m$	t_{cr}	$M \pm m$
	26.06			16.06		
Природная форма	1174,8 ± 25,1		226,5 ± 10,2	957,1 ± 9,5		194,1 ± 0,1
С. Владимирский	414,6 ± 18,1	-24,6*	102,5 ± 3,3	563,8 ± 10,9	-11,6*	128,1 ± 4,6
С. Выдубецкий	430,6 ± 3,2	29,4*	117,3 ± 1,0	447,5 ± 7,3	-10,6*	108,2 ± 2,1
С. Евгения	458,3 ± 5,5	-27,8*	116,2 ± 1,7	802,5 ± 7,1	-10,6*	182,6 ± 4,0
С. Лукьяновский	604,2 ± 13,6	-20,0*	124,7 ± 3,1	645,4 ± 4,3	-9,5*	137,6 ± 4,1
С. Радость	625,0 ± 5,2	-21,4*	141,0 ± 2,5	996,8 ± 12,7	-8,1*	188,5 ± 0,1
	21.07			14.07		
Природная форма	991,4 ± 16,6		187,8 ± 5,0	1478,3 ± 25,8		245,2 ± 11,2
С. Владимирский	467,3 ± 22,6	-18,7*	95,7 ± 5,6	470,7 ± 6,1	-12,3*	99,9 ± 1,8
С. Выдубецкий	379,0 ± 7,2	-33,9*	89,7 ± 2,5	370,1 ± 13,5	-17,5*	90,0 ± 2,8
С. Евгения	424,8 ± 27,9	-17,5*	100,4 ± 6,3	399,7 ± 27,2	-10,8*	87,6 ± 6,6
С. Лукьяновский	595,3 ± 7,0	-22,0*	114,2 ± 3,1	523,0 ± 23,2	-12,5*	113,2 ± 4,4
С. Радость	486,9 ± 6,9	-28,1*	107,9 ± 1,0	471,7 ± 9,0	-15,7*	109,5 ± 2,1
	03.09			02.09		
Природная форма	832,3 ± 15,0		155,0 ± 0,8	904,3 ± 5,4		176,7 ± 3,1
С. Владимирский	460,2 ± 24,5	-12,9*	97,2 ± 5,0	567,0 ± 2,0	-11,4*	120,4 ± 1,3
С. Выдубецкий	294,8 ± 6,7	-32,7*	67,3 ± 1,5	378,8 ± 8,8	-52,1*	97,8 ± 1,3
С. Евгения	632,7 ± 15,0	-9,4*	137,9 ± 4,2	579,7 ± 11,3	-4,0*	116,6 ± 2,1
С. Лукьяновский	593,2 ± 39,5	-5,7*	109,8 ± 8,8	528,2 ± 3,1	-5,1*	116,8 ± 0,4
С. Радость	546,6 ± 16,1	-13,0*	124,0 ± 3,1	631,0 ± 11,5	-9,7*	150,5 ± 0,4

Примечание. * — статистически значимые по t -критерию Стьюдента различия с природной формой при $p < 0,05$.

Общеизвестно, что каротиноиды, поглощая часть энергии возбуждения хлорофилла и переходя в триплетное состояние, вовлекаются в первичные акты фотосинтеза и при этом эффективно «погашают» синглетный кислород, предохраняя тем самым светочувствительные хлорофиллы от фотоокислительных разрушений [8; 9]. Этим и объясняется тот факт, что для высокохлорофилловых таксонов кизила характерно также наиболее высокое в ряду исследуемых объектов содержание каротиноидов в листьях.

Ко времени 2-го срока отбора проб в 2008 г., пришедшегося на период завершения роста побегов и активного плодообразования в начале третьей декады июля, наблюдалось обеднение пигментного фонда листового аппарата исследуемых таксонов кизила относительно предыдущего срока на 6–23 % при наиболее выразительном снижении содержания и хлорофиллов, и каротиноидов у его дикорастущей формы, а также у сортов Выдубецкий и Радость. С одной стороны, это может быть связано с активизацией биопродукционного процесса в вегетативной сфере растений и обусловленным ею «эффектом разбавления» пигментов органической массой ассимилирующих органов, возрастающей в большей мере, чем количество хлорофиллов; с другой — увеличением уровня освещенности, по сравнению с предыдущим месяцем, характеризовавшимся преимущественно пасмурной погодой, поскольку общеизвестна обратная взаимосвязь между уровнем освещенности и содержанием пластидных пигментов в ассимилирующих органах [3].

В начале сентября, во время 3-го срока отбора проб, пришедшегося на период созревания урожая плодов кизила, в ассимилирующих органах его дикорастущей формы и сорта Выдубецкий отмечено дальнейшее снижение, относительно предыдущего срока наблюдений, содержания хлорофиллов на 16 и 22 % и каротиноидов на 17 и 25 %. В результате этого относительные размеры снижения у них данных показателей за период вегетации в целом составили 29, 32 % и 32, 43 % соответственно. В отличие от данных объектов, для сортов Владимирский и Лукьяновский была показана отчетливая стабилизация уровней накопления в листьях обеих форм пластидных пигментов, а у сортов Евгения и Радость, более того, наблюдалось существенное пополнение пигментного фонда пластид, на что указывало увеличение в них общего содержания хлорофиллов относительно предыдущего срока на 49 и 12 % соответственно; каротиноидов — на 37 и 15 %. Это свидетельствует о наибольшей в ряду исследуемых таксонов *Cornus mas* L. продолжительности периода формирования пигментного фонда пластид у сортов Евгения и Радость. При этом у первого из них за весь период наблюдений произошло существенное увеличение в листьях содержания хлорофиллов и каротиноидов на 38 и 19 % соответственно. Еще одним сортом, обнаружившим усиление накопления в листьях хлорофиллов на 11 % в данный период, на фоне отсутствия изменений в содержании каротиноидов в течение сезона, был сорт Владимирский. Отсутствием сезонных изменений в содержании зеленых пигментов характеризовался сорт Лукьяновский.

Как было показано выше, в условиях сезона 2008 г. на протяжении всего периода активной вегетации *Cornus mas* L. содержание фотосинтезирующих пигментов в листьях сортового материала существенно уступало таковому

в листьях его дикорастущей природной формы. Поскольку все исследуемые таксоны данного вида интродуцированы из одного и того же региона и уже прошли весьма длительный период адаптации к местным условиям, то указанные различия не могут быть обусловлены лишь индивидуальной спецификой их приспособительной реакции. Скорее всего, столь выразительные различия в состоянии пигментного фонда дикорастущего и сортового материала кизила настоящего связаны с влиянием на него селекционного процесса.

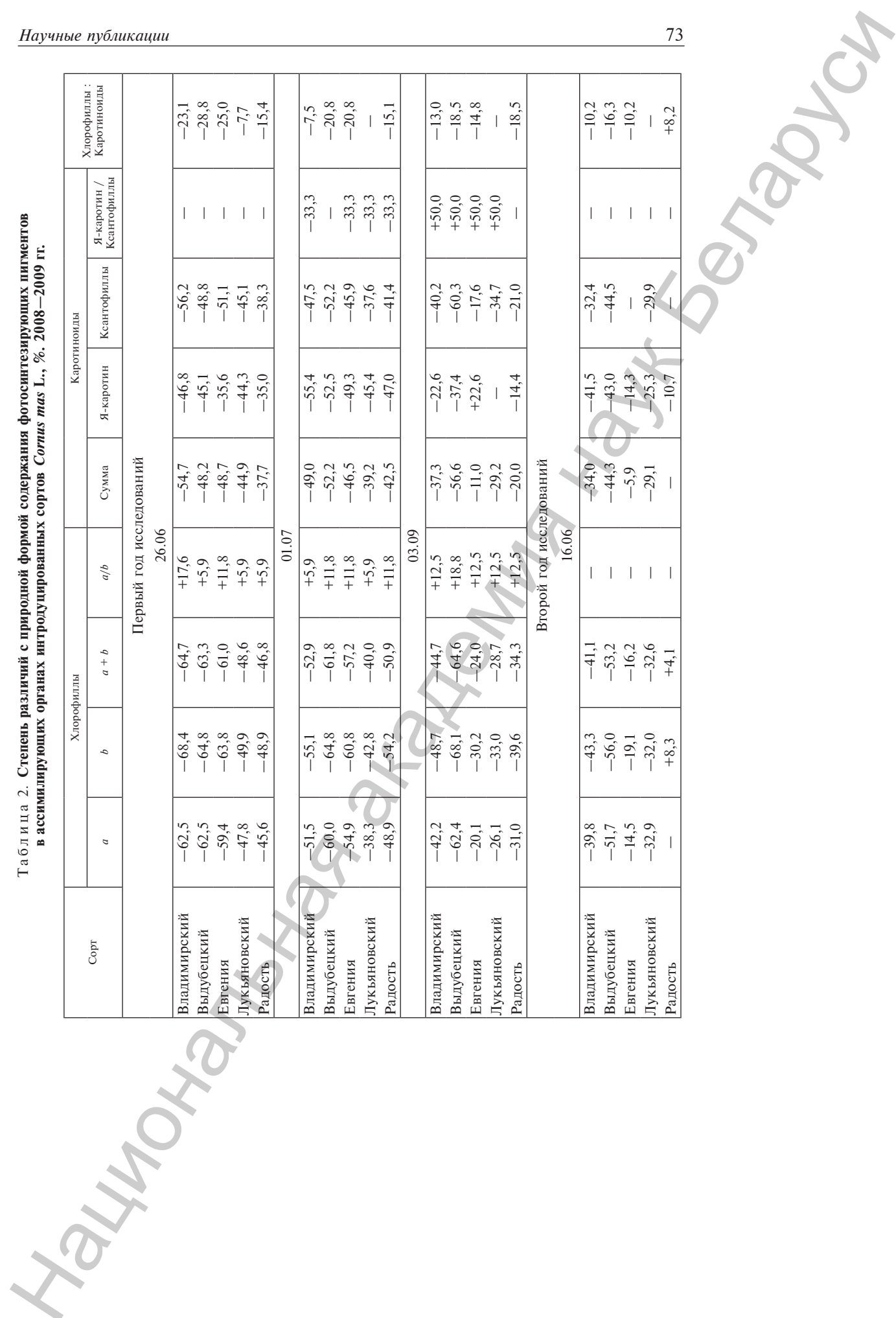
Наиболее объективное представление о степени данных внутривидовых различий можно составить на основании данных табл. 2, свидетельствующих о том, что на протяжении всего вегетационного периода 2008 г. устойчиво поддерживалось отставание сортового материала от дикорастущей формы кизила настоящего на 40–65 % в суммарном содержании в листьях хлорофиллов и на 38–55 % в суммарном содержании каротиноидов, при наиболее выразительных контрастах с ним у сортов Владимирский, Выдубецкий и Евгения. При этом весь сортовой материал характеризовался на 6–18 % более высокими, чем у природной формы, значениями соотношения пулов хлорофиллов *a* и *b*, но при этом на 33 % более низкими значениями соотношения содержания β -каротина и ксантофиллов (второй срок наблюдений) и на 50 % более высокими его значениями в конце сезона.

В условиях сезона 2009 г., как и в предыдущий год наблюдений, наиболее высокая концентрация пластидных пигментов в листовой ткани исследуемых сортов *Cornus mas* L. была установлена в период завершения формирования листовых пластин, пришедшийся на середину июня (см. табл. 1). Напомним, что годом ранее, из-за затяжной весны, этот этап в сезонном развитии растений оказался смещенным на более поздние сроки — на последнюю декаду июня. По нашим оценкам, суммарное содержание хлорофиллов в листьях сортового кизила в это время варьировалось в диапазоне более высоких, чем в предыдущем сезоне, значений от 447 до 997 мг% сухой массы, что однозначно указывало на более благоприятный для их биосинтеза характер погодных условий во второй год наблюдений. Наиболее высоким содержанием хлорофиллов в листовой ткани в это время, как и годом ранее, характеризовался сорт Радость, однако второй высокохлорофилловый сорт Лукьяновский в данном сезоне уступил свои лидирующие в этом плане позиции сорту Евгения, что свидетельствовало об усилении у последнего потенциала фотосинтеза. При этом наименьшим содержанием зеленых пигментов в ассимилирующих органах по-прежнему был отмечен сорт Выдубецкий.

В отличие от сортового материала, у природной дикорастущей формы кизила, характеризовавшейся годом ранее наибольшим в ряду исследуемых таксонов накоплением в листьях хлорофиллов, биосинтез последних во втором сезоне на данном этапе наблюдений протекал с меньшей интенсивностью, чем в первом, что обусловило менее выраженные контрасты с тестируемыми таксонами кизила по этому признаку (табл. 2). Для сравнения покажем, что если годом ранее в это время величина превышения суммарной концентрации хлорофиллов в листьях природной формы кизила относительно таковой большинства его сортов составляла 47–65 %, то в условиях сезона 2009 г. она уменьшилась до 16–53 %, при наибольших различиях с сортом Выдубецкий.

Таблица 2. Степень различий с природной формой содержания фотосинтезирующих пигментов в ассимилирующих органах интродуцированных сортов *Sonchus oleraceus* L., %. 2008—2009 гг.

Сорт	Хлорофиллы			Каротиноиды				Хлорофиллы : Каротиноиды	
	a	b	a + b	a/b	Сумма	Я-каротин	Ксантофиллы		Я-каротин / Ксантофиллы
Первый год исследований									
26.06									
Владимирский	-62,5	-68,4	-64,7	+17,6	-54,7	-46,8	-56,2	-	-23,1
Выдубецкий	-62,5	-64,8	-63,3	+5,9	-48,2	-45,1	-48,8	-	-28,8
Евгения	-59,4	-63,8	-61,0	+11,8	-48,7	-35,6	-51,1	-	-25,0
Лукьяновский	-47,8	-49,9	-48,6	+5,9	-44,9	-44,3	-45,1	-	-7,7
Радость	-45,6	-48,9	-46,8	+5,9	-37,7	-35,0	-38,3	-	-15,4
01.07									
Владимирский	-51,5	-55,1	-52,9	+5,9	-49,0	-55,4	-47,5	-33,3	-7,5
Выдубецкий	-60,0	-64,8	-61,8	+11,8	-52,2	-52,5	-52,2	-	-20,8
Евгения	-54,9	-60,8	-57,2	+11,8	-46,5	-49,3	-45,9	-33,3	-20,8
Лукьяновский	-38,3	-42,8	-40,0	+5,9	-39,2	-45,4	-37,6	-33,3	-
Радость	-48,9	-54,2	-50,9	+11,8	-42,5	-47,0	-41,4	-33,3	-15,1
03.09									
Владимирский	-42,2	-48,7	-44,7	+12,5	-37,3	-22,6	-40,2	+50,0	-13,0
Выдубецкий	-62,4	-68,1	-64,6	+18,8	-56,6	-37,4	-60,3	+50,0	-18,5
Евгения	-20,1	-30,2	-24,0	+12,5	-11,0	+22,6	-17,6	+50,0	-14,8
Лукьяновский	-26,1	-33,0	-28,7	+12,5	-29,2	-	-34,7	+50,0	-
Радость	-31,0	-39,6	-34,3	+12,5	-20,0	-14,4	-21,0	-	-18,5
Второй год исследований									
16.06									
Владимирский	-39,8	-43,3	-41,1	-	-34,0	-41,5	-32,4	-	-10,2
Выдубецкий	-51,7	-56,0	-53,2	-	-44,3	-43,0	-44,5	-	-16,3
Евгения	-14,5	-19,1	-16,2	-	-5,9	-14,3	-	-	-10,2
Лукьяновский	-32,9	-32,0	-32,6	-	-29,1	-25,3	-29,9	-	-
Радость	-	+8,3	+4,1	-	-	-10,7	-	-	+8,2



Окончание табл. 2

Сорт	Хлорофиллы				a/b	Каротиноиды				Хлорофиллы : Каротиноиды
	a	b	a + b	a/b		Сумма	Я-каротин	Ксантофиллы	Я-каротин / Ксантофиллы	
Владимирский	-66,1	-71,4	-68,2	+18,8	-59,3	-64,0	-57,9	-33,3	-21,7	
Выдубецкий	-73,3	-77,7	-75,0	+18,8	-63,3	-63,6	-63,2	—	-31,7	
Евгения	-71,4	-75,5	-73,0	+18,8	-64,3	-68,7	-63,0	-33,3	-23,3	
Лукьяновский	-62,6	-67,9	-64,6	+18,8	-53,8	-67,2	-50,1	-33,3	-23,3	
Радость	-66,0	-71,5	-68,1	+18,8	-55,3	-49,5	-57,0	—	-28,3	
Владимирский	-35,4	-40,6	-37,3	+5,9	-31,9	-24,1	-34,1	—	-7,8	
Выдубецкий	-56,5	-60,8	-58,1	+11,8	-44,6	—	-56,4	+100,0	-23,5	
Евгения	-34,5	-38,2	-35,9	+5,9	-34,0	-15,0	-39,5	+33,3	—	
Лукьяновский	-39,9	-44,5	-41,6	+5,9	-33,9	-37,6	-32,8	—	-11,8	
Радость	-28,4	-33,3	-30,2	+5,9	-14,8	-28,6	-10,8	-33,3	-17,6	

Примечание. Прочерк означает отсутствие статистически значимых по *t*-критерию Стьюдента различий при $p < 0,05$.

При этом для сорта Радость было показано даже незначительное превышение эталонного уровня содержания зеленых пигментов в листовой ткани.

Весьма схожая с этой картина в середине июня во второй год наблюдений характеризовала и каротиноидный комплекс исследуемых сортов *Cornus mas* L., для которого, как и для хлорофиллового, также было показано смещение суммарного содержания желтых пигментов в их ассимилирующих органах в область более высоких значений — до 108—194 мг% сухой массы против 102—141 мг% в предыдущем сезоне, при наибольшей их концентрации у сортов Радость и Евгения, а также у природной формы. Подобно тому, как это имело место в комплексе зеленых пигментов, здесь также наблюдалось усиление их биосинтеза в листовой ткани большинства сортов кизила, на фоне его ослабления в таковой природной формы, что уменьшало контрастность их различий в общем содержании желтых пигментов до 6—44 % против 38—55 % в предыдущем сезоне (табл. 2).

Вместе с тем ответная реакция исследуемых таксонов кизила на изменение погодных условий при формировании пигментного фонда пластид в середине июня проявилась в разной степени, на что указывает неадекватность проявления межсезонных различий в содержании в их листовой ткани и хлорофиллов, и каротиноидов (табл. 3). Обращает на себя внимание противоположная направленность данных различий у природной формы и сортового мате-

риала. Так, если в первом случае в условиях сезона 2009 г. наблюдалось снижение концентраций и тех и других в листовой ткани относительно предыдущего сезона на 18 и 14 %, то во втором, напротив, было показано их увеличение соответственно на 4—75 % и 10—57 %. При этом в ряду испытывавшихся сортов кизила весьма контрастно обозначились генотипические различия относительных размеров данного увеличения. Наименее выразительно они проявились у сортов Лукьяновский и особенно Выдубецкий, причем для содержания каротиноидов в листовой ткани последнего межсезонные различия, как и у природной формы кизила, имели отрицательную направленность. Наибольшими размерами превышения прошлогодних значений параметров накопления и зеленых, и желтых фотосинтезирующих пигментов отличались сорта Радость и особенно Евгения.

Вместе с тем на 1-м этапе наблюдений в условиях сезона 2009 г., в отличие от предыдущего, заметно уменьшились различия между природной формой кизила и сортовым материалом в соотношении зеленых и желтых пластидных пигментов, а в соотношении хлорофиллов *a* и *b* они не проявились вовсе.

Ко времени 2-го отбора проб в середине июля произошло аналогичное наблюдавшемуся в предыдущем сезоне, но выраженное в большей степени, обеднение пигментного фонда пластид ассимилирующих органов всех исследованных сортов *Cornus mas* L., на что указывало снижение в их сухой массе за период, прошедший после 1-го отбора проб, общего количества хлорофиллов до 370—523 мг% и каротиноидов до 87—113 мг% (в целом на 16—53 %), при наиболее выразительном его проявлении у сортов Евгения и Радость (см. табл. 1). Напомним, что для второго сорта и годом ранее в указанный период было отмечено наиболее значительное среди сортового материала снижение содержания фотосинтезирующих пигментов в листовой ткани. Увеличение темпов снижения содержания зеленых и желтых пластидных пигментов в ассимилирующих органах сортового материала в данный период во второй год наблюдений обусловлено, на наш взгляд, более интенсивным, чем годом ранее, формированием вегетативной массы растений кизила и соответственно более выраженным «эффектом разбавления» пигментов, чему в немалой степени способствовал характер погодных условий с обилием осадков и умеренным температурным фоном. В результате этого, несмотря на показанные выше существенные межсезонные различия в содержании фотосинтезирующих пигментов в листьях сортового материала на 1-м этапе отбора проб, ко времени их 2-го отбора произошло практически полное нивелирование указанных различий (см. табл. 3).

Во второй половине лета в характере динамики фотосинтезирующих пигментов в листовой ткани большинства сортов кизила обозначились заметные различия с аналогичным периодом предыдущего года. Лишь у двух сортов — Евгения и Радость, как и годом ранее, к началу осени наблюдалось увеличение концентрации в ней хлорофиллов, относительно предыдущего срока, на 45 и 34 % соответственно (см. табл. 1), что свидетельствовало об устойчивости по годам данной тенденции. Пополнение фонда зеленых пигментов в этот период на 20 % отмечено также и у сорта Владимирский. У сортов же Выдубецкий и Лукьяновский сколь-либо выраженных изменений относительно

предыдущего срока в содержании в листьях зеленых пигментов не выявлено. Что касается каротиноидов, то лишь в листьях сорта Радость было показано аналогичное имевшему место годом ранее в данный период увеличение их концентрации. У остальных сортов кизила, за исключением сорта Евгения, во второй год наблюдений так же, как и у сорта Радость, была отмечена активизация в листовой ткани биосинтеза желтых пигментов.

В результате этого в конце вегетационного периода (начало сентября) содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях сортов Владимирский, Выдубецкий и Радость оказалось выше, чем в аналогичный период предыдущего года, на 15—28 и 21—45 % соответственно (см. табл. 3). У сорта Евгения их содержание уступало таковому в предыдущем сезоне на 8 и 15 %, тогда как у сорта Лукьяновский подобное снижение было отмечено лишь для содержания хлорофиллов.

В отличие от сортового материала *Cornus mas* L., обогащение пигментного фонда листьев его природной дикорастущей формы во 2-м сезоне носило более пролонгированный, чем в предыдущем сезоне, характер, и наибольшие

Таблица 3. Величина межсезонных различий (2009 г. относительно 2008 г.) в содержании фотосинтезирующих пигментов в ассимилирующих органах исследуемых таксонов *Cornus mas* L., %

Таксон кизила настоящего	Хлорофиллы			Каротиноиды		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a + b</i>	Сумма	Я-каротин	Ксантофиллы
Июнь						
Природная форма	−17,5	−20,2	−18,5	−14,3	−8,1	−15,5
С. Владимирский	+32,4	+43,2	+36,0	+25,0	—	+30,5
С. Выдубецкий	+6,2	—	+3,9	−7,8	−4,6	−8,4
С. Евгения	+73,5	+78,2	+75,1	+57,1	+22,2	+65,6
С. Лукьяновский	+6,0	+8,2	+6,8	+10,3	+23,1	+7,9
С. Радость	+54,2	+68,9	+59,5	+33,7	+26,3	+35,1
Июль						
Природная форма	+47,1	+52,5	+49,1	+30,6	+38,6	+28,4
С. Владимирский	—	—	—	—	—	—
С. Выдубецкий	—	—	—	—	—	—
С. Евгения	−6,6	—	—	—	—	—
С. Лукьяновский	−10,8	−14,5	−12,1	—	−16,7	—
С. Радость	—	—	—	—	+32,0	—
Сентябрь						
Природная форма	+11,0	+4,9	+8,6	+14,0	+55,2	+5,9
С. Владимирский	+24,1	+21,6	+23,2	+23,9	+52,3	+16,6
С. Выдубецкий	+28,2	+29,0	+28,5	+45,3	+137,3	+16,2
С. Евгения	−9,0	−7,2	−8,4	−15,4	+7,6	−22,3
С. Лукьяновский	−9,7	−13,2	−11,0	+6,4	—	+8,9
С. Радость	+15,2	+15,8	+15,4	+21,4	+29,5	+19,6

Примечание. Прочерк означает отсутствие статистически значимых по *t*-критерию Стьюдента различий при $p < 0,05$.

значения параметров накопления хлорофиллов и каротиноидов, составившие соответственно 1478 и 245 мг% сухой массы, были достигнуты лишь ко времени 2-го отбора проб в середине июля, что обусловило смену ориентации межсезонных различий в их накоплении относительно предыдущего этапа (см. табл. 1, 3). На фоне показанного выше существенного снижения в это время содержания фотосинтезирующих пигментов в листьях сортового материала, данное обстоятельство привело к максимальному за вегетацию увеличению разрыва между ними в содержании хлорофиллов до 65–75 % и каротиноидов до 54–64 % (см. табл. 2). При этом суммарное содержание первых в листовой ткани природной формы кизила превышало таковое в предыдущем сезоне почти на 50 %, вторых — на 30 %.

К началу сентября содержание и зеленых, и желтых фотосинтезирующих пигментов в листовой ткани природной дикорастущей формы *Cornus mas* L. снизилось, относительно предыдущего срока, на 39 и 28 % соответственно (табл. 1), что на фоне показанного выше увеличения их концентраций в такой сортовой материал обусловило заметное сокращение расхождений между ней и тестируемыми сортами в их накоплении (см. табл. 2). При этом наименее выразительные контрасты в этом плане, как и в 1-й срок наблюдений, были установлены с сортом Радость. Вместе с тем, как и в середине лета, содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях природной формы кизила превышало прошлогодние значения, но при этом межсезонные различия в их накоплении оказались существенно меньше и составляли не более 9 и 14 % соответственно (табл. 3). При этом было отмечено сохранение установленного на предыдущем этапе развития растений превышения соотношения содержания хлорофиллов *a* и *b* в листьях сортового материала относительно природной формы кизила и более узкого, чем у нее, соотношения содержания зеленых и желтых пигментов (см. табл. 2).

Заключение. Таким образом, в результате сравнительного исследования в 2008–2009 гг. сезонной динамики фотосинтезирующих пигментов в ассимилирующих органах природной дикорастущей формы и интродуцированных в условиях Беларуси 5 сортов *Cornus mas* L. украинской селекции (Владимирский, Выдубецкий, Евгения, Лукьяновский и Радость) были установлены отчетливые внутривидовые различия темпов накопления хлорофиллов и каротиноидов, в значительной степени определявшиеся характером погодных условий в период вегетации растений. Наиболее высокое содержание обеих форм пластидных пигментов в листьях исследуемых таксонов кизила отмечено в период завершения формирования листовых пластин, приходящийся на вторую-третью декады июня. Для его природной формы, как и для сорта Выдубецкий, показано обеднение пигментного фонда пластид в течение сезона, тогда как для сортов Евгения и Радость, напротив, его пополнение к осени на фоне отсутствия существенных сезонных изменений в нем у сортов Владимирский и Лукьяновский. На протяжении обоих сезонов устойчиво поддерживалось отставание сортового материала от дикорастущей формы кизила в суммарном содержании в листовой ткани зеленых и желтых пластидных пигментов соответственно на 16–75 и 6–64 %, при наиболее выраженных контрастах с ней, ослабевающих к осени, в большинстве случаев у сорта

Выдубецкий и наименьших — у сорта Радость. В середине летнего периода для тестируемых сортов *Cornus mas* L. показано практически полное нивелирование межсезонных различий в накоплении в ассимилирующих частях фотосинтезирующих пигментов. При этом для сортового материала в большинстве случаев было характерно более узкое, чем у природной формы кизила, соотношение хлорофиллов и каротиноидов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Б08-057).

Литература

1. Лебедев С. И., Литвиненко Л. Г. // Физиология и биохимия культурных растений. 1970. Т. 2, вып. 1. С. 46—51.
2. Лесные ландшафты Беларуси / Под общ. ред. Е. А. Сидоровича. Минск, 1992. — 279 с.
3. Красичкова Г. В., Асоева Л. М., Гиллер Ю. Е., Сангинов Б. С. // Докл. АН Тадж. ССР. 1985. Т. 28, № 6. С. 363—365.
4. Ничипорович А. А. // Физиология фотосинтеза. М., 1982. С. 7—33.
5. ГОСТ 8756.2-82. Методы определения сухих веществ. М., 1982. — 5 с.
6. Годнев Т. Н. Строение хлорофилла и методы его количественного определения. Минск, 1952. — 163 с.
7. Гавриленко В. Ф., Ладыгина М. Е., Хандобина Л. М. Большой практикум по физиологии растений. М., 1975. — 392 с.
8. Goodwin T. W. // Plants. L.N.Y. 1980. Vol. 1. — 377 p.
9. Maroti P., Laczko G., Szalay L. // Wiss. L. Humboldt-Univ. Berlin. Math.—Naturwiss. K. 1984. Vol. 33, N 4. P. 297—298.

J. A. RUPASOVA, I. M. GARANOVICH, T. M. SHPITALNAYA,
R. N. RUDAKOVSKAYA

PECULIARITIES OF FORMATION OF PIGMENT FUND OF ASSIMILATING ORGANS OF *CORNUS MAS* L. OF UKRAINIAN SELECTION IN CONDITIONS OF BELARUS

Summary

Results of a comparative study of two-year observations of seasonal dynamics of photosynthetic pigments in assimilating organs of *Cornus mas* L. natural wild form and 5 sorts of Ukrainian selection introduced in Belarus (Vladimirskiy, Vydubetskiy, Evgenia, Lukianovskiy, Radost) have been presented. Distinct intraspecific differences in chlorophylls and carotenoids accumulation speed have been established. The differences were largely determined by weather conditions during the plants vegetation period. The greatest content of both forms of plastid pigments in the leaves of cornel taxa studied was marked in the period of completion of laminae formation, which is the second / the third ten days of June. The natural form of cornel and Vydubetskiy sort showed depletion of plastids pigment fund during the season, while Evgenia and Radost sorts, on the contrary, its enrichment towards autumn. Vladimirskiy and Lukianovskiy sorts showed no considerable seasonal changes. Both seasons are changelessly characterized by a lag of varietal material from the wild form of cornel in the total content of green and yellow plastid pigments in leaf tissue (16—75 % and 6—64 %, correspondingly). The greatest contrasts, degreasing towards autumn, were observed in Vydubetskiy sort, the smallest ones in Radost sort. In the middle of summer the tested sorts of *Cornus mas* L. showed a nearly complete leveling of interseasonal differences in photosynthetic pigments accumulation in assimilating parts. At that varietal material was mostly characterized by a narrower ratio of chlorophylls and carotenoids than that of the natural form of cornel.

УДК 535.36

В. В. БАРУН¹, А. П. ИВАНОВ¹, В. Г. ПЕТРУК²,
С. М. КВАТЕРНЮК²

**РАЗВИТИЕ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ
БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ ПО РАССЕЯННОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ.
II. ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ И ПРОСТРАНСТВЕННО-
РАЗРЕШЕННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ**

¹Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси

²Винницкий национальный технический университет

(Поступила в редакцию 17.06.2010)

Предложено решение обратной задачи восстановления структурных и биофизических параметров кожи по спектрам коэффициентов яркости поляризованного света и пространственно-разрешенным спектральным характеристикам излучения, рассеянного тканью. Искомыми параметрами являются объемные концентрации меланина и капилляров, толщина эпидермиса, средний диаметр капилляров и степень оксигенации крови. Результаты их восстановления сопоставлены с методикой на основе спектров коэффициента диффузного отражения. Показано, что решение обратной задачи на основе поляризационных экспериментов устойчивее к погрешностям измерений, но не дает существенного выигрыша в чувствительности к указанным параметрам по сравнению с коэффициентами отражения. Наиболее предпочтительной оказалась спектроскопическая методика с пространственным разрешением, которая устойчива к погрешностям, обладает существенно более высокой чувствительностью к степени оксигенации крови и среднему диаметру капилляров и позволяет восстановить все искомые параметры кожи с приемлемой для практики точностью.

Введение. Ранее в работе [1] предложена комплексная методика определения структурных и биофизических параметров кожного покрова человека по спектрам коэффициента диффузного отражения света биотканью. Данная статья посвящена развитию полученных результатов на предмет использования других характеристик рассеянного излучения для диагностики параметров кожи и выявления преимуществ и недостатков различных методик. Научная идея исследований заключается во взаимодополняющем сочетании измерений спектров диффузно отраженного света, пространственно-угловой структуры рассеянного излучения и его поляризационных характеристик для расширения возможностей неинвазивной оптической диагностики биологи-

ческих тканей, увеличения числа диагностируемых структурных и биофизических параметров, уменьшения погрешности их определения и выбора наиболее эффективной методики решения обратной задачи. Среди целей работы — создание комплексной интерактивной информационно-измерительной системы (ИИС), ее методологического и программного обеспечения для спектрофотометрической и поляриметрической диагностики нормальных и патологически измененных биологических тканей. Принципиально новой отличительной чертой ИИС является возможность комплексных измерений интегральных и дифференциальных характеристик рассеянных световых полей в различных участках спектра с учетом поляризационных эффектов.

Постановка задачи. Почему важно создать методики именно неинвазивной диагностики? Среди основных причин — несомненные достоинства таких методик, а именно — их неразрушающий характер, безболезненность процедур, быстрое получение результатов, отсутствие дорогостоящих реактивов и расходных материалов. Объект исследования при диагностике подвергается минимальному внешнему воздействию и практически не меняет свои структурные, биофизические и оптические свойства. Именно такими принципиальными преимуществами обладают оптические методы. Наиболее распространенными среди них являются измерения спектров коэффициента диффузного отражения (КДО) [1–8] света биотканями и гуморальными средами (в основном, кровью) и пространственно-разрешенная спектроскопия биообъектов [2; 3; 9; 10]. Однако оба этих подхода часто применяют для диагностики лишь отдельных параметров среды, не дающих полной картины формирования световых полей в биотканях.

Комплексный подход к решению обратной спектроскопической задачи в условиях многократного рассеяния света — восстановление объемных концентраций меланина f и кровеносных сосудов (капилляров) C_v , толщины эпидермиса d , степени оксигенации крови S и среднего диаметра капилляров D — был предпринят в [1; 8] на основе спектров КДО $R(\lambda)$. В этих работах показано, что чувствительность КДО к S довольно низкая, а определить D из соответствующих зависимостей возможно лишь для крупных капилляров. Поэтому основной задачей ставилось исследование чувствительности других оптических характеристик излучения — спектров коэффициента яркости (КЯ) обратно рассеянного поляризованного света и световых потоков, выходящих с поверхности среды на некотором удалении от источника. В биомедицинской оптике традиционно эти два спектроскопических подхода называют поляризационной и пространственно-разрешенной методиками соответственно. В качестве исследуемой среды была выбрана кожа человека. В такой комплексной постановке, связанной с диагностикой многих оптически значимых параметров кожи на основе различных экспериментальных схем, указанная обратная задача в настоящее время не решена.

Поляризационная диагностика параметров кожи. Структурные, биофизические и оптические параметры кожи, а также ссылки на публикации даны в [1].

Известно [11; 12] использование поляризации рассеянного излучения для «отсечки» светового сигнала, пришедшего из условно ближних и дальних

участков среды. Этот эффект применяется в системах наблюдения через геофизические среды (атмосферу, морские или океанские воды) для увеличения контраста лоцируемого объекта и увеличения дальности его видимости. Применительно к задачам диагностики учет особенностей состояния поляризации света, рассеянного биологическими тканями, пока не получил широкого развития и применения. Между тем, возможной сферой приложения поляризационных эффектов является отделение светового сигнала, проходящего из рогового слоя и эпидермиса, от излучения, рассеянного дермой [13]. Физической причиной такого разделения является то, что свет от двух верхних слоев кожи обусловлен низкими кратностями рассеяния и, следовательно, в достаточной степени поляризован, тогда как излучение от дермы практически деполаризовано из-за сильно развитого многократного рассеяния [12]. Что это дает для задач диагностики будет показано ниже.

Рассмотрим схему измерения световых потоков в малом телесном угле (КЯ) при освещении среды по нормали линейно поляризованным излучением и наблюдении в обратном направлении. Для оценок возможностей поляризационного зондирования биологических объектов сделаем два упрощающих предположения. Во-первых, считаем, что многократно рассеянное излучение является практически диффузным, так что его КЯ совпадает с КДО многократно рассеянного света, $B^{(m)}(\lambda) = R(\lambda) - R^{(1)}(\lambda)$, где $R^{(1)}$ — КДО кожи, обусловленный однократно рассеянным светом. Отметим, что в отношении однократно рассеянного излучения предположений о его диффузности не делается, и эта компонента светового поля рассчитывается с учетом его реальной угловой структуры. Данное предположение позволяет использовать полученные ранее формулы [14; 15] для R при вычислении КЯ. Во-вторых, полагаем, что многократно рассеянный свет полностью деполаризован. Аналогичное предположение использовано, например, в [13] для разделения рассеянного излучения от приповерхностных и глубинных участков кожи и в [20] для детектирования поляризованного света от здоровых (малого размера) клеток биоткани на фоне деполаризованного излучения, рассеянного опухолевыми клетками. С учетом сделанных предположений, КЯ кополяризованного излучения (с таким же состоянием поляризации, как у освещающего пучка) есть $B_{\parallel} = B^{(1)} + 0,5B^{(m)}$, где $B^{(1)}$ — КЯ однократно рассеянного света. Аналогично, КЯ кроссполаризованного излучения (с ортогональным состоянием поляризации) $B_{\perp} = 0,5B^{(m)}$. Таким образом, измеряя B_{\parallel} и B_{\perp} , возможно разделить однократно и многократно рассеянное излучение. Аналитические формулы для $B^{(m)}$ и $B^{(1)}$ даны в [14; 15]. Отметим, что они позволяют прямо связать КЯ с искомыми структурными и биофизическими параметрами кожи аналогично [8]. Эти связи использованы для оценки возможностей поляризационной диагностики биологических тканей.

Расчеты КЯ $B^{(m)}$ показали, что как и КДО [1], эта величина при $\lambda \geq 500$ нм определяется, в основном, произведением $f \cdot d$ и слабо зависит от f и d по отдельности. Для определения C_V и произведения $f \cdot d$ в качестве «измеряемой» оптической характеристик предпочтительнее взять $B^{(m)}$ на изобестических длинах волн $\lambda = 570$ и 800 нм. В этом случае зависимость $B^{(m)}$ от fd менее существенная, чем при других λ . Рис. 1 иллюстрирует графическое решение

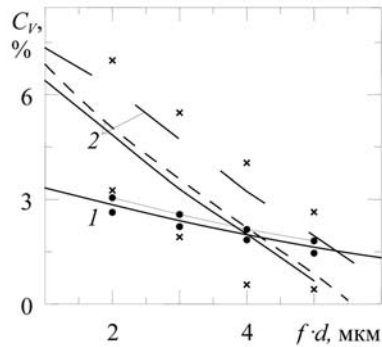


Рис. 1. Графическое решение двух трансцендентных уравнений относительно C_V и $f \cdot d$ по известным значениям КЯ многократно рассеянного при $\lambda = 570$ (1) и 800 нм (2), $\delta = 1$ (сплошные кривые), 5 (пунктирные) и 10 % (штриховые); символы — максимальные и минимальные экспериментальные реализации при $\lambda = 570$ нм (\bullet) и 800 нм (\times), $\delta = 5$ %

двух трансцендентных уравнений, записанных относительно КЯ $B^{(m)}$ при $\lambda = 570$ и 800 нм как функции двух неизвестных C_V и $f \cdot d$. Сравнение с методикой восстановления этих параметров по КДО [1] показывает, что чувствительность КЯ многократно рассеянного света к C_V и $f \cdot d$ (определяемая углом пересечения соответствующих кривых) примерно такая же, как и у $R(\lambda)$. Причины этого будут указаны ниже. На рис. 2 показано также влияние промоделированных относительных экспериментальных погрешностей δ определения $B^{(m)}$ в интервале δ от 1 до 10 %. Как видно, при $\delta < 5$ % решение обратной задачи устойчиво к измерительным ошибкам. Например, при $\delta = 5$ % вместо истинных значений $C_V = 0,02$ и $f \cdot d = 4$ мкм получаем соответственно $0,0195$ и $4,2$ мкм. При увеличении погрешности, $\delta \geq 10$ %, восстановление искомым параметров по $B^{(m)}$ проблематично. Отметим, что устойчивость восстановления C_V и $f \cdot d$ по КДО к экспериментальным ошибкам несколько хуже [8].

Определение концентрации меланина f и толщины эпидермиса d по отдельности, степени оксигенации крови и среднего диаметра капилляров с использованием поляризованного света не имеет явных особенностей по сравнению с измерением КДО. Чувствительность решения обратной задачи в этих двух случаях примерно одинакова.

В таблице сопоставлены средние погрешности восстановления d , f и C_V по поляризационной методике и спектрам КДО. Видно, что в целом поляризованное излучение позволяет несколько снизить ошибку диагностики, но это

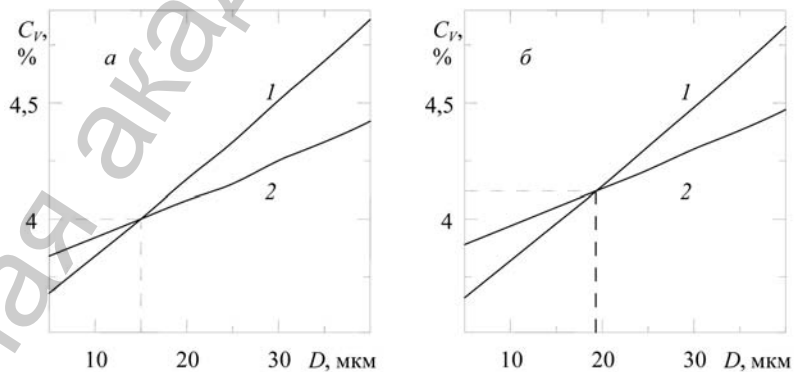


Рис. 2. Графическое решение двух трансцендентных уравнений относительно C_V и D по известным значениям отношения ω плотности излучения при $r = 2$ и 3 мм; $\delta = 1$ % (а) и 10 % (б), $\lambda = 500$ (1) и 570 нм (2); $C_V = 0,04$; $D = 15$ мкм

уменьшение не очень существенно. Рассмотрим причины этого. Выше отмечалось, что знание коэффициентов яркости однократно и многократно рассеянного света позволяет разделить оптические сигналы, приходящие из «ближней» и «дальней» зон среды. Однако в синей области обратно рассеянный свет и так поступает из «ближней» зоны из-за большого поглощения ткани, а в красной преобладает излучение, отраженное дермой, из-за малых оптических толщин рогового слоя и эпидермиса. Поэтому в реальных условиях коэффициенты $B^{(1)}$ и $B^{(m)}$ спектрально разделены, и указанная поляризационная «отсечка» лишь незначительно сказывается на принципиальных возможностях и погрешности диагностики.

Сравнение средних относительных погрешностей восстановления d , f и C_V с использованием поляризованного света (верхнее число в каждой клетке) и КДО (нижнее число) при различных погрешностях δ измерений

δ , %	δd_2 , %	δf , %	δC_V , %
1	0,9	1,9	0,3
	1,6	1,7	1,8
2	1	1,8	1,2
	2,2	1,6	1,4
5	1	2,5	1,2
	2,9	3,5	1,8

Пространственно-разрешенная спектроскопия. Для описания характеристик рассеянного света в биотканях часто используют диффузионное приближение теории переноса излучения для однородной среды [2; 4; 11] или среды с освещенной отражающей границей [11; 16]. Пределы его применимости оценены, например, в [11]. Известны также аналитические решения уравнения диффузии для слоистой среды [17; 18]. Однако они имеют громоздкий вид, и поэтому их использование для решения обратной задачи не очень удобно. Ниже воспользуемся результатами [16]. С этой целью заменим структуру, включающую границу раздела поверхности кожи с воздухом, роговой слой и эпидермис, одним слоем. Обозначим коэффициент его отражения при освещении изнутри среды диффузным светом через ρ^* . Методика расчета ρ^* изложена в [14; 15]. Теперь задача нахождения характеристик рассеянного света в приповерхностной области кожи сводится к расчету светового поля в однослойной среде (дерме) с отражающей границей. Обозначим показатель поглощения дермы и эффективный показатель ослабления через μ_a и μ_e ($\mu_e = \mu'_e (1 - g)$, где μ'_e — показатель ослабления, g — средний косинус индикатрисы рассеяния). Спектры μ_a и μ_e даны, например, в [2; 3; 19]. Согласно [16], при освещении среды точечным диффузным источником, расположенным на поверхности, плотность излучения $w'(r, z)$ (или пропорциональная ей пространственная освещенность [12]) в точке полубесконечной среды с радиальной координатой r на глубине z , имеет следующий аналитический вид:

$$w'(r, z) = \frac{3\mu_e}{4\pi} \left[\frac{\exp[-\Gamma a_1(r, z)]}{a_1(r, z)} - \frac{\exp[-\Gamma a_2(r, z)]}{a_2(r, z)} \right], \quad (1)$$

где $\Gamma = [3\mu_a(\mu_e + \mu_a g)]^{0,5}$ — коэффициент диффузии; $a_1 = \sqrt{z^2 + r^2}$; $a_2 = \sqrt{(z + 2A)^2 + r^2}$; $A = \{2/[\mu_e - \mu_a(1 - g)]\}(1 + \rho^*)/(1 - \rho^*)$ — экстраполированная длина. В (1) первое слагаемое описывает радиальную структуру $w'(r, z)$ в полубесконечной среде, а второе — утечку света через освещенную границу. Плотность излучения, вышедшего из поверхности кожи, связана с w' через коэффициенты пропускания рогового слоя, эпидермиса и шероховатой границы раздела кожа—воздух. С учетом суммарного коэффициента пропускания t^* диффузного света этими тремя слоями получаем

$$w(r) = w'(r, z = 0)t^* = w'(r, z = 0)(1 - R_0^*)(1 - R_0^*)(T_1^* T_2^*)^2, \quad (2)$$

где R_0^* — коэффициент отражения диффузного потока поверхностью кожи при освещении снаружи среды.

При направленном освещении узким источником лазерного типа плотность излучения, выходящего из поверхности ткани, имеет вид [11; 16]:

$$W(r) = \frac{(\mu_e - \mu_a)t}{1 - g} \int_0^\infty w'(r, z) \exp(-\mu_e z) dz - \frac{\mu_e - \mu_a}{\mu_e} \frac{gt}{1 - g} w'(r, z = 0), \quad (3)$$

где t — полный коэффициент пропускания падающего направленного пучка и выходящего диффузного света; $w'(r, z)$ определяется по (1).

Оптические и структурные свойства рогового слоя и эпидермиса входят в (1)—(3) через коэффициенты отражения ρ^* и пропускания t^* , t . Таким образом, формулы (1)—(3) дают связь радиальной структуры плотности излучения со структурными и биофизическими параметрами всех слоев кожи при диффузном или направленном освещении ее поверхности и позволяют строить алгоритмы восстановления этих параметров.

Проанализируем расчетные формулы (1)—(3). Заметим, что в них практически на всех длинах волн имеет место неравенство $r \gg A$. Действительно, экстраполированная длина $A \cong 1/\mu_e$ составляет сотые и десятые доли мм. Измерения же на практике реально проводить при $r \cong 1$ мм и более. Тогда плотность излучения можно разложить в ряд Маклорена по степеням A/r и ограничиться учетом только линейного члена по A/r . Например, для $w(r)$ при диффузном освещении имеем

$$w(r) = \frac{3\varepsilon \exp(-\Gamma r)(1 + \Gamma r)}{2\pi r^3} t^* A^2, \quad (4)$$

где коэффициент пропускания t^* определен в (2). Аналогичное соотношение можно получить для $W(r)$ при направленном освещении. Последние два множителя $t^* A^2$ в (4) зависят только от свойств границы раздела, рогового слоя и эпидермиса и не зависят от оптических характеристик дермы. Первые же множители определяются искомыми параметрами ткани — C_V , S и D . Следовательно, измеряя на фиксированной λ отношение $\omega = w(r_1) / w(r_2)$ световых потоков, выходящих с поверхности ткани на двух расстояниях r , можно изба-

виться от влияния на регистрируемую характеристику нескольких неизвестных параметров. Далее, если проводить эксперимент на двух изосбестических длинах волн, можно определить C_V и D по отдельности.

Рис. 2 иллюстрирует промоделированную схему таких измерений при диффузном освещении поверхности кожи на длинах волн $\lambda = 500$ и 570 нм, а именно — графическое решение двух трансцендентных уравнений с двумя неизвестными. При получении этих данных учтено влияние ошибки измерений на результат восстановления. Рис. 2, *a* соответствует малой экспериментальной погрешности 1 %, а рис. 2, *b* — $\delta = 10$ %. Ошибки моделировались с помощью генератора случайных чисел, а в качестве экспериментально определенного отношения бралось среднее значение по нескольким (порядка 10) измерениям. Как и следовало ожидать, в случае на рис. 2, *a* параметры C_V и D восстанавливаются практически точно. Решение обратной задачи устойчиво к значениям δ . Так, при $\delta = 10$ % (рис. 2, *b*) получаем $C_V = 0,042$ и $D = 19$ мкм (показано вертикальной и горизонтальной штриховыми прямыми) вместо использованных при моделировании соответственно 4 % и 15 мкм. Этой точности часто достаточно для многих практических задач. С уменьшением экспериментальной погрешности найденные значения C_V и D ближе к истинным. Данные рис. 2 показывают, что пространственно-разрешенные измерения позволяют восстановить диаметр D при гораздо менее жестких (и реалистичных) требованиях на экспериментальные значения δ по сравнению с КДО [8] и описанными выше поляризационными экспериментами.

Рассмотрим теперь чувствительность η плотности излучения к степени оксигенации крови. Под величиной η будем понимать логарифмическую производную $\eta = \frac{1}{w} \frac{\partial w}{\partial S}$ (при измерении плотности излучения w) или $\eta' = \frac{1}{\omega} \frac{\partial \omega}{\partial S}$ (при

измерении отношения ω). Анализ этих производных можно выполнить аналитически, так как исходные формулы имеют аналитический вид. Расчеты показали, что указанные чувствительности максимальны в спектральном интервале примерно 550—620 нм, где разность показателей поглощения окси- и деоксигемоглобина принимает наибольшие значения. Оценки дают η и η' порядка 1, что в 5—20 раз больше, чем при измерении КДО [1; 8] или поляризационных характеристик. Поэтому значения S восстанавливаются по рассматриваемой методике надежнее (на рисунках не показано).

Для восстановления двух оставшихся параметров ткани (эпидермиса) были проанализированы различные комбинации характеристик рассеянного света. При этом опять следует решать два трансцендентных уравнения с двумя неизвестными f и d . Соответствующие иллюстрации представлены на рис. 3 при диффуз-

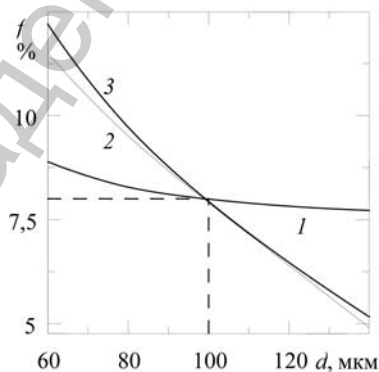


Рис. 3. Графическое решение двух трансцендентных уравнений относительно f и d по известным значениям отношения на двух расстояниях $r = 0,2$ и $0,3$ см (кривая 1) при $\lambda = 500$ нм, на двух длинах волн 570, 800 нм (2) и 500, 800 нм при $r = 0,2$ см

ном освещении поверхности кожи. Как видно, в качестве одной из характеристик светового поля можно выбрать ω при $r = 0,2$ и $0,3$ см (кривая 1). Второй могут быть и абсолютные значения плотности излучения, и относительные (кривые 2 и 3) на различных длинах волн и при разных расстояниях r . Отметим, однако, что восстановление f и d неустойчиво к экспериментальным погрешностям, и уже при $\delta > 10\%$ решение обратной задачи проблематично.

Экспериментальная реализация ИИС. Был разработан макет информационно-измерительной системы, воплощающей спектрально-поляризационные методики диагностики [20; 21]. На рис. 4 представлена схема ИИС, предназначенной для определения параметров сред биомедицинского происхождения. Устройство содержит источник света 1, монохроматор 2, поляризатор 3, поворотное устройство поляризатора 4, систему объективов 5, камеру 6 с исследуемым образцом 7, анализатор 8, поворотное устройство анализатора 9, ПЗС-камеру 10, микроконтроллерное регистрирующее устройство 11, компьютер 12, специализированный процессор обработки изображений 13 и проблемно-ориентированную экспертную систему принятия диагностических решений 14. В качестве поляризатора 3 и анализатора 8 использованы пленочные линейные поляриды.

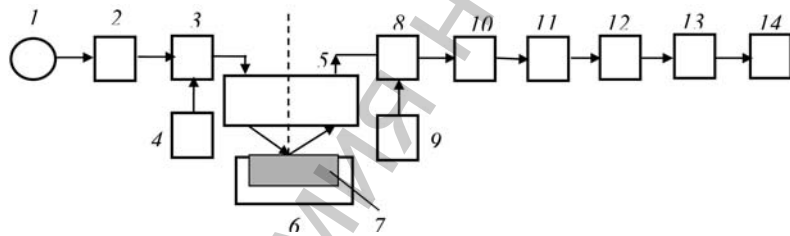


Рис. 4. Блок-схема информационно-измерительной системы

Устройство работает следующим образом. Свет широкого спектрального диапазона от источника 1 поступает на перестраиваемый монохроматор 2. Монохроматор 2 выбирает свет на первой длине волны, который проходит через поляризатор 3, расположенный на поворотном устройстве 4 с фиксированными углами поворота по азимуту с заданным шагом. Система объективов 5 направляет свет на исследуемый образец биоткани 7, установленный в камере 6, и формирует изображение образца в отраженном свете. Система объективов 5 направляет изображение на анализатор 8, размещенный на поворотном устройстве 9 с фиксированными углами поворота по азимуту с заданным шагом. Изображение образца поступает на ПЗС-камеру 10, подсоединенную ко входу компьютера 12 через микроконтроллерное регистрирующее устройство 11. Выход компьютера связан со входом специализированного процессора обработки изображений 13. Сформированное изображение с выхода компьютера 12 поступает на процессор 13 и обрабатывается им. Процессор подсоединен к проблемно-ориентированной экспертной системе 14 на основе нечеткой логики. Система 14 анализирует изображение исследуемого образца, сформированное на первой длине волны.

Для повышения достоверности диагностики исследуемого образца с помощью перестраиваемого монохроматора выбирают вторую длину волны, на которой в указанной выше последовательности формируется изображение исследуемого образца. Проблемно-ориентированная экспертная система 14 на основе нечеткой логики анализирует изображение, сформированное на второй длине волны. Диагностическое решение принимается на основе такого анализа.

Перспективы дальнейшего развития и практического использования полученных результатов. В [1] сформулированы некоторые возможные направления развития работ по неинвазивной диагностике параметров биотканей на основе спектров КДО. Естественно, эти направления относятся и к данной работе. Ниже укажем одну из проблем, решаемых в настоящее время по проекту БРФФИ — исследование фотоиндуцированных механизмов воздействия лазерного излучения на биологические ткани. Фотодинамическая и низкоинтенсивная лазерная терапия, биостимуляция тканей и повышение уровня иммунной защиты организма под действием света прочно вошли в практику лечебных и профилактических процедур, направленных на борьбу с различными заболеваниями человека и снижение рисков здоровью от влияния неблагоприятных факторов окружающей среды. Однако биофизические механизмы воздействия излучения до конца не выяснены. Известно несколько фотоиндуцированных процессов, протекающих при облучении организма, — светокислородный и фотодинамический эффекты [22], диссоциация оксигемоглобина [23]. Все эти механизмы связаны с поглощением света и образованием кислорода в различных формах, оказывающими биофизическое действие. Количество эффективности указанных процессов зависит от закономерностей распространения света и результирующих коэффициентов поглощения отдельных хромофоров кожного покрова и ткани в целом. Кроме того, на протекание сопутствующих фотохимических реакций и их квантовый выход влияет локальная температура среды. Медики, применяющие низкоинтенсивное лазерное облучение организма в терапевтических целях, на практике часто поступают эмпирически, исходя из собственного опыта и статистически накопленной информации. В их распоряжении нет физически обоснованного количественного инструмента, позволяющего проводить анализ значимости указанных процессов в зависимости от спектрального интервала облучения, его длительности и мощности. С другой стороны, развитие физических основ взаимодействия света со столь важным объектом, как биоткани и выработка рекомендаций по оптимальным параметрам воздействия представляют фундаментальный научный интерес для создания новых лазерных технологий, направленных на применение в медицине. Поэтому актуально разработать подходы к оценке эффективности фотоиндуцированных механизмов воздействия лазерного излучения на биологические ткани в условиях *in vivo* на основе комплексного моделирования световых и тепловых полей в среде (проект БРФФИ № Ф09ВН-001). Основу для такой разработки и дальнейших исследований могли бы составить методики, представленные в данной статье.

Заключение. Разработаны методики и алгоритмы восстановления структурных и биофизических параметров кожи по спектрам КЯ обратно рассеян-

ного поляризованного света и характеристикам рассеянного излучения, измеряемым с пространственным разрешением. Результаты решения обратной задачи сопоставлены с методикой на основе спектров КДО [1]. При экспериментальной погрешности менее 5 % все три схемы измерений позволяют достаточно уверенно восстановить f , C_V и d . Однако спектры КЯ, как и КДО, имеют низкую чувствительность к S и D . Причины физически понятны. В этих схемах излучение поступает на приемник, в основном, из освещенной источником области, экранированной эпидермисом. Поэтому небольшие изменения показателя поглощения дермы, обуславливающие зависимость измеряемой характеристики от S и D , приводят лишь к малым вариациям регистрируемого оптического сигнала. При использовании пространственно-разрешенной методики многократно рассеянный свет принудительно проходит большой оптический путь по дерме от источника до приемника, что позволяет существенно повысить чувствительность метода к S и D . Такое увеличение может достигать 20 раз. В работе показано также, что поляризационные измерения КЯ устойчивее к экспериментальным погрешностям, но не имеют существенных преимуществ по сравнению с КДО для задачи диагностики.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований по договорам № Ф07К-047 и Ф09ГКНТ-004.

Литература

1. Барун В. В., Иванов А. П., Петрук В. Г., Кватернюк С. М. // Вестн. ФФИ. 2010. № 3. С. 90–98.
2. Тучин В. В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. Саратов, 1998. — 383 с.
3. Оптическая биомедицинская диагностика / Под ред. В. В. Тучина. М., 2007. Т. 1–2.
4. Синичкин Ю. П., Утц С. Р., Пилипенко Е. А. // Опт. и спектр. 1996. Т. 80. С. 260–267.
5. Хайруллина А. Я. // Распространение света в дисперсной среде / Под ред. А. П. Иванова. Минск, 1982. С. 275–292.
6. Башкатов А. Н., Генина Э. А., Кочубей В. И., Тучин В. В. // Опт. и спектр. 2005. Т. 99, № 5. С. 808–875.
7. Meinke M., Muller G., Helfman J., Friebe I. M. // Appl. Opt. 2007. Vol. 46, N 10. P. 1742–1753.
8. Иванов А. П., Барун В. В. // Опт. и спектр. 2008. Т. 104, № 2. С. 344–351.
9. Стратонников А. А., Ермишова Н. В., Лощенов В. Б. // Квант. электрон. 2002. Т. 32, № 10. С. 917–922.
10. Кравченко В. И., Мамиллов С. А., Плаксий Ю. С. и др. // ЖПС. 2005. Т. 72, № 1. С. 119–123.
11. Зега Э. П., Иванов А. П., Кацев И. Л. Перенос изображения в рассеивающей среде. Минск, 1975. — 327 с.
12. Иванов А. П. Оптика рассеивающих сред. Минск, 1969. — 592 с.
13. Jacques S. L., Ramella-Roman J. C., Lee K. // J. Biomed. Opt. 2002. Vol. 7, N 3. P. 329–340.
14. Барун В. В., Иванов А. П., Вологовская А. В., Улащик В. С. // ЖПС. 2007. Т. 74, № 3. С. 388–394.
15. Барун В. В., Иванов А. П. // Квант. электрон. 2010. Т. 40, № 4. С. 371–376.
16. Бушмакова О. В., Зега Э. П., Кацев И. Л. // Изв. АН СССР. Сер. физ. атмосфер. океана. 1972. Т. 8, № 7. С. 711–719.
17. Kienle A., Patterson M. S., Dognitz N. et al. // Appl. Opt. 1998. Vol. 37, N 4. P. 779–791.

18. Alexandrakis G., Farrell T. J., Patterson M. S. // *Appl. Opt.* 1998. Vol. 37, N 31. P. 7401–7409.
19. Барун В. В., Иванов А. П. // *Опт. спектр.* 2006. Т. 100, № 1. С. 149–157.
20. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Иванов А. П., Барун В. В. Патент Украины № 35499 от 25.09.2008.
21. Барун В. В., Иванов А. П., Кватернюк С. М., Петрук В. Г. Патент Беларуси № 5299 от 02.03.2009.
22. Захаров С. Д., Иванов А. В. // *Квант. электрон.* 1999. Т. 29, № 3. С. 192–214.
23. Асимов М. М., Асимов Р. М., Рубинов А. Н. // *ЖПС.* 1998. Т. 65, № 6. С. 877–880.

*V. V. BARUN, A. P. IVANOV, V. G. PETRUK,
S. M. KVATERNYUK*

**DEVELOPMENT OF OPTICAL METHODS FOR DIAGNOSING
BIOLOGICAL TISSUES BY SCATTERED LIGHT.
II. POLARIZATION AND SPATIALLY RESOLVED SPECTROSCOPY**

Summary

The solution to the inverse problem on retrieving structural and biophysical skin parameters by spectral radiance factors of polarized light and spatially resolved characteristics of tissue-scattered radiation is proposed. The desired parameters are melanin and blood vessel volume fractions, epidermis thickness, mean capillary diameter, and blood oxygenation degree. The results of their retrieval are compared with those obtained by spectral diffuse reflectance. The solution to the inverse problem on the base of polarization experiments is shown to be more stable to measurement errors, but gives essentially no advantages with respect to the reflectance spectra. The most preferable is the spatially resolved spectroscopic technique that is stable to measurement errors, has substantially higher sensitivity to blood oxygenation degree and to mean capillary diameter to enable one to retrieve all the parameters with practically acceptable accuracy.

УДК 621.039.54

П. И. ШИРВЕЛЬ, С. А. КЛУС

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК КОНЕЧНОЙ ДЛИНЫ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ НАГРЕВЕ И НЕЙТРОННОМ ОБЛУЧЕНИИ*Объединенный институт энергетических и ядерных исследований — Сосны НАН Беларуси**(Поступила в редакцию 25.06.2010)*

Рассмотрены вопросы расчета тонкостенной оболочки тепловыделяющего элемента ядерного реактора АЭС. Дана методика расчета напряженно-деформированного состояния (НДС). Получены разрешающие выражения в условиях нейтронного облучения и термосилового воздействия. Разработана механико-математическая модель и алгоритм нахождения основных характеристик НДС, реализована компьютерная программа нахождения решения поставленной терморadiационной квазистатической задачи в пакете MathCAD 14.0. Приведены результаты модельных расчетов. Построены графические зависимости прогибов и напряжений по длине оболочки. Проведен сравнительный анализ полученных результатов в программной среде ANSYS.

Как известно, в настоящее время в Республике Беларусь принята программа развития ядерной энергетики, первым шагом которой является строительство атомной электростанции (АЭС). Рост инновационного потенциала атомной энергетики напрямую зависит от объемов научно-исследовательских работ. Поэтому проведение исследований, связанных с функционированием и обслуживанием технологических процессов на ядерных объектах, столь необходимо и актуально.

Работа любого ядерного реактора АЭС связана с постоянным мониторингом (контролем) безопасности, основанной на безопасной работе его отдельных элементов, одним из которых является тепловыделяющий элемент (ТВЭЛ), имеющий форму длинного цилиндра и находящийся в условиях сложного нагружения: постоянное механическое воздействие, влияние неравномерных полей высоких температур и радиационного облучения. На первый взгляд, ТВЭЛ ядерного реактора представляет собой простой объект: металлическую оболочку с размещенными в ней цилиндрическими таблетками из делящегося материала (рис. 1). Механическое поведение ТВЭЛ зависит от большого числа различных явлений, где существует целый комплекс взаимосвязанных физи-

ческих, химических и механических процессов (и лишь некоторые из них описаны теоретически). Оболочка твэла ядерного реактора представляет собой слой конструкционного материала, непосредственно прилегающего к ядерному топливу. Она предназначена для предохранения сердечника от воздействия химически активной среды и удержания продуктов деления, а также для исключения возможности вымывания топлива теплоносителем и для обеспечения механической прочности твэлов [1]. Отметим, что оболочка твэла является наиболее ответственной конструкционной деталью активной зоны реактора, находящейся в сложных тепловых, механических, радиационных и химических условиях эксплуатации (коррозия от теплоносителя, распухание от пузырьков газообразных продуктов деления, радиационная и тепловая ползучесть, радиационное упрочнение, гелиевое охрупчивание). Главным требованием, предъявляемым к оболочкам твэлов, является длительное сохранение герметичности. Конструкция оболочки и ее толщина должны обеспечивать устойчивость под действием внешнего давления теплоносителя, прочность при термических и изгибных напряжениях, напряжений от давления газовых продуктов деления и действия распухающего топливного сердечника, приходящего в контакт с оболочкой. Таким образом, важно знать значения напряжений, под действием которых оболочка еще выполняет функцию разделения топлива и теплоносителя (считается, что твэл выходит из строя, когда оболочка разгерметизируется).

Изучение характера и степени возможных повреждений оболочек составляет одну из самых сложных проблем, учитывая, что до перегрузки твэлы должны работать до 9—12 тыс. ч. Одним из способов решения является исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) оболочки с целью проверки надежной работоспособности конструкции твэла. Данные элементы работают фактически в экстремальных условиях: подвержены значительным механическим, тепловым и радиационным нагрузкам. Отметим, что степень необратимых изменений, происходящих в оболочках под влиянием перечисленных факторов, во многом зависит от интенсивности и длительности нейтронного облучения, температуры облучения и характера ее изменения в процессе работы реактора, от исходной структуры и свойств материалов оболочек, а также от свойств теплоносителя и его гидравлических характеристик.

Вопросам расчета оболочек твэлов в настоящее время уделяется значительное внимание. На текущий момент выполнен значительный объем работ по этому направлению. Задачи такого рода рассматривали Ю. И. Лихачев, В. Я. Пупко, В. В. Попов, А. А. Тутнов, В. В. Ткачев, И. С. Куликов, J. H. Geit-tus, K. Lassmann, J. R. Rashid и др. Однако все разработанные модели для определения НДС оболочек базируются на тех или иных упрощениях, поэтому расчеты носят достаточно приближенный характер. Например, принятые гипотезы о плоском деформированном состоянии значительно упрощают

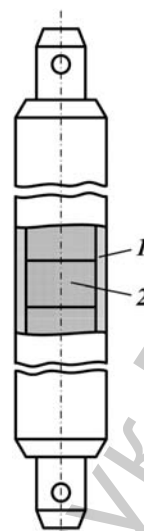


Рис. 1. Схема твэла:
1 — оболочка, 2 —
топливо (UO_2)

расчет, но вместе с тем вносят определенные погрешности в его результаты. Идеей настоящей работы является разработка современных моделей расчета НДС тонкостенных цилиндрических оболочек, основанных на достижениях механики деформированного твердого тела и компьютерных технологий для расчета НДС конструкций, находящихся в условиях сложного нагружения с учетом внутривнутриреакторных условий АЭС.

Отметим, что одно из важных следствий эксплуатации оболочки твэла — возникновение значительных внутренних напряжений. Их появление связано с действием внешних статических, динамических и вибрационных нагрузок, со структурными изменениями под облучением, с набуханием оболочки, с неравномерным температурным уровнем отдельных участков оболочки (вследствие неравномерности энерговыделения по объему), а также с температурными градиентами по сечению оболочки (возникающими благодаря наличию тепловых потоков от топлива к теплоносителю). Таким образом, в оболочках твэлов в процессе работы ядерного реактора могут возникать три типа напряжений [2]: вызываемые давлением теплоносителя, а также давлением набухающего топлива, находящегося в контакте с оболочкой; обусловленные стационарными и нестационарными температурными полями; от неравномерного набухания материала оболочки.

Рассмотрим модель НДС цилиндрической оболочки, находящейся в неравномерном температурном поле под действием внешнего давления теплоносителя в условиях нейтронного облучения. Модель участка оболочки твэла ядерного реактора в пределах топливной таблетки представлена на рис. 2. Предполагается, что реактор вышел на полную мощность и начальное распределение температуры в оболочке к моменту выхода реактора на заданную мощность известно. Распределение температуры в оболочке считается стационарным во время всей работы реактора. Моделирование будем производить при следующих условиях: температурное поле предполагается независимым от напряженного состояния оболочки; влияние изменений объема, вызванных напряжениями, на тепловое поле считается незначительным и в задаче не учитывается. При этом предполагаем, что теплофизические и механические характеристики материала остаются неизменными. Это относится и к прочностным свойствам материала. Принимаем во внимание тот факт, что облучение обычно мало влияет на значение модуля упругости постоянных [3] и поэтому модуль упругости и коэффициент Пуассона считаются зависящими только от температуры, причем $E(T)$ и $\nu(T)$ полагаются известными. В реальности для данного случая модуль Юнга, коэффициент Пуассона, а также коэффициент теплового расширения не зависят от температуры, поскольку в процессе работы реактора на постоянной мощности температура твэла обычно мало меняется, и поэтому можно использовать средние значения указанных характеристик (за исключением переходных процессов, например, выхода реактора на мощность или расхолаживания).

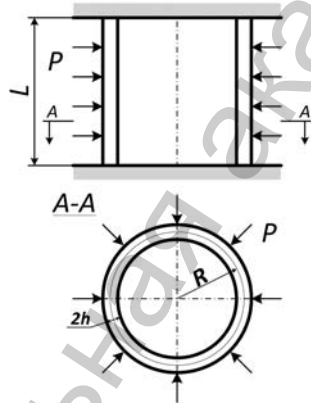


Рис. 2. Модель участка оболочки твэла

Для компонент деформации и изменений кривизны срединной поверхности оболочки и перемещений ее срединного слоя имеют место следующие приближенные соотношения:

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u_x}{\partial x}; \quad \varepsilon_{\varphi\varphi} = \frac{1}{R} \frac{u_\varphi}{\partial\varphi} + \frac{\omega}{R}; \quad \varepsilon_{x\varphi} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R} \frac{\partial u_x}{\partial\varphi} + \frac{\partial u_\varphi}{\partial x} \right), \quad (1)$$

$$\chi_{xx} = -\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2}; \quad \chi_{\varphi\varphi} = -\frac{1}{R^2} \frac{\partial}{\partial\varphi} \left(\frac{\partial\omega}{\partial\varphi} - u_\varphi \right); \quad \chi_{x\varphi} = -\frac{1}{R^2} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial\omega}{\partial\varphi} - u_\varphi \right), \quad (2)$$

где u_x, u_φ — перемещения в осевом и окружном направлении соответственно, а ω — прогиб оболочки.

Для цилиндрической оболочки, находящейся во внутривреакторных условиях, компоненты деформаций и напряжений в общем виде связаны между собой соотношениями

$$\varepsilon_{xx}^{(z)} = \frac{\sigma_{xx} - \nu\sigma_{\varphi\varphi}}{E} + \varepsilon_{xx}^T + \frac{1}{3}\varepsilon_{xx}^S; \quad \varepsilon_{\varphi\varphi}^{(z)} = \frac{\sigma_{\varphi\varphi} - \nu\sigma_{xx}}{E} + \varepsilon_{\varphi\varphi}^T + \frac{1}{3}\varepsilon_{\varphi\varphi}^S, \quad (3)$$

$$\sigma_{xx} = \frac{N_{xx}}{h} + \frac{12M_{xx}x}{h^3}; \quad \sigma_{\varphi\varphi} = \frac{N_{\varphi\varphi}}{h} + \frac{12M_{\varphi\varphi}x}{h^3}, \quad (4)$$

$$N_{xx} = D_N (\varepsilon_{xx} + \nu\varepsilon_{\varphi\varphi} - (1 + \nu)(\varepsilon_{xx}^T + \varepsilon_{xx}^S)), \quad (5)$$

$$N_{\varphi\varphi} = D_N (\nu\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{\varphi\varphi} - (1 + \nu)(\varepsilon_{\varphi\varphi}^T + \varepsilon_{\varphi\varphi}^S)),$$

$$M_{xx} = D_M (\chi_{xx} + \nu\chi_{\varphi\varphi} - (1 + \nu)(\chi_{xx}^T + \chi_{xx}^S)), \quad (6)$$

$$M_{\varphi\varphi} = D_M (\nu\chi_{xx} + \chi_{\varphi\varphi} - (1 + \nu)(\chi_{\varphi\varphi}^T + \chi_{\varphi\varphi}^S)).$$

Здесь ε_{ij}^T — объемные термические деформации; ε_{ij}^S — объемные деформации радиационного распухания. Заметим, что в постановке рассматриваемой задачи присутствует радиационное распухание оболочки. В общем случае оно представляет собой изменение объема материала оболочки под действием потока быстрых нейтронов, причем значительно меняет картину распределения деформаций и напряжений [4]. Термическое воздействие в данной задаче представляет собой неравномерный стационарный нагрев тонкостенной цилиндрической оболочки. Ввиду одновременного действия температуры и облучения происходят неравномерные объемные изменения оболочки (термическое расширение и радиационное распухание). Эти неравномерные объемные изменения являются источником дополнительных напряжений, которые наряду с напряжениями, вызванными механическим воздействием, оказывают влияние на поведение конструкции. Вопрос состоит в том, насколько сильно они могут повлиять на прочностные качества исследуемой оболочки.

Спроектируем силы (рис. 3) на оси x и z и найдем моменты сил относительно оси y . Положим, что внешние силы действуют только лишь по нормали

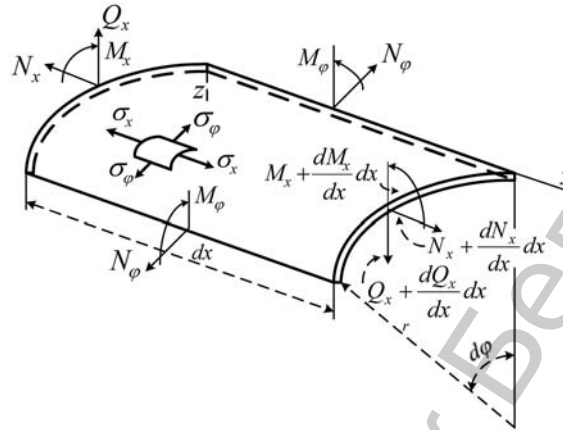


Рис. 3. Проекция сил и моментов в тонкостенной цилиндрической оболочке

к поверхности оболочки. Из симметрии можно заключить, что сдвигающие силы ($N_{x\phi} = N_{\phi x}$), поперечные силы (Q_ϕ) и крутящие моменты ($M_{x\phi} = M_{\phi x}$) равны нулю. С учетом вышесказанного система уравнений равновесия примет следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{dN_x}{dx} r dx d\phi = 0, \\ \frac{dQ_x}{dx} r dx d\phi + N_\phi dx d\phi + q r dx d\phi = 0, \\ \frac{dM_x}{dx} r dx d\phi - Q_x r dx d\phi = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Отсюда получаем исходное уравнение равновесия, записанное через приложенные нагрузки и образуемые моменты:

$$\begin{cases} \frac{dN_x}{dx} = 0, \\ \frac{dQ_x}{dx} + \frac{N_\phi}{r} + q = 0, \\ \frac{dM_x}{dx} - Q_x = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Влиянием сил N_x пренебрегаем ($N_x = \text{const} = 0$). Тогда уравнения (8) примут вид:

$$\begin{cases} \frac{dQ_x}{dx} + \frac{N_\phi}{r} = -q, \\ \frac{dM_x}{dx} - Q_x = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Продифференцируем второе уравнение системы уравнений (9) по x :

$$\frac{d^2 M_x}{dx^2} = \frac{dQ_x}{dx}. \quad (10)$$

Подставим уравнение (10) в первое уравнение системы (9):

$$\frac{d^2 M_x}{dx^2} + \frac{N_\varphi}{r} = -q. \quad (11)$$

Запишем геометрические уравнения (соотношения Коши). Из симметрии следует, что смещение в окружном направлении обращается в ноль, поэтому в расчетах для связи тензора деформаций и вектора перемещений учитываются только u и w .

$$\varepsilon_{xx} = \frac{du_x}{dx}, \quad \varepsilon_{\varphi\varphi} = \frac{\omega}{r}, \quad \chi_{xx} = -\frac{d^2 \omega}{dx^2}. \quad (12)$$

Выведем физические уравнения. Учитывая, что нормальные напряжения на площадках, параллельных срединной поверхности оболочки, пренебрежимо малы по сравнению с остальными напряжениями и при расчете не учитываются, запишем систему физических уравнений (3) в виде

$$\begin{cases} \varepsilon_{xx} = \frac{\sigma_{xx} - \nu\sigma_{\varphi\varphi}}{E} + B(x), \\ \varepsilon_{\varphi\varphi} = \frac{\sigma_{\varphi\varphi} - \nu\sigma_{xx}}{E} + B(x), \end{cases} \quad (13)$$

где $B(x)$ — функция учета неупругих объемных деформаций в оболочке:

$$B(x) = \alpha\Delta T(x) + \frac{1}{3}S[T(x), \varphi t]. \quad (14)$$

Выразим из системы уравнений (13) главные напряжения:

$$\begin{cases} \sigma_{xx} = \frac{E}{1-\nu^2} [\varepsilon_{xx(z)} + \nu\varepsilon_{\varphi\varphi(z)} - B(x)(1+\nu)], \\ \sigma_{\varphi\varphi} = \frac{E}{1-\nu^2} [\varepsilon_{\varphi\varphi(z)} + \nu\varepsilon_{xx(z)} - B(x)(1+\nu)], \end{cases} \quad (15)$$

где

$$\varepsilon_{xx(z)} = \varepsilon_{xx} + z\chi_{xx}, \quad \varepsilon_{\varphi\varphi(z)} = \varepsilon_{\varphi\varphi} + z\chi_{\varphi\varphi}. \quad (16)$$

Выражение (15) устанавливает зависимость напряжений от упругих и термо-радиационных деформаций.

Воспользуемся следующими формулами для определения нормальных сил и изгибающего момента:

$$N_{xx} = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_{xx} dz, \quad N_{\varphi\varphi} = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_{\varphi\varphi} dz, \quad M_{xx} = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_{xx} \cdot z \cdot dz. \quad (17)$$

Применим выражения (17) к системе (15), учитывая (16). Проведя интегрирование, получим следующую систему физических уравнений:

$$\begin{cases} N_{xx} = \frac{Eh}{1-\nu^2} [\varepsilon_{xx} + \nu\varepsilon_{\varphi\varphi} - B(x)(1+\nu)], \\ N_{\varphi\varphi} = \frac{Eh}{1-\nu^2} [\varepsilon_{\varphi\varphi} + \nu\varepsilon_{xx} - B(x)(1+\nu)], \\ M_{xx} = D [\chi_{xx} + \nu\chi_{\varphi\varphi}], \end{cases} \quad (18)$$

где $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ — цилиндрическая жесткость оболочки.

После подстановки в систему (18) соотношений Коши в виде (12) имеем

$$\frac{du}{dx} = -\nu \frac{\omega}{r} + B(x)(1+\nu). \quad (19)$$

Подставляя (19) во второе уравнение системы (15), получаем $N_{\varphi\varphi}$. В конечном итоге получаем следующие выражения для усилий и моментов:

$$N_{\varphi\varphi} = Eh \left[\frac{\omega}{r} - B(x) \right], \quad (20)$$

$$M_{xx} = -D \frac{d^2\omega}{dx^2}. \quad (21)$$

Подставляя (20) и (21) в (11), получаем конечное уравнение для прогиба рассматриваемой оболочки

$$D \frac{d^4\omega}{dx^4} - \frac{Eh}{r^2} \omega = q - \frac{Eh}{r} [B(x)]. \quad (22)$$

Последнее выражение представляет собой уравнение равновесия для короткой цилиндрической оболочки, записанное через ее прогиб в условиях нейтронного облучения и термосилового воздействия.

Пример расчета. В качестве конкретного примера будем рассматривать напряженно-деформированное состояние участка оболочки твэла (в пределах топливной таблетки), изготовленной из холоднодеформированной аустенитовой стали ОХ16Н15МЗБ (316L — зарубежный аналог). Механические характеристики материала исследуемой оболочки представлены в табл. 1. Таким об-

разом, имеем, что оболочка внутренним радиусом $R_1 = 0,003$ м и внешним радиусом $R_2 = 0,0032$ м находится под действием: внутренних $P_B = 7,5$ МПа и внешних $P_H = 0,1$ МПа нагрузок в условиях нелинейных температурных и радиационных полей.

Функция радиационного распухания $S(T(x), \varphi t)$, зависящая от температуры, времени и заданного нейтронного потока (флюенса нейтронов), для стали ОХ16М15НЗБ имеет вид [4]

$$S(T(x), \varphi t) = 4,9 \cdot 10^{-51} (\varphi t)^{1,71} \cdot 10^{\frac{15490}{T(x)} + \frac{598 \cdot 10^4}{(T(x))^2}} \quad (23)$$

Таблица 1. Исходные данные для моделирования оболочки конечной длины твэла

Величина	Значение
P — внешнее давление со стороны теплоносителя	0,1 МПа
E — модуль упругости материала оболочки	$1,5 \times 10^5$ МПа
ν — коэффициент Пуассона материала оболочки	0,3
λ — коэффициент теплопроводности материала оболочки	18 Вт/(м·К)
q_v — тепловыделение в единице объема материала оболочки	$2,20 \times 10^9$ Вт/м ³
α — коэффициент линейного расширения материала оболочки	$18,3 \times 10^{-6}$ град ⁻¹
φ — плотность нейтронного потока	$2,81 \times 10^{19}$ нейтрон/(см ² ·ч)

Функция распределения температуры $T(x)$ задается интерполяцией значений экспериментального распределения температуры по поверхности оболочки твэла (табл. 2) для короткого участка оболочки длиной $L = 10$ мм.

Таблица 2. Значения распределения температуры вдоль длины оболочки твэла

T, K	x, m										
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
T_a	518	564	639	729	800	847	874	888	893	889	875
T_b	490	525	591	678	748	795	824	843	855	859	855

Отметим, что большинство физических процессов в активной зоне ядерного реактора описывается нелинейными уравнениями. Аналитическое решение подобных уравнений известно лишь для единичных случаев. Поэтому решение нелинейных задач сводится к использованию численных методов [5]. В качестве граничных условий задаем жесткое закрепление, где исследуемый слой оболочки как бы зажат между двумя абсолютно жесткими поверхностями и благодаря взаимодействию соседних слоев принудительно обеспечивается условие неизменности толщины слоя. Такие граничные условия в математической интерпретации имеют вид

$$\begin{aligned} \omega &= 0 \text{ при } x = 0, L, \\ \frac{d\omega}{dx} &= 0 \text{ при } x = 0, L. \end{aligned} \quad (24)$$

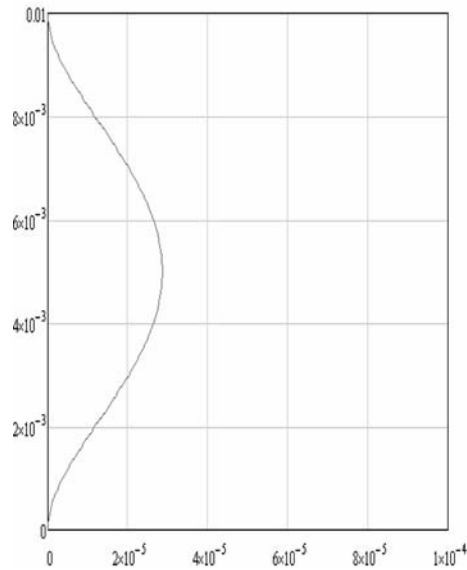


Рис. 4. Распределение прогибов по длине оболочки

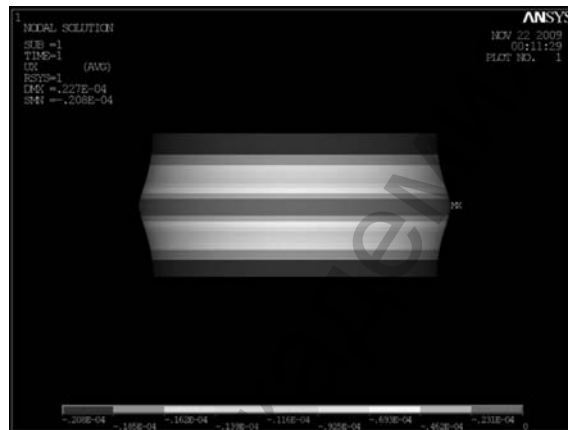


Рис. 5. Распределение прогибов в цилиндрической оболочке

Дифференциальное уравнение (22) с граничными условиями (23) представляет собой краевую задачу. Используя известные методы решения краевых задач [6], проводим модельный расчет задачи в программном пакете MathCAD 14.0. Отметим, что на первых этапах расчета были получены значения распределения прогибов по длине оболочки (рис. 4) для простейшего случая (упругая механическая задача без учета терморadiационного воздействия). Эти результаты необходимо сравнить с другими решениями для аналогичной задачи.

Для проверки правильности и корректности составленного алгоритма программы (верификация программы), сравним результаты, полученные для упругой задачи (учитывается действие только наружного давления теплоносителя), при ее реализации в пакете MathCAD 14.0 с результатами аналогичной задачи, смоделированной в инженерном программном комплексе FEM ANSYS. В результате сравнения можно заключить, что значения прогибов по длине оболочки, полученные в расчетном модуле MathCAD (рис. 4) совпадают с прогибами, полученными средствами CAE в пакете ANSYS 11.0 (рис. 5). Что,

в свою очередь, говорит о правильности составленного алгоритма и выбора численного метода решения, который соответственно может применяться и для решения поставленной квазистатической терморadiационноупругой задачи.

Результаты, полученные с помощью компьютерной программы, реализованной в пакете MathCAD 14.0 для механического анализа НДС оболочки с учетом наружного давления, температурного расширения и радиационного распухания для различных временных интервалов нагружения, представлены на рис. 6–7.

Из полученных графических зависимостей можно заключить, что с увеличением срока эксплуатации оболочки твэла значительно увеличиваются значения прогибов и напряжений. Так, значения прогибов оболочки после 7000 ч эксплуатации претерпели изменения (в сравнении с $t = 0$ ч, где влияние радиационного распухания (23) не учитывается), увеличив свое значение в пять раз (рис. 6), а значения напряжений, в свою очередь, увеличились на 300 МПа (рис. 7). Такие большие изменения обусловлены влиянием фактора радиационного распухания, которое со временем становится весьма существенно (достигает 15 %), что необходимо учитывать, в первую очередь, при проектировании конструкций для долговременной работы (7–10 тыс. ч) во внутриреакторных условиях.

Вывод. В ходе выполненного исследования получены разрешающие дифференциальные уравнения, позволяющие определить прогибы и напряжения для участка цилиндрической оболочки, находящейся в условиях энергетического быстрого ядерного реактора. Разработана математическая модель и алгоритм нахождения основных характеристик НДС оболочки, проведен модельный расчет поставленной терморadiационной квазистатической задачи, построены графические зависимости прогибов и напряжений от длины оболочки. Также, с целью тестирования программы, проведен сравнительный анализ полученных результатов с решением для механической упругой задачи в программной среде FEM ANSYS, показавший идентичность значений, что, в свою очередь, свидетельствует о правильности механико-математической модели НДС и численного метода решения. Хотя окончательное суждение об описанном НДС оболочки твэла может быть сделано лишь после соответ-

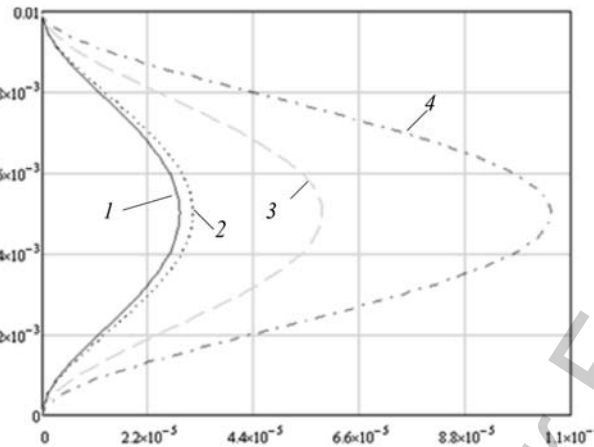


Рис. 6. Распределение прогибов по длине оболочки: 1 — при $t = 0$ ч, 2 — при $t = 1000$ ч, 3 — при $t = 4000$ ч, 4 — при $t = 7000$ ч

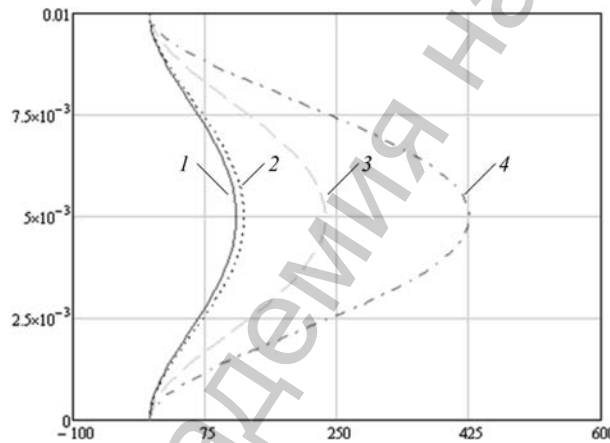


Рис. 7. Распределение эквивалентных напряжений по длине оболочки: 1 — при $t = 0$ ч, 2 — при $t = 1000$ ч, 3 — при $t = 4000$ ч, 4 — при $t = 7000$ ч

ствующих реакторных и других опытных испытаний, очевидно, что проектирование можно существенным образом облегчить путем использования подобных оценочных расчетов. Полученные в работе выражения, механико-математическая модель и предложенная схема решения задачи определения НДС могут послужить основой для разработки компьютерного кода, позволяющего моделировать поведение указанного элемента конструкции энергоблока во всем спектре эксплуатационных режимов, включая аварийные ситуации.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Т09М-090).

Литература

1. Займовский А. С., Калашников В. В., Головнин И. С. Тепловыделяющие элементы атомного реактора. М., 1979. — 517 с.
2. Фрост Б. Твэлы ядерных реакторов: Пер. с англ. М., 1986. — 248 с.
3. Куликов И. С., Нестеренко В. Б., Тверковкин Б. Е. Прочность элементов конструкций при облучении. Минск, 1990. — 144 с.
4. Куликов И. С., Тверковкин Б. Е. Прочность тепловыделяющих элементов быстрых газоохлаждаемых реакторов. Минск, 1984. — 104 с.
5. Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы. СПб., 2002. — 630 с.
6. Рихтмайер Р. Д., Мортон К. Разностные методы решения краевых задач. М., 1972. — 418 с.

P. I. SHYRVEL, S. A. KLUS

THE SIMULATING OF STRESS-STRAIN STATE FOR SHORT CYLINDRICAL SHELL UNDER IRREGULAR TEMPERATURE AND NUCLEAR RADIATION ACTING

Summary

The short cylindrical shell in the conditions of an irradiation and thermo power influence is considered. The mathematical-mechanical models to describe steady state of the cylindrical cladding of the NPP's fuel element are proposed. The constitutive differential equations have been developed. The numerical algorithm of finding the basic characteristics of stress-strain state of a cladding has been proposed. The computer program for solution of the thermo radiating quasistatic task in package MathCAD 14.0 has been programmed. A graphic distribution of deflections and stresses of a shell have been received. The comparative analysis of received results in program complex FEM ANSYS is carried out.

УДК 582.71:582.943:543.54.4

А. В. БАШИЛОВ

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ GLC-АНАЛИЗА
С МАСС-СЕЛЕКТИВНЫМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ
ПРИ СТАНДАРТИЗАЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ
POLEMONIUM CAERULEUM L.
И *FILIPENDULA HEXAPETALA GILIB.***

Центральный ботанический сад НАН Беларуси

(Поступила в редакцию 29.06.2010)

*Газохроматографически идентифицированы летучие и термостабильные компоненты в составе водноспиртовых экстрактов соцветий, листьев, корней и корневищ *Filipendula hexapetala Gilib.* и *Polemonium caeruleum L.* Во всех образцах обнаружены оксипроизводные ароматических соединений. Показана перспективность использования GLC-метода с масс-селективным детектированием при стандартизации лекарственного растительного сырья.*

Введение. Растения, относящиеся к группе лекарственных, обладают специфическими терапевтическими свойствами, благодаря которым они составляют арсенал медикаментозных средств, используемых в различных областях медицины. Этим объясняется непрекращающийся интерес специалистов, работающих в области фармакогнозии, к физиологически активным веществам, обуславливающим проявление конкретных фармакологических свойств тем или иным таксоном.

Несомненный практический интерес представляет изучение возможности использования данных по биохимическому составу лекарственных растений Республики Беларусь в качестве основы для создания фармацевтических препаратов на основе отечественного растительного сырья, а также его стандартизации. Газохроматографический (GLC) анализ является одним из наиболее точных и надежных методов идентификации химического состава биологического материала, позволяющий одновременно идентифицировать летучие и термостабильные компоненты с последующим их использованием в качестве веществ-маркеров для стандартизации воздушно-сухого растительного сырья.

Основными критериями для отбора растений в качестве лекарственного сырья служат высокое содержание действующих веществ, безопасность для человека, доступность необходимых видов в природе, несложная технология культивирования. К группе таких растений принадлежат синюха голубая

(*Polemonium caeruleum* L.) и лабазник шестилепестный (*Filipendula hexapetala* Gilib.).

Polemonium caeruleum L. относится к группе сапонинсодержащих лекарственных растений. Содержит в корневищах с корнями тритерпеновые пентациклические сапонины группы амирина, обладающие высокой гемолитической активностью. Кроме того, обнаружены смолы (1,28 %, в пересчете на воздушно-сухое сырье), органические кислоты, фенолкарбоновые кислоты и их производная хлорогеновая кислота, флавоноиды, эфирные и жирные масла. Растение концентрирует железо, цинк, кадмий, серебро и барий. Сухой экстракт *Polemonium caeruleum* L. оказывает гемостатическое действие, обладает антибактериальной активностью. Эфирная вытяжка проявляет альгицидную активность. *Polemonium caeruleum* L. малотоксична и редко вызывает побочные явления [1].

В клубнях *Filipendula hexapetala* Gilib. содержатся дубильные вещества, гликозид гаультерин и крахмал. В листьях — несколько больше гликозида гаультерина, флавоновое соединение гиперин и эфирное масло, в составе которого находится салициловый альдегид. Моносахара: галактоза, глюкоза, манноза, арабиноза, ксилоза и рамноза. Настои травы *Filipendula hexapetala* Gilib. применяются как сильное мочегонное средство. Отвар клубней принимают от дизентерии, при гинекологических патологиях. Экстракт цветков употребляют при желудочно-кишечных заболеваниях. Вытяжки из растения обладают диуретической и противовоспалительной активностями. Подземная часть *Filipendula hexapetala* Gilib. входит в состав микстуры М. Н. Здренко; проявляет цитостатическое и противовоспалительное действия [2].

Необходимость GLC-анализа продиктована важностью использования исследуемых растений в практике, включая переработку лекарственного растительного сырья представленных таксонов в высококачественные лечебные препараты. Последнее, в свою очередь, направлено на разработку практических мероприятий по стандартизации растительного материала *Filipendula hexapetala* Gilib. и *Polemonium caeruleum* L., произрастающих в центральной агроклиматической зоне Республики Беларусь.

Цель работы — проанализировать компонентный состав водноспиртовых экстрактов, полученных из соцветий, листьев и подземных органов синюхи голубой *Polemonium caeruleum* L. и лабазника шестилепестного *Filipendula hexapetala* Gilib.

Материалы и методы исследования. В качестве объектов исследования служили лекарственные растения синюха голубая *Polemonium caeruleum* L. и лабазник шестилепестный *Filipendula hexapetala* Gilib. Растения культивировались в коллекции пряно-ароматических и лекарственных растений Центрального ботанического сада НАН Беларуси.

Сушку растительного сырья проводили воздушно-теневым способом в хорошо вентилируемых помещениях без доступа прямых солнечных лучей. Потери массы при высушивании различных органов составили для соцветий — 70—80 %; листьев — 55—90 %, корней и корневищ — 60—80 %. Сушка счита-

лась законченной при содержании в сырье 10–15 % гигроскопической влаги [3; 4].

GLC-анализ проводили на хроматографе Agilent 6850 (США) с масс-селективным детектором Agilent 5975 (США). Непосредственно перед анализом водноспиртовые экстракты [5] концентрировали в 4 раза на роторном испарителе. В качестве подвижной фазы использовали инертный носитель — гелий. Для получения воспроизводимых результатов скорость потока газа поддерживалась на стационарном уровне и составила 1 мл/мин. Для разделения использовали капиллярную колонку длиной 30 м, внутренним диаметром 0,25 мм с неподвижной фазой HP-5MS (5 % дифенил и 95 % диметилполисилоксан), толщиной 0,25 мкм. Программирование изменения температуры: 50 °С — 1 мин, подъем до 280 °С со скоростью 5 °С/мин. Объем пробы — 1 мкл, ввод пробы — без сброса, температура испарителя — 250 °С. Идентификация соединений осуществлялась сравнением масс-спектров соединений с библиотечными данными (Wiley C), достоверность идентификации составляла не менее 85 %.

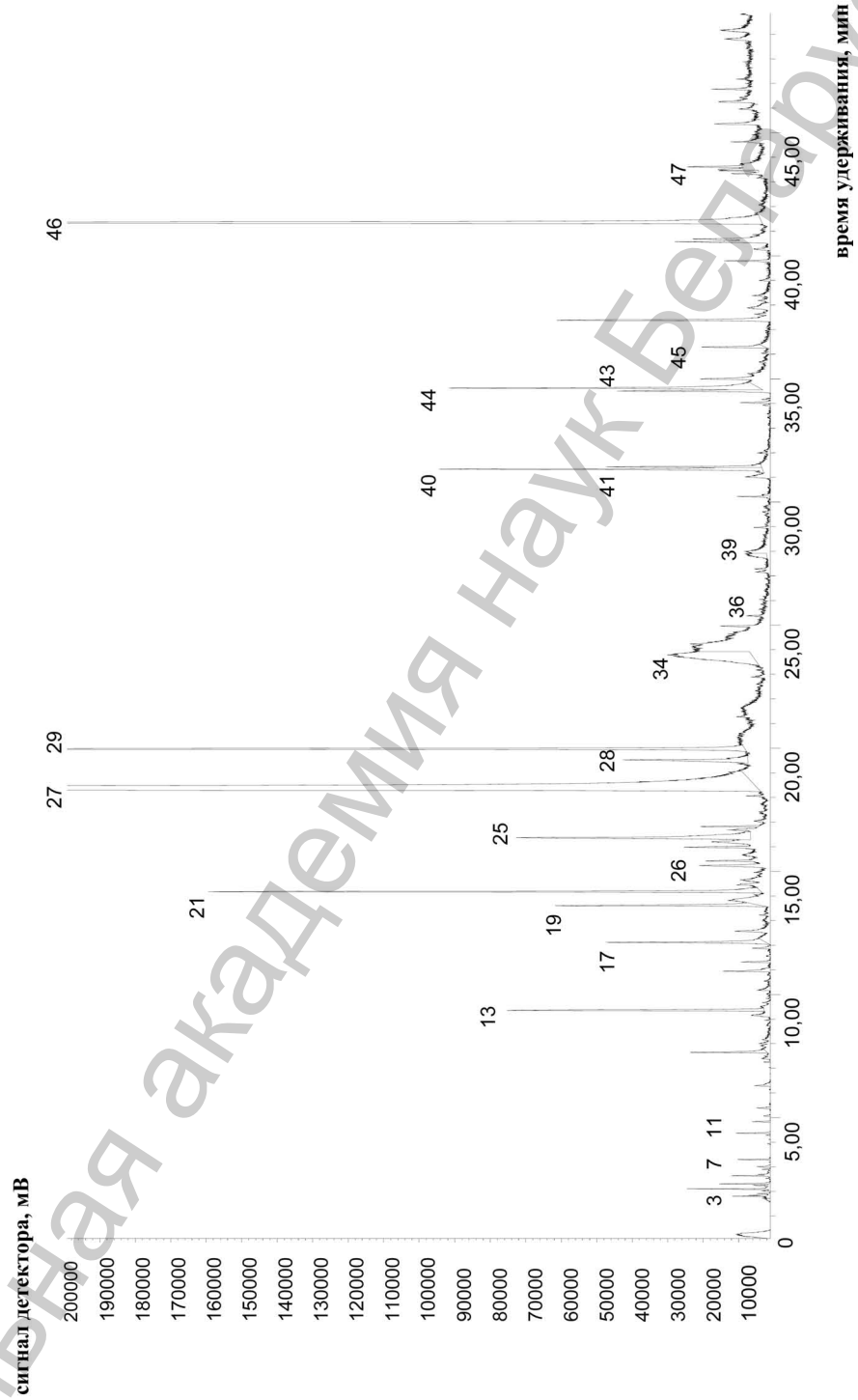
Количественные данные по содержанию термостабильных и летучих компонентов водноспиртовых экстрактов изученных таксонов получены исходя из площадей пиков на хроматограмме по полному ионному току и приведены в нормировочных процентах от суммы площадей всех зарегистрированных пиков, без учета коэффициентов чувствительности [4; 5].

Все анализы проводились в четырехкратной повторности, полученные результаты обрабатывались с использованием компьютерной программы Statistica 6.0, данные считали достоверными при $P < 0,05$. Величины расхождения между исследуемыми данными в выборке и генеральной совокупности рассчитывали с использованием статистической ошибки для среднего. Диапазон, в котором с заданной вероятностью находились исследуемые величины, для генеральной совокупности рассчитывали с помощью доверительного интервала для среднего [8].

Результаты и их обсуждение. Прежде всего обращает на себя внимание то, что при стандартизации лекарственного растительного сырья с помощью GLC-метода сильно удерживаемые вещества, например фитол и стеариновая кислота, не могут считаться специфическими веществами-маркерами, так как присутствуют в составе практически всех растений. Поэтому основное внимание было сосредоточено на оптимизации хроматографического анализа веществ с меньшим временем удерживания, относящихся к различным классам органических соединений.

Типичные виды GLC-хроматограмм изученных водноспиртовых экстрактов *Filipendula hexapetala* Gilib. и *Polemonium caeruleum* L. представлены на рис. 1 и 2. Во всех образцах обнаружены оксипроизводные ароматических соединений, при этом в их составе идентифицировано больше эфиров, производных альдегидов и кетонов.

Из представленных в табл. 1 данных следует, что экстракты, полученные из *Filipendula hexapetala* Gilib., близки по химическому составу.

Рис. 1. GLC-хроматограмма экстракта соцветий *Filipendula hexapetala* Gilib.

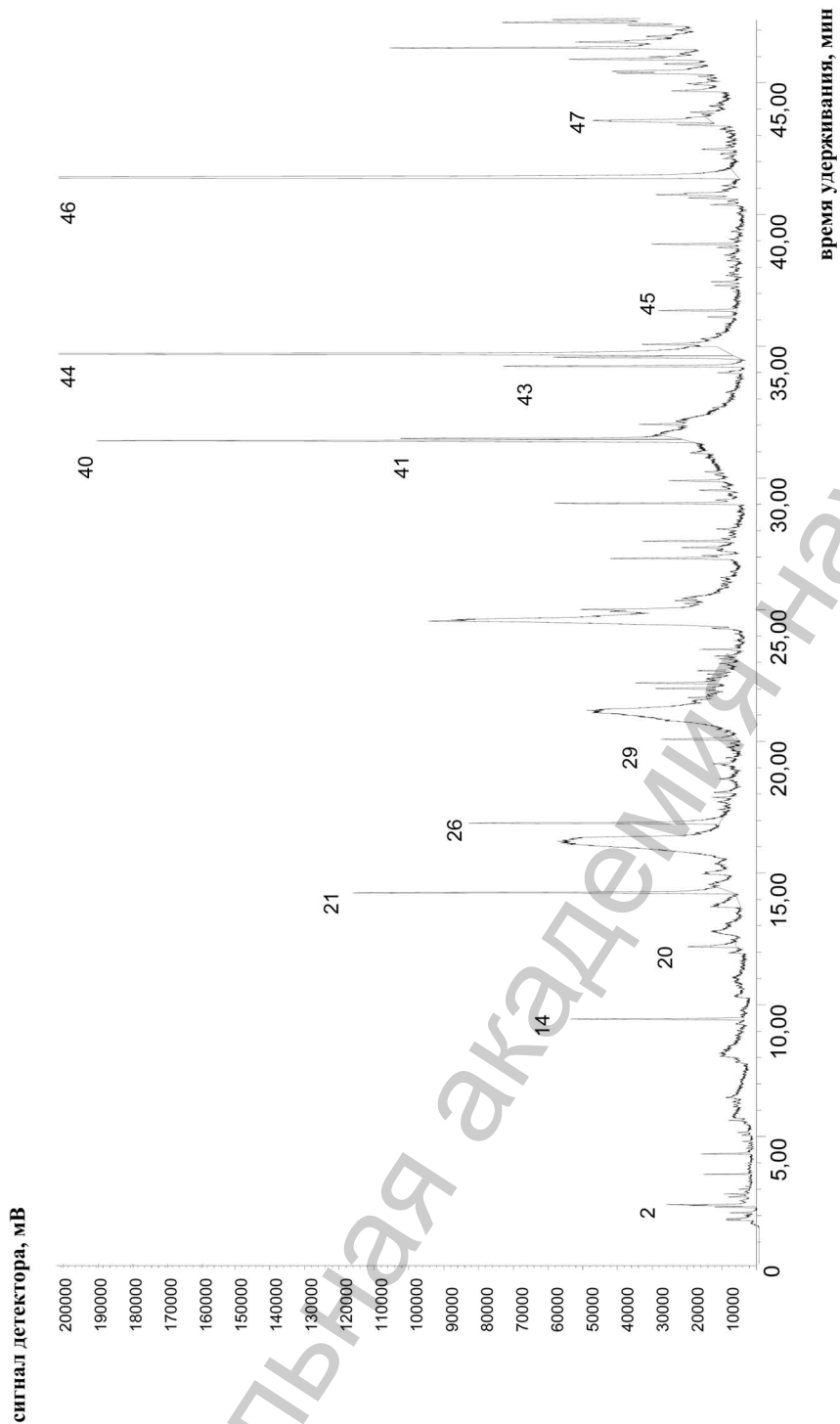


Рис. 2. GLC-хроматограмма экстракта соцветий *Rosetopit saevceit L.*

Национальная академия наук Беларуси

Таблица 1. GLC-анализ компонентного состава экстрактов *Filipendula hexapetala* Gilib.

Компонент	№ компонента на хроматограмме	<i>Filipendula hexapetala</i> Gilib.		
		корни и корневища	листья	соцветия
Изобутилальдегид	1	—	—	$0,15 \pm 7,5 \cdot 10^{-3}$
3-Метилбутаналь	2	—	—	$0,06 \pm 3 \cdot 10^{-3}$
2-Метилбутаналь	3	—	—	$0,15 \pm 7,5 \cdot 10^{-3}$
Акриловая кислота	4	$0,53 \pm 0,03$	$0,77 \pm 0,04$	$0,09 \pm 4,5 \cdot 10^{-3}$
1-Метилпиррол	5	—	$0,16 \pm 8 \cdot 10^{-3}$	—
Этилпиразин	6	$0,19 \pm 9,5 \cdot 10^{-3}$	—	—
Фурфурол	7	—	$0,12 \pm 6 \cdot 10^{-3}$	$0,12 \pm 6 \cdot 10^{-3}$
2-Фуранметанол	8	$0,39 \pm 0,02$	$0,23 \pm 0,01$	—
4-Циклопентен-1,3-дион	9	$1,46 \pm 0,07$	—	$0,07 \pm 3,5 \cdot 10^{-3}$
2-Фуранон	10	$8,52 \pm 0,42$	—	—
2-Гидроксо-циклопент-2-ен-1-он	11	—	$0,17 \pm 8,5 \cdot 10^{-3}$	$0,15 \pm 7,5 \cdot 10^{-3}$
Бензилметанол	12	—	$0,28 \pm 0,01$	—
2-Гидроксо-салицилальдегид	13	—	—	$1,24 \pm 0,06$
Бензилацетальдегид	14	—	$0,18 \pm 9 \cdot 10^{-3}$	—
Бензилэтанол	15	—	—	$0,11 \pm 5,5 \cdot 10^{-3}$
N-метил-N-нитрозо-2-пропанамин	16	—	$0,36 \pm 0,02$	—
2,3-Дигидро-3,5-дигидроксо-6-метил-4-пиран-4-он	17	$2,56 \pm 0,13$	$2,40 \pm 0,12$	$1,11 \pm 0,05$
Бензойная кислота	18	—	$0,08 \pm 4 \cdot 10^{-3}$	$0,31 \pm 0,01$
Метилсалицилат	19	—	$0,52 \pm 0,03$	$1,15 \pm 0,06$
Пирокатехин	20	—	—	—
2-Фуран-карбоксальдегид	22	—	$0,43 \pm 0,02$	$0,30 \pm 0,01$
4-Метокси-бензальдегид	23	—	—	$0,47 \pm 0,02$
p-Метоксибензиловый спирт	24	—	—	$0,58 \pm 0,03$
Салициловая кислота	25	—	$1,34 \pm 0,07$	$2,27 \pm 0,11$
4-Винил-2-метоксифенол	26	—	$0,86 \pm 0,04$	$0,29 \pm 0,01$
Пирогаллол	27	—	$7,30 \pm 0,36$	$36,14 \pm 1,80$
4-Метоксибензойная кислота	28	—	—	$0,81 \pm 0,04$
1,2,3-Бензилтиодиазол	29	—	$6,68 \pm 0,33$	$3,85 \pm 0,19$
1,4-Нафталиндиол	30	—	—	—
1-Нафтол	31	—	—	—
Метил- α -D-рибопиранозид	34	—	$6,60 \pm 0,33$	$3,44 \pm 0,17$
4-(3-Гидроксо-1-пропенил)-2-метокси-фенол	35	—	$0,27 \pm 0,01$	—
p-Кумаровая кислота	36	—	—	$0,27 \pm 0,01$
2,7-Нафталиндиол	37	—	—	—
Неофитодисн	38	—	—	—
2-Пентадеканон	39	—	—	$0,17 \pm 8,5 \cdot 10^{-3}$
Пальмитиновая кислота	40	$0,75 \pm 0,04$	$1,54 \pm 0,08$	$1,53 \pm 0,07$
Дибутиловый эфир 1,2-бензил-дикарбоновой кислоты	41	$2,18 \pm 0,11$	$0,82 \pm 0,04$	$0,88 \pm 0,04$
Фитол	42	—	$0,80 \pm 0,04$	—
Линолевая кислота	43	$0,87 \pm 0,04$	$0,72 \pm 0,04$	$0,77 \pm 0,04$

Окончание табл. 1

Компонент	№ компонента на хроматограмме	<i>Filipendula hexapetala</i> Gilib.		
		корни и корневища	листья	соцветия
Метилленолеат	44	—	4,85 ± 0,24	2,41 ± 0,12
N-фенил-1-нафталинамин	45	—	0,36 ± 0,02	0,49 ± 0,02
Бис-2-этил-гексиловый эфир 1,2-бензил-дикарбоновой кислоты	46	28,97 ± 1,45	14,45 ± 0,72	10,78 ± 0,54
Этиллинолеат	47	—	0,84 ± 0,04	0,20 ± 0,01

Примечание. Количество компонентов приведено в нормировочных процентах от суммы площадей всех зарегистрированных пиков, без учета коэффициентов чувствительности; «—» — отсутствие компонента в экстракте.

Газохроматографический анализ экстрактивных веществ, полученных из подземных органов *Filipendula hexapetala* Gilib., показал, что компонентный состав экстракта из всех изученных образцов наиболее обеднен. В водноспиртовом экстракте *Filipendula hexapetala* Gilib. идентифицировано 10 компонентов, преобладал среди которых бис-2-этилгексиловый эфир 1,2-бензилдикарбоновой кислоты.

Для *Polemonium caeruleum* L. идентифицировано 22 летучих и термостабильных компонента. Основными из них, как и для *Filipendula hexapetala* Gilib., являются сложные эфиры, производные альдегидов и кетонов (табл. 2).

Таблица 2. GLC-анализ компонентного состава экстрактов *Polemonium caeruleum* L.

Компонент	№ компонента на хроматограмме	<i>P. caeruleum</i>		
		корни и корневища	листья	соцветия
3-Метилбутаналь	2	—	0,12 ± 6·10 ⁻³	0,09 ± 4,5·10 ⁻³
2-Метилбутаналь	3	—	—	0,12 ± 6·10 ⁻³
Этилпиразин	6	—	0,09 ± 4,5·10 ⁻³	0,14 ± 7·10 ⁻³
Бензилацетальдегид	14	—	0,32 ± 2·10 ⁻³	0,49 ± 2·10 ⁻²
2,3-Дигидро-3,5-дигидроксо-6-метил-4-пиран-4-он	17	—	0,39 ± 2·10 ⁻²	0,42 ± 2·10 ⁻²
Бензойная кислота	18	1,13 ± 6·10 ⁻²	0,38 ± 2·10 ⁻²	0,46 ± 2·10 ⁻²
Пирокатехин	20	—	—	0,39 ± 0,02
4-Винилфенол	21	—	2,18 ± 0,11	1,53 ± 0,08
4-Винил-2-метоксифенол	26	1,53 ± 0,08	2,49 ± 0,12	1,16 ± 0,06
1,2,3-Бензилтиодиазол	29	—	—	0,45 ± 2·10 ⁻²
Хинная кислота	32	—	5,43 ± 0,27	—
4-Гидроксо-3-метоксibenзилацетат	33	—	2,71 ± 0,13	—
4-(3-Гидроксо-1-пропенил)-2-метоксифенол	35	0,67 ± 0,03	0,56 ± 0,03	—
Неофитодиен	38	—	0,78 ± 0,04	—
Пальмитиновая кислота	40	2,95 ± 0,14	2,11 ± 0,10	2,55 ± 0,13
Дибутиловый эфир 1,2-бензил-дикарбоновой кислоты	41	2,92 ± 0,15	1,36 ± 0,07	2,04 ± 0,10

Окончание табл. 2

Компонент	№ компонента на хроматограмме	<i>P. caeruleum</i>		
		корни и корневища	листья	соцветия
Фитол	42	1,21 ± 0,06	1,28 ± 0,06	—
Линолевая кислота	43	2,69 ± 0,13	0,98 ± 0,05	0,81 ± 0,04
Метилленолеат	44	—	5,75 ± 0,28	4,69 ± 0,23
N-фенил-1-нафталинамин	45	1,25 ± 0,06	0,33 ± 0,02	0,26 ± 0,1
Бис-2-этил-гексильный эфир 1,2-бензилдикарбоновой кислоты	46	56,94 ± 2,85	13,00 ± 0,65	10,20 ± 0,51
Этиллинолеат	47	—	1,08 ± 0,05	1,26 ± 0,06

Примечание. Количество компонентов приведено в нормировочных процентах от суммы площадей всех зарегистрированных пиков, без учета коэффициентов чувствительности; «—» — отсутствие компонента в экстракте.

В экстрактивных веществах соцветий *Polemonium caeruleum* L. найдено 17 компонентов, в составе которых преобладают бис-2-этилгексильный эфир 1,2-бензилдикарбоновой кислоты и метилленолеат. В подземных органах идентифицировано 9 веществ, из которых максимальное количество, как и для экстракта соцветий, приходится на бис-2-этилгексильный эфир 1,2-бензилдикарбоновой кислоты (табл. 2).

Компонентный состав водноспиртового экстракта листьев *Polemonium caeruleum* L. включает 19 GLC-идентифицированных компонентов. Основными соединениями в их составе являлись бис-2-этилгексильный эфир 1,2-бензилдикарбоновой кислоты, метилленолеат, пальмитиновая кислота, 4-гидроксо-3-метоксибензилацетат и хинная кислота.

Таким образом, с помощью метода газожидкостной хроматографии идентифицировано 38 компонентов в водноспиртовых экстрактах соцветий, листьев и подземных органов (корни и корневища) у *Filipendula hexapetala* Gilib. и 22 компонента в экстрактивных веществах *Polemonium caeruleum* L. Получены данные по их относительному содержанию.

Результаты GLC-анализа могут быть использованы для создания хроматографической базы данных с целью идентификации и стандартизации воздушно-сухого растительного сырья лекарственных растений и фитопрепаратов на их основе.

Выводы. Газохроматографически идентифицированы летучие и термостабильные компоненты в составе водноспиртовых экстрактов соцветий, листьев, корней и корневищ *Filipendula hexapetala* Gilib. и *Polemonium caeruleum* L. Во всех образцах обнаружены оксипроизводные ароматических соединений, основным компонентом которых являлся бис-2-этилгексильный эфир 1,2-бензилдикарбоновой кислоты.

В целом GLC-метод с масс-селективным детектированием показал себя как перспективный для внедрения в методики стандартизации лекарственного растительного сырья.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Б08М-004).

Литература

1. Башилов А. В., Решетников В. Н., Кухарева Л. В. // Весті НАН Беларусі. Сер. біял. навук. 2007. № 1. С. 114—118.
2. Башилов А. В., Решетников В. Н. // Материалы междунар. науч.-практ. конф. (Нарочанские чтения), Минск—Нарочь, 27—30 сент. 2006 г. / Центральный ботанический сад НАН Беларусі; редкол.: В. Н. Решетников [и др.]. Минск, 2006. С. 4—12.
3. Годовальников Г. В. Государственная фармакопея Республики Беларусь. Общие методы контроля качества лекарственных средств. Минск, 2006. С. 228, 242—245.
4. Ананьева А. Р. Государственная фармакопея СССР. М., 1987. Т. 2. С. 381.
5. Косман В. М., Зенкевич И. Г. // Растительные ресурсы. 2001. Т. 37, вып. 4. С. 123—129.
6. Отто М. Современные методы аналитической химии. М., 2004. С. 24—46.
7. Ольшанова К. М., Потапова М. А., Морозова Н. М. Практикум по хроматографическому анализу. М., 1970. С. 36—72.
8. Рокитский П. Ф. Биологическая статистика. Минск, 1967. — 238 с.

A. V. BASHILOV

**USING GLC-ANALYSIS WITH MASS-SELECTIVE DETECTION
IN THE STANDARDIZATION OF PLANT RAW *POLEMONIUM CAERULEUM* L.
AND *FILIPENDULA HEXAPETALA* GILIB.**

Summary

Gas chromatography identified volatile and thermally stable components in alcohol extracts of inflorescences, leaves, roots and rhizomes of *Filipendula hexapetala* Gilib. and *Polemonium caeruleum* L. All samples were found derivatives of aromatic compounds. The promising use of GLC method with mass-selective detection for the introduction of standardization of medicinal plant raw is shown.

УДК 539.2

А. К. СОЙКА¹, И. Т. БОДНАРЬ², И. О. СОЛОГУБ¹**ВЛИЯНИЕ СИЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ
НА ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ,
АКТИВИРОВАННЫХ ПАРАМАГНИТНЫМИ ПРИМЕСЯМИ**¹Белорусский государственный технологический университет²Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению

(Поступила в редакцию 09.06.2010)

Исследовано влияние сильного магнитного поля на оптические свойства активированных двулучепреломляющих кристаллов. Обнаружен неизвестный ранее магнитооптический эффект, заключающийся в деформации оптических индикатрис двулучепреломляющих кристаллов кварца и калий-гадолиниевого вольфрамата, активированных ионами железа и иттербия соответственно, вследствие однократного воздействия на них импульсного магнитного поля с индукцией ~ 40 Тл. Установлено, что решающую роль в возникновении обнаруженного явления играют примесные парамагнитные ионы. Эффект сохраняется в течение длительного времени после отключения поля и, видимо, является необратимым.

Известно, что внешнее магнитное поле способно существенным образом влиять на оптические свойства помещенного в него вещества. К настоящему времени основные магнитооптические явления — эффект Зеемана (расщепление уровней энергии атомов и молекул), эффект Фарадея (вращение плоскости поляризации света) и эффект Коттона—Мутона (возникновение двулучепреломления в изотропных средах) — достаточно хорошо исследованы как экспериментально, так и теоретически и широко используются в научных исследованиях и технических приложениях [1]. При этом общим свойством практически всех магнитооптических эффектов является то, что они наблюдаются только в присутствии (*in situ*) магнитного поля. Более того, их инерционность относительно индукции внешнего магнитного поля весьма мала ($\sim 10^{-9}$ с) [2].

В то же время в ряде экспериментов обнаружены изменения различных, в том числе и оптических макроскопических характеристик вещества при воздействии на него постоянных, переменных или импульсных магнитных полей (как слабых, так и сильных), характеризующиеся тем, что они сохраняются и в отсутствие магнитного поля, т. е. являются долговременными или необратимыми [3—7]. Экспериментально установлена также корреляция между магнитопластическими и магнитооптическими явлениями, когда изменение механических характеристик кристалла вследствие воздействия на него маг-

нитного поля ($B \sim 30$ Тл) определенным образом влияло на проявление магнитооптического эффекта, наблюдаемого в этом кристалле, и наоборот [8; 9]. Объяснения, тем более теории подобного рода явлений, пока нет, поскольку не ясны элементарные физические процессы, лежащие в их основе. В связи с этим представляются актуальными экспериментальные исследования, связанные с поиском и изучением новых магнитоиндуцированных явлений, имеющих долговременный характер.

Нами экспериментально исследовано влияние сильного импульсного магнитного поля с индукцией 40 Тл на двулучепреломляющие свойства одноосных и двуосных кристаллов, активированных ионами переходных и редкоземельных металлов. Использование импульсного магнитного поля в данном случае означает, что целью эксперимента являлось обнаружение именно долговременных (или необратимых) изменений оптических свойств исследуемых кристаллов.

В качестве образцов использовались кристаллы кварца с примесью атомов железа ($\approx 0,8$ % по весу) и калий-гадолиниевого вольфрамата (KGW), активированного ионами Yb^{3+} с атомной концентрацией ≈ 2 %. Оба этих материала достаточно хорошо изучены и широко применяются в оптике, оптоэлектронике и квантовой электронике.

KGW относится к кристаллам низшей категории и обладает двумя оптическими осями (бинормальными), угол между которыми $2V = 86,5^\circ$. Его оптическая индикатриса имеет форму трехосного эллипсоида, полуоси которого равны главным значениям показателей преломления $n_g \neq n_m \neq n_p$ кристалла. Направления, перпендикулярные двум центральным круговым сечениям этого эллипсоида, определяют оптические оси кристалла, вдоль которых значения показателей преломления одинаковы.

Исследуемые образцы имели вид прямоугольных плоскопараллельных пластинок с размерами $12 \times 10 \times 3$ мм (кварц) и $26 \times 10 \times 3$ мм (KGW). Оптическая ось кварца была перпендикулярна большей стороне пластинки и составляла угол $18,1^\circ$ с ее плоскостью. Для кристалла KGW главные оси индикатрисы показателей его преломления n_g , n_m и n_p ориентировались относительно пластинки так, что ось n_g была перпендикулярна плоскости пластинки, а проекции осей n_p и n_m на эту плоскость приблизительно совпадали с направлениями соответственно большей и меньшей сторон пластинки.

Эксперимент проводился при комнатной температуре. Регистрация величины двулучепреломления производилась методом скрещенных поляризаторов. Пластинка исследуемого кристалла располагалась в вертикальной плоскости на поворотном столике гониометра так, что ее наибольшая сторона была горизонтальна, а ось вращения столика совпадала с осью симметрии пластинки (рис. 1). Луч He—Ne лазера, используемого в качестве источника линейно поляризованного зондирующего излучения, проходил последовательно через поляризатор, пластинку (примерно в области ее геометрического центра), анализатор, механический модулятор (частота модуляции ~ 200 Гц) и попадал на входное окно фотодиода ФД-7К, сигнал которого подавался на осциллограф С1-70. Плоскость колебаний электрического вектора излучения лазера устанавливалась в диагональное положение относительно плоскостей пропускания поляризатора и анализатора, т. е. под углом 45° к сторонам исследуемой пластинки.

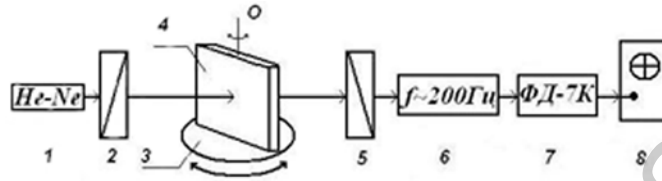


Рис. 1. Схема эксперимента по исследованию двулучепреломления кристаллов: 1 — He—Ne лазер; 2 — поляризатор; 3 — поворотный столик; 4 — образец (пластинка исследуемого кристалла); 5 — анализатор; 6 — механический модулятор; 7 — фотодиод ФД-7К; 8 — осциллограф (типа С1-70)

Поворотом столика гониометра угол падения луча света на пластинку изменялся от нуля до $\pm 20^\circ$ (с точностью $\sim 0,1^\circ$). Это позволяло получать всевозможные состояния поляризации выходящего из пластинки излучения, которые для каждого фиксированного угла падения определялись величиной двулучепреломления кристалла (для КGW преимущественно $\Delta n = n_g - n_m$) в направлении распространения луча света и длиной его пути в пластинке. Состояние поляризации прошедшего через образец света определяет, в свою очередь, интенсивность света, вышедшего из анализатора, и прямо пропорциональную ей величину амплитуды электрического сигнала фотодиода, наблюдаемого на экране осциллографа.

Эксперимент заключался в получении кривых зависимости интенсивности вышедшего из анализатора света от угла поворота пластинки (рис. 1). Такие кривые получались дважды — до и после воздействия на образцы (пластинки) каждого из кристаллов импульсного магнитного поля. Особое внимание при этом уделялось обеспечению идентичности условий проведения этих экспериментов. Полученные кривые затем сравнивались друг с другом, что позволяло сделать однозначное заключение об изменении (или об отсутствии изменений) двулучепреломляющих свойств данного кристалла, вызванных воздействием на него сильного магнитного поля.

Исследуемые пластинки кристаллов кварца и КGW подвергались однократному воздействию импульсного магнитного поля с амплитудой индукции 40 Тл. При этом они располагались в катушке магнита так, что силовые линии магнитного поля были параллельны большой стороне пластинок. В наших экспериментах использовалось униполярное импульсное магнитное поле с синусоидальным фронтом нарастания длительностью ≈ 20 мкс и экспоненциальным фронтом спада индукции длительностью около 200 мкс. Осциллограмма импульса магнитного поля представлена на рис. 2. Способ получения таких импульсов сильного магнитного поля описан в работе [10].

На рис. 3 представлены кривые зависимости интенсивности вышедшего из анализатора света от угла падения луча лазера на пластинки исследуемых кристаллов до и после воздействия на них магнитного поля. Сравнение этих кривых показывает, что после однократного воздействия на кристаллы КGW + Yb (2 %) и SiO₂ + Fe (0,8 %) импульсного магнитного поля с амплитудой индукции 40 Тл их двулучепреломляющие свойства изменяются.

Например, при нормальном падении света на кварцевую пластинку (рис. 3) до воздействия на нее магнитного поля выходящий из пластинки луч поляри-

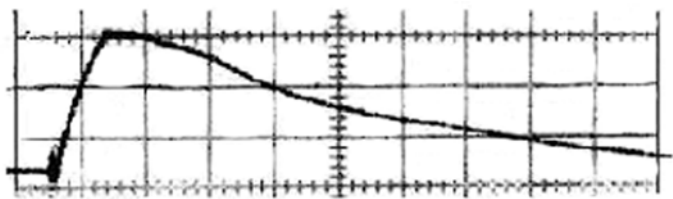


Рис. 2. Осциллограмма импульса магнитного поля с индукцией 40 Тл. Развертка по горизонтали 20 мкс/деление

зован по эллипсу, большая ось которого почти перпендикулярна плоскости пропускания анализатора. После воздействия на кварц магнитным полем тот же луч — при всех прочих равных условиях — имеет уже круговую поляризацию, которая практически не меняется при повороте пластинки в пределах $\pm 7^\circ$. Нечто подобное имеет место также и для кристалла KGW.

Поскольку в наших экспериментах длительность промежутков времени между наложением на кристаллы импульсного магнитного поля и регистрацией величины их двулучепреломления составляла величину ~ 10 сут, то эти изменения, по меньшей мере, являются долговременными или, что, по нашему мнению, более вероятно, имеют необратимый характер.

Аналогичный эксперимент был проведен также и с образцами (пластинками), изготовленными из чистого кристаллического кварца, геометрия которых была такой же, как и у исследуемых образцов активированного кварца, однако при этом никаких магнитоиндуцированных изменений его двулучепре-

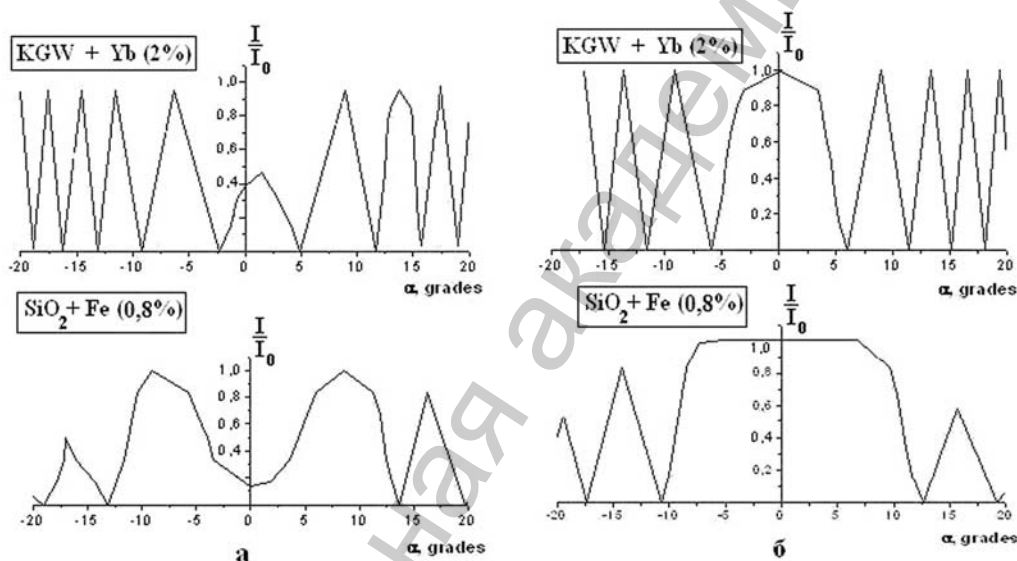


Рис. 3. Зависимости интенсивности вышедшего из анализатора света от угла падения луча лазера на пластинки исследуемых кристаллов: а — до воздействия, б — после воздействия магнитного поля

ломляющих свойств обнаружено не было. Это обстоятельство дает основание полагать, что определяющую роль в возникновении описанного выше магнитооптического эффекта, заключающегося в деформации оптической индикатрисы исследованных кристаллов сильным импульсным магнитным полем, играют примесные парамагнитные ионы Fe^{3+} и Yb^{3+} .

Как уже отмечалось выше, проблема интерпретации рассматриваемых магнитоиндуцированных оптических или пластических явлений заключается в том, что пока нам мало что известно о механизмах влияния магнитного поля (тем более — длительного или необратимого) на макроскопические свойства кристаллов. Например, магнитное поле с амплитудой индукции ~ 40 Тл практически полностью подавляет люминесцентные свойства лазерного рубина [7], а под воздействием магнитных полей $\sim (1-10)$ Тл (постоянных или импульсных) параметры, характеризующие пластичность кристаллов, могут изменяться в несколько раз [3; 4; 6; 8; 9]. Объяснить эти явления энергетическим воздействием магнитного поля на частицы вещества нельзя, так как слишком мала энергия, которую может сообщить отдельной частице или любому структурному элементу магнитоупорядоченного вещества даже сравнительно сильное магнитное поле. Так, для частицы с магнитным моментом в один магнетон Бора в поле ~ 10 Тл эта энергия составляет величину $\sim 6 \cdot 10^{-4}$ эВ, что почти на два порядка меньше тепловой энергии частиц при комнатной температуре, не говоря уже о значениях энергии оптических переходов или энергии активационных барьеров для движения дислокаций в кристаллах, имеющих величины ~ 1 эВ. Очевидно, что увеличение индукции магнитного поля до 40 Тл не меняет ситуацию радикальным образом.

Противоречие между малостью энергии магнитного возмущения и масштабом наблюдаемых магнитоиндуцированных оптических и механических явлений нельзя устранить, если оставаться в рамках положений физики оптических и пластических процессов в кристаллах и рассматривать лишь механизмы прямого воздействия на них внешнего магнитного поля. Видимо, в данном случае необходимо допустить существование механизмов опосредованного влияния магнитного поля на свойства вещества.

В последнее время для объяснения влияния магнитных полей на макроскопические характеристики твердых тел в литературе широко обсуждается концепция, основанная на использовании представлений химической физики и спиновой химии [2—4; 11; 12]. Ее суть заключается в иницировании магнитным полем быстротекающих необратимых спин-зависимых физико-химических процессов в твердом теле, обусловленных переориентацией спинов электронов, локализованных на примесных парамагнитных ионах или на дефектах кристаллической решетки. Это иницирование осуществляется посредством снятия внешним магнитным полем спиновых запретов на возможные каналы возникновения и развития таких процессов (реакций), которые могут существенным образом (для тех или иных явлений) изменить электронную структуру кристалла. В работе [11] показано, что при рассмотрении влияния магнитного поля на оптические свойства непроводящих кристаллов необходимо учитывать переориентацию спинов частиц. Там же отмечается, что в случае сильных магнитных полей поляризационные свойства кристаллов могут существенным образом зависеть от взаимной ориентации спинов частиц.

Однако такая концепция магнитоиндуцированных явлений имеет пока ряд нерешенных вопросов [13; 14]. Прежде всего, не определены конкретные типы спин-зависимых химических процессов (реакций), посредством которых магнитное поле изменяет те или иные свойства твердых тел. Кроме того, в рамках этой концепции, например, в случае магнитоэластических явлений предсказанные увеличения пробегов дислокаций в кристаллах должны быть на уровне $\sim 1\%$, в то время как экспериментальные значения достигают величин $\sim 100\%$ [13], а в случае магнитоиндуцированных оптических явлений трудно объяснить зависимость некоторых из них от температуры [5].

Таким образом, выяснение природы обнаруженного магнитооптического эффекта требует проведения дальнейших как экспериментальных, так и теоретических исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Российского фонда фундаментальных исследований (проект № Ф08Р-025).

Литература

1. В о н с о в с к и й С. В. Магнетизм. М., 1971. — 1032 с.
2. К н о п ф е л ь Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля и их применения. М., 1972. — 391 с.
3. Г о л о в и н Ю. И. // Физика твердого тела. 2004. Т. 46, № 5. С. 769—803.
4. М о р г у н о в Р. Б. // Успехи физ. наук. 2004. Т. 174, вып. 2. С. 131—154.
5. З е л ь д о в и ч Я. Б., Б у ч а ч е н к о А. Л., Ф р а н к е в и ч Е. Л. // Успехи физ. наук. 1988. Т. 155, вып. 1. С. 3—45.
6. О с и п ь я н Ю. А., Г о л о в и н Ю. И., Л о п а т и н Д. В. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1999. Т. 69, вып. 2. С. 110—113.
7. Б о й к о Б. Б., С о й к а А. К. // Докл. Акад. наук БССР. 1978. Т. 22, № 12. С. 1072—1074.
8. М о р г у н о в Р. Б., Ш м у р а к С. З., П о н а м а р е в Б. К. и др. // Письма в ЖЭТФ. 2002. Т. 76, вып. 5. С. 366—370.
9. Г о л о в и н Ю. И., М о р г у н о в Р. Б., Б а с к а к о в А. А., Б а д ы л е в и ч М. В. // Письма в ЖЭТФ. 1999. Т. 69, вып. 2. С. 114—118.
10. С о й к а А. К. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 14, вып. 3. С. 1238—1241.
11. Р о д и о н о в В. Н., К р а в ц о в а Г. А., М а н д е л ь А. М. // Письма в ЖЭТФ. 2003. Т. 78, вып. 4. С. 253—257.
12. А л ь ш и ц В. Е., Д а р и н с к а я Е. В., К о л д а е в а М. В., П е т р ж и к Е. А. // Кристаллография. 2003. Т. 43, № 5. С. 826—854.
13. М о р г у н о в Р. Б. // Вестн. РФФИ. 2003. № 2. С. 19—46.
14. З а к р е в с к и й В. А., П а х о т и н В. А., Ш у л ь д и н е р А. В. // Физика твердого тела. 2002. Т. 44, № 11. С. 1990—1993.

A. K. SOIKA, I. T. BODNAR, I. O. SOLOHUB

THE INFLUENCE OF HIGH MAGNETIC FIELD ON BIREFRIGENT PROPERTIES OF CRYSTALS ACTIVATED BY PARAMAGNETIC ADMIXTURE

Summary

A new magneto-optical effect is described. The influence of the high pulsed magnetic fields on optical properties of birefringent crystals was studied. The samples were crystals of SiO_2 and KGW both activated by paramagnetic admixture (Fe and Yb accordingly). The birefringent properties measurement was made by crossed polarizers method. It was discovered that high pulsed magnetic field with induction 40 T changes birefringent properties of SiO_2 and KGW activated crystals. The effect keeps during long time after magnetic field shutdown and seems to be inconvertible.

УДК 631.523./524:[633/11+633/14]

Л. В. КОРЕНЬ, Л. В. ХОТЫЛЕВА

ВЛИЯНИЕ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ ТИПА РАЗВИТИЯ У РАЗНЫХ ПО ГЕНОМНОМУ СОСТАВУ ЛИНИЙ ТРИТИКАЛЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ

Институт генетики и цитологии НАН Беларуси

(Поступила в редакцию 10.06.2010)

*Показано влияние изменения экспрессии генов типа развития у тритикале разного геномного состава, включающего уровень плоидности, специфику родительских линий пшеницы и сортов ржи по системам *Vrn*- и *Ppd*-генов, присутствие интрогрессий генетического материала гомеологичных хромосом *D*-генома мягкой пшеницы, на формирование продуктивности растений. В пределах анализируемых комбинаций более скороспелыми оказались гексаплоидные линии с интрогрессией от 2*D*-хромосомы по сравнению с контрольными линиями без интрогрессий. Установлено, что максимальную продуктивность в условиях Беларуси формируют яровые гексаплоидные формы тритикале с фотонейтральным генофоном при продолжительности периода всходы—колошение 56—58 дней, а с чувствительным к фотопериоду генофоном — 60—62 дня. Полученные данные указывают на возможный путь решения проблемы позднеспелости яровых тритикале в условиях Беларуси путем реконструкции генома тритикале.*

Введение. Тритикале характеризуется высокой потенциальной продуктивностью, которая, однако, в условиях Беларуси не всегда реализуется. Основным препятствием для этого является позднеспелость существующих яровых форм, в связи с чем для решения проблемы экологической адаптации тритикале важным является выяснение генетических причин позднеспелости. По современным представлениям продолжительность вегетационного периода у мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) определяется генами, контролирующими реакцию растений на яровизацию (*Vrn*), фотопериод (*Ppd*), и другими менее изученными факторами. Около 75 % наследственной вариации этого признака обусловлено генетической системой *Vrn*-генов [1]. Фенотипическая экспрессия данной системы генов у мягкой пшеницы достаточно хорошо изучена. Можно предположить, что у тритикале, в создании которого участвовала пшеница, эта система также играет основную роль в генетическом контроле скорости развития растений и, следовательно, влияет на формирование продуктивности. В связи с этим исследования молекулярно-генетических

основ экспрессии системы *Vrn*-генов у тритикале, а также влияния его геномного состава на формирование продуктивности растений являются актуальными и представляют интерес для использования в адаптивной селекции данной культуры. Однако для проведения такого рода изысканий у тритикале не было соответствующего экспериментального материала с известными системами *Vrn*-генов. В настоящее время на основе почти изогенных по системе *Vrn*-генов линий мягкой пшеницы Triple Dirk (TD) [2] и яровых аналогов Мироновской 808 (М 808) [1] методом отдаленной гибридизации с применением эмбриокультуры нами созданы наборы линий, маркированные определенными *Vrn*-генами, пригодные для изучения особенностей их экспрессии в генотипе тритикале [3]. В качестве опылителя при создании таких линий была использована диплоидная озимая рожь *Secale cereale* L. сорта Восход (В) и яровая аллоплазматическая рожь (АР), выделенная из популяции F_2 от скрещивания тритикале 6ТА 206 с диплоидной рожью Prolific в лаборатории цитогенетики растений Института генетики и цитологии НАН Беларуси.

В проведенных нами исследованиях было показано, что изменчивость фенотипического проявления *Vrn*-генов, контролирующей скорость развития созданных линий тритикале, зависит от их геномного состава, который включает уровень пloidности линий (AABBDDRR или AABBRR), специфику родительских линий пшеницы и сортов ржи по данной системе генов, а также генофон сортово по *Ppd*-генам (чувствительность к фотопериоду) [4–6]. Была обнаружена также значительная изменчивость времени колошения гексаплоидных линий тритикале в пределах комбинаций скрещивания с одинаковой системой *Vrn*-генов [7]. Последняя может быть обусловлена присутствием генетического материала D-генома, выявленного методом микросателлитного анализа у некоторых из гексаплоидных линий [8].

В задачу настоящего исследования входило выяснение влияния изменения скорости развития, обусловленное разным геномным составом тритикале, на формирование признаков продуктивности растений.

Материал и методы исследования. В качестве экспериментального материала использованы созданные нами линии тритикале разного геномного состава, маркированные определенными системами *Vrn*-генов.

Продуктивность созданных тритикале и исходных линий пшеницы, маркированных *Vrn*-генами, изучали в эксперименте на опытных полях Института генетики и цитологии НАН Беларуси. Посев образцов проводили весной в оптимальные для яровых сроки на делянках 1 м^2 (5 рядков, междурядья — 20 см, норма высева — 100 зерен на делянку). Сравнительные анализы продуктивности осуществляли в пределах системы созданных линий. Синтезированные октоплоидные и гексаплоидные линии представляют собой первичные тритикале и являются удобной экспериментальной моделью для изучения экспрессии генов типа развития в новой генетической среде. Учитывая сложность гибридного генома интрогрессивных первичных линий тритикале, содержащих уникальные интрогрессии от генома D мягкой пшеницы, оценку хозяйственно ценных признаков у них проводили относительно нескольких контрольных линий, не содержащих интрогрессии.

В течение вегетационного периода вели фенологические наблюдения за ростом и развитием растений: отмечали фазы кущения, выхода в трубку, колошения, цветения, созревания. При уборке у всех образцов учитывали показатели основных компонентов продуктивности: высоту растения, количество продуктивных побегов на растение, длину, число колосков и зерен главного колоса, массу зерна главного колоса и всего растения, а также массу 1000 зерен главного колоса. Полученные данные статистически обработаны программой Excel. Оценку различий между средними значениями признаков разных образцов производили согласно методу Дж. У. Тьюки путем определения разности D, которая существенна на 5 %-ном уровне [9].

Результаты и их обсуждение. При анализе структуры урожая линий тритикале, маркированных по системе *Vrn*-генов, и соответствующих родительских линий пшеницы во всех комбинациях установлено превышение по признакам «высота растения», «длина» и «число колосков» главного колоса у октоплоидных и гексаплоидных линий тритикале. В то же время по числу и массе зерен главного колоса и одного растения октоплоидные линии тритикале в большинстве комбинаций уступали родительским линиям пшеницы (табл. 1). Сравнительно низкую фертильность растений октоплоидных тритикале можно объяснить более высоким уровнем плоидности, а также, возможно, незавершенным процессом их стабилизации, что выражается в частичной стерильности растений. Кроме того, результаты проведенных ранее исследований показали, что октоплоидные тритикале характеризовались более продолжительным периодом всходы—выколашивание по сравнению с родительскими линиями пшеницы и гексаплоидными тритикале. В опыте наблюдалось резкое снижение продуктивности октоплоидных линий за счет уменьшения числа и массы зерен главного колоса (табл. 1). Число дней до колошения (ЧДК) растений тритикале в данных комбинациях скрещивания было значительно выше, чем у родительских линий пшеницы. В то же время некоторые октоплоидные линии по признакам «число», «масса зерна» главного колоса и одного растения превышали исходные линии пшеницы.

Как видно из полученных результатов, *Vrn*-гены оказывают различное влияние на развитие определенных генотипов тритикале, изменяя скорость их развития, и в итоге конечную продуктивность. Причем в большинстве случаев увеличение периода всходы—колошение приводит к снижению продуктивности растений тритикале (массы зерна с колоса и растения) как за счет уменьшения числа зерен, так и за счет их плохой выполненности, особенно в колосьях боковых побегов.

При сравнении по признакам структуры урожая октоплоидных (AABVDDRR) и гексаплоидных (AABBRR) линий тритикале, выделенных внутри комбинаций, маркированных одинаковыми *Vrn*-генами, установлено, что значения признаков «высота растения», «число колосков», «число» и «масса» зерен главного колоса в большинстве комбинаций выше у гексаплоидных линий по сравнению с октоплоидными (табл. 1). Как было показано ранее, гексаплоидные линии тритикале выколашивались раньше октоплоидных, в результате чего успевали реализовать свою потенциальную продуктивность в более благоприятный период вегетации. По признаку «длина главного колоса»,

Таблица 1. Характеристика линий тритикале, маркированных *Vrn*-генами, по геномному составу, ЧДК и основным признакам продуктивности растений в сравнении с родительскими линиями мягкой пшеницы, 2008 г.

Линия пшеницы, комбинация скрещивания	Линия	Интрогрессия от генома <i>D</i>	ЧДК	Высота растения, см	Продуктивная кустистость	Длина, см	Главный колос				Масса зерна 1 растения, г
							Число колосков	Число зерен	Масса зерна, г	Масса 1000 зерен, г	
TD D (<i>Vrn1</i>)			51	85,2	3,1	7,8	16,4	35,3	1,7	47,6	3,8
TD D × AP - 8x	2		64	80,3	2,6	8,9	19,0	24,3	1,0	40,8	2,5
TD D × AP - 6x	3/9		53	93,5	2,4	8,6	21,8	29,8	1,3	41,6	2,3
TD B (<i>Vrn2</i>)			59	89,1	2,8	7,2	14,4	23,3	1,0	43,1	2,0
TD B × B - 8x	4		65	99,5	2,5	9,3	20,6	23,6	1,0	41,4	1,8
TD B × B - 6x	49/10	2 гр. Xgwm102 Xgwm539 Xgwm846 Xgwm991	53	106,4*	2,5	8,4	24,5	48,5*	2,1*	43,3*	3,5
TD B × B - 6x	6/1	7 гр. Xgwm1250 Xgwm1002 Xgwm1044 Xgwm676 Xgwm428	65	99,9	2,8*	8,6*	25,7*	45,1	1,9	40,5	3,3
НСР											
TD B × AP - 6x	8/4		56	117,6	0,22	0,16	0,48	2,58	0,15	1,58	0,32
M 808-1 (<i>Vrn1</i>)			53	78,0	3,1	9,3	17,1	37,3	1,7	45,1	3,7
M 808-1 × AP - 8x	42/1-1		65	90,7	2,4	9,5	21,3	31,6*	1,1*	35,8*	2,0*
M 808-1 × AP - 8x	42/1		71	93,0	2,2	9,6	21,4	23,4	0,5	19,7	0,8
M 808-1 × AP - 8x	41/2		73	112,6*	5,4*	10,7*	24,0*	25,1	0,8*	31,8*	2,5*
НСР				3,62	0,68	0,45	0,82	3,80	0,15	2,00	0,51
M 808-1 × AP - 6x	39/6		58	103,3	3,07	11,3	25,0	44,7	2,2	47,4	4,5
M 808-12 (<i>Vrn1 Vrn2</i>)			52	70,9	2,5	8,1	15,1	32,6	1,5	46,7	2,7
M 808-12 × B - 8x	25		65	92,1	2,2	11,0	20,6	14,0	0,5	34,5	0,7
M 808-12 × B - 8x	23		62	116,3*	5,4*	12,2*	27,5*	42,4*	2,2*	51,6*	6,6*
НСР				5,25	0,92	0,57	0,75	1,77	0,12	2,36	0,84

Национальная академия наук Беларуси

Окончание табл. 1

Линия пшеницы, комбинация скрещивания	Линия	Интрогрессия от генома D	ЧДК	Высота растения, см	Продуктивная кустистость	Главный колос					Масса зерна 1 растения, г
						Длина, см	Число колосков	Число зерен	Масса зерна, г	Масса 1000 зерен, г	
М 808-13 (Vrn1 Vrn3)			53	76,1	3,0	8,4	14,7	34,9	1,7	49,7	3,7
М 808-13 × В - 8х	50/4		66	100,6	3,0	10,5	20,7	21,9	1,1	44,0	2,2
М 808-13 × В - 8х	9/47		66	103,4*	3,0	10,6	22,5*	31,4*	1,7*	50,7*	3,4*
НСР				1,27	0,10	0,12	0,27	0,91	0,06	0,96	0,16
М 808-13 × В - 6х	9/9	2 гр. Хgwm539 Хgwm846 Хgwm991	57	94,6	2,1	9,0	22,1	29,8	1,2	40,3	1,8
М 808-13 × В - 6х	54/7		62	98,7*	2,5*	10,1*	25,7*	37,4*	1,6*	42,8	2,4*
НСР				2,23	0,24	0,30	0,76	3,08	0,15	2,97	0,25
М 808-13 × АР - 8х	12		66	115,8	2,3	10,8	25,0	52,4	2,5	46,1	4,3
М 808-13 × АР - 6х	57/4		63	108,2*	2,7	9,3*	23,3*	33,6*	1,6*	45,0*	3,1
М 808-13 × АР - 6х	12/1		61	100,3*	2,7	9,9*	22,6	42,3*	2,3*	55,3*	4,7*
М 808-13 × АР - 6х	55/25		57	96,3	3,4*	8,4	23,8*	30,3	1,3	43,5	3,9*
НСР				1,98	0,21	0,21	0,49	1,84	0,12	1,58	0,42

Примечание. НСР просчитана между линиями одного уровня плоидности, выделенными внутри комбинаций скрещивания, * — $p < 0,05$.

а также «масса 1000 зерен» преимущество гексаплоидных линий над октоплоидными варьировалось в зависимости от комбинации скрещивания. Однако из приведенных в табл. 1 данных видно, что некоторые октоплоидные линии характеризовались достаточно высокими показателями продуктивности (число и масса зерен с колоса и растения), что, вероятно, свидетельствует о завершении стабилизации их генотипов на октоплоидном уровне (линии 23, 9/47, 12, 42/1-1).

Далее нами было проанализировано влияние интрогрессий генетического материала от генома D мягкой пшеницы, выявленных методом микросателлитного анализа у гексаплоидных линий тритикале, различающихся по *Prd*-генам, на формирование их продуктивности (табл. 1). Сравнение времени колошения линии 9/9, содержащей интрогрессию от 2D хромосомы с контрольной линией 54/7, не содержащей интрогрессию, показало, что данная линия выколашивалась на 5 дней раньше контрольной линии. Сокращение периода всходы—колошение до 57 дней интрогрессивной линии 9/9 из комбинации тритикале М 808-13 × В, созданной на основе ярового аналога фоточувствительного сорта пшеницы М 808, привело к снижению пока-

зателей компонентов ее продуктивности по отношению к контрольной линии 54/7. Различия по ЧДК между линиями 49/10 и 6/1 из комбинации TD В × В (*Vrn2*), синтезированной на основе почти изогенной линии TD В фотонейтрального сорта пшеницы TD, обусловлены присутствием в их геномах интрогрессии генетического материала разных гомеологических групп D-генома пшеницы (7D- и 2D-хромосом). Линия 49/10 выколашивалась на 12 дней раньше, чем линия 6/1, хотя обе они имеют одинаковую систему генов, определяющих скорость развития растений. Уменьшение периода всходы—колошение у линии 49/10 по сравнению с более поздней линией 6/1 привело к снижению показателей продуктивной кустистости растений, меньшей длине колоса, снижению числа колосков в нем, но все же положительно сказалось на числе, массе зерен главного колоса и массе 1000 зерен ($НСР_{0,05}$). Следовательно, интрогрессии генетического материала от генома D мягкой пшеницы в геном гексаплоидных тритикале, также как и другие генетические факторы, влияют на скорость развития растений, и тем самым на формирование их продуктивности.

Для выяснения особенностей формирования продуктивности растений гексаплоидных тритикале в зависимости от присутствия определенных *Vrn*- и *Ppd*-генов проанализированы данные по признакам продуктивности за 4 года испытания у линий, различающихся по *Vrn*-генам, но созданных на основе сортов пшеницы с разными генофонами по *Ppd*-генам. Дисперсионный анализ позволил установить достоверные различия между генотипами линий тритикале с разными *Vrn*-генами по анализируемым признакам (табл. 2).

Таблица 2. Дисперсионный анализ ЧДК и признаков продуктивности гексаплоидных тритикале, различающихся по *Vrn*-генам, внутри наборов линий, созданных на основе сортов пшеницы с разными генофонами по *Ppd*-генам

Источник варьирования	df	MS					
		ЧДК	Высота растения, см	Длина колоса	Число колосков колоса	Число зерен колоса	Масса зерна колоса, г
Линии тритикале, созданные на основе почти изогенных линий фотонейтрального сорта мягкой пшеницы TD							
Линии	2	30,08	5,56	2,53*	27,83**	368,57**	0,54**
Годы испытания	3	30,75	181,33	1,05	3,59	146,96**	0,27*
Случайные отклонения	6	6,75	80,98	0,32	1,08	13,62	0,03
Линии тритикале, созданные на основе яровых аналогов фоточувствительного сорта мягкой пшеницы М 808							
Линии	5	72,84**	196,03*	1,22*	5,54*	333,08*	0,68*
Годы испытания	3	30,49	1142,91**	4,43**	11,41**	338,54*	0,55*
Случайные отклонения	15	11,95	56,89	0,39	1,87	82,96	0,19

Примечания: * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$.

Анализ тритикале, созданных на основе почти изогенных по системе *Vrn*-генов линий сорта TD и аллоплазматической ржи, показал, что присутствие доминантной аллели *Vrn2* у анализируемых линий тритикале, также как и у родительской линии пшеницы, определяет более поздний срок колошения. Среднее значение ЧДК линии тритикале 8/4 комбинации TD B × AP (*Vrn2*) за 4 года испытания составило 58,5 дней (табл. 3). Удлинение периода вегетации данной линии тритикале по сравнению с другими анализируемыми линиями за счет присутствия в ее генотипе доминантной аллели *Vrn2* привело к достоверному увеличению показателей длины, числа колосков, числа и массы зерен главного колоса.

Таблица 3. Средние (за 4 года испытания) значения ЧДК и признаков продуктивности линий гексаплоидных тритикале, созданных на основе почти изогенных по системе *Vrn*-генов линий сорта TD и яровой аллоплазматической ржи

Комбинация скрещивания	Линия	ЧДК	Высота растения, см	Длина колоса, см	Число колосков колоса	Число зерен колоса	Масса зерна колоса, г
TD D × AP	3/9	53,3	102,0	9,3	21,3	33,4	1,2
TD B × AP	8/4	58,5	103,9	10,8*	24,8*	52,2*	1,9*
TD F × AP	11	54,5	101,7	10,4	26,5*	46,0*	1,6*
D		5,64	19,53	1,23	1,17	8,01	0,38

Примечания: в таблицах 3, 4 — D — доверительный интервал [9]; * — $p < 0,05$.

Линии 3/9 и 11, в генотипе которых присутствуют доминантные аллели *Vrn1* или *Vrn1 Vrn2*, выколашивались раньше, средние значения ЧДК данных линий за годы испытания равны соответственно 53,3 и 54,5 дней. Такое сокращение продолжительности периода всходы—колошение привело к снижению показателей их продуктивности. Следовательно, преимущество по продуктивности у форм тритикале с фотонейтральным по *Ppd*-генам генофоном имеют генотипы с доминантной аллелью *Vrn2*, определяющей более позднее колошение.

В то же время среди линий тритикале, созданных на основе яровых аналогов фоточувствительного сорта М 808, преимущество по продуктивности имели линии, среднее ЧДК которых за годы испытания составило от 60,3 до 61,5 дней. Менее продуктивными оказались как более ранние по сроку колошения линии 9/1 и 57/4, так и очень поздняя линия 60/25 (табл. 4). Снижение продуктивности растений тритикале в первом случае обусловлено сокращением периода наиболее ответственных в развитии растений этапов органогенеза (III—VII), что не позволило генотипам заложить большое количество элементов потенциальной продуктивности, во втором случае — более поздние генотипы тритикале затягивали свое развитие и не всегда успевали реализовать потенциальную продуктивность в относительно благоприятный период вегетации.

Исходя из полученных результатов 4-летнего испытания линий тритикале, различающихся по системам *Vrn*- и *Ppd*-генов, можно сделать заключение, что для формирования максимальной продуктивности яровых гексаплоидных

тритикале с фотонейтральным генофоном в условиях Беларуси оптимальной является длина периода всходы—колошение 56—58 дней. В то же время среди линий тритикале, созданных на основе яровых аналогов сорта пшеницы М 808, с чувствительным к фотопериоду генофоном, лучшую продуктивность в наших условиях имеют относительно ранние линии с ЧДК — 60—62 дня. В нашем опыте это генотипы с доминантными аллелями *Vrn1*, *Vrn2* или *Vrn1 Vrn3*.

Таблица 4. Средние (за 4 года испытания) значения ЧДК и признаков продуктивности линий гексаплоидных тритикале, созданных на основе яровых аналогов по системе *Vrn*-генов сорта мягкой пшеницы М 808 и яровой аллоплазматической ржи

Комбинация скрещивания	Линия	ЧДК	Высота растения, см	Длина колоса, см	Число колосков колоса	Число зерен колоса	Масса зерна колоса, г
М 808-1 × АР	39/6	60,3	113,3	11,3*	25,1*	46,2	2,0*
М 808-2 × АР	38/4-1	60,8	120,6*	10,1	23,0	47,7*	1,5
М 808-3 × АР	60/25	68,3*	108,0	10,0	24,2	33,6	1,2
М 808-12 × АР	9/1	54,8	113,3	9,9	23,5	29,9	1,3
М 808-13 × АР	57/4	56,8	101,5	9,8	22,0	26,1	1,0
М 808-13 × АР	55/25	61,5	104,2	10,5	24,9	43,3	1,9
D		7,93	17,31	1,43	3,14	20,90	1,00

Примечание: * — $p < 0,05$.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют об опосредованном влиянии геномного состава созданных новых форм тритикале на процессы формирования продуктивности и ее компонентов через скорость развития растений. Полученные данные являются новыми и вносят вклад в понимание генетического контроля относительной позднеспелости яровых гексаплоидных тритикале в условиях Беларуси, процессов адаптации и реализации продуктивности растений тритикале и указывают на возможный путь преодоления этого недостатка путем реконструкции генома тритикале.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Б09СО-004).

Литература

1. С т е л ь м а х А. Ф. Наследование и генетическая роль различий по типу и скорости развития у мягкой пшеницы: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1987.
2. P u g s l e y А. Т. // Austr. J. Agric. Res. 1971. Vol. 22. P. 21—31.
3. Х о т ы л е в а Л. В., К а м и н с к а я Л. Н., К о р е н ь Л. В. и др. // Генетические основы селекции сельскохозяйственных растений. М., 1995. С. 35—55.
4. К h o t y l j o v a L. V., К о р е н ь Л. В., К а м и н с к а я Л. Н. // 4-th International Triticale Symposium. Alberta, Canada, 1998. P. 21—23.
5. К h o t y l j o v a L. V., К а м и н с к а я Л. Н., К о р е н ь Л. В. // Biologija. 2002. N 4. P. 45—48.
6. К а м и н с к а я Л. Н., К о р е н ь Л. В., Х о т ы л е в а Л. В. // Актуальные проблемы современной генетики: конф., посвящ. 115-летию Н. И. Вавилова, Москва, 20—21 февр. 2003 г. М., 2003. Т. 1. С. 84—86.

7. Каминская Л. Н., Корень Л. В., Леонова И. Н. и др. // Информ. вестн. ВОГиС. 2005. Т. 9, № 4. С. 481—489.

8. Леонова И. Н., Каминская Л. Н., Добровольская О. Б. и др. // Генетика. 2005. Т. 41, № 9. С. 1236—1243.

9. Снедекор Дж. У. Статистические методы в применении к исследованиям в сельском хозяйстве и биологии. М., 1961. — 504 с.

L. V. KOREN, L. V. KHOTYLEVA

**THE INFLUENCE OF DEVELOPMENTAL-TYPE GENE EXPRESSION
ON PRODUCTIVITY DEVELOPMENT IN TRITICALE LINES DIFFERENT
IN GENOME COMPOSITION**

Summary

The article deals with the influence of changing developmental-type gene expression on plant productivity development in triticale of different genome composition, including ploidy level, specificity of parental wheat lines and rye cultivars in *Vrn*- and *Ppd*-gene systems, the presence of genetic material introgressions of homeologous chromosomes of common wheat D-genome. Within the combinations analysed, hexaploid lines with introgression from 2D-chromosome proved earlier ripe as against the control lines without introgressions. Spring hexaploid triticale forms with photoneutral genetic background were revealed to develop maximum productivity under Belarus conditions with duration of the germination—heading period of 56—58 days and with photoperiod—sensitive genetic background — 60—62 days. The data obtained point to a possible way of solving the problem of late ripeness in spring triticale under Belarus conditions by reconstructing triticale genome.

УДК 621.382.2

И. Г. МАРЧЕНКО

**ЛОКАЛЬНОЕ ОБЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНАМИ
КАК МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВИЕМ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР
ДЛЯ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ***Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению**(Поступила в редакцию 06.09.2010)*

Проведено экспериментальное исследование влияния локального облучения ускоренными электронами (4 МэВ), создающего зоны повышенной рекомбинации в базовой области p^+-pn-n^+ -структур, на основные электрофизические характеристики кремниевых быстродействующих диодов, рассчитанных на токи до 1000 А. Показано, что облучение отдельных участков диодной структуры большой площади по сравнению с полным облучением всей структуры, улучшает соотношение между параметрами обратного восстановления и потерями энергии в проводящем состоянии при снижении чувствительности обратного тока диода (тока генерации) к температуре. Такие приборы могут надежно функционировать в экономичных электроприводах на железнодорожном и городском электротранспорте.

Совершенствование существующих технологических методов создания и улучшение характеристик силовых полупроводниковых приборов (СПП), основы преобразовательной электротехники остаются главными задачами в деле развития энергосберегающих технологий в энергетике, промышленности, на транспорте и бытовой электронике. Использование в качестве ее основных электронных компонентов быстродействующих СПП с низкими внутренними энергопотерями является одной из возможностей более экономичного преобразования, регулирования и обеспечения необходимых параметров электрической энергии.

В производстве биполярных СПП ключевого типа: диодов, транзисторов и тиристоров в настоящее время широко используются радиационные методы управления быстродействием. Они основаны на контролируемом уменьшении времени жизни неравновесных носителей заряда (ННЗ) в структурах СПП при облучении электронами или γ -квантами [1; 2]. При таких обработках образование радиационных дефектов (РД), являющихся центрами рекомбинации, как по площади, так и глубине облучаемых полупроводниковых структур происходит, как правило, однородно. При больших уровнях облучения,

используемых в производстве высокочастотных приборов, высокая концентрация РД в базовом слое приборной структуры приводит к сильному уменьшению степени модуляции его проводимости и резкому росту потерь энергии в проводящем состоянии прибора. Стремление как-то обойти эту закономерность — одна из основных движущих сил в деятельности разработчиков быстродействующих СПП.

Цель работы — найти новое решение в улучшении совокупности статических и динамических характеристик СПП путем создания в приборной структуре зон повышенной рекомбинации (ЗПР) с помощью электронного облучения — технологически удобной и на сегодняшний день наиболее распространенной разновидности радиационной технологии управления быстродействием.

В качестве образцов использовались бескорпусные приборные структуры (чипы) промышленных p^+pn-n^+ -силовых диодов (рис. 1, а), а также экспериментальные тестовые диодные элементы, изготовленные на монокристаллическом Si, легированном фосфором в процессе выращивания по Чохральскому (КЭФ) и с помощью ядерных реакций (КОФ). Структуры были сформированы по стандартной диодной технологии на исходных пластинах КЭФ-32 и КОФ-110 толщиной 500 мкм и диаметром от 5 до 56 мм путем последовательной диффузии алюминия, бора и фосфора из их окислов на воздухе. С одной стороны пластин проводилась диффузия бора с алюминием на глубину 50—110 мкм и формировался p^+ -слой анодной области, а с другой стороны — двухстадийная диффузия фосфора на глубину 50—70 мкм и формировался n^+ -слой катодной области.

Для эксперимента были отобраны образцы, имеющие до облучения одинаковые прямые и обратные вольт-амперные характеристики. Прямое падение напряжения на диоде U_F измерялось импульсным методом (раздельные

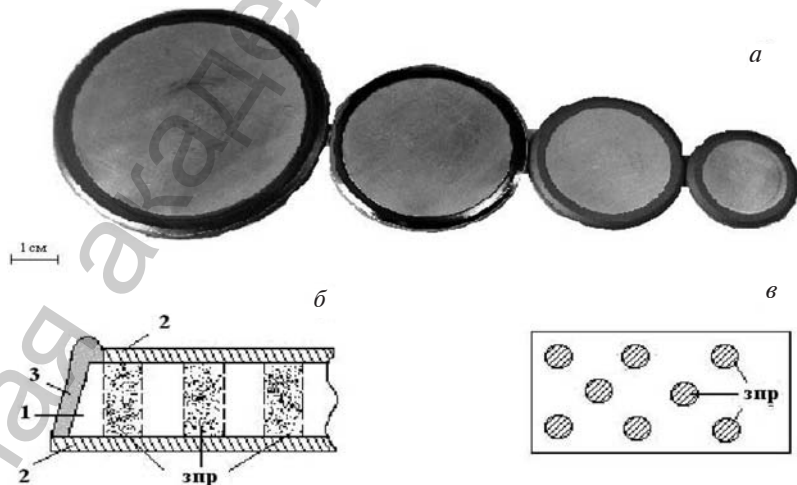


Рис. 1. а — чипы исследуемых диодов; б — конструкция диодного элемента в разрезе: 1 — кремниевая пластина с p^+pn-n^+ -структурой; 2 — контактные слои; 3 — пассивация поверхностной фаски; в — распределение ЗПР по площади диода

токовые и потенциальные контакты) при длительности импульса тока 400 мкс в диапазоне до 100 А. Обратный ток I_R контролировался при постоянном смещении 1000 В. Время жизни ННЗ в n -базе p^+pn-n^+ -структур τ_p контролировалось методом Лэкса [3]. Учитывая, что концентрация основных носителей в области базы для образцов на КЭФ составляет $\sim 1,5 \cdot 10^{14}$ и для КОФ — образцов $\sim 2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$, условия опыта (величина импульса прямого тока 1 А при длительности до 80 мкс) соответствовали высокому уровню инжекции. Измерение времени обратного восстановления диода t_{rr} проводилось при подаче регулируемого по амплитуде и длительности отрицательного прямоугольного импульса напряжения, после которого сразу следовал положительный прямоугольный импульс с напряжением 60 В и длительностью 10 мкс, контролирующий окончание процесса восстановления. За величину t_{rr} принималась минимальная длительность отрицательного импульса, при котором диод еще не включался контрольным положительным импульсом. Для получения информации о РД применялась методика нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней (DLTS). Спектры снимались при обратном смещении — 10 В и длительности импульса заполнения ловушек 0,01 с.

Партия диодных элементов была разделена на две части: регулирование быстродействия в одной из них производилось с помощью технологии полного, равномерного по площади, электронного облучения, в другой — локального электронного облучения. Облучение образцов проводилось на линейном импульсном ускорителе электронов с энергией частиц 4 МэВ (длительность импульса 5 мкс, частота следования импульсов 200 Гц). Образцы располагались в плоскости, перпендикулярной к направлению падающего электронного пучка, а облучение велось со стороны p^+ -области структуры. Интенсивность пучка электронов, падающего на образец, составляла $2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, температура в зоне облучения не превышала 300 К.

При локальном режиме облучения между выходным окном ускорителя и образцами размещался плоский экран (материал Мо или Рb) с отверстиями цилиндрической формы, имеющий толщину, превышающую длину свободного пробега электронов с энергией 4 МэВ в материале экрана. В этом случае ускоренными электронами облучаются участки приборной структуры, расположенные под отверстиями в экране, а остальная ее часть защищается экраном, непроницаемым для электронов. Защитные экраны с отверстиями диаметром d и с расстоянием между отверстиями s были изготовлены на масштабном координатном прессе, оснащенный пробивочными пуансонами различного диаметра. Вид локальности, используемый в настоящей работе: ЗПР равномерно распределены по всей площади диодной структуры, исключая приповерхностную область диода, которая в процессе облучения полностью экранировалась от электронного пучка (рис. 1, б, в).

Из рис. 2, где показано относительное изменение U_F , I_R и τ_p для образцов на КЭФ от флюенса электронов Φ в случае полного облучения, видно, что исследуемые в данной работе p^+pn-n^+ -структуры имеют типичный для силовых диодов вид зависимости радиационного изменения статических и динамических характеристик. Время жизни ННЗ и прямое напряжение изменяются

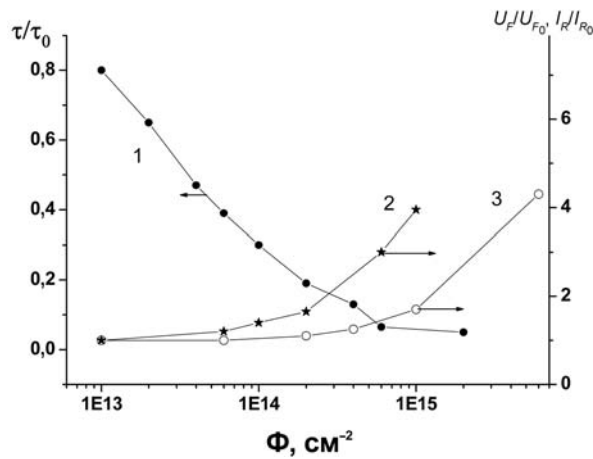


Рис. 2. Относительное изменение времени жизни ННЗ (1), прямого падения напряжения (2) и обратного тока (3) в p^+-pn-n^+ -силовых диодах на КЭФ-32 от флюенса электронов с энергией 4 МэВ

от дозы почти синхронно, имея противоположный характер. Взаимосвязь этих параметров очевидна. Малейшее изменение времени жизни ННЗ в широкой базовой области силового диода влечет за собой уменьшение диффузионной длины носителей заряда (степени модуляции проводимости базы) и рост прямого падения напряжения. Так, пятикратное снижение времени жизни ННЗ в базовой области диодной структуры приводит к ~ 50 %-ному росту прямого падения.

Изменение при облучении обратного тока в исследуемых диодах не столь критично, как изменение прямого напряжения.

Наблюдаемая зависимость $I_R/I_{R0}(\Phi)$ (рис. 2, кривая 3) отражает, видимо, характер изменения при облучении основной компоненты обратного тока — тока генерации.

Как видно из рис. 2, возможности радиационного управления быстродействием p^+-pn-n^+ -силовых диодов с помощью технологии полного, равномерно по площади приборной структуры, электронного облучения весьма ограничены.

Для силовых диодов основным процессом, ограничивающим максимальную частоту работы прибора, является процесс восстановления блокирующих свойств $p-n$ -перехода при переключении из проводящего состояния. Обычно он характеризуется временем и зарядом обратного восстановления. Сущность локального облучения, как нового технологического приема, заключается в том, что для сокращения времени рассасывания электронно-дырочной плазмы при переключении структуры прибора в блокирующее состояние, и улучшения частотных характеристик приборов, уменьшение τ_p ННЗ можно осуществлять не во всем объеме базовой области структуры, а лишь в некоторой его части. В условиях нашего эксперимента в базовых областях структур создаются перпендикулярные плоскости $p-n$ -перехода, цилиндрические зоны (рис. 1, б) с высокой плотностью РД (ЗПР) и, как следствие, с малыми значениями τ_p , чередующиеся с необлученными участками с высоким значением τ_p . В процессе выключения прибора, кроме выноса ННЗ из базы, рассасывание заряда носителей будет происходить за счет их дрейфа и рекомбинации в ЗПР. При этом эффективное (объемное) время жизни носителей ННЗ в базовой области локально облученных образцов будет выше, чем в однородно облученных. Следовательно, при наличии ЗПР, меньшему значению t_{rr} будет соответствовать большая величина τ_p и меньшее прямое падение напряжения.

Национальный фонд фундаментальных исследований

Идея создания ЗПР в структуре СПП выдвигалась и ранее [4; 5] и имела целью создание мощного быстродействующего тиристора со структурой $p-n-p$ -типа, в котором для ускорения рассасывания заряда избыточных носителей в широкой n -базе вводились небольшие, локальные по площади, зоны повышенной рекомбинации. Они создавались кратковременной диффузией золота в $p-n-p$ -структуру через маски определенной формы. Поскольку ЗПР занимают малую часть площади прибора, они практически не влияют на потери мощности в прямом направлении. В то же время за счет полевого вытягивания основных носителей заряда из широкой базы тиристора в ЗПР, где темп рекомбинации выше, можно достичь существенного сокращения времени выключения прибора.

Рассмотрим кратко основные результаты исследований по оптимизации характеристик быстродействующих диодов, прошедших различные способы электронного облучения. Рис. 3 иллюстрирует взаимосвязь изменения прямого падения напряжения с временем обратного восстановления для диодных p^+-pn-n^+ -структур на КОФ в случае полного (кривая 1) и локального (кривая 2) облучения (параметры локальности: $d = 1$ мм; $c = 0,75$ мм). Как видно из этого рисунка, при одинаковых параметрах процесса выключения, при локальном облучении можно получить значительное снижение U_F и, соответственно, уменьшение потерь мощности на приборе в проводящем состоянии. Так, при переключении из проводящего состояния в блокирующее за время $t_{rr} = 2,5$ мкс потери мощности составляют ~ 250 Вт/см² для локально-облученных диодов и ~ 450 Вт/см² для образцов в случае их полного облучения.

На рис. 4 представлены температурные зависимости обратного тока p^+-pn-n^+ -диодов для

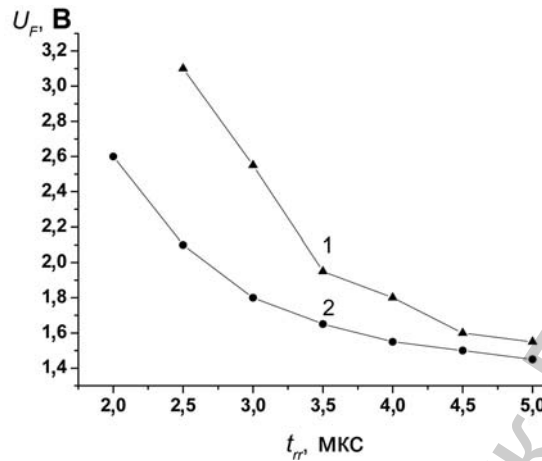


Рис. 3. Корреляция изменения прямого падения напряжения со временем обратного восстановления для p^+-pn-n^+ -диодов на КОФ-110, облученных электронами с энергией 4 МэВ ($T_j = 25$ °С; $I_F = 70$ А): 1 — полное облучение; 2 — локальное облучение

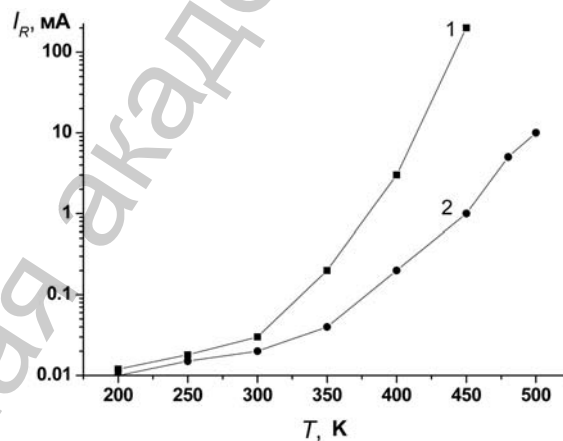


Рис. 4. Температурные зависимости обратного тока p^+-pn-n^+ -диодов на КЭФ-32 (при $t_{rr} = 2,5$ мкс): 1 — полное облучение; 2 — локальное облучение

двух способов облучения. Видно, что зависимость обратного тока от температуры более плавна для локально облученных образцов. Так, его рост при $T \sim 400$ К в условиях полного облучения не превышает 10 мА, а при локальном облучении этот уровень тока отмечен в образцах, нагретых до $T \sim 500$ К. Следовательно, область безопасной эксплуатации диодных элементов после локального радиационного воздействия может быть расширена примерно до такой же (500 К) температуры.

В таблице приведены значения параметров диодных структур на КОФ-110 (100 А/2,2 кВ) после полного и локального облучения. Причем независимо от способа облучения и параметров локальности (d и c), образцы выравнивались по величине t_{rr} подбором дозы облучения.

Одна группа образцов подвергалась полному облучению (флюенс облучения $2 \cdot 10^{15}$ см $^{-2}$); другая — локальному облучению (флюенс, необходимый для снижения t_{rr} до уровня 3,0 мкс, изменялся в зависимости от параметров локальности в интервале $1-7 \cdot 10^{16}$ см $^{-2}$). Обе группы образцов после облучения выдерживались при $T = 430$ °С в течение 10 мин.

Параметры диодных элементов при полном и локальном облучении

Параметр	Способ облучения										
	Полное облучение	Локальное облучение $\Phi = 1-7 \cdot 10^{16}$ см $^{-2}$ (параметры локальности)									
		$\Phi = 2 \cdot 10^{15}$ см $^{-2}$	d , мм					c , мм			
	0,5		0,75	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
t_{rr} , мкс	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
τ_p , мкс	6,5	9,5	9,1	9,0	8,2	7,5	10,5	8,7	7,5	7,0	6,7
U_F , В*	2,65	1,9	1,95	2,0	2,2	2,5	1,8	2,0	2,3	2,45	2,6
I_R , мА**	≤ 10	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 5	≤ 5	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 5	≤ 5

Примечание. * — $T_j = 25$ °С; $I_F = 50$ А; ** — $T_j = 150$ °С; $U_R = 1000$ В.

Исследование режимов облучения в зависимости от параметров локальности показало, что наилучшее соотношение между уровнем быстродействия t_{rr} и потерями в проводящем состоянии U_F , а также высоковольтной характеристикой I_R , может быть получено в том случае, если расстояние между соседними ЗПР будет не намного больше ширины базовой области диода. Это является следствием формирования в диодных $p^+ - n - n^+$ -структурах, в условиях данного воздействия, оптимального по площади структур распределения РД, определяющего совокупность их электрических характеристик.

Что касается DLTS измерений, дающих информацию о глубоких уровнях РД, усредненную по всей площади $p-n$ -перехода, то в контролируемых образцах не зависимо от способа облучения (полное или локальное) в верхней половине запрещенной зоны кремния в общей сложности наблюдаются четыре энергетических уровня. Во первых, дефект E1-A-центр ($E_C - 0,17$ эВ, сечение захвата электронов $\sigma_n = 2 \cdot 10^{-14}$ см 2). Далее уровень E2 ($E_C - 0,23$ эВ, $\sigma_n = 2 \cdot 10^{-16}$ см 2), принадлежащий двукратно отрицательно заряженному состоянию дивакансии. Затем, пик E3 ($E_C - 0,35$ эВ, $\sigma_n = 2 \cdot 10^{-17}$ см 2). За пик E4

($E_C = 0,42$ эВ, $\sigma_n = 2 \cdot 10^{-16}$ см²) ответственны, по крайней мере, два центра: E-центр (вакансия — фосфор) и дивакансия (однократно отрицательно заряженное состояние). В нижней половине запрещенной зоны, исследованной в режиме с инжекцией дырок, отчетливо проявляется только один центр $E_V + 0,4$ эВ с сечением захвата дырок $\sigma_p = 3 \cdot 10^{-14}$ см². Наблюдавшиеся уровни типичны для *p-n*-структур на *n-Si* [6]. При этом основным РД, контролирующим темп рекомбинации ННЗ в облученных быстрыми электронами диодах, является, как известно, А-центр, а после его распада при отжиге — РД с $E_C = 0,35$ эВ или с $E_C = 0,37$ эВ [7].

Локальное облучение отдельных участков приборной структуры ускоренными электронами с энергией 4 МэВ дает хорошо воспроизводимые результаты, так как концентрации, получаемые при такой обработке РД, зависят в основном только от дозы облучения и исходного (перед облучением) примесно-дефектного состава в структуре, который имеет достаточно стабильный характер. СПП с большой площадью кристалла полупроводника и различными конфигурациями контактных электродов (для транзисторных и тиристорных структур) предоставляют возможность реализовать различные варианты локального облучения (соотношения размеров облучаемых и защищаемых участков прибора).

В лаборатории радиационных воздействий ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению» разработана серия быстровосстанавливающихся мощных диодов для железнодорожного и городского электротранспорта на токи 100—1000 А и напряжения от 2500 до 4500 В.

Диоды предназначены для работы в цепях постоянного и переменного тока комплектно с запираемыми тиристорами как обратный и защитный диоды. Диоды могут быть использованы и в других электротехнических схемах самостоятельно.

Для изготовления диодов использовался ядерно-легированный кремний. Быстродействие достигается электронным облучением и отжигом *p-n*-структур. При этом оптимальное сочетание времени обратного восстановления и прямого падения напряжения получено при способе создания ЗПР неравновесных носителей заряда в объеме прибора, описанном в данной работе. Так, в диодах с напряжением «загиба» 5—6 кВ достигнуты (подбором величин *d* и *c*) значения $U_F \leq 2,5$ В и $t_{rr} = 2,5$ —3,5 мкс. При полном облучении диодов это соотношение получается явно хуже: $t_{rr} = 2,5$ —3,5 мкс, $U_F = 3,0$ —3,2 В.

Таким образом, реализация локального электронного облучения как нового технологического приема, а так же других методов [7—9] в разработках новых структур и при совершенствовании существующих позволяет надеяться, что улучшение параметров и расширение областей применения СПП будет продолжаться, обеспечивая тем самым дальнейший прогресс в области силовой электроники.

Автор выражает благодарность Ф. П. Коршунову за интерес к работе и ее поддержку, а Н. Е. Ждановичу за помощь в проведении эксперимента.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проекты № Т07-131 и Ф10-123).

Литература

1. Коршунов Ф. П. // Вестн. АН СССР. 1982. № 11. С. 80—87.
2. Коршунов Ф. П. // Наука народному хозяйству. Минск, 2002. С. 236—257.
3. Lax V., Newstadter S. T. J. // Appl. Phys. 1954. Vol. 25, N 9. P. 1148—1154.
4. Грехов И. В., Костина Л. С., Сергеев В. Г. // ФТП. 1971. Т. 5, вып. 7. С. 1409—1414.
5. Горбатюк А. В., Уваров А. И. // Радиотехника и электроника. 1976. № 7. С. 1502—1506.
6. Атабиев И. Ж., Горюнов Н. Н., Ладыгин Е. А. и др. // Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы. 1982. Вып. 5 (156). С. 25—27.
7. Марченко И. Г. // Вестн. Фонда фундамент. исследований. 2008. № 4. С. 66—72.
8. Коршунов Ф. П., Марченко И. Г., Жданович Н. Е. // Изв. АН Беларуси. Сер. физ.-мат. наук. 2005. № 1. С. 78—82.
9. Марченко И. Г., Жданович Н. Е. // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36, вып. 10. С. 45—51.

I. G. MARCHENKO

**LOCAL ELECTRON IRRADIATION AS METHOD OF REGULATION
OF SEMICONDUCTOR STRUCTURES SPEED FOR POWER ELECTRONICS****Summary**

Experimental studies of influence of fast electron (4 MeV) local irradiation, forming zones of enhanced recombination in base region of $p^+p\text{-}n\text{-}n^+$ -structures, on fundamental electrophysical parameters of silicon fast diodes with nominal forward currents up to 1000 A have been fulfilled. It is shown that irradiating of separate regions of a large area diode structure in comparison with irradiating of the whole area of diode structure improves trade-off between reverse recovery and conducting state energy loss parameters with simultaneous decreasing of diode reverse current (generation current) temperature sensitivity. Such devices are able to reliably function in energysaving electric drives for rail and town transport.

**ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ, ОПУБЛИКОВАННЫХ
В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК ФОНДА
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ» В 2010 г.**

№ Стр.

ДЕНЬ БЕЛОРУССКОЙ НАУКИ

Поздравление Президента Республики Беларусь с Днем белорусской науки..... 1 5

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Серченя Т. С., Свиридов О. В. Особенности микроокружения остатков триптофана в третичной структуре альфа-1-микроглобулина человека.....	1	6
Докукова Н. А., Кафтайкина Е. Н., Конон П. Н. Сравнительный анализ трех методов расчета многоэлементных механических колебательных систем.....	1	15
Алексеев Г. Д., Батурицкий М. А., Давыдов Ю. И., Дворников О. В., Пискун А. А., Терлецкий А. В., Токменин В. В., Чеховский В. А., Шульгевич Ю. Ф. Полузаказная интегральная микросхема трансимпедансного усилителя-дискриминатора для газоразрядных детекторов.....	1	24
Чижик О. В., Малюш М. К. Цитоморфологическая и биохимическая характеристика растений, произрастающих на территориях с повышенной радиоэкологической нагрузкой.....	1	35
Башилов А. В. Влияние липоперекисей на антиокислительные свойства флавоноидсодержащих экстрактов.....	1	46
Коваленко В. В., Ломакова О. О., Ерчак Н. П. Рострегулирующая активность гидрооксалатов метилбис(фенилметил)- γ -аминопропилсиланов.....	1	52
Потапович М. В., Рубинов Д. Б., Еремин А. Н. Влияние гербицидов тралкоксидама и сетоксидима на глюкозооксидазу <i>Aspergillus Niger</i> при окислении глюкозы в присутствии 2,6-дихлорфенолиндофенола и гексациано-(III)феррата калия ...	1	60
Пивень Н. В., Орлова Е. Е., Лухверчик Л. Н. Иммуноферментный анализ аутоантител к декарбоксилазе глютаминовой кислоты — маркера сахарного диабета I типа...	1	70
Козел Н. В., Доманский В. П., Шалыго Н. В. Активность фотосинтетического аппарата и состояние антиоксидантной системы растений табака с повышенной экспрессией аскорбатпероксидазы при фотоокислительном стрессе.....	1	78
Романов С. Л., Золотой С. А. Методические принципы организации системы комплексного мониторинга крупных природно-хозяйственных регионов космическими средствами.....	3	48
Сапегин Л. М., Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф. Радиоактивное загрязнение хозяйственно ценных видов растений природных экосистем Ветковского района Гомельской области.....	3	64
Требенок А. Н., Окаев Е. Б. Ионные жидкости со свойствами протонных кислот: методы получения и применение в органическом синтезе.....	3	72
Барун В. В., Иванов А. П., Петрук В. Г., Кватернюк С. М. Развитие оптических методов диагностики биологических тканей по рассеянному излучению. I. Спектры отражения.....	3	90
Домаш В. И., Иванов О. В., Даш Ц., Батсурэн Д., Сэлэнгэ Э., Батхуу Ж., Шарпио Т. П., Забрейко С. А. Биологически активные компоненты дикорастущих видов семейства <i>Compositae</i> флоры Монголии.....	3	99
Цилибина В. М. Анализ энергоэффективности экономик Беларуси и Молдовы.....	3	108
Головченко Л. А. Токсикообразование у грибов рода <i>Botrytis</i> , паразитирующих на декоративных растениях.....	3	121

Огурцова С. Э., Афонин В. Ю., Малей Л. П. Модификация астаксантином мутагенного эффекта митомицина С и стрептонигрины в клетках костного мозга мышей..	3	128
Стародубцева М. Н., Егоренков Н. И. Анализ релаксационных состояний полимеров и биополимеров на основе карт латеральных сил, получаемых методом атомно-силовой микроскопии.....	4	51
Шабловский Я. О. Структурная гиротропия неполярных энантиоморфных кристаллов.....	4	58
Рупасова Ж. А., Гаранович И. М., Шпитальная Т. В., Рудаковская Р. Н. Особенности формирования пигментного фонда ассимилирующих органов сортов кизила настоящего (<i>Cornus mas</i> L.) украинской селекции при интродукции в условиях Беларуси.....	4	68
Барун В. В., Иванов А. П., Петрук В. Г., Кватернюк С. М. Развитие оптических методов диагностики биологических тканей по рассеянному излучению. II. Поляризация и пространственно-разрешенная спектроскопия.....	4	79
Ширвель П. И., Клус С. А. Моделирование напряженно-деформированного состояния цилиндрических оболочек конечной длины при неравномерном нагреве и нейтронном облучении.....	4	90
Башилов А. В. Использование GLC-анализа с масс-селективным детектированием при стандартизации растительного сырья <i>Polemonium caeruleum</i> L. и <i>Filipendula hexapetala</i> Gilib.	4	101
Сойка А. К., Боднарь И. Т., Сологуб И. О. Влияние сильного магнитного поля на двулучепреломление кристаллов, активированных парамагнитными примесями..	4	110
Корень Л. В., Хотылева Л. В. Влияние экспрессии генов типа развития у разных по геномному составу линий тритикале на формирование продуктивности.....	4	116
Марченко И. Г. Локальное облучение электронами как метод управления быстрым действием полупроводниковых структур для силовой электроники	4	125

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ

Протокол по результатам переговоров Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Вьетнамской академии наук и технологий.....	1	88
БРФФИ — DFG	1	89
Протокол 7-го заседания Совместной комиссии НЦНИ и НАН Беларуси.....	2	165
Соглашение между Государственным комитетом по науке Министерства образования и науки Республики Армения и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований о научно-техническом сотрудничестве.....	4	9
Приложение к Соглашению о сотрудничестве между Государственным комитетом по науке Министерства образования и науки Республики Армения и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований.....	4	12
Протокол договоренности о сроках проведения конкурса проектов фундаментальных исследований, выполняемых совместно коллективами армянских и белорусских ученых в 2011—2013 годах на основании Соглашения между Государственным комитетом по науке Министерства образования и науки Республики Армения и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований о научно-техническом сотрудничестве.....	4	16

ИТОГИ КОНКУРСОВ

Конкурс совместных проектов фундаментальных исследований БРФФИ и Вьетнамской академии наук и технологий «БРФФИ—ВАНТ-2010».....	1	92
Конкурс проектов фундаментальных и поисковых исследований БРФФИ «Наука-2010»	2	33
Конкурс на соискание грантов БРФФИ для молодых ученых «Наука М-2010»	2	44
Конкурс совместных научных проектов БРФФИ и Российского гуманитарного научного фонда «БРФФИ—РГНФ-2010».....	2	59
Конкурс совместных проектов фундаментальных исследований БРФФИ и Российского фонда фундаментальных исследований «БРФФИ—РФФИ-2010»	2	64
Конкурс выполняемых в контакте с зарубежными учеными проектов фундаментальных исследований БРФФИ «Наука МС-2010»	2	88

Совместный тематический конкурс исследовательских проектов БРФФИ и Объединенного института ядерных исследований «БРФФИ—ОИЯИ-2010».....	2	92
Конкурс совместных проектов фундаментальных исследований БРФФИ и Научно-технологического фонда Монголии «БРФФИ—НТФМ-2010».....	2	94
Совместный двусторонний межрегиональный конкурс в приграничных Витебской, Могилевской, Псковской и Смоленской областях «БРФФИ—РГНФ-2010(ПР)»....	2	95
Конкурс совместных проектов фундаментальных исследований БРФФИ и Национальной академии наук Азербайджана «БРФФИ—НАНА-2010».....	2	97
Конкурс совместных проектов фундаментальных исследований БРФФИ и Академии наук Молдовы «БРФФИ—АНМ-2010».....	2	100
Совместный тематический конкурс фундаментальных и прикладных научных исследований по проблемам Брестской области «БРФФИ—Брест-2010».....	2	104
Совместный конкурс проектов фундаментальных исследований НАН Беларуси и Учреждения Российской академии наук Сибирского отделения РАН «НАНБ (БРФФИ)—СО РАН-2010».....	2	106
Конкурс совместных проектов фундаментальных исследований БРФФИ и Вьетнамской академии наук и технологий «БРФФИ—ВАНТ-2010».....	2	110
Конкурс совместных научных проектов БРФФИ и Национального центра научных исследований Франции «БРФФИ—НЦНИ(PICS)-2010».....	2	113
Совместный тематический конкурс проектов фундаментальных и поисковых научных исследований «БРФФИ—МСХП-2010».....	2	114
Перечень международных научно-технических проектов «ГКНТ—Латвия».....	2	116
Перечень международных научно-технических проектов «ГКНТ—Польша».....	2	118
Конкурс совместных проектов фундаментальных исследований Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Румынской академии «БРФФИ—РА-2010».....	3	42
Перечень научных трудов, изданных при финансовой поддержке БРФФИ в 2009 г. ...	3	44
Перечень республиканских и международных научных мероприятий, поддержанных БРФФИ в 2009 г.	3	45

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ФОНДА

Орлович В. А. О работе Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в 2009 году и о перспективах деятельности на 2010 год (Отчетный доклад на расширенном заседании Научного совета БРФФИ 29 апреля 2010 г.)...	2	9
Прокошин В. И. От рождения новых научных идей к их практическому использованию.....	2	27
Соглашение Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Витебского областного исполнительного комитета о проведении совместного тематического конкурса фундаментальных и прикладных научных исследований и его долевого финансировании.....	4	17
Положение о совместном тематическом конкурсе фундаментальных и прикладных научных исследований по проблемам Витебской области.....	4	19
Протокол договоренности о планируемой тематике, сроках проведения и объемах финансирования совместного тематического конкурса фундаментальных и прикладных научных исследований «БРФФИ—Витебск-2011» на основании Соглашения между Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований и Витебским областным исполнительным комитетом.....	4	22

КОНКУРСЫ БРФФИ: НОРМАТИВНАЯ БАЗА

Положение о конкурсах БРФФИ на 2010—2011 годы.....	2	120
Условия республиканского конкурса проектов фундаментальных и поисковых исследований БРФФИ «Наука-2011».....	2	127
Условия конкурса на соискание грантов БРФФИ для молодых ученых «Наука М-2011».....	2	131
Условия конкурса совместных научных проектов БРФФИ и Российского гуманитарного научного фонда «БРФФИ—РГНФ-2011».....	2	135
Условия совместного двустороннего межрегионального конкурса в приграничных Витебской, Могилевской, Псковской и Смоленской областях на проведение		

фундаментальных исследований по приоритетным для Российской Федерации и Республики Беларусь научным проблемам общественно-гуманитарного и экономического профиля «БРФФИ—РГНФ(ПР)-2011»	2	140
Условия конкурса совместных научных проектов Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Национального центра научных исследований Франции «БРФФИ—НЦНИ-2011»	2	145
Условия конкурса БРФФИ на соискание грантов финансовой поддержки республиканских и международных научных мероприятий на 2010—2011 годы	2	150
Условия конкурса БРФФИ на соискание грантов финансовой поддержки участия ученых в зарубежных научных мероприятиях на 2010—2011 годы	2	152
Условия конкурса БРФФИ на соискание грантов финансовой поддержки ученых — авторов монографий для их издания на 2010—2011 годы	2	154
Условия конкурса БРФФИ на соискание грантов развития «Ученый-2011»	3	5
Условия конкурса совместных проектов фундаментальных исследований БРФФИ и Государственного фонда фундаментальных исследований Украины «БРФФИ—ГФФИУ-2011»	3	10
Условия совместного трехстороннего межрегионального конкурса в приграничных Гомельской, Брянской и Черниговской областях на проведение фундаментальных исследований по научным проблемам последствий чернобыльской катастрофы «БРФФИ—РФФИ—ГФФИУ-2011»	3	15
Условия конкурса выполняемых в контакте с зарубежными учеными проектов фундаментальных исследований БРФФИ «Наука МС-2011»	3	19
Условия совместного тематического конкурса исследовательских проектов БРФФИ и Объединенного института ядерных исследований «БРФФИ—ОИЯИ-2011»	3	24
Условия конкурса совместных проектов фундаментальных исследований БРФФИ и Научно-технологического фонда Монголии «БРФФИ—НТФМ-2011»	3	28
Условия совместного тематического конкурса БРФФИ и Российского гуманитарного научного фонда по научным проблемам древнего Полоцка «БРФФИ—РГНФ «Полоцк»-2011»	3	33
Условия объединенного республиканского конкурса Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований «Наука (НАНБ—вузы)-2011»	3	38

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ

Перечень приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011—2015 годы	2	157
---	---	-----

ЮБИЛЕИ ИЗВЕСТНЫХ УЧЕНЫХ

Костюкович Н. Н. Нобелевский лауреат Джером А. Фридман: гигант физики с белорусскими корнями	2	167
Костюкович Н. Н. Нобелевский лауреат Дуглас Д. Ошеров: как достигается успех в науке	3	134

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ АКАДЕМИЙ НАУК

Патон Б. Е. Об основных результатах деятельности МААН (сентябрь 2009 г. — октябрь 2010 г.)	4	23
Меморандум о взаимопонимании между Международной ассоциацией академий наук и Межгосударственным фондом гуманитарного сотрудничества государств — участников Содружества Независимых Государств	4	35
Постановление от 15 октября 2010 г. № 209 «Об основных результатах МААН (сентябрь 2009 г. — октябрь 2010 г.)»	4	37
Постановление от 15 октября 2010 г. № 211 «Об обновленном составе координационного комитета по вычислительной математике»	4	41
Постановление от 15 октября 2010 г. № 212 «Об утверждении состава Научного совета по науковедению и Положения о нем»	4	43
Постановление от 15 октября 2010 г. № 213 «Об утверждении положения о Премии им. Д. С. Лихачева»	4	47
Перечень материалов, опубликованных в журнале «Вестник фонда фундаментальных исследований» в 2010 г.	4	133

ВЕСТНИК ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, № 4, 2010

на русском и белорусском языках

Редактор Т. П. Петрович

Компьютерная верстка Л. В. Харитонова

Подписано в печать 13.12.2010. Выход в свет 22.12.2010. Формат 70 × 100¹/₁₆. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 11,21. Уч.-изд. л. 9,0. Тираж 161 экз. Заказ 504.

Цена номера: индивидуальная подписка — 16760 руб.; ведомственная подписка — 16829 руб.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская наука».
ЛИ № 02330/0494405 от 27.03.2009. Ул. Ф. Скорины, 40, 220141, Минск.