

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

Издается с III квартала 1997 г.



№ 4 [66], 2013

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

Учредители:
Национальная академия
наук Беларуси
Белорусский
республиканский
фонд
фундаментальных
исследований

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

Издатель:
РУП «Издательский дом
«Беларуская навука»

**ВЕСТНИК
ФОНДА
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор
В. А. Орлович

Заместители главного редактора
П. Д. Кухарчик
А. И. Лесникович

Ответственный секретарь
Н. Н. Костюкович

Члены редколлегии:

О. В. Алейникова	А. И. Локотко
А. В. Бильдюкевич	А. А. Лукашанец
П. А. Витязь	А. А. Махнач
И. В. Гайшун	А. Г. Мрочек
С. В. Гапоненко	В. И. Недилько
М. Л. Герман	П. Г. Никитенко
В. С. Камышников	В. И. Поткин
А. К. Карабанов	Л. М. Томильчик
А. В. Кильчевский	А. В. Тузиков
Э. И. Коломиец	В. С. Улащик
А. А. Коваленя	Ю. С. Харин
Н. П. Крутько	Л. В. Хотылева
Н. А. Ламан	С. Н. Черенкевич
В. Ф. Логинов	

Минск, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ

Соглашение о сотрудничестве между Научно-технологическим фондом Монголии и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований	5
Дополнительный договор № 1 к Соглашению о сотрудничестве между Научно-технологическим фондом Монголии и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований	8

ИТОГИ КОНКУРСОВ

Конкурс совместных научных проектов Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Фонда развития науки при Президенте Азербайджанской Республики «БРФФИ–ФРНА-2013»	12
Совместный тематический конкурс фундаментальных и прикладных научных исследований Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Витебского областного исполнительного комитета «БРФФИ–Витебск-2013»	14
Конкурс совместных научных проектов Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Национального центра научных исследований Франции «БРФФИ–НЦНИ-2013»	16
Конкурс совместных проектов фундаментальных исследований «НАН Беларуси (БРФФИ)–Индонезия»	18

ПОДДЕРЖКА НАУКИ: МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ

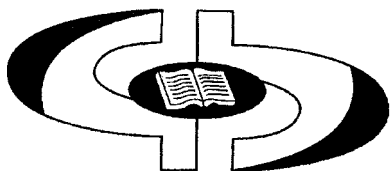
Международный белорусско-французский научный семинар	19
--	----

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Никитенко П. Г., Циблина В. М., Румянцева Ю. Н., Пилецкий К. В. Современное состояние и перспективы межгосударственного сотрудничества Беларуси и Латвии в сфере повышения эффективности использования минерального сырья	29
Пликус О. А., Островская Е. Ф., Яковец Н. В. Влияние латексов на структурно-реологические свойства анионных битумных эмульсий	53
Рупасова Ж. А., Володько И. К., Гончарова Л. В., Бубнова А. М., Решетников В. Н., Титок В. В. Генотипическая изменчивость биохимического состава надземных органов вечнозеленых и листопадных видов <i>Rhododendron L.</i> при интродукции в Беларуси	61
Кузнецик О. О., Минько Д. В., Белявин К. Е., Григорьев Е. Г. Регистрация температуры микроплазменных процессов при электроимпульсном спекании порошка титана	72
Клубович В. В., Кулак М. М. Структурообразование тугоплавких соединений титана, получаемых методом СВС при ультразвуковых воздействиях	80
Ярошевич О. И., Карабанов А. К., Конопелько М. В., Матвеев А. В., Жук И. В., Василевский Л. Л., Лукашевич Ж. А. Исследования по проблемам радона в Беларуси и других странах Европы	101
Макаревич А. В., Шепелевич В. В., Дубина М. В., Ропот П. И., Шандаров С. М. Голографический интерферометр на основе фоторефрактивного кристалла для контроля изменения толщины покрытий оптических элементов	118
Перечень материалов, опубликованных в журнале «Вестник Фонда фундаментальных исследований» в 2013 г.	126

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

Issued since the 3rd quarter of 1997



N 4 [66], 2013

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

The founder:
The National Academy
of Sciences
of Belarus
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

P. D. Kukharchik

A. I. Lesnikovich

Executive Secretary

N. N. Kostyukovich

Editorial board members:

O. V. Aleinikova

A. I. Lokotko

A. V. Bilydukevich

A. A. Lukashanets

P. A. Vityaz

A. A. Makhnach

I. V. Gaishun

A. G. Mrochek

S. V. Gaponenko

V. I. Nedilko

M. L. German

P. G. Nikitenko

V. S. Kamyshnikov

V. I. Potkin

A. K. Karabanov

L. M. Tomilchik

A. V. Kilchevsky

A. V. Tuzikov

E. I. Kolomiets

V. S. Ulashchik

A. A. Kovalenya

Yu. S. Kharin

N. P. Krut'ko

L. V. Khotylyova

N. A. Laman

S. N. Cherenkevich

V. F. Loginov

Minsk, 2013

CONTENTS

INTERNATIONAL RELATIONS

The Agreement on Cooperation between the Mongolian Foundation for Science and Technology and the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research.	5
Supplementary Contract N 1 to the Agreement on Cooperation between the Mongolian Foundation for Science and Technology and the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research.	8

COMPETITIONS RESULTS

Joint scientific projects competition «BRFFR–SDF-2013» of the BRFFR and the Science Development Fund under the President of the Republic of Azerbaijan	12
Joint thematic competition «BRFFR–Vitebsk-2013» of fundamental and applied research of the BRFFR and the Vitebsk Oblast Executive Committee.	14
Competition «BRFFR–CNRS-2013» of joint scientific projects of the BRFFR and the French National Center for Scientific Research	16
Competition «NAS of Belarus (BRFFR)–Indonezia-2013» of joint scientific projects of fundamental research	18

SUPPORT OF SCIENCE: THE INTERNATIONAL EXPERIENCE

International Belarusian-French Scientific Seminar	19
--	----

SCIENTIFIC PUBLICATIONS

Nikitsenka P. G., Tsilibina V. M., Rumyantseva J. N., Piletsky K. V. Modern state and prospects of the interstate cooperation between Belarus and Latvia in the sphere of increase of efficiency of use mineral raw materials	29
Plikus O. A., Ostrovskaja E. F., Yakavets N. V. Effect of latexes on the structural-rheological properties of anionic birumen emulsion	53
Rupasova Zh. A., Volodko I. K., Goncharova L. V., Bubnova A. M., Reshetnikov V. N., Titok V. V. Genotypic variability of biochemical composition of overhead organs of evergreen and deciduous species <i>Rhododendron L.</i> when introduced in Belarus	61
Kuznechik O. O., Min'ko D. V., Belyavin K. E., Grigor'ev E. G. Registration the temperature of microplasma processes during electric pulse discharge sintering of titanium powder	72
Klubovich V. V., Kulak M. M. Structure formation of high-melting titanium compounds obtained by SHS under ultrasonic influence	80
Yaroshevich O. I., Karabanov A. K., Konopelko M. B., Matveev A. B., Zhuk I. V., Vasilevskij L. L., Lukashevich Z. A. Studies on the radon problem in Belarus and other countries of Europe	101
Makarevich A. V., Shepelevich V. V., Dubina M. V., Ropot P. I., Shandarov S. M. Holographic interferometer on the basis of a photorefractive crystal for the control of the thickness change of the optical element coats	118
A list of materials published in the journal «Vestnik of the Foundation for Fundamental Research» in 2013	126

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ

СОГЛАШЕНИЕ

о сотрудничестве между Научно-технологическим фондом Монголии и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований

Научно-технологический фонд Монголии (НТФМ) и Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (БРФФИ), именуемые в дальнейшем – Стороны, исходя из интересов развития науки в Монголии и Республике Беларусь, учитывая опыт одиннадцатилетнего сотрудничества в рамках Соглашения о сотрудничестве от 18 сентября 2002 года и руководствуясь Соглашением между Государственным комитетом по науке и технологиям Республики Беларусь и Министерством образования, культуры и науки Монголии о сотрудничестве в области науки и технологий от 5 сентября 2013 года, заключили настоящее Соглашение о нижеследующем.

Статья 1

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

Статья 2

2.1. В рамках соглашения осуществляется сотрудничество между научно-исследовательскими организациями и учеными обеих стран в форме проведения совместных конкурсов:

- инициативных проектов поисковых и фундаментальных исследований, выполняемых совместно коллективами монгольских и белорусских ученых;
- проектов по организации совместных монгольско-белорусских и белорусско-монгольских научных мероприятий (съездов, конференций, семинаров и т. п.), проводимых, соответственно, на территории Монголии и Республики Беларусь, с последующим финансированием поддержанных проектов.

Научные направления, по которым проводятся конкурсы, а также объемы и порядок финансирования определяются дополнительными договорами к настоящему соглашению не позднее трех месяцев до объявления соответствующего конкурса.

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

2.3. Каждая Сторона также имеет право оказывать поддержку научного сотрудничества между учеными Монголии 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 проводиться в соответствии с законодательством, существующим в каждой стране.

Статья 4

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

Статья 5

5.1. Информация и результаты научных исследований, полученных в ходе осуществления конкретной деятельности в соответствии с настоящим Соглашением, распространяются в мировом научном сообществе через обычные информационные каналы в соответствии с принятыми процедурами.

5.2. Стороны будут решать вопросы защиты интеллектуальной собственности, которая может быть создана в процессе выполнения совместных проектов, с учетом норм международного права и действующего законодательства государств Сторон.

Статья 6

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

Статья 7

7.1. Совместная деятельность по настоящему Соглашению осуществляется согласно существующим международным обязательствам и национальному законодательству каждой из Сторон.

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

Статья 8

8.1. Условия настоящего Соглашения могут быть дополнены и изменены по взаимному согласию с обязательным составлением письменного документа.

8.2. Дополнения или изменения оформляются дополнительными соглашениями, которые вступают в силу со дня их подписания.

Статья 9

9.1. Срок действия данного Соглашения составляет 5 (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 прекратить его действие, то срок его действия автоматически продлевается на следующие пять лет.

9.2. Стороны оставляют за собой право на досрочное расторжение настоящего соглашения.

В этом случае каждая из Сторон обязана уведомить другую Сторону за шесть месяцев до даты расторжения. Взаимоотношения сторон прекращаются путем составления отдельного соглашения или акта о его расторжении.

9.3. Настоящее Соглашение составлено в 4 (четыре) подлинных экземплярах, по два на русском и монгольском языках, имеющих одинаковую юридическую силу, и подписано в г. Улан-Батор 5 сентября 2013 года.

Юридические адреса Сторон

Научно-технологический фонд
Монголии
Национальный Парк информационных
технологий, № 315
р-н Сухбаатар, Бага тойруу-49
Улаанбаатар 14201
Монголия

Белорусский республиканский фонд
фундаментальных исследований

66, пр. Независимости
Минск, 220072
Республика Беларусь

Подписи Сторон

За Научно-технологический фонд
Монголии
Директор

Х. Дондог

За Белорусский республиканский
фонд фундаментальных исследований
Председатель Научного совета

В. А. Орлович

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ДОГОВОР № 1

к Соглашению о сотрудничестве между Научно-технологическим фондом Монголии и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований

1. Общие положения

Научно-технологический фонд Монголии (НТФМ) и Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (БРФФИ), именуемые в дальнейшем – Стороны, в соответствии с положениями статьи 2 Соглашения о сотрудничестве от 5 сентября 2013 года настоящим Дополнительным договором определяют условия и сроки проведения Сторонами конкурсов проектов поисковых и фундаментальных исследований, выполняемых совместно коллективами монгольских и белорусских ученых (далее конкурсы), а также порядок финансирования поддержанных проектов и правила защиты и использования прав интеллектуальной собственности, касающихся совместных проектов.

2. Условия конкурсов

2.1. Целью конкурсов является финансовая поддержка инициативных проектов поисковых и фундаментальных исследований, осуществляемых совместно монгольскими и белорусскими учеными.

Стороны проводят конкурсы ежегодно. Конкурсы проводятся по следующим направлениям:

- физика;
- химия;
- биологические и медицинские науки;
- науки о Земле;
- материаловедение, включая наноматериалы и нанотехнологии;
- математика, информатика и информационные технологии;
- инженерные науки, включая плазменные и лазерные технологии, микро- и радиоэлектронику, возобновляемые источники энергии;
- науки о человеке и обществе.

К участию в конкурсах не допускаются:

- проекты, представленные на конкурсы по истечению объявленного срока;
- проекты, уже финансируемые из государственных бюджетов Монголии и Республики Беларусь;
- проекты, получившие ранее поддержку НТФМ, БРФФИ или других фондов и организаций Монголии и Республики Беларусь;
- проекты, авторы которых получили ранее поддержку от НТФМ и БРФФИ, но не выполнили обязательств по прежним проектам.

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 монгольской и белорусской сторон заблаговременно согласовывают тему исследований, распределение обязанностей по проекту и совместный план-график работ. Заявки, поданные по одному проекту, должны иметь одинаковые названия проекта и соруководителей с монгольской и белорусской сторон.

Согласованные заявки подаются одновременно: монгольскими соруководителями – в НТФМ, белорусскими соруководителями – в БРФФИ. Формы заявок устанавливаются каждой Стороной самостоятельно.

Несо согласованные заявки или заявки, поданные только с одной стороны, 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, ежегодно 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 монгольских и белорусских ученых представляют промежуточные (годовые) и итоговые отчеты в НТФМ и БРФФИ соответственно.

3. Сроки проведения конкурсов

3.1. Стороны принимают следующий ежегодный график проведения конкурсов:

- объявление и начало приема заявок на новый конкурс – май–июнь;
- окончание приема заявок – октябрь;
- согласование Сторонами списков поданных заявок и проведение независимой экспертизы заявок – декабрь;
- обсуждение Сторонами результатов экспертизы и принятие совместного решения – январь–февраль;
- начало финансирования проектов – 1–2 квартал;
- представление руководителями проектов отчетов, проведение Сторонами экспертизы и утверждение отчетов – согласно правилам, принятым в НТФМ и БРФФИ.

3.2. Перед объявлением очередного конкурса Стороны согласовывают тематическую направленность конкурса (в случае необходимости), уточняют конкретные сроки проведения конкурса и согласовывают текст объявления.

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 осуществляется на безвозмездной и безвозвратной основе, вне зависимости от возраста, ученой степени, ученого звания и должности ученых – участников проектов.

В смете расходов на выполнение проекта могут быть, помимо прочего, предусмотрены расходы на международные командировки монгольских и белорусских ученых соответственно в Республику Беларусь и Монголию, включая международные и местные переезды, суточные расходы на размещение и проживание в соответствии с установленными нормами.

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

4.2. Условием представления финансовой поддержки является обязательство ученых опубликовать результаты исследований в отечественных и международных журналах, в том числе в соавторстве монгольских и белорусских исполнителей проектов, с упоминанием о конкурсной поддержке от НТФМ и БРФФИ.

4.3. Объем ежегодного финансирования отдельного проекта устанавливается каждой Стороной самостоятельно исходя из средней величины научных грантов, принятой каждой Стороной.

4.4. Финансирование проекта может быть прекращено, если в ходе мониторинга будет установлено, что исполнители проекта не выполнили обязательств, предусмотренных договором. Окончательное решение о прекращении финансирования обеими Сторонами будет принято путем переписки или на встречах Сторон.

5. Защита и использование прав интеллектуальной собственности

Защита прав интеллектуальной собственности регулируется положениями, которые определены в Приложении, являющемся неотъемлемой частью настоящего Дополнительного договора. В Приложении под словом «Стороны» понимаются монгольская и белорусская организации – соисполнители проектов. Перед началом работ по проекту монгольская и белорусская организации-соисполнители обязаны заключить соглашение о защите и использовании прав интеллектуальной собственности, руководствуясь положениями настоящего Приложения с учетом особенностей запланированных работ.

6. Заключительные положения

6.1. Вопросы, связанные с реализацией данного Дополнительного договора, решаются путем переписки или на встречах представителей Сторон.

Условия настоящего Дополнительного договора могут быть дополнены и изменены по взаимному согласию.

Стороны оставляют за собой право на расторжение Дополнительного договора. При этом Стороны обязуются выполнить взятые до расторжения договора обязательства по финансированию проектов.

Дополнения, изменения или расторжение Дополнительного договора оформляются соответствующими протоколами, которые вступают в силу со дня их подписания.

Настоящий Дополнительный договор составлен в 4 (четыре) подлинных экземплярах, по два на монгольском и русском языках, имеющих одинаковую силу, и подписан в г. Улан-Батор 5 сентября 2013 года.

Подписи Сторон:

За Научно-технологический фонд
Монголии
Директор

Х. Дондог

За Белорусский республиканский фонд
фундаментальных исследований

Председатель Научного совета

В. А. Орлович

ИТОГИ КОНКУРСОВ

КОНКУРС СОВМЕСТНЫХ НАУЧНЫХ ПРОЕКТОВ БЕЛОРУССКОГО РЕСПУБЛИКАНСКОГО ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ФОНДА РАЗВИТИЯ НАУКИ ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ «БРФФИ–ФРНА-2013»

В соответствии с заключенным между Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований (БРФФИ) и Фондом развития науки при Президенте Азербайджанской Республики (ФРНА) Соглашением о сотрудничестве, был объявлен первый конкурс совместных научных проектов «БРФФИ–ФРНА-2013» с целью содействия развитию сотрудничества между научными коллективами и исследователями Республики Беларусь и Азербайджанской Республики по актуальным для обеих сторон научным направлениям, на который поступило 28 заявок. По результатам экспертизы принято совместное решение о финансировании 8 проектов. Ниже публикуется перечень финансируемых совместных проектов, сгруппированных по 3 секциям. По каждому проекту приводится следующая информация: фамилия и инициалы руководителя с белорусской стороны, шифр и название проекта, название организации-исполнителя с белорусской стороны, название организации-исполнителя с азербайджанской стороны. Продолжительность выполнения проектов – 2 года.

Секция гуманитарных наук

1. СТАРИЧЕНОК В. Д. Проект Г13А3-002
Белорусский и азербайджанский языки как фактор развития и укрепления сотрудничества между Республикой Беларусь и Азербайджанской Республикой.
Исполнители: Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка, Бакинский славянский университет.

Секция технических наук

2. ЗОТОВ С. В. Проект Г13А3-028
Исследование крейзинг-эффекта в полиэфирных волокнах и пленках.
Исполнители: Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, Институт физики НАН Азербайджана.

3. КАРПИНЧИК Е. В.

Проект Т13А3-011

Разработка состава и исследование свойств прирабочного масла в присутствии нанодисперсных материалов.

Исполнители: Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Институт химии присадок им. А. М. Кулиева НАН Азербайджана.

4. МИХАЛЕВИЧ А. А.

Проект Т13А3-016

Развитие методологии оценки энергетической безопасности применительно к энергосистемам Азербайджана и Беларуси.

Исполнители: Институт энергетики НАН Беларуси, Азербайджанский Научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт энергетики.

Секция физики, математики и информатики

5. БОРИСЕВИЧ Н. А.

Проект Ф13А3-023

Развитие методов вращательной спектроскопии многоатомных молекул, представляющих интерес для атмосферной экологии и астрофизики.

Исполнители: Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Институт физики НАН Азербайджана.

6. КОМАРОВ Ф. Ф.

Проект Ф13А3-010

Разработка и исследование процессов формирования квантовых точек в слоистых полупроводниках АЗВ6 и структурах SiO_2/Si радиационными технологиями для систем оптоэлектроники.

Исполнители: Институт прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко БГУ, Институт радиационных проблем НАНА.

7. НЕЛАЕВ В. В.

Проект Ф13А3-024

Исследование из первых принципов структурных, электронных и магнитных свойств дефектных соединений ZnO и ZnSnAs_2 , легированных переходными 3d-элементами.

Исполнители: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Институт физики НАН Азербайджана.

8. ЯБЛОНСКИЙ Г. П.

Проект Ф13А3-020

Лазеры со случайной генерацией, люминесценция и оптические свойства кристаллов, нано- и микропорошков широкозонных полупроводников и халькогенидов с редкими землями при оптической и электронной накачке.

Исполнители: Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Институт физики НАН Азербайджана.

**СОВМЕСТНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ КОНКУРС
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ НАУЧНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЛОРУССКОГО РЕСПУБЛИКАНСКОГО
ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ВИТЕБСКОГО ОБЛАСТНОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО
КОМИТЕТА «БРФФИ–ВИТЕБСК-2013»**

В соответствии с заключенным между Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований (БРФФИ) и Витебским областным исполнительным комитетом Соглашением с целью финансовой поддержки творческих научных коллективов и отдельных ученых, занимающихся решением актуальных для Витебской области проблем по приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований, в соответствии с Перечнем, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 № 585, а также с учетом Концепции социально-экономического развития Витебской области, объявлен совместный тематический конкурс фундаментальных и прикладных научных исследований «БРФФИ–Витебск-2013», на который поступило 25 заявок. По результатам независимой экспертизы и конкурсного отбора Научным советом Фонда и Витебским областным исполнительным комитетом принято решение о финансировании 6 проектов, сгруппированных по 4 секциям. По каждому проекту приводится следующая информация: фамилия и инициалы руководителя проекта, шифр и название проекта, название организации-исполнителя. В каждом из разделов перечня проекты перечислены в алфавитном порядке по фамилии руководителя. Продолжительность выполнения проектов – 2 года.

Секция аграрно-биологических наук

1. КАПИЧ А. Н. Проект Б13ВТ-025
Химический состав, биологическая активность, токсичность и безвредность культур и экстрактов гриба *Trichophyton*, выращенного глубинным способом.
Исполнитель: Витебский государственный университет им. П. М. Машерова.
2. МАЦИНОВИЧ А. А. Проект Б13ВТ-023
Теоретические и практические основы получения и иммунологическая оценка лектинов и вторичных метаболитов растений для сельскохозяйственных животных.
Исполнитель: Витебская государственная академия ветеринарной медицины.

Секция медико-фармацевтических наук

3. КАРПУК И. Ю.

Проект M13BT-018

Иммуно-патогенетические механизмы непереносимости зубопротезных материалов и методы их выявления.

Исполнитель: Витебский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Республики Беларусь.

4. КОСИНЕЦ В. А.

Проект M13BT-012

Использование достижений современной медицинской науки в лечении наиболее тяжелых заболеваний и осложнений хирургической инфекции.

Исполнитель: Витебский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Республики Беларусь.

Секция технических наук

5. ДЖЕЖОРА А. А.

Проект T13BT-020

Разработка методов контроля технологических процессов с использованием электроемкостных преобразователей.

Исполнитель: Институт технической акустики НАН Беларуси.

Секция химии и наук о Земле

6. КОВЧУР С. Г.

Проект X13BT-002

Новые коагулянты и флокулянты в процессах водоподготовки.

Исполнитель: Витебский государственный технологический университет.

**КОНКУРС СОВМЕСТНЫХ НАУЧНЫХ ПРОЕКТОВ
БЕЛОРУССКОГО РЕСПУБЛИКАНСКОГО ФОНДА
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И НАЦИОНАЛЬНОГО ЦЕНТРА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ФРАНЦИИ «БРФФИ–НЦНИ-2013»**

В соответствии с заключенным между Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований (БРФФИ) и Национальным центром научных исследований Франции (НЦНИ) Соглашением был объявлен конкурс совместных научных проектов «БРФФИ–НЦНИ-2013», на который поступило 8 заявок. По результатам независимой экспертизы и конкурсного отбора поданных заявок Совместной комиссией НЦНИ, НАН Беларуси и БРФФИ принято решение о финансировании 7 проектов. Ниже публикуется перечень финансируемых совместных научных проектов «БРФФИ–НЦНИ-2013», сгруппированных по 3 секциям. По каждому проекту приводится следующая информация: фамилия и инициалы руководителя с белорусской стороны, шифр и название проекта, название организации-исполнителя с белорусской стороны, название организации-исполнителя с французской стороны. В каждом из разделов проекты перечислены в алфавитном порядке по фамилии руководителя. Продолжительность выполнения проектов – 2 года.

Секция гуманитарных наук

1. ПОДКОПАЕВ В. В. Проект Г13Ф-007
Разработка философского и историко-культурного инструментария для создания стратегии современного межкультурного взаимодействия Беларуси и Франции.
Исполнители: Институт философии НАН Беларуси, Институт исследований Ренессанса, Классицизма и Просвещения Университета Монпелье III Поль-Валери

Секция технических наук

2. БАШТОВОЙ В. Г. Проект Т13Ф-006
Адсорбция и сепарация загрязнений в магнитных системах очистки почвенных вод.
Исполнители: Белорусский национальный технический университет, Лаборатория физики конденсированных сред НЦНИ.

Секция физики, математики и информатики

3. КРИВОШЕЕВА А. В. *Проект* Ф13Ф-001

Фундаментальные электронные и оптические свойства двумерных кристаллов дисульфидов тугоплавких металлов MoS_2 , WS_2 , TiS_2 и TaS_2 и соединений на их основе для создания наноэлектронных приборов на интерференционных эффектах.

Исполнители: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Междисциплинарный центр нанотехнологий Марселя – НЦНИ.

4. КУЖИР П. П. *Проект* Ф13Ф-004

Эффективные материалы на основе углерода для электромагнитных приложений.

Исполнители: Институт ядерных проблем БГУ, Институт Жана Ламура НЦНИ.

5. ПРИЩЕПА С. Л. *Проект* Ф13Ф-002

Структурные, магнитные и диэлектрические свойства нанокompозита на основе магнитофункционализированных углеродных нанотрубок.

Исполнители: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Институт твердотельной электроники и систем НЦНИ.

6. СИМОНЧИК Л. В. *Проект* Ф13Ф-005

Динамическое плазменное управление мощными микроволнами с помощью электромагнитных полосовых устройств.

Исполнители: Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Лаборатория плазмы и преобразования энергии – НЦНИ.

7. УГЛОВ В. В. *Проект* Ф13Ф-003

Структура и свойства нанокompозитных нитридных покрытий TiZrAlN и TiZrSiN , сформированных магнетронным распылением.

Исполнители: Белорусский государственный университет, Университет Пуатье, Лаборатория физики материалов НЦНИ.

КОНКУРС СОВМЕСТНЫХ ПРОЕКТОВ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ «НАН БЕЛАРУСИ (БРФФИ)–ИНДОНЕЗИЯ»

На основании постановления Бюро Президиума НАН Беларуси от 30 октября 2013 г. № 415 «О финансировании совместных проектов фундаментальных исследований по конкурсу «НАН Беларуси (БРФФИ)–Индонезия-2013» открыто финансирование 3 проектов. Ниже публикуется перечень финансируемых совместных проектов. По каждому проекту приводится следующая информация: фамилия и инициалы руководителя с белорусской стороны, шифр и название проекта, название организации-исполнителя с белорусской стороны, название организации-исполнителя с индонезийской стороны. В каждом из разделов перечня проекты перечислены в алфавитном порядке по фамилии руководителя. Продолжительность выполнения проектов – 2 года.

Секция технических наук

1. ВОЛОЧКО А. Т. Проект Т1ЗИНЗ-003
Теоретические и экспериментальные исследования вакуумно-индукционной плавки титановых сплавов легированных Mo, Sn, Nb, Zr для получения постоянных имплантатов в человеческий организм.
Исполнители: Физико-технический институт НАН Беларуси, Исследовательский центр металлургии, Индонезийский институт наук.
2. ИЛЬЮЩЕНКО А. Ф. Проект Т1ЗИНЗ-002
Исследование и разработка циркониевой керамики с использованием песка цирконового концентрата Индонезии, модифицирующих наноструктурных порошков, волокон и высокотехнологичных методов консолидации.
Исполнители: Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Исследовательский центр металлургии, Индонезийский институт наук.
3. СМОРЫГО О. Л. Проект Т1ЗИНЗ-001
Многофункциональные материалы на основе открытоячеистого пеностеклоуглерода.
Исполнители: Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Исследовательский центр металлургии, Индонезийский институт наук.

*Раздел подготовлен главным специалистом
отдела зарубежных связей и информационного обеспечения
Р. А. Сальниковой*

ПОДДЕРЖКА НАУКИ: МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ БЕЛОРУССКО-ФРАНЦУЗСКИЙ НАУЧНЫЙ СЕМИНАР

Научно-техническое сотрудничество с исследовательскими центрами различных стран мира дает возможность заимствовать передовой опыт подготовки специалистов высшей квалификации, новейшую технологию проведения научных исследований, совместно решать сложные современные научно-технические задачи.

Национальным центром научных исследований (НЦНИ) Франции и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований (БРФФИ) был объявлен международный конкурс на организацию двухсторонних белорусско-французских научных семинаров по приоритетным и представляющим взаим-



Французские участники семинара у стен главного корпуса БГАТУ

ный интерес научным направлениям обеих сторон. Целью конкурса являлось укрепление и развитие связей между белорусскими и французскими учеными. В последние годы Белорусский государственный аграрный технический университет (БГАТУ) имеет тесные научные связи с Орсэйским институтом молекулярных наук Университета Париж-11 – НЦНИ (Франция) на уровне выполнения совместных международных научных проектов, и это стало основой для подготовки согласованной заявки на участие в объявленном конкурсе. Пройдя параллельную независимую экспертизу заявки в НЦНИ и БРФФИ, обе стороны приняли положительное решение о поддержке семинара и выделении грантов для проведения этого мероприятия.

Согласно представленной заявке, международный белорусско-французский научный семинар на тему «Спектроскопия порфиринов и фталоцианинов: перспективы фундаментальных исследований и практических применений» был организован на базе БГАТУ (кафедра химии) в период 28–30 августа 2013 г. В работе семинара приняли участие французские и ирландские ученые из трех научных организаций Университета Париж-11 города Орсэя (Орсэйский институт молекулярных наук, Лаборатория имени Эме Коттона и Лаборатория химической физики) и Ирландского национального университета (г. Майнот) – специалисты в области молекулярной спектроскопии и фотохимии. С белорусской стороны в работе семинара принимали участие ученые БГАТУ, НИИМЭСХ БГАТУ и нескольких институтов физического профиля НАН Беларуси.

Научный семинар открыл доктор физ.-мат. наук, заведующий кафедрой химии БГАТУ, соруководитель семинара от белорусской стороны **С. М. Арабей**. Он выступил с докладом «Спонтанное и стимулированное излучение молекулами тетразапорфина в низкотемпературных матрицах благородных газов и матрице молекулярного азота», в котором представлен анализ экспериментальных результатов, полученных совместно с французскими учеными. Подробно проанализированы экспериментальные спектральные данные, полученные при наносекундном импульсном лазерном возбуждении молекул свободного основания тетразапорфина ($H_2TAП$), внедренных в тонкопленочные матрицы аргона, неона и молекулярного азота при 10 К. Установлено, что одновременно с флуоресценцией $H_2TAП$ наблюдается существенное увеличение интенсивности одной или нескольких вибронных линий излучения с ростом мощности лазерного возбуждения – возникает стимулированное излучение (СИ), соответствующее вынужденным переходам на колебательные подуровни основного электронного состояния примесных молекул ($S_1(0-0) \rightarrow S_0(0-1)$ переход). Дана информация о спектральных характеристиках СИ молекулами $H_2TAП$, внедренными в низкотемпературные кристаллические матрицы, т. е. молекулами, находящимися в условиях частичного снятия неоднородного уширения спектральных полос и подвергнутых действию импульсного лазерного возбуждения. Докладчик детально изложил условия возникновения СИ, зависимость спектральных параметров наблюдаемого излучения от длины волны и мощности лазерного возбуждения.



Одно из заседаний научного семинара

Практическая значимость полученных результатов состоит в выявленной возможности применения разработанных лабораторных образцов новых тонкопленочных материалов на основе низкотемпературных матриц благородных газов и молекулярного азота, окрашенных тетрапиррольными соединениями, для создания микролазеров, а также световых трансформаторов лазерного излучения (сине-зеленая область) в монохроматическое излучение красного и ближнего ИК диапазона.

Соруководитель семинара от французской стороны, профессор Орсэйского института молекулярных наук Университета Париж-11 – НЦНИ **Клодин Крепен (Claudine Crepin)** выступила с научным сообщением «Влияние природы матриц и неоднородного уширения электронных спектров на фотоиндуцированные превращения примесных центров тетраазпорфина». Ей отмечено, что совокупность полученных спектральных данных указывает на формирование в матрицах аргона, неона и молекулярного азота при гелиевой температуре ограниченного числа примесных центров H_2TAP , в результате чего в контурах полос поглощения наблюдается ряд интенсивных спектральных пиков. В целом длинноволновая $Q_x(0-0)$ -полоса H_2TAP в этих матрицах уширена, что является результатом переналожения спектральных квазилиний отдельных типов примесных центров из-за их малого «мультиплетного» расщепления, сравнимого со спектральной полушириной линий. Лазерное возбуждение в области Q_x -полосы поглощения H_2TAP приводит к выжиганию спектральных провалов. Основным механизмом выжигания – фотохимический, обусловленный процессом внутримолекулярной NH-таутомерии в молекулах H_2TAP . Особенность фотоиндуцированных превращений состоит в том, что, несмотря на монохроматическое облучение, кроме узкого бесфонно-

го провала (БФП) на длине волны выжигания в некоторых матрицах, например, матрице аргона, наблюдается дополнительный БФП, спектрально незначительно смещенный относительно первого. Это обусловлено частичным перекрытием квазилиний поглощения двух типов примесных центров. В коротковолновой области от наблюдаемых БФП возникает фотопродукт с уширенной полосой (положительное ΔD). Наоборот, в длинноволновой области – широкое псевдофононное крыло с отрицательным ΔD , которое по своей природе – суть совокупность БФП, которые выжигаются через фононные крылья длинноволновых (относительно $\lambda_{\text{лаз}}$) примесных центров. Интенсивность псевдофононного крыла частично скомпенсирована поглощением фотопродуктов, возникающих в этой области при выжигании провала на определенной длине волны. В докладе представлены результаты исследования влияния длительности и спектрального состава лазерного излучения на параметры выжигаемых провалов в контурах полос поглощения тетрапиррола, внедренного в различные матрицы.

Явление лазерного выжигания стабильных спектральных провалов в контуре неоднородно уширенной полосы поглощения имеет перспективу практического применения, в частности, при разработке различных способов оптической записи информации.

Профессор Ирландского государственного университета из г. Майнота **Джон МакКэффри (John McCaffrey)** выступил с докладом «Колебательная спектроскопия матрично-изолированных порфиринов и фталоцианинов». Были презентованы результаты теоретического расчета колебательных состояний (метод DFT B3LYP с базисным набором 6–311G(3df, 3dp)) и данные КР спектроскопии высокого разрешения для $\text{H}_2\text{ТАП}$, которые показали хорошее согласие между теорией и экспериментом. На основании полученных результатов сделан важный вывод о том, что экспериментально наблюдаемые полосы соответствуют колебательным движениям атомов в порфириновой молекулярной плоскости. Отмечено соответствие колебательной структуры КР спектров и вибронной структуры спектров флуоресценции $\text{H}_2\text{ТАП}$ в матрице неона или матрицах Шпольского. Последнее крайне важно при интерпретации колебательных мод в матрице неона, которые принимают участие в процессе СИ с увеличенной интенсивностью при возбуждении молекул $\text{H}_2\text{ТАП}$ лазерным излучением. Установлено, что вовлеченные в процесс СИ вибронные уровни S_0 -состояния соответствуют A_g -колебаниям тетрапиррольного кольца с участием атомов азотных мостиков.

Расчеты DFT B3LYP использовались для анализа обратного спектрального смещения линий в КР спектрах свободных оснований порфиринов и фталоцианинов при изотопном замещении центральных атомов водорода на атомы дейтерия, т. е. в ситуации, когда частотное отношение колебательных переходов $\nu_{\text{H}}/\nu_{\text{D}} < 1$. Обратное спектральное смещение проявляется для всех исследованных тетрапиррольных молекул (порфин, тетраазпорфин, тетрабензопорфин и фталоцианин), и в основном для мод, соответствующих неплоским колебаниям b_{2g} и b_{3u} симметрии, вклад в которые вносят неплоские смещения N–H связей. Для однозначного

соответствия колебательных мод у порфирина и его изотопзамещенного был применен оригинальный метод, основанный на анализе поведения частот нормальных колебаний, рассчитанных при непрерывном изменении масс центральных атомов Н от 1 до 2 а. е. м. Когда NH(D) колебания вносят преобладающий вклад в данную моду, то уменьшение частоты при переходе от NH к ND уменьшается монотонно. В случае двух мод одинаковой симметрии и близких по частотам, кривые спектрального положения соответствующих линий при переходе от Н к D могут пересечься, что является следствием различной степени вклада NH(D) колебаний, вовлеченных в данные моды. Эффект обратного спектрального смещения линий непосредственно связан с этими пересечениями, которых молекулярная система стремится избежать.

Поскольку спектральные смещения линий при изотопзамещении не превышают 10 см^{-1} и наблюдаются для переходов в спектральном диапазоне $500\text{--}1500 \text{ см}^{-1}$ с большой плотностью спектральных линий, то для надежной интерпретации данных необходимо использовать экспериментальные методы высокого спектрального разрешения, позволяющие надежно идентифицировать отдельные линии и их смещения. Эффективным для этих целей является метод изоляции порфиринов и фталоцианинов в кристаллической матрице, когда имеет место снятие неоднородного уширения линий за счет формирования в ней ограниченного числа примесных центров (сайтов). Техника матричной изоляции в сочетании с селективным лазерным возбуждением благоприятствуют поиску проявления изотопического эффекта в тетрапиррольных молекулах.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры прикладной информатики БГАТУ **И. В. Станишевский** представил доклад «Компьютерное моделирование кинетики фотофизических и фотохимических процессов в порфиринахсодержащих твердых матрицах». Как известно, свойства и поведение фоточувствительных систем, перспективных с точки зрения их практического использования в научных и промышленных приборах и устройствах, определяются происходящими в них фотофизическими и фотохимическими процессами. При изучении таких процессов стало очевидно, что для детального понимания механизма их протекания недостаточно проведения только экспериментальных измерений, их статистической обработки и качественного анализа данных. В настоящее время возможности вычислительной техники и созданные компьютерные программы позволяют на основе разработанных моделей протекания фото процессов и фотореакций воссоздать и рассчитать (симулировать) всю кинетическую картину процесса.

Среди проблем упомянутого рода, освещенных в докладе, следует выделить: 1) явление фотоиндуцированной NH-таутомерии в свободных основаниях порфиринов, для которого неясно, в каких электронных состояниях происходит перемещение центральных протонов от одной пары атомов азота к другой и происходит ли это перемещение синхронно или асинхронно; 2) явление фотообесцвечивания металлопорфириновых комплексов в полимерных матрицах и перспективы применения этого эффекта для оптической записи и хранения информации. При

моделировании отмеченных внутримолекулярных процессов в молекулах порфиринов сочетались как численные, так и аналитические методы, были созданы алгоритмы расчетов и визуализации (кроме процедур интегрирования систем дифференциальных уравнений, в которых использовались известные алгоритмы – LSODE). С их помощью получена информация о кинетике населенности электронных уровней в шкале времен реальных спектроскопических процессов (пикосекунды – дни). Варьируя внутри- и межмолекулярные константы в используемых моделях, автор добился хорошего соответствия расчетных и экспериментальных данных.

Среди прикладных аспектов компьютерного моделирования кинетики протекания фото процессов любой природы главным является то, что до начала проведения эксперимента его можно реализовать виртуально, имея возможность при этом изучить его изнутри: оценить, верифицировать и/или обнаружить все его стадии.

Доктор Орсейского института молекулярных наук Университета Париж-11 – НЦНИ **Нилуфар Шафизаде (Niloufar Shafizadeh)** выступила с докладом «Исследование релаксации возбужденных состояний лигандированных металлопорфиринов: модель для понимания механизмов химических реакций в живых организмах». В докладе речь шла о процессах ассоциации и диссоциации лигандов (CO , O_2 , ...) гемопротейна, которые контролируют ряд важных реакций в живых организмах. Эти обратимые и сложные процессы вовлекают в биореакции активный центр гемопротейна (металлопорфирин), белковую цепь и молекулы растворителя. Чтобы изучить истинные свойства сложных биосистем экспериментально, исследованы изолированные реакционные центры (гем, его лиганды и окружение), белок и модельная окружающая среда. Металлопорфирины как модельные системы (активные центры белков) исследовались в газовой фазе. Эксперименты, касающиеся релаксации возбужденных состояний металлопорфиринов, показали, что существенная электронная перегруппировка реализуется в течение времени релаксации электронных возбужденных состояний, вовлекающих d-орбитали атома железа (в случае гема) или других переходных металлов для других систем. Этот процесс протекает через несколько электронных состояний, когда состояние переноса заряда инициирует процесс электронной перегруппировки, в результате чего активируются другие электронные состояния или процесс диссоциации лиганда.

Особое внимание в докладе уделено исследованию роли белкового окружения при образовании связи металл–кислород. Специально были синтезированы модельные порфириновые молекулы (кобальтовый комплекс пиваламидофенилпорфирина), которые воспроизводят окружение активного центра. Пиваламидофенильные заместители образуют стерические препятствия вокруг металла порфирина, препятствуя образованию связи объемного лиганда с металлом и образованию связи металл–кислород. Чтобы убедиться в том, что кобальтовый комплекс пиваламидофенилпорфирина сохраняет такие стерические свойства в газовой фазе, были дополнительно синтезированы комплекс Co -пиваламидофенилпорфирин–

метилимидазол и Со-тетрафенилпорфирин с метилимидазольными лигандами на металле. Показано, что в масс-спектре Со-тетрафенилпорфина, у которого не защищено тетрапиррольное кольцо, наблюдаются три линии, соответствующие свободному Со-тетрафенилпорфину, Со-тетрафенилпорфину с одним и двумя (с обеих сторон от металла) метилимидазольными лигандами. Напротив, в случае комплекса Со-пиваламидофенилпорфирин–метилимидазол наблюдается только мономер Со-пиваламидофенилпорфина и его лигандированная форма с единственным метилимидазолом. Эти результаты показали, что Со-пиваламидофенилпорфирин сохраняет стерические свойства и в газовой фазе. Следующим этапом работы будет изучение фотодиссоциации Со-пиваламидофенилпорфина с метилимидазолом, как лигандом, с одной стороны – от металла и с малой молекулой (O_2 , NO или H_2S), с другой.

Доктор **Олерьен де ла Ланд (Aurélien de la Lande)** представил новые результаты, полученные им в Лаборатории химической физики Университета Париж-11 – НЦНИ, выступив с докладом «Численные расчеты димеров кобальт-порфиринов с использованием теории функционала плотности». Результаты касались моделирования методами теоретической химии электронной структуры комплексов кобальт-протопорфиринов. Автор доклада показал, какие типы информации могут быть получены благодаря расчетам DFT: равновесные геометрии, колебательные частоты, анализ населенностей, топологический анализ функции ELF (Electron Localization Function). К тому же были представлены результаты оценки потенциалов окислительно-восстановительных процессов в гемах флавогеоглобинов. В последнем случае использовалась методология, сочетающая расчеты DFT и расчеты молекулярной динамики с классическим силовым полем. Было показано, что атомы протеинов оказывают прямое и существенное влияние на величину окислительно-восстановительного потенциала. Основной вывод из проделанных расчетов – в биологических средах (т. е. протеинах) электронные свойства комплексов протопорфиринов существенно регулируются электростатическими взаимодействиями с окружением.

Фундаментальные исследования с элементами практического применения были изложены канд. хим. наук, старшим научным сотрудником Института физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси **Т. А. Павич** в докладе «Конъюгаты порфиринов с фолиевой кислотой для фотодинамической терапии». В настоящее время увеличение эффективности фотодинамической терапии связано с поиском (синтезом) молекулярных фотосенсибилизаторов синглетного кислорода, способных селективным образом накапливаться в опухолевых клетках. Одним из методов избирательной доставки фотосенсибилизаторов нового поколения является использование конъюгатов фолиевой кислоты (ФК) с различными молекулярными компонентами-фотосенсибилизаторами. Эффект селективного накопления достигается тем, что ФК обладает специфическим родством к интенсивно делящимся онкологическим клеткам. В докладе представлены результаты лабораторного синтеза конъюгата ФК с фотодинамически активным сенсбилизатором – диме-

тиловым эфиром хлорина e_6 и результаты исследования его фотофизических и фотохимических свойств. Подробно рассмотрены все стадии синтеза. В синтезированном конъюгате фолиевая кислота связана с фотосенсибилизатором через спейсер, т. е. между ними присутствует углеводородный мостик – 1,6-диаминогексан, который формирует конъюгат за счет наличия в его структуре периферийных амино- (NH_2) или карбокси- (COOH) групп. Биофизические эксперименты показали, что хлорин e_6 практически полностью сохраняет свою фотосенсибилизирующую активность при его включении в конъюгат.

В докладе также представлены результаты исследований, связанных с развитием применений люминесцентного анализа с временным разрешением в онкологии путем создания люминесцентных зондов, селективно связывающихся с пролиферативно-активными клетками, на основе конъюгатов ФК с лантанидными (европиевыми) метками. Для этих целей предложено использовать синтезированный конъюгат «фолиевая кислота – спейсер – хелат европия», где в качестве спейсера используется L-аланин, а в качестве хелата европия – комплекс европия с бензоилтрифторацетоном и 1,10-фенантролином. Выполненные исследования являются первым шагом в использовании специфического средства конъюгатов фолиевой кислоты с комплексами европия к пролиферативно-активным клеткам и миллисекундной длительности люминесценции комплексов европия для диагностики наличия опухолевого процесса, оценки скорости роста опухоли на основе метода люминесцентного микроанализа с временным разрешением.

Кандидатом физ.-мат. наук, доцентом кафедры прикладной информатики БГАТУ **И. В. Станишевским** представлен доклад «Фейдинг и антифейдинг флуоресценции порфиринов», в котором изложены результаты исследования влияния нижнего триплетного состояния порфиринов на кинетику уменьшения и восстановления интенсивности флуоресценции флуорофора. Наряду с детальным изучением эффекта уменьшения интенсивности флуоресценции – фейдинга флуоресценции (fluorescence fading), докладчик сообщил об исследовании комплементарного ему эффекта восстановления флуоресценции – антифейдинга флуоресценции (fluorescence antifading), сведения о котором в литературе отсутствуют. Эффект выявлен с привлечением методов аналитического и численного моделирования кинетики флуоресценции для трехуровневых (S_0 , S_1 , T_1) молекулярных систем при воздействии прямоугольно-модулированного фотовозбуждения. Аналитические расчеты показывают, что амплитудные и временные параметры кинетических кривых фейдинга и антифейдинга с высокой степенью точности описываются несложными аналитическими выражениями, в которые входят внутримолекулярные константы. Выражения позволяют определить время жизни метастабильного состояния T_1 . Фазы спада (фейдинга) и восстановления (антифейдинга) продемонстрированы на экспериментальной кривой изменения интенсивности флуоресценции цинкового комплекса *трет*-бутилзамещенного тетрабензопорфина в поливинилбутирале при комнатной температуре с использованием фотовозбуждения последовательностью двухступенчатых импульсов, разделенных темновой паузой.



Знакомство участников семинара с экспонатами учебно-выставочного павильона БГАТУ

Эффекты фейдинга и антифейдинга флуоресценции имеют общее научное и методическое значение и могут найти практические применения, например, для обнаружения долгоживущих (метастабильных) неизлучающих молекулярных состояний и исследования их свойств.

При закрытии работы семинара всеми участниками была отмечена его отличительная особенность – высокий уровень представленных результатов экспериментальных и теоретических исследований хлорофиллоподобных молекулярных систем, выполненных в разных научных центрах. Кроме того, на семинаре много внимания уделено обсуждению результатов, полученных при выполнении совместных экспериментов в рамках белорусско-французских научных проектов. Все представленные на семинаре фундаментальные спектроскопические исследования имеют реальную перспективу практических применений в области разработки новых лазерно-активных сред, оптической записи и обработки информации, диагностики и лечения онкологических заболеваний, аналитических приложений и др.

Зарубежные участники семинара с интересом ознакомились с научно-исследовательскими и учебными лабораториями БГАТУ, учебно-выставочным павильоном и музеем университета. В свободное от работы время была организована экскурсионная поездка в Белорусский государственный музей народной архитектуры и быта.

По сути, прошедший семинар подытожил результаты многолетнего сотрудничества ученых БГАТУ и французских ученых из Университета Париж-11. Было констатировано, что за это время сторонами приобретен большой опыт постановки и реализации совместных научных экспериментов, апробировано многообразие форм сотрудничества между научными школами. Этот семинар позволил усилить связи между учеными Беларуси, Франции и Ирландии, обменяться опытом оригинальных квантово-химических расчетов и особенностями спектроскопических исследований тетрапирролов. Нет сомнения, что проведенное научное мероприятие сформирует за рубежом благоприятный облик БГАТУ и мнение о высоком научном уровне спектральных исследований, реализуемых в Республике Беларусь.

С. М. Арабей

доктор физико-математических наук,
заведующий кафедрой химии БГАТУ,
соруководитель семинара от белорусской стороны

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

УДК 339.92:553(476:474.3)(047.31)

*П. Г. НИКИТЕНКО, В. М. ЦИЛИБИНА, Ю. Н. РУМЯНЦЕВА,
К. В. ПИЛЕЦКИЙ*

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ МЕЖГОСУДАРСТВЕННОГО СОТРУДНИЧЕСТВА БЕЛАРУСИ И ЛАТВИИ В СФЕРЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Институт экономики НАН Беларуси

(Поступила в редакцию 28.05.2013)

Белорусско-латвийское сотрудничество носит характер устойчивого и стратегического партнерства. Одной из точек соприкосновения общих интересов Беларуси и Латвии является проводимая государственная политика наших стран в сфере повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов, поскольку экономики обоих государств в значительной степени зависят от импорта этого стратегически важного минерального сырья. Новый импульс отношениям Республики Беларусь с Латвией может придать развитие межгосударственного сотрудничества в сфере эффективного использования минерального сырья. Результатом может стать разработка и принятие сторонами Соглашения между Правительством Республики Беларусь и Правительством Латвийской Республики о сотрудничестве в сфере эффективного использования минерального сырья.

Обеспеченность любой страны мира минеральным сырьем является важнейшим экономическим и политическим фактором развития общественного производства. Это обусловлено тем, что в большинстве отраслей материального производства главную субстанцию производимой продукции составляет минеральное сырье, либо потребляемое в виде вспомогательных материалов, либо обеспечивающее протекание самого производственного процесса. И хотя в последние годы, в связи с вступлением ряда стран в стадию инновационного развития в их валовом внутреннем продукте наблюдается рост доли отраслей, производящих знания и инфор-

мационные продукты, тенденции снижения потребностей в минеральном сырье и минерально-сырьевой продукции не наблюдается. Минерально-сырьевые ресурсы обеспечивают исходные материалы и энергетическую базу производства порядка 70 % всей номенклатуры конечной продукции человеческого общества, являясь безальтернативной основой существования и развития современной цивилизации.

Изменение уровня конкурентоспособности продукции промышленного производства в различных странах определяется множеством факторов. Однако фактором, всегда присутствующим в данном множестве, является ассортимент и объем потребления в отраслях промышленного производства местного и импортируемого минерального сырья и продукции, полученной в результате его переработки. От того, насколько эффективным является указанное потребление, в значительной мере зависит конкурентоспособность национальной экономики в целом практически любого государства.

Поэтому проблемы эффективного использования минерального сырья приобретают особую значимость как для стран, в достаточной мере обеспеченных ими, так и для стран-импортеров. Республика Беларусь и Латвийская Республика характеризуются ограниченными запасами минеральных ресурсов (в первую очередь, относящихся к стратегическим), не достаточными для удовлетворения потребности экономик обеих стран; как следствие – и Беларусь и Латвия зависимы от импортных поставок минерального сырья.

В недрах Беларуси выявлено свыше 10 тыс. месторождений различных видов полезных ископаемых, важнейшими из которых являются месторождения топливно-энергетических ресурсов (нефть, попутный газ, торф, бурые угли и горючие сланцы), калийных и каменной солей, разнообразные полезные ископаемые, используемые для производства строительных материалов (строительный и облицовочный камень, сырье для производства цемента и извести, пески строительные и стекольные, песчано-гравийный материал, глины керамические, тугоплавкие и для легких заполнителей и др.), пресные и минеральные подземные воды. Кроме того, выявлены месторождения железных руд, гипса, редких металлов, фосфоритов, глиноземно-содового сырья, промышленных рассолов.

Однако собственная минерально-сырьевая база является достаточной для обеспечения минеральным сырьем только промышленности строительных материалов (за исключением производства стекла), химической и нефтехимической промышленности в части производства калийных и азотных удобрений и топливной промышленности республики. Таким образом, практически все отрасли промышленности имеют высокую степень зависимости от импортных поставок минерального сырья и минерально-сырьевой продукции, что негативно сказывается на конкурентоспособности производимой товарной продукции и на формировании сальдо внешней торговли товарами Республики Беларусь [1–5].

Республика Беларусь закупает нефть, газ, сырье для металлургического производства, облицовочный камень, стекольные пески, бентонитовые и каолиновые

глины, гипс и строительные материалы на основе гипса, апатиты, фосфориты и другое, поскольку на основе минерального сырья в целях конечного использования либо для производства иной готовой продукции функционируют следующие отрасли промышленности: топливная, химическая и нефтехимическая, нефтеперерабатывающая, электроэнергетика, черная металлургия, промышленность строительных материалов (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Динамика производства важнейших видов продукции в Республике Беларусь в 2005–2011 гг. на основе минерального сырья

Вид продукции	Ед. изм.	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Нефть, включая газовый конденсат	млн т	1,785	1,78	1,76	1,74	1,72	1,70	1,681	1,660
Газ попутный	млрд м ³	0,23	0,22	0,20	0,20	0,205	0,213	0,222	0,218
Торф топливный	млн т	2,31	2,13	2,50	2,36	2,22	2,35	2,823	2,679
Минеральные удобрения	млн т	5,67	5,47	5,88	5,87	3,39	6,176	6,2884	5857,9
В том числе:									
азотные	млн т	0,68	0,71	0,75	0,73	0,728	0,761	0,798	0,814
калийные	млн т	4,84	4,61	4,97	4,97	2,485	5,223	5,3058	4,831
фосфатные	млн т	0,14	0,15	0,16	0,175	0,177	0,192	0,1846	0,213
Кормовые дрожжи (на основе субстратов нефтяных фракций)	тыс. т	24,3	31,8	32,9	32,5	33,6	20,3	7,560	н. д.
Первичная переработка нефти	млн т	19,8	21,25	21,35	21,31	21,634	16,455	20,474	21,667
Бензины	млн т	3,76	3,93	3,7	3,71	3,671	3,477	3,693	3,729
В том числе:									
автомобильный	млн т	3,330	3,498	3,181	3,330	3,372	3,158	3,135	–
Топливо дизельное	млн т	6,43	6,62	6,68	6,61	6,588	5,331	6,709	11,667
Мазут топочный	млн т	6,31	6,33	6,2	5,92	6,202	4,421	5,589	6,347
Электрическая энергия	млрд кВт·ч	30,961	31,811	31,829	35,054	30,405	34,890	32,192	30,799
Тепловая энергия	млн Гкал	73,496	74,383	69,733	67,454	67,769	72,475	69,0	71,4
Цемент	млн т	3,13	3,49	3,82	4,22	4,35	4,531	4,604	4,906
Стеновые материалы	млн у. к.	2960,4	3640,6	4193,9	4389,2	3729,3	4087,3	4249,0	3715,8
В том числе:									
кирпич строительный	млн у. к.	838,1	934,9	1084,4	1102,8	960,4	1002,3	955,9	
стеновые блоки из ячеистых бетонов	млн у. к.	1964,3	2477,6	2829,8	2982,0	2456,2	2772,4	2971,5	3715,82
Известь	млн т	0,785	0,853	0,925	0,900	0,788	0,804	0,793	0,747
Известняковая и доломитовая мука	млн т	2,506	2,273	2,092	1,874	1,940	1,929	1,684	1,628
Нерудные строительные материалы	тыс. м ³	23154	27029	29819	34315	36567	41621	43785	н. д.
В том числе:									
бутовый камень	тыс. м ³	36,1	130,1	66,9	49,3	69,3	107,9	104,1	н. д.
щебень	тыс. м ³	8553	9493	10100	10753	11338	12089	13152	н. д.
строительный песок	тыс. м ³	8934	10343	11137	11256	12720	15835	16677	н. д.
гравий	тыс. м ³	649	781	1069	1448	1410	1369	1673	н. д.

Окончание табл. 1

Вид продукции	Ед. изм.	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Стекло – (все виды суммарно за искл. стекла электроарматурного)	тыс. м ²	23746	23249	21268	21357	20880	21364	25354	н. д.
В том числе:									
стекло строительное	тыс. м ²	1461	1322	1370	1130	1419	1711	1948	1859
стекло полированное	тыс. м ²	20349	20151	18022	18428	17551	17275	20606	23679
стекло закаленное (сталинит)	тыс. м ²	93	130	153	138	101	121	160	н. д.
стекло узорчатое	тыс. м ²	475	397	420	558	380	546	692	н. д.
стекло армированное	тыс. м ²	966	833	951	791	1138	1384	1720	н. д.
Стекло электроарматурное	тыс. шт.	402	416	352	312	291	327	228	н. д.
Литье чугунное	млн т	0,270	0,301	0,346	0,366	0,276	0,303	0,359	н. д.
Сталь	млн т	2,076	2,297	2,387	2,660	2,449	2,672	2,779	2,869
Готовый прокат	млн т	1,839	2,047	2,192	2,470	2,298	2,458	2,454	2,599
Стальные трубы	млн т	0,108	0,134	0,148	0,146	0,1074	0,1837	0,218	0,247
Металлокорд	тыс. т	78,5	86,4	87,2	96,5	68,5	92,9	94,1	87,9

Примечание: таблица составлена по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь.

Минерально-сырьевые ресурсы играют доминирующую роль в товарной структуре внешней торговли Республики Беларусь: в 2010 г. их доля от общего объема экспорта составила 28,2 и 35,4 % от общего объема импорта, в 2011 г. – 36,0 и 41,7 %, в 2012 г. – 36,2 и 39,4 % соответственно (рис. 1, 2).



Рис. 1. Товарная структура экспорта в 2012 г. (по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь)

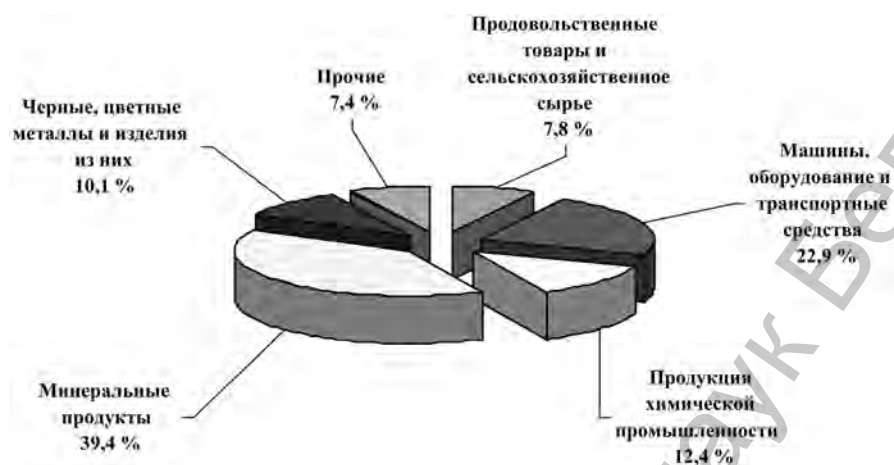


Рис. 2. Товарная структура импорта в 2012 г. (по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь)

Полезными ископаемыми Латвия небогата, однако в стране имеются месторождения доломита, известняка, торфа, гипсового камня, глины, песка, воды (табл. 2).

Табл. 3 характеризует добычу отдельных видов полезных ископаемых Латвии за период 2001–2008 гг.

Возможности добычи различных полезных ископаемых в Латвии еще мало исследованы или их добыча пока еще не рентабельна. К таким ископаемым относится нефть, которая открыта в шельфе Балтийского моря.

Таблица 2. Полезные ископаемые Латвии по данным на 2008 г.

Ископаемое	Суммарные	Разведанные	Оцениваемые
Доломит, млн м ³	673,1	188,3	484,8
Глина для кирпича, млн м ³	217,4	83,6	133,8
Клей для керамзита, млн м ³	19,9	16,9	3
Песчано-гравийные смеси, млн м ³	1088,4	380,5	707,9
Песок для изготовления силикатного кирпича, млн м ³	1162,6	365,3	797,3
Гипс, млн т	92,5	47,7	44,8
Клей для цемента, млн т	415,5	35,9	379,6
Известняк для производства цемента, млн т	504,9	70,2	434,7
Известняк для бумаги, сахара, млн т	62,4	56,1	6,3
Известняк для производства извести, млн т	11	3,1	7,9
Кварцевый песок для изготовления стекла, млн т	7,5	4,9	2,6
Торф с 40 %-ным содержанием воды, млн т	743,5	286,3	457,2

Примечание: по данным Центрального статистического бюро Латвии [6].

Т а б л и ц а 3. Добыча отдельных видов полезных ископаемых Латвии

Ископаемое	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Доломит, тыс. м ³	785,9	809,4	1039,7	1137,5	1752,8	2477,1	2937,7	2254,7
Глина для кирпича, тыс. м ³	47,2	73,5	57,1	77,1	109,8	98,8	88,9	181,2
Песчано-гравийные смеси, тыс. м ³	1258,7	1411,0	1923,5	2112,1	2396,2	3171,5	4249,7	4072,6
Песок, тыс. м ³	666,5	761,4	1282,8	2019,9	2323,9	2148,2	2621,4	3333,7
Гипс, тыс. т	176,4	228,8	265,1	266,2	273,9	235,7	346,1	349,1
Клей для цемента, тыс. т	69,9	82,3	84,9	89,1	89,6	105,8	125,1	106,9
Известняк для производства цемента, тыс. т	297,6	303,0	361,8	344,0	377,3	468,1	388,1	515,9
Кварцевый песок для изготовления стекла, тыс. т	–	0,3	–	6,7	18,3	12,6	20,7	10,9
Торф с 40 %-ным содержанием воды, тыс. т	467,5	846,6	585,2	595,1	791,0	1000,0	541,2	865,5

П р и м е ч а н и е: по данным Центрального статистического бюро Латвии [6].

Таким образом, как для Республики Беларусь, так и для Латвийской Республики решение проблемы обеспеченности минеральным сырьем приобретает стратегическое значение, особенно в условиях ликвидации последствий мирового финансово-экономического кризиса

Одним из направлений в этом контексте может стать сотрудничество Беларуси и Латвии в сфере эффективного использования минерального сырья. Следует отметить, что Республика Беларусь и Латвийская Республика имеют многовековую историю, основой которой является геополитическое положение двух стран, находящихся на пересечении главных транзитных маршрутов между Востоком и Западом, Севером и Югом.

Кроме того, для Республики Беларусь расширение экономических контактов с Латвией представляет особый интерес. Это обусловлено множеством факторов, среди которых и географическая близость, и общее экономическое прошлое. Вступление Латвии в Европейский союз создает новые условия и возможности для развития двусторонних отношений Беларуси с Евросоюзом в целом.

В советский период экономические отношения еще более упрочились, поскольку структура народного хозяйства обеспечивала прочные кооперационные связи между производственными предприятиями, а также в транзитной сфере.

Новый этап развития экономических связей начался с установления дипломатических отношений между Республикой Беларусь и Латвийской Республикой, получившими свою независимость в начале 1990-х годов. Импульсом для углубления и расширения двусторонних экономических связей послужило вступление Латвии в мае 2004 г. в Евросоюз. Этому способствовала новая роль Латвии в рамках ЕС как связующего звена между восточными странами и Евросоюзом, в том числе за счет реализации программ приграничного сотрудничества.

Белорусско-латвийское экономическое взаимодействие продолжает активно развиваться по трем направлениям, имеющим одинаково важное значения для обеих стран: внешняя торговля, инвестиционное сотрудничество и транзит.

По данным [7; 8], в 2012 г. Латвия заняла 5-е место по товарообороту и 4-е место по экспорту среди всех стран, с которыми Беларусь осуществляет внешнюю торговлю.

Удельный вес Латвии в общем объеме белорусского экспорта составил 7,1 %. Из данных табл. 4 видно, что объем взаимной торговли с Латвией по сравнению с 2011 г. увеличился на 4,6 % (3425,1 млн долл. США), экспорт из Беларуси в 4,1 раза (3279,9 млн долл. США), импорт из Латвии на 18,1 % (145,2 млн долл. США).

Т а б л и ц а 4. **Внешняя торговля Беларуси с Латвией, млн долл. США**

Показатель	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Товарооборот	556,2	388,5	395,7	413,2	573,9	1123,3	2322,2	1775,1	1025,3	3266,6	3425,1
Экспорт	520,1	344,2	310,7	322,6	462,0	995,8	2184,2	1658,5	929,5	3150,8	3279,9
Импорт	36,1	44,3	85,0	90,6	111,9	127,5	138,0	116,6	95,8	115,8	145,2
Сальдо	484	299,9	225,7	232	350,1	868,3	2046,2	1541,9	833,7	3035	3134,7

Значительный рост товарооборота обеспечен за счет наращивания белорусского экспорта в Латвию, который в 2012 г. по сравнению с 2002 г. увеличился в 6,3 раза.

Основу белорусского экспорта составляет продукция нефтехимической отрасли, металлургии, машиностроения, сельского и лесного хозяйства, пищевой промышленности (табл. 5).

В товарной структуре экспорта из Беларуси в Латвию главной продукцией выступали нефтепродукты, поставки которых возросли с 879,4 тыс. т в 1998 г. до 1965,1 тыс. т в 2012 г., т. е. в 2,2 раза.

Из Латвии импортируются лекарственные средства, рыба, ткани, трикотаж, цемент, двигатели и силовые установки, металлоконструкции (табл. 6).

Сложившаяся структура товарооборота обеспечивает устойчивую динамику прироста объемов поставок по традиционным видам товаров и его диверсификации за счет торговли новой продукцией. Во взаимном товарообороте участвуют с обеих сторон товары по более чем 400 четырехзначным кодам товарной номенклатуры.

На латвийском рынке представлен ряд хорошо знакомых латвийскому потребителю белорусских брендов, среди которых тракторы «Беларус», грузовые автомобили и автобусы «МАЗ», холодильники «Атлант», шинные изделия от «Белшины», одежда от «Милавицы» и «Элемы», обувь и многие другие товары.

К числу известных в Латвии компаний, представляющих интересы белорусских предприятий-экспортеров, можно отнести ООО «Белпищепром», СП ООО «МТЗ-сервис», ООО «Белвест-Трейд», ООО «Ильгюциемс», ООО «Диксонс», ООО «Белорусский торговый центр», ООО «Арта-Ф», ООО «Алком-Транс» и др.

По объему привлеченных инвестиций в 2012 г. Латвия заняла 10 место среди всех зарубежных партнеров Беларуси.

Таблица 5. Состав экспорта некоторых товаров Беларуси в Латвию

Товар	2007		2008		2009		2010		2011		2012	
	Кол-во	Стоимость, тыс. долл. США	Кол-во	Стоимость, тыс. долл. США	Кол-во	Стоимость, тыс. долл. США	Кол-во	Стоимость, тыс. долл. США	Кол-во	Стоимость, тыс. долл. США	Кол-во	Стоимость, тыс. долл. США
Всего	990235	2140993	1655847	929526	3151277	3269680						
Семена рапса, тыс. т	-	-	133,3	40899	5,1	1750	-	-	-	-	-	-
Масло рапсовое, тыс. т	1,5	1027	1,4	1737	9,9	8248	5,5	5723				
Соль, тыс. т	64,9	2206	58,2	2295	64,6	2198	81,8	3018	49,9	2568		
Продукты перегонки каменноугольной смолы, тыс. т	37,0	19985	21,4	16125	44,5	28990	49,4	42948	57,6	49418		
Нефтепродукты, тыс. т	1216,6	726859	1908,8	1600993	853,1	537921	1907,4	1639275	1965,1	1759272		
Кокс и битум нефтяные, тыс. т	30,3	8848	15,2	6503	8,1	3586	-	-	-	-	-	-
Соединения, содержащие функциональную негирильную группу, тыс. т	14,7	11610	21,2	18103	13,7	11960	10,1	12545	5,5	4716		
Удобрения калийные, тыс. т	5,1	1913	6,5	6149	1,9	1107	-	-	4,1	3054		
Удобрения минеральные смешанные, тыс. т	5,1	1165	2,4	1498	25,3	7629	40,5	17513	41,0	16679		
Полимеры этилена, т	2600	3712	1970	3055	1026	918	730	1026	-	-	-	-

Лесоматериалы необработанные, тыс. м ³	224,8	16647	136,6	7184	97,4	2962	132,8	5768	80,6	4010	-	-
Изделия стальной-ные строитель-ные, т	2464	6485	1857	5309	782	2065	918	2413	688	1989	-	-
Нити комплекс-ные синтетиче-ские, т	637	1940	526	1698	406	1092	490	1412	470	1749	-	-
Верхняя одежда мужская тек-стильная, тыс. шт.	73,4	1964	59,1	1936	33,3	1199	30,0	819	-	-	-	-
Обувь с верхом из натуральной кожи, тыс. пар	98,2	2722	93,5	2772	51,7	1387	83,5	2330	63,6	2013	-	-
Шлаковата, тыс. т	50,9	3390	33,3	2334	31,0	1863	25,0	1540	28,1	1838	17,6	1010
Полуфабрикаты из нелегирован-ной стали, тыс. т	111,5	53835	116,6	74048	194,5	66687	185,9	90683	240,9	152062	-	-
Прутки из неле-гированной стали горячекатаные прочие, тыс. т	15,1	9501	21,4	17908	2,6	1078	7,5	4137	15,3	10512	20,8	12877
Проволока из нелегированной стали, т	5597	3499	2840	2550	955	426	3684	2142	6586	4543	8023	5166
Тракторы и се-дельные тягачи, шт.	743	12123	399	7403	124	2306	408	6646	453	8941	352	6998
Части и принад-лежности для автомобилей, т	531	2166	293	2685	137	626	236	949	-	-	-	-

Т а б л и ц а 6. Состав импорта некоторых товаров в Беларусь из Латвии

Товар	2007		2008		2009		2010		2011		2012	
	Кол-во	Стоимость, тыс. долл. США	Кол-во	Стоимость, тыс. долл. США	Кол-во	Стоимость, тыс. долл. США	Кол-во	Стоимость, тыс. долл. США	Кол-во	Стоимость, тыс. долл. США	Кол-во	Стоимость, тыс. долл. США
Всего	127534		137994		116622		95833		116281			145191
Рыба мороженая, тыс. т	21,1	8323	23,4	11341	20,1	9325	16,9	6597	9,5	4752	5,8	3889
Готовая или консервированная рыба, икра, т	2655	5293	2132	5900	1269	3684	589	1838	1265	4368	1186	4499
Мука и гранулы из мяса, мясных субпродуктов и рыбы, т	1860	2198	2640	3167	1440	1750	625	779	—	—	—	—
Гипс, ангидрит, гипсовые вяжущие, тыс. т	9,9	2305	14,2	3589	10,7	2256	12,3	2477	9,4	2099	12,7	2770
Цемент, тыс. т	—	—	3,7	704	2,6	204	102,2	6824	68,9	6747	64,8	5634
Электроэнергия, млн кВт · ч	33,9	1146	70,3	3425	58,1	2469	—	—	—	—	—	—
Лекарственные средства, расфасованные для розничной продажи, т	156	8450	62	7736	45	7593	27	6455	34	8541	44	9027
Вещества связующие готовые, т	180	355	1813	2131	5442	5703	1646	1705	2052	3103	2557	3732
Трикотажные полотна на шириной не более 30 см с эластаном, т	59	2822	54	2935	45	2471	44	2127	70	3836	60	3076
Трикотажные полотна на шириной более 30 см с эластаном, т	211	4098	227	4880	173	3569	168	3462	258	5640	275	5574
Полотна основаязавые, т	155	2284	169	2878	126	2113	125	1983	190	3132	168	2683
Металлоконструкции из черных металлов, тыс. т	3,1	6911	2,7	6605	1,5	3816	1,0	2236	1,2	3615	0,8	1832
Пульты, панели, столы для электрической аппаратуры, т	172	2027	536	3275	210	1589	111	963	87	972	49	874

По сравнению с 2011 г. динамика инвестиций из Латвии в 2012 г. составила 108,2 % (129,3 млн долл. США). Объем прямых инвестиций вырос на 10 % (68,2 млн долл. США), прямых на чистой основе – уменьшился на 11,3 % (22,8 млн долл. США). По состоянию на 1 января 2013 г. в Беларуси накоплено 200,7 млн долл. США инвестиций из Латвии, в том числе прямых – 108,5 млн долл. США.

Положительные тенденции наметились в торговле услугами, экспорт которых из Беларуси увеличился на 120 % (119,2 млн долл. США), импорт из Латвии на 106,7 % (90,4 млн долл. США).

В основном, достигнутый уровень торговли услугами – результат работы транспортной сферы. Беларусь и Латвия являются важными и взаимодополняющими партнерами в области транспорта и транзита товаров. По территории Латвии проходит свыше 50 % всех белорусских грузов, экспортируемых морским путем в третьи страны.

Одним из направлений расширения сотрудничества Беларуси и Латвии является расширение товаропроводящей сети.

В Латвии интересы белорусских производителей представляют 4 субъекта ТПС с белорусским капиталом, в том числе:

«MTZ-Serviss SIA» (реализация тракторов и запасных частей к ним);

ООО «Belwest Trade» (реализация обуви кожаной);

ООО «Ойл Логистик» (реализация нефтепродуктов, технической соли, нитрида акриловой кислоты, акрилового жгута, полиэтилена высокого давления, полиэтилентерефталата, кислоты серной технической, парафинов);

ООО «Белпищепром» (реализация соли, ликеро-водочной продукции).

Следует отметить, что только одно из предприятий – ООО «Ойл Логистик» – в настоящее время занимается поставками в Латвию продукции минерального происхождения.

Все вышесказанное подтверждает, что белорусско-латвийские торгово-экономические отношения являются динамично развивающимися и носят характер устойчивого и стратегического партнерства.

Однако необходимо констатировать, что несмотря на значительное углубление сотрудничества Беларуси и Латвии за последние годы, оценка состояния в сфере использования минерального сырья в настоящее время не может быть признана удовлетворительной, хотя для этого имеются все предпосылки.

Для наших стран чрезвычайно важным является поиск вариантов сокращения объемов импортных поставок различных видов минерального сырья. Здесь возможны различные модели поведения:

замещение импортируемых видов минерального сырья отечественными за счет освоения месторождений соответствующих видов полезных ископаемых;

выявление и задействование резервов экономии импортируемых видов минерального сырья на всех стадиях соответствующих воспроизводственных процессов (включая стадию конечного использования готовой продукции).

Как показали исследования [9], наибольший экономический эффект может быть получен при акцентировании внимания на втором из указанных направлений. При этом под «эффективным использованием минерального сырья» при проведении научных исследований по заявленной теме будет пониматься, прежде всего, рациональное его использование, т. е. снижение потерь минерального сырья в процессах производства и потребления продукции на его основе.

В качестве точек соприкосновения общих интересов Беларуси и Латвии является проводимая государственная политика наших стран в сфере повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), что обусловлено тем, что экономики наших стран в значительной степени зависят от импорта этого стратегически важного минерального сырья.

Эффективность использования топливно-энергетических ресурсов является одним из важнейших факторов удовлетворения постоянного роста потребностей в топливе, тепловой и электрической энергии, обеспечения энергетической безопасности, улучшения экологической обстановки, повышения уровня конкурентоспособности производимой продукции как на внутреннем, так и на внешнем рынках. Эффективное использование ТЭР позволяет снизить валютные затраты государства на закупку энергоносителей; уменьшить зависимость энергоснабжения страны от внешних поставщиков энергоносителей; снизить негативное влияние энергетического сектора на окружающую среду.

В настоящее время в энергетическом секторе Латвии осуществляются рыночные реформы. Основой либерализации энергетического рынка являются закон «Об энергетике» с внесенными поправками и закон «О рынке электроэнергии». В энергетическом секторе существуют вертикально интегрированные монополии, поэтому цены на услуги по электро- и газоснабжению и конечные отпускные тарифы для подключенных потребителей регулируются. Также регулируются цены на электроэнергию и тепло, выработанные на ТЭЦ.

Одним из направлений повышения энергоэффективности в Латвии является ориентация на «зеленую» экономику. Так, предусматривается сократить к 2016 г. энергопотребление на 9 %; к 2020 г. увеличить долю использования ВИЭ в энергетическом секторе до 40 %¹ и в структуре используемого в Латвии моторного топлива до 10 %; в период с 2013 по 2020 г. снизить выброс парниковых газов по сравнению с 2005 г. на 21 % по схеме торговли выбросами в ЕС и на 17 % по схеме торговли выбросами вне ЕС.

Как известно, один из главных источников поступления углекислого газа в атмосферу связан со сжиганием первичных топливно-энергетических ресурсов и продуктов их переработки. Этим определяется большая часть антропогенной эмиссии углекислого газа (CO_2) в атмосферу. Динамика выбросов CO_2 на душу населения в Латвии, Беларуси и странах ЕС представлена на рис. 3. В 2010 г. этот показатель в Латвии в 1,9 раза меньше, чем в Беларуси и в 2 раза меньше, чем в странах ЕС.

¹ В 2010 году этот показатель составил 33,6 %, задача на 2011–2012 гг. – не менее 34,08 %.

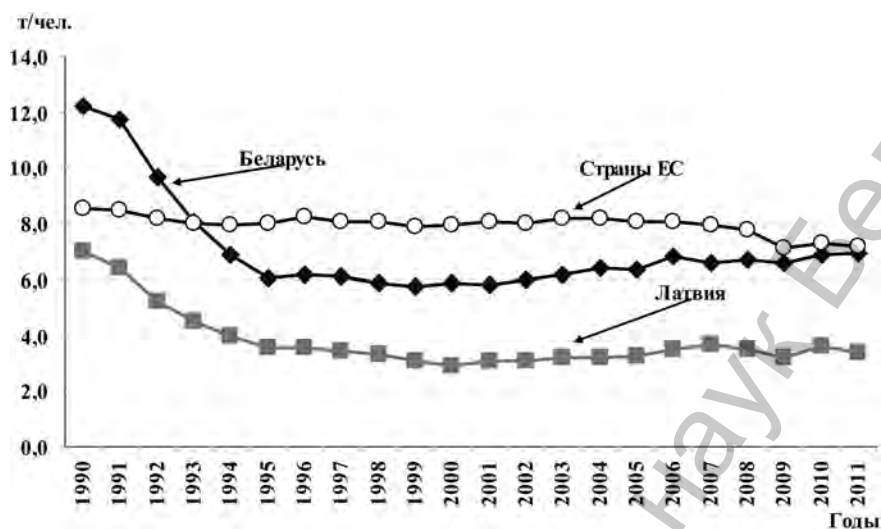


Рис. 3. Динамика выбросов CO₂ на душу населения в Латвии, Беларуси и странах ЕС (по данным МЭА)

В указанных выше документах отмечается, что потенциал местных видов топлива (биомасса, древесина, гидроэнергия, биогаз) остается недоиспользованным, в то время как традиционные энергопродукты (нефть, газ) поступают и контролируются из-за рубежа.

В Латвии на протяжении последних нескольких лет ведется целенаправленная работа по определению системы мер, призванных обеспечить диверсификацию энергетического баланса национальной экономики и снижение ее энергоемкости.

Комплекс мероприятий законопроекта призван увеличить к 2020 г. объем произведенной из ВИЭ электроэнергии на 71 %. Учитывая, что в 2010 г. 93,6 % электроэнергии из ВИЭ вырабатывалось на ГЭС, структура потребляемой электроэнергии из ВИЭ к 2020 г. изменится следующим образом: гидроэнергия – 57 %, энергия из биомассы – 24 %, энергия ветра – 18 %.

Темп роста использования ВИЭ в производстве тепловой энергии (с учетом ее роста на 18 % к 2020 г.) рассчитан на уровне 37 %. С этой целью планируется активно внедрять солнечные коллекторы и работать над снижением потерь в теплосетях. Кроме того, принимая во внимание, что основными потребителями тепловой энергии, выработанной из ВИЭ (68 %), являются домашние хозяйства, серьезное внимание уделяется реализации программы снижения энергопотерь в многоквартирных домах, что позволит получить пролонгированный во времени результат от краткосрочной финансовой поддержки этих мероприятий.

Использование ВИЭ на транспорте будет увеличиваться пропорционально использованию биотоплива и в меньшей степени электроэнергии. Производство биотоплива поддерживается за счет бюджетных субсидий и косвенно – путем снижения налоговой нагрузки (пониженная ставка акцизного налога).

В Латвии в строительной сфере акцент делается на повышение энергоэффективности стройматериалов, зданий и сооружений. В крупных городах построены или строятся когенерационные электростанции, работающие на топливной щепе. В конце 2010 г. латвийская инженерно-техническая фирма «Citrus Solutions» объединила ведущие латвийские предприятия строительной отрасли в совет по устойчивому строительству с целью выработки единых критериев для качественного строительства в долгосрочной перспективе. Из трех основных мировых зеленых стандартов в строительстве (британский BREEAM¹, американский LEED и немецкий DGNB) совет планирует лоббировать внедрение в Латвии системы сертификации BREEAM. Методика учитывает не только процесс строительства и управления, но и эффективность использования энергии, водоснабжения, доступность общественного транспорта, управление ресурсами и отходами, загрязнение окружающей среды, качество материалов и т. д.

В период с 2006 по 2010 г. в Латвии профинансирована серия научных проектов, имеющих прикладное значение для оптимизации зеленого развития в различных секторах экономики и последовательной интеграции Латвии в глобальное мирохозяйство. Обширная по секторальному охвату тематика исследований, а также их прикладной характер могут предоставить некоторым латвийским компаниям преимущества перед конкурентами в борьбе за серьезные долгосрочные контракты с ТНК². Большинство изобретений патентуется и едва ли не сразу внедряется в Латвии.

Долгосрочный прогноз энергетической политики Латвии был представлен правительством в утвержденных «Основных направлениях развития энергетики на 2007–2016 годы». В задачи энергетического сектора входит повышение надежности энергоснабжения, расширение эффективного использования возобновляемых источников энергии и ТЭЦ, дальнейшее содействие либерализации рынка и конкуренции в энергетическом секторе, обеспечение качества окружающей среды и выполнение обязательств по сокращению выбросов ПГ.

В качестве одного из основных приоритетов развития энергетического сектора Латвии «Основные направления» также содержат твердое обязательство содействовать повышению энергоэффективности наряду с введением широкомасштабных мер по энергоэффективности в сфере конечного потребления энергии. В качестве приоритетных секторов для осуществления мер в области энергоэффективности определены жилищный фонд и централизованное теплоснабжение.

¹ British Research Establishment Environmental Assessment Method.

² В числе некоторых из них: оценка эффективности технологий производства тепло- и электроэнергии из местных видов топлива применительно к латвийским условиям; оптимизация выработки топлива в результате первичной обработки органических отходов; оптимизация фотоэлектрических методов получения энергии солнца; моделирование алгоритма расчета тарифа на электроэнергию, выработанную из ВИЭ; разработка методики улучшения качества биодизельного топлива; разработка методики повышения оксидативной стабильности биодизеля; разработка методики контроля состава бензинов; изучение физико-механических свойств тканей из природных материалов (лен, конопля) в различных агрессивных средах.

В соответствии с этим, для снижения общей энергоемкости, повышения энергоэффективности в секторе теплоснабжения и энергоэффективности зданий, в «Основных направлениях» обозначен ряд конкретных количественных целевых показателей в области энергоэффективности.

Латвийское правительство разрабатывает активные стратегии с целью выполнения различных директив ЕС по энергоэффективности. Министерство экономики отвечает за политику Латвии в области энергетики и энергоэффективности, в то время как Латвийское агентство инвестиций и развития и Жилищное агентство (оба под контролем Министерства экономики), помимо прочих задач, занимаются вопросами энергоэффективности. Министерство окружающей среды, отвечающее за вопросы, связанные с изменением климата, и за реализацию национальной Программы по смягчению последствий изменения климата, весьма активно действует в области энергоэффективности и возобновляемых источников энергии. С учетом того, что значение связанных с энергетикой вопросов постоянно возрастает и что необходимо реализовывать Национальную энергетическую политику, правительство планирует создать энергетическое агентство.

Для Беларуси проблема повышения энергоэффективности сегодня в ряду самых актуальных, решение которой было всегда в центре внимания Президента и Правительства Республики Беларусь, о чем свидетельствуют принятые нормативные акты, основные из которых:

Концепция энергетической безопасности и повышения энергетической независимости Республики Беларусь (Указ Президента Республики Беларусь от 17.09.2007 № 433). (Предусмотрено снижение величины энергоемкости ВВП на 2010, 2015 и 2020 годы в 1,5; 2,0 и 2,5 раза соответственно по сравнению с 2005 г.);

Государственная комплексная программа модернизации основных производственных фондов белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов в 2006–2010 годах (Указ Президента Республики Беларусь от 15.11.2007 № 575). (Планировалось снизить энергоемкость ВВП в 2010 г. на 25–30 % к уровню 2005 года.);

Стратегия развития энергетического потенциала Республики Беларусь (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 09.08.2010 № 1180). (Снижение энергоемкости ВВП к уровню 2005 г. должно составить 50,0 % в 2015 г. и 60,0 % – к уровню 2020 г.);

Республиканская программа энергосбережения на 2011–2015 годы (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 24.12.2010 № 1882). (В качестве одного из ожидаемых результатов выполнения Программы – снижение энергоемкости ВВП в 2015 г. на 29–32 % по отношению к 2010 г.);

Национальная программа развития местных, возобновляемых и нетрадиционных энергоисточников на 2011–2015 годы (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 10.05.2011 № 586). (Исходя из анализа нормативных доку-

ментов делается вывод о достижении к 2012 г. снижения энергоемкости на 39 % по отношению к 2003 г.);

Директива Президента Республики Беларусь от 14.06.2007 № 3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства». (Ставится задача снижения энергоемкости валового внутреннего продукта в 2010 г. не менее чем на 31 %, в 2015 г. не менее чем на 50 %, в 2020 г. не менее чем на 60 % к уровню 2005 г.).

Объявленный Указом Президента текущего года Годом бережливости 2013 год станет продолжением проводимой масштабной работы в нашей стране по повышению энергоэффективности экономики.

Энергоэффективность национальной экономики любого государства определяется целым рядом показателей, среди которых общепризнанными являются энергоемкость валового внутреннего продукта (ВВП), энергопотребление на душу населения, удельные и абсолютные выбросы вредных веществ от сжигания и переработки топливно-энергетических ресурсов. Поэтому решение проблемы эффективного использования ТЭР является ключевым элементом экономики каждой страны, что оказывает влияние на конкурентоспособность товаров, стабильность и уязвимость экономики, а также и на состояние окружающей среды.

В мировой практике энергоемкость ВВП определяется как отношение валового объема используемых ТЭР к объему ВВП, и может быть выражена в различных единицах измерения. Традиционно при межстрановых сопоставлениях [10] энергоемкость ВВП выражается в тоннах нефтяного эквивалента на 1000 долл. США (т н. э/1000 долл. США) или, что то же самое, в кг нефтяного эквивалента на доллар США (кг н. э/долл. США). При этом ВВП представляется как по паритету покупательной способности (ППС), так и в долларах США по валютному курсу. Для снижения инфляционных влияний ВВП представляют в ценах базового года, например, в ценах 2005 г. На рис. 4 приведены значения энергоемкости ВВП некоторых стран в 2011 г. Следует учитывать, что публикуемые различными международными изданиями данные, относящиеся к энергоемкости ВВП, составляются с отставанием в два года. Так, данные, опубликованные МЭА в 2013 г. [10], относятся к 2011 г.

Как видно (рис. 4), энергоемкость ВВП Беларуси значительно выше многих стран, в том числе и Латвии.

Снижение энергоемкости ВВП в условиях любого государства позволяет снизить валютные затраты государства на закупку ТЭР и, тем самым, уменьшить зависимость энергоснабжения страны от внешних поставщиков ТЭР; повысить конкурентоспособность продукции на внутреннем и внешнем рынках; снизить негативное влияние энергетического сектора на окружающую среду. Во многих странах мира после энергетического кризиса 1973–1974 гг., после которого неоднократно повышались цены на минеральные топлива (особенно на нефть), резко усилилась тенденция к снижению энергоемкости ВВП.

Исходя из определения, значение энергоемкости ВВП непосредственно зависит от двух величин: валового потребления ТЭР и объема ВВП. Однако факторов,

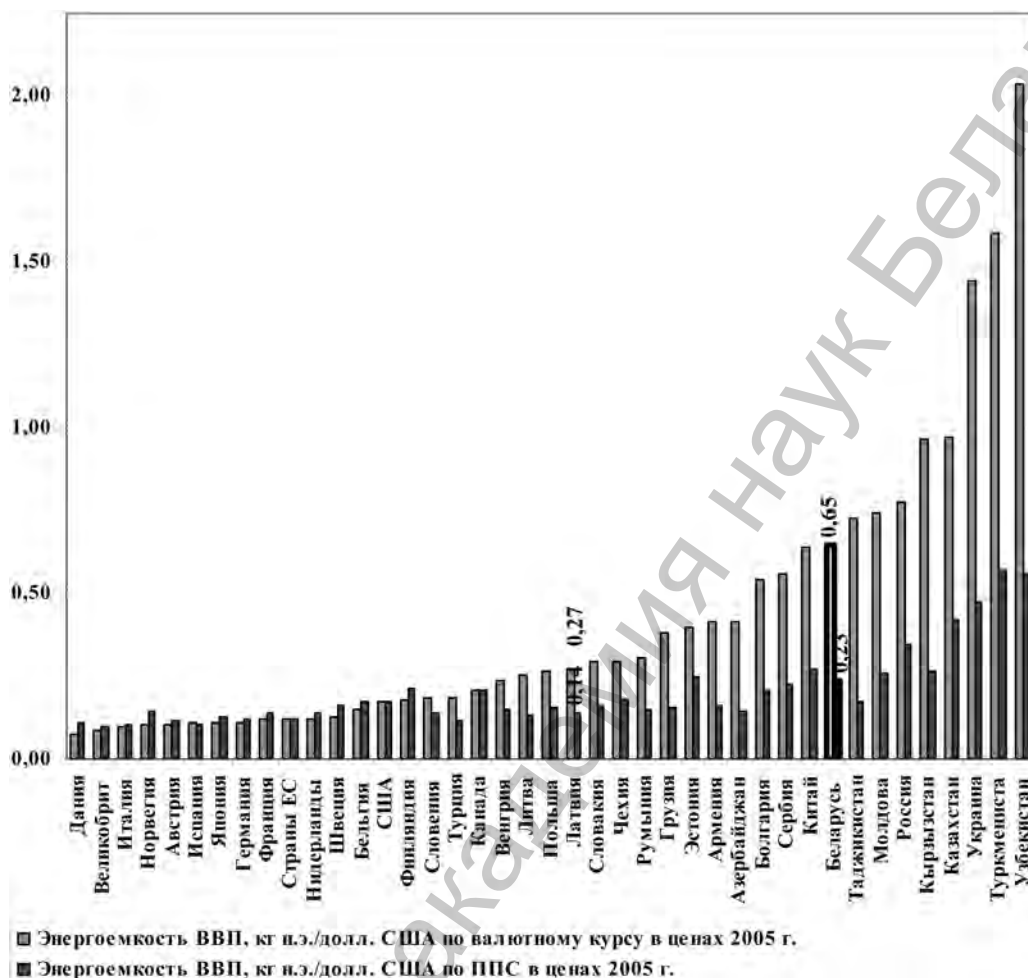


Рис. 4. Энергоемкость некоторых стран мира в 2011 г. [10]

оказывающих влияние на энергоемкость ВВП, значительно больше. К ним относятся начальные стартовые условия развития экономик различных стран; степень «рыночности» стран; степень развитости инфраструктуры; структура ВВП – соотношение доли товаров и услуг, доля энергоемких производств; эффективность социально-экономической и экологической политики государства в энергосбережении, цены на энергоносители; доля теневой экономики; технологическая база; географическое положение; климатические условия и др.

В научных исследованиях не первый год ведется полемика о том, как представлять ВВП для его адекватной оценки: по паритету покупательной способности или по валютному курсу. На наш взгляд, при межстрановых сопоставлениях оправдано представление ВВП как по ППС, так и в пересчете по валютному курсу. В то же время при составлении прогнозов социально-экономического разви-

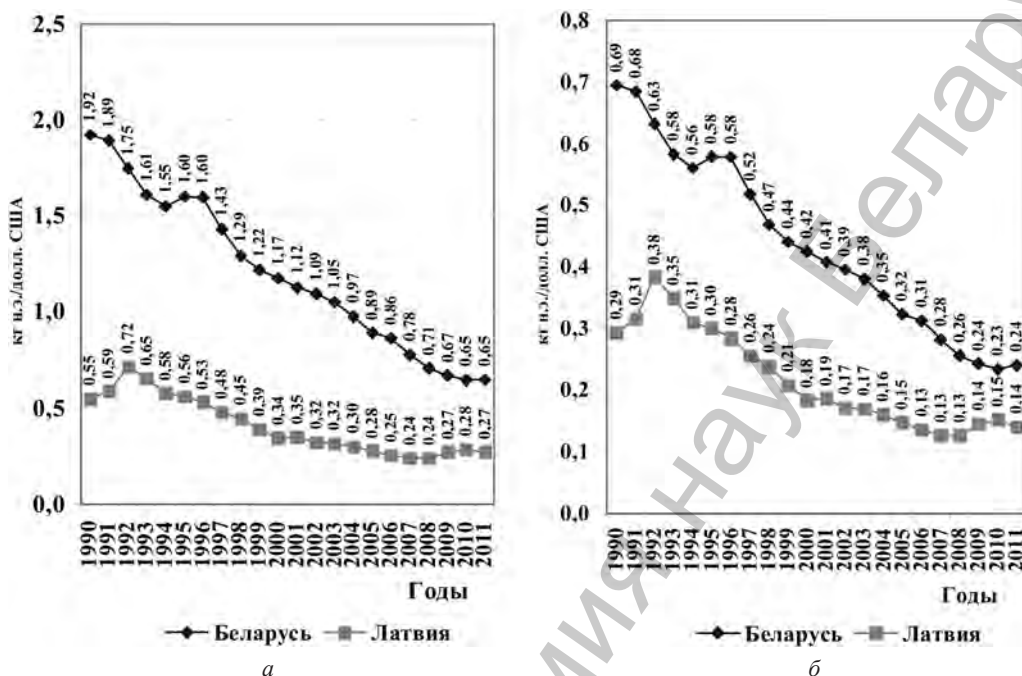


Рис. 5. Динамика энергоёмкости ВВП Беларуси и Латвии за период 1990–2011 гг.: а – ВВП рассчитан по ППС, б – ВВП рассчитан по валютному курсу

тия каждой страны, для организации мониторинга динамики ВВП, при расчете производных показателей от ВВП (в том числе и энергоёмкости ВВП), для принятия эффективных управленческих решений объём валового внутреннего продукта целесообразно рассчитывать в национальной валюте или в долларах США по валютному курсу.

Анализ динамики изменения энергоёмкости ВВП Беларуси и Латвии (рис. 5) при представлении ВВП по ППС (рис. 5, а) и по валютному курсу (рис. 5, б) свидетельствует, что несмотря на общую тенденцию к снижению, энергоёмкость ВВП Беларуси значительно выше, чем энергоёмкость ВВП Латвии. При этом если ВВП представлен по ППС, то энергоёмкость ВВП Латвии в 1,54 раза ниже, чем энергоёмкость ВВП Беларуси, а при расчете ВВП по валютному курсу энергоёмкость ВВП Латвии уже в 2,27 раза ниже, чем энергоёмкость ВВП Беларуси.

Такое положение обусловлено, прежде всего, различиями в структуре валового внутреннего продукта Латвии и Беларуси. Так, доля промышленности в структуре ВВП Латвии составляет 21 %, сельское хозяйство – 4,1 %, а услуги – 74,9 %, в то же время в Беларуси соответственно: 46,4, 9,6, 44 %. Этот факт предопределил различия (приблизительно в полтора раза) в удельном потреблении ТЭР на душу населения в Латвии и Беларуси (рис. 6).

Кроме того, объём ВВП на душу населения Латвии значительно больше, чем в Беларуси (рис. 7), как по ППС (рис. 7, а), так и по валютному курсу (рис. 7, б) [10].

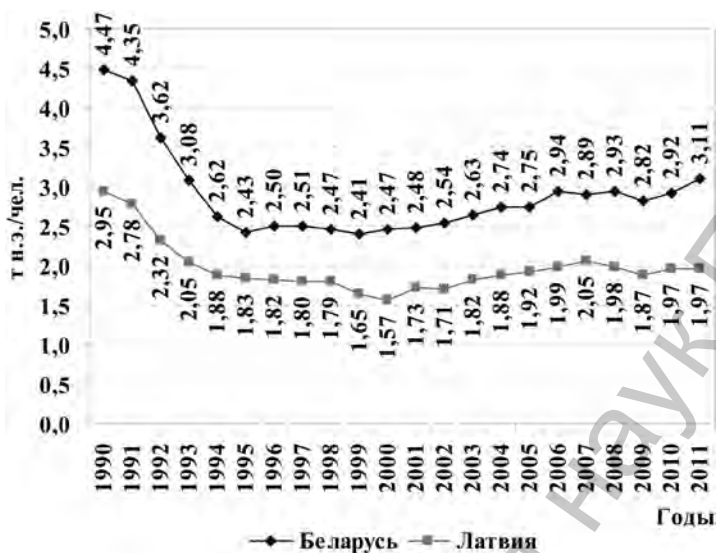


Рис. 6. Удельное потребление ТЭР на душу населения в Латвии и Беларуси [10]

Исходя из очевидного факта, что энергоёмкость ВВП не может снижаться беспредельно, целью государственной политики в области энергосбережения в Республике Беларусь должно являться не только снижение объёмов потребления ТЭР как таковое, а повышение эффективности его использования и наращивание объёмов ВВП. Как показывают исследования, безусловные лидеры по эффективности использования ТЭР на сегодняшний день – Япония, Дания, Норвегия, Канада, США, Великобритания, Австрия, Германия и др., а также Финляндия, которая схожа по климатическим условиям с Беларусью, сократившие примерно в два раза энергоёмкость своей экономики, обеспечили рост ВВП на душу населения более чем в 1,5–2 раза. При этом ВВП на душу населения в этих странах в 3–5 раз превышает ВВП на душу населения Беларуси.

Правовой основой межгосударственного взаимодействия Беларуси и Латвии являются более чем 50 подписанных соглашений и международных договоров межведомственного характера в различных сферах межгосударственного сотрудничества. В рассматриваемом контексте особую значимость имеет Соглашение между Правительством Республики Беларусь и Правительством Латвийской Республики о сотрудничестве в области охраны окружающей среды от 21 февраля 1994 г., предусматривающее сотрудничество по следующим основным направлениям:

- а) охрана вод, особенно в бассейне реки Даугава (Западная Двина);
- б) охрана флоры и фауны, развитие особо охраняемых природных объектов, организация и использование рекреационных зон;
- в) мониторинг окружающей среды;
- г) защита от вредного воздействия энергетических и промышленных объектов в обычных и чрезвычайных ситуациях.

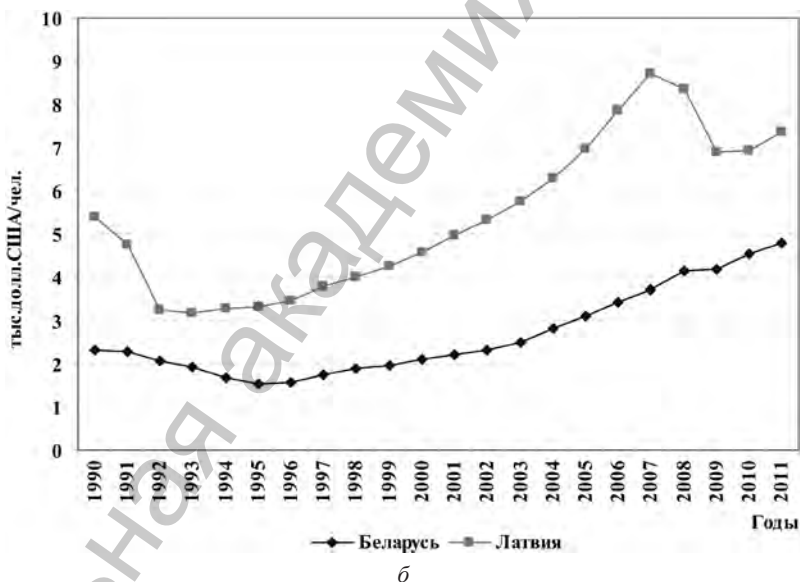
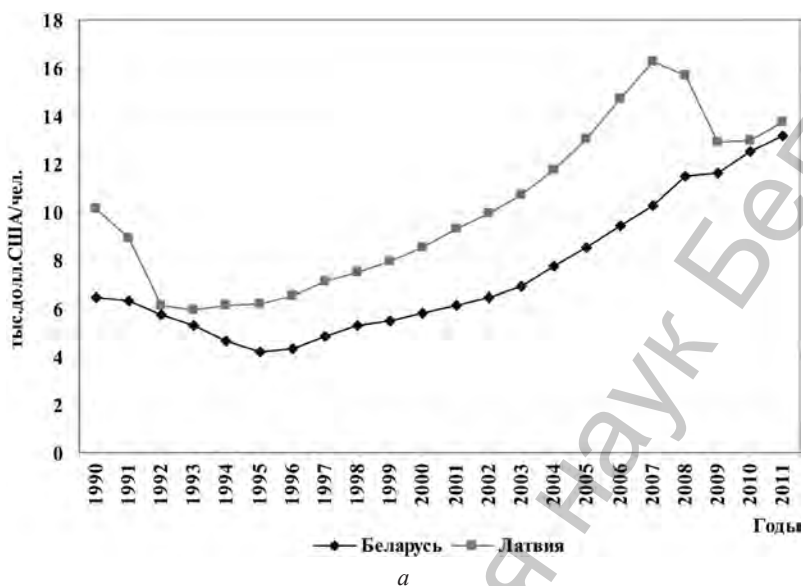


Рис. 7. ВВП Беларуси и Латвии на душу населения за период 1990–2011 гг. по ППС (а) и по валютному курсу (б)

Соглашение между Правительством Республики Беларусь и Правительством Латвийской Республики об основных принципах трансграничного сотрудничества от 16 мая 1998 г. регламентирует основные направления и формы трансграничного сотрудничества, предметом которого, в частности, являются:

- а) развитие регионов, городов и сельских районов;
- б) территориальное планирование и хозяйство;

- в) охрана природы (национальные парки, заповедники, памятники природы);
- г) охрана окружающей среды (снижение загрязнения воды, воздуха и почвы, строительство природоохранных объектов, развитие рекреационных зон);
- д) промышленное сотрудничество (кооперационные связи, создание совместных предприятий);
- е) торговый обмен.

С целью укрепления и диверсификации экономических связей между Беларусью и Латвией, поощрения налаживания новых и расширения существующих контактов между субъектами хозяйствования, включая малые и средние предприятия, с целью развития инвестиционной деятельности, создания совместных предприятий и других форм сотрудничества между ними, подписано Соглашение между Правительством Республики Беларусь и Правительством Латвийской Республики об экономическом и научно-техническом сотрудничестве от 21 апреля 2004 г., которое распространяется на промышленность, туризм, транспорт, приграничное сотрудничество, инвестиционную политику, технологии и инновации, иную деятельность по оказанию услуг, представляющую взаимный интерес.

Вместе с тем достигнута договоренность о проведении консультаций в целях определения приоритетных областей сотрудничества, в том числе новых областей экономического и научно-технического сотрудничества, включая, возможно, сферу использования минерального сырья.

Придавая важное значение расширению сотрудничества в энергетической сфере, признавая необходимость дальнейшего укрепления энергетической безопасности, был подписан и действует в настоящее время Меморандум о сотрудничестве между Правительством Республики Беларусь и Правительством Латвийской Республики в энергетической сфере от 18 февраля 2009 г., согласно которому Беларусь и Латвия договорились о содействии параллельной работе энергосистем двух стран для организации взаимовыгодной торговли и транзита электрической энергии, осуществлении сотрудничества в области поставок электрической энергии с взаимовыгодным использованием особенностей структуры энергетических источников обоих государств, совершении совместных действий по строительству электроэнергетических объектов, в том числе электростанций с использованием возобновляемых источников энергии.

Основные усилия в работе по гармонизации и унификации законодательства Беларуси и Латвии в области использования минерального сырья должны быть направлены на закрепление общего определения понятия «минерально-сырьевые ресурсы» и производных от него понятий: «минеральное сырье», «минерально-сырьевая продукция», «месторождения полезных ископаемых», «минерально-сырьевая база» и др.

Применение единого понятийного аппарата имеет определяющее значение в регулировании отношений в сфере использования минерально-сырьевых ресурсов, правовых основ развития минерально-сырьевой базы. При этом работа по гармонизации и унификации законодательства двух государств в указанной

области должна обеспечивать правовое регулирование и других аспектов, касающихся использования минерально-сырьевых ресурсов.

Для успешного решения задачи по гармонизации и унификации законодательства Беларуси и Латвии в области использования минерального сырья необходимо объединение усилий двух стран в создании организационных механизмов, позволяющих ускорить работу по оптимизации законодательств об использовании минерально-сырьевых ресурсов, своевременному выявлению пробелов в их содержании.

Для этих целей следует:

а) создать научно обоснованную систему требований к содержанию нормативных правовых актов;

б) разработать единый понятийный аппарат, охватывающий все существенные аспекты использования минерально-сырьевых ресурсов и способный быть основой для правотворческой и правоприменительной деятельности;

в) усовершенствовать механизмы экспертизы разрабатываемых и оценки эффективности уже действующих законодательных актов.

Таким образом, анализ вышеназванных международных соглашений свидетельствует о необходимости выработки единых целей, принципов и механизма гармонизации и унификации законодательства Беларуси и Латвии в области использования минерального сырья.

Целями гармонизации и унификации законодательства двух стран являются:

1) повышение качественного уровня законодательства Беларуси и Латвии в области использования минерального сырья, обеспечение наиболее полного его соответствия назревшим потребностям развития государств;

2) устранение противоречий в законодательстве обоих государств об использовании минерального сырья;

3) выработка мер, направленных на совершенствование правового регулирования, создание необходимых правовых условий, обеспечивающих выполнение Беларусью и Латвией своих международных обязательств;

4) обеспечение более полной имплементации принципов и норм международного права в законодательстве двух государств.

Гармонизация и унификация законодательства Беларуси и Латвии в области использования минерального сырья должна основываться на следующих принципах:

а) согласованность правового регулирования на взаимоприемлемых для двух государств условиях;

б) синхронность принятия актов по вопросам углубления интеграции;

в) последовательность этапов гармонизации в соответствии с юридической значимостью и иерархией законодательных и иных нормативных правовых актов;

г) приоритетность международных договоров, ратифицированных в установленном для Беларуси и Латвии порядке, перед актами национального законодательства.

Механизм гармонизации национальных законодательных и иных нормативных правовых актов заключается:

- 1) в изъятии действующих национальных законодательных и иных нормативных правовых актов из системы действующего национального законодательства;
- 2) в приведении действующих национальных законодательных и иных нормативных правовых актов в соответствие с положениями международных договоров и решениями органов управления интеграцией в соответствии с их компетенцией;
- 3) в правовой интерпретации модельных законодательных и иных нормативных правовых актов, разрабатываемых в области использования минерально-сырьевых ресурсов, в акты национального законодательства;
- 4) во включении международных договоров в национальные правовые системы;
- 5) в восполнении правовых пробелов национального законодательства путем принятия новых законодательных и иных нормативных правовых актов во исполнение заключенных международных договоров.

Предложения о принятии мер по гармонизации законодательных и иных нормативных правовых актов должны основываться на беспристрастной и всесторонней оценке ситуации в области правового регулирования использования минерально-сырьевых ресурсов в контексте отношений между двумя странами.

Ожидаемым результатом гармонизации законодательных и иных нормативных правовых актов Беларуси и Латвии в области использования минерального сырья является разработка и принятие актов законодательства, отвечающих следующим требованиям:

- а) содержать нормы права, соответствующие положениям договоров, заключенных Беларусью и Латвией;
- б) обеспечивать единообразное понимание и применение правил, установленных в нормативных правовых актах, всеми участниками правоотношений;
- в) оказывать прямое действие, по возможности исключая необходимость принятия ведомственных актов, инструкций, правил, положений, приказов;
- г) содержать реальные гарантии и механизмы их выполнения, меры ответственности и стимулы правомерной деятельности;
- д) предусматривать системность и внутреннюю связь принимаемых актов.

Следовательно, гармонизация белорусского и латвийского законодательств в области использования минерального сырья должна носить характер скоординированного, научно обоснованного и взаимообогащающего их развития, а не механического заимствования и использования правовых норм иных государств.

В настоящее время проводятся белорусско-латвийские межмидовские консультации по инвентаризации двусторонней договорно-правовой базы, в ходе которых будет обсуждено состояние договорно-правовой базы двусторонних отношений, сверены перечни международных договоров, заключенных между Беларусью и Латвией в 1991–2012 гг., проведена инвентаризация списка проектов международных договоров, находящихся на рассмотрении сторон.

Новый импульс отношениям Республики Беларусь с Латвией может придать развитие межгосударственного сотрудничества в сфере эффективного использования минерального сырья, результатом которого может стать разработка и принятие сторонами Соглашения между Правительством Республики Беларусь и Правительством Латвийской Республики о сотрудничестве в сфере эффективного использования минерального сырья.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Г12ЛАТ-018).

Литература

1. Государственная программа геологоразведочных работ по развитию минерально-сырьевой базы Беларуси на 2006–2010 годы и на период до 2020 года: Указ Президента Республики Беларусь от 28 марта 2006 г. № 184 // Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2006. – № 53. – 1/7390.
2. Программа освоения месторождений полезных ископаемых и развития минерально-сырьевой базы Республики Беларусь на 2011–2015 годы и на период до 2020 года: Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 4 апреля 2011 г. № 431.
3. Проблемы минерально-сырьевого обеспечения в системе обеспечения экономической безопасности Республики Беларусь: Аналитический доклад / Мин-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Департамент по геологии. Минск, 2004. – 79 с.
4. Карпук В. В., Ковхута А. М. // Новости науки и технологий. 2010. № 3(16).
5. Цалко В. // Экономика Беларуси. 2011. № 2. С. 70–79.
6. Официальный сайт Центрального статистического бюро Латвии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.csb.gov.lv.
7. Сайт Посольства Республики Беларусь в Латвийской [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://latvia.mfa.gov.by/gus/economics>.
8. Внешняя торговля Республики Беларусь: стат. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Минск, 2012. – 401 с.
9. Минерально-сырьевое обеспечение Республики Беларусь: состояние, проблемы, пути решения / П. Г. Никитенко, В. М. Цилибина, Ю. Н. Румянцева, В. К. Пилецкий; под науч. ред. П. Г. Никитенко. – Минск, 2012. – 211 с.
10. Key world energy statistics, IEA, 2006–2013. [Electronic resource], 2013. – Mode of access: <http://www.iea.org>. – Date of access: 11.12.2013.

P. G. NIKITSENKA, V. M. TSILIBINA, J. N. RUMYANTSEVA, K. V. PILETSKY

MODERN STATE AND PROSPECTS OF THE INTERSTATE COOPERATION BETWEEN BELARUS AND LATVIA IN THE SPHERE OF INCREASE OF EFFICIENCY OF USE MINERAL RAW MATERIALS

Summary

Belarusian-Latvian cooperation is a sustained and strategic partnership. One of the points of contact of the common interests of Belarus and Latvia is carried out by public policies of our countries in the field of efficient use of energy resources so far as economies of both countries are heavily dependent on imports of strategically important mineral resources. New impetus to relations between Belarus and Latvia can make the development of international cooperation in the field of efficient use of mineral resources. The result of such a relationship can be the development and adoption by the parties of the Pact between the Government of the Republic of Belarus and the Government of the Republic of Latvia on cooperation in the field of efficient use of mineral resources.

УДК 54.185+544.773.3

*О. А. ПЛИКУС, Е. Ф. ОСТРОВСКАЯ, Н. В. ЯКОВЕЦ***ВЛИЯНИЕ ЛАТЕКСОВ НА СТРУКТУРНО-РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АНИОННЫХ БИТУМНЫХ ЭМУЛЬСИЙ***Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси**(Поступила в редакцию 06.03.2013)*

Исследовано влияние концентрации и размера частиц синтетического (бутадиен-стирольного) и натурального латексов на устойчивость анионных битумных эмульсий. Показано, что введение латексов увеличивает устойчивость анионных битумных эмульсий. Установлен синергетический эффект влияния композиции синтетического и натурального латексов на устойчивость анионных битумных эмульсий.

Введение. В последнее десятилетие водные дисперсии органических веществ, в частности, битумные эмульсии, широко используются в строительстве, что связано с их экологической безопасностью и энергоэффективной и пожаробезопасной технологией использования [1]. Расширение областей применения битумных эмульсий обусловлено возможностями регулирования их эксплуатационных свойств путем модифицирования водными дисперсиями полимеров (латексами), что позволяет использовать их в качестве гидроизоляционных материалов: связующего слоя, гидроизоляционной мембраны [2; 3]. Наличие латекса улучшает когезию, эластичность, жесткость и прочность, расширяет температурный интервал работоспособности покрытий на основе битумно-латексных эмульсий [4].

Битумно-латексные эмульсии относятся к высококонцентрированным дисперсным системам, которые, в соответствии с классификацией П. А. Ребиндера, являются структурированными неньютоновскими жидкостями. Структурно-реологические характеристики таких дисперсных систем связаны с возникновением пространственной структурной сетки за счет межмолекулярного взаимодействия между частицами дисперсной фазы [5]. Эксплуатационные свойства этих дисперсий – устойчивость, прочность, способность к обратимым или остаточным деформациям – обусловлены характером зависимости структурно-реологических свойств от сдвиговых деформаций [6; 7]. Поскольку битумно-латексные эмульсии содержат частицы битума и латекса, размер и природа которых различны, величина электрического потенциала поверхности частиц будет различаться, что приводит к неоднозначной трактовке их межмолекулярного взаимодействия [8]. Устойчивость и прочность таких дисперсных систем, обусловленная коллективным

взаимодействием всех частиц дисперсной фазы, в основном, будет определяться свойствами и концентрацией частиц дисперсной фазы меньшего размера [9; 10].

Цель работы – исследовать влияние концентрации и размера частиц синтетического и натурального латексов на устойчивость анионных битумных эмульсий (ЭБА).

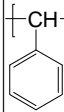
Материалы и методы исследования. В работе использовалась ЭБА, полученная методом механического диспергирования битума в воде в присутствии эмульгатора и электролита (NaOH) на лабораторной эмульсионной установке (Emulbitume, Франция). Физико-химические характеристики ЭБА представлены в табл. 1. В качестве эмульгатора использовали промышленное анионное поверхностно-активное вещество (ПАВ) (смесь производных карбоновых кислот), характеризующееся следующими коллоидно-химическими характеристиками: критическая концентрация мицеллообразования (ККМ) = 0,218 мг/л, поверхностное натяжение в точке ККМ $\sigma_{\text{ККМ}} = 29,54$ мДж/м².

Т а б л и ц а 1. Характеристики ЭБА

Показатель	Значение
Содержание битума в эмульсии, %	60,0
Дисперсность эмульсии $d > 630$ мкм, масс. %	0,01
Дисперсность эмульсии $d > 160$ мкм, масс. %	0,02
Условная вязкость, °E	2,5

Модифицирование осуществляли путем введения в ЭБА латексов в количестве 5, 10 и 15 % полимера по отношению к битуму. Модификаторами служили коммерческие анионостабилизированные латексы: синтетический бутадиен-стирольный (БСЛ) марки Lipaton SB 5521 и натуральный (НЛ) марки LR Revultex®. Физические свойства латексов представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2. Свойства латексов

Показатель	НЛ	БСЛ
pH	9,4	8,5
Содержание сухого вещества, масс. %	60,6	50,0
Поверхностное натяжение σ , мДж/м ²	45,0	43,0
Средний радиус частиц $r_{\text{ср}}$, нм	234,0	85,6
Формула элементарного звена полимера	$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{C}} = \text{CH} - \text{CH}_2 \right]_n$	$\left[\text{CH} - \text{CH}_2 \right]_n \left[\text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 \right]_m$ 

Микроскопические исследования битумных эмульсий были выполнены при помощи оптического микроскопа (Микмед-5, Россия), обеспечивающего возможность работы в проходящем свете по методу светлого поля. Общее увеличение микроскопа составляет $\times 400$.

Структурно-реологические исследования ЭБА и битумно-латексных эмульсий проводили на ротационном вискозиметре (Rheotest-2, Германия) с использованием коаксиального цилиндрического устройства в диапазоне скоростей деформации D_r , 1,5–1312,0 c^{-1} . Структурно-реологические характеристики P'_r – граничное напряжение, соответствующее практически неразрушенной структуре, P_{k2} – условный динамический предел текучести, P_m – граничное напряжение, соответствующее предельному разрушению структуры, η_0 – наибольшая вязкость практически неразрушенной структуры рассчитывали по стандартным методикам [11].

Результаты и их обсуждение. Битумные эмульсии представляют собой дисперсии битума в водной среде и являются лиофобными термодинамически неустойчивыми системами. Устойчивость битумных эмульсий определяется дисперсностью и прочностью закрепления ПАВ на межфазной границе битум/вода [12]. Широкое распределение частиц битума по размерам характеризует полученную ЭБА как полидисперсную систему (рис. 1, а).

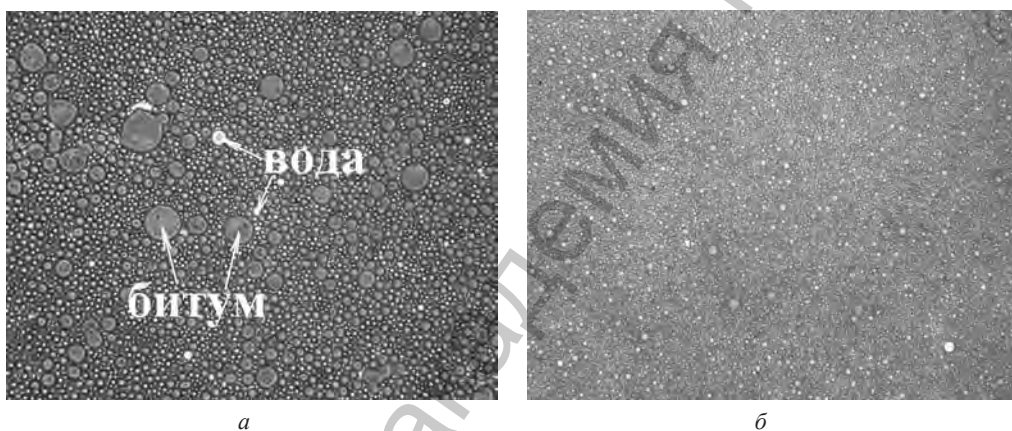


Рис. 1. Микрофотографии свежеприготовленной ЭБА (увеличение $\times 400$) (а) и через 3 месяца после приготовления (б)

На рис. 2 представлены реологические кривые течения ЭБА, из которых видно, что течение ЭБА состоит из нескольких элементарных стадий. Отсутствие ярко выраженной границы течения практически неразрушенной структуры свежеприготовленной ЭБА указывает на то, что эмульсия является слабоструктурированной жидкообразной системой. Наличие прослойки жидкости между частицами битума обуславливает низкие значения структурно-реологических характеристик ЭБА: граничных напряжений P'_r , P_m и условного динамического предела текучести P_{k2} (табл. 3).

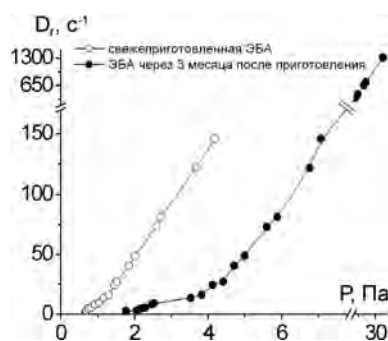


Рис. 2. Реологические кривые течения ЭБА

Таблица 3. Влияние концентрации БСЛ и НЛ и их композиций на структурно-реологические характеристики ЭБА

Концентрация латекса, %	P'_r , Па	P_{k2} , Па	P_m , Па	P_{k2}/P'_r	$\chi = P_m / P'_r$
–	0,67	0,92	4,18	1,37	6,12
–*	1,76	3,77	36,46	2,14	20,72
НЛ					
5	0,37	0,46	2,17	1,24	5,86
10	0,36	0,45	2,85	1,25	7,92
15	0,33	0,43	4,18	1,21	12,67
БСЛ					
5	0,50	0,64	4,34	1,28	8,68
10	0,47	0,62	5,01	1,32	10,66
15	0,43	0,60	20,71	1,40	48,18
БСЛ : НЛ 25 : 75					
5	0,42	0,93	4,26	2,21	10,14
10	0,40	0,86	4,10	2,15	10,25
15	0,37	0,75	3,85	2,03	10,41
15*	0,96	2,10	22,70	2,19	23,65
БСЛ : НЛ 50 : 50					
5	0,43	0,93	26,92	2,16	62,60
10	0,42	0,85	24,50	2,02	58,33
15	0,40	0,78	21,24	1,95	53,10
15*	0,95	2,13	22,93	2,24	24,14
БСЛ : НЛ 75 : 25					
5	0,50	0,92	27,05	1,84	54,10
10	0,47	0,85	24,55	1,81	52,23
15	0,43	0,77	21,41	1,79	49,79
15*	1,07	2,31	23,22	2,15	21,11

Примечание. * – ЭБА после хранения в течение 3 месяцев.

Известно [13], что используемое для эмульгирования битума анионное ПАВ на основе производных карбоновых кислот в щелочной среде имеет склонность к гелеобразованию с течением времени. Анализ структурно-реологических характеристик ЭБА до и после хранения (табл. 3) показал, что с течением времени в ЭБА происходит интенсивное структурообразование, что характеризуется ростом структурно-реологических характеристик: P'_r в 2,6 раз, P_{k2} в 4 раза, P_m в 8,7 раз. Увеличение через 3 месяца размера структурных элементов, характеризующихся соотношением P_{k2} / P'_r , в 1,56 раз и показателя прочности структуры χ , который количественно выражается через соотношение пределов прочности P_m / P'_r [11], в 3,4 раза свидетельствует о коллоидном структурировании межфазных адсорбционных слоев на поверхности частиц битума.

Более того, увеличение наибольшей вязкости практически неразрушенной структуры $\eta_0 = P'_r / D_r$ в 2,6 раз через 3 месяца может быть связано с увеличением дисперсности эмульсии за счет самопроизвольного диспергирования частиц битума, что подтверждается микрофотографиями ЭБА до (рис. 1, а) и после (рис. 1, б) хранения. Близость поверхностного натяжения водного раствора ПАВ ($\sigma_{\text{ККМ}} = 29,54$ мДж/м²), применяемого в качестве эмульгатора, к поверхностному натяжению битума ($\sigma_{\text{битума}} = 27,00$ мДж/м² [9]) указывают на то, что при эмульгировании битума в присутствии ПАВ обеспечивается низкое межфазное натяжение на границе раздела битум/вода, что обеспечивает условия для самопроизвольного диспергирования ЭБА [14]. Таким образом, полученные данные свидетельствуют об увеличении устойчивости ЭБА при хранении до трех месяцев с момента получения.

Поскольку устойчивость дисперсных систем влияет на многие их свойства, и в том числе на структурно-реологические, проведены исследования зависимости напряжений сдвига P от скорости сдвига D_r для ЭБА, модифицированных БСЛ и НЛ. Реологические кривые течения ЭБА, модифицированных БСЛ и НЛ (рис. 3), не обнаруживают ярко выраженных перегибов, отвечающих переходам от одного режима течения эмульсий к другому. Кроме того, модифицирование латексами приводит к снижению значений показателя граничного напряжения P'_r в 1,8–2,0 раз и в 1,3–1,6 раз соответственно для НЛ и БСЛ (табл. 3), что характеризует ЭБА как слабоструктурированные жидкообразные дисперсные системы. Снижение значений условного динамического предела текучести P_{k2} указывает на то, что в битумно-латексных эмульсиях формируется менее развитая пространственная структура по сравнению с немодифицированной ЭБА, причем эта тенденция усиливается с ростом количества латекса. Так по мере увеличения концентрации НЛ от 5 до 15 % значение P_{k2} снижается в 1,5–2,0 раза, для БСЛ – соответственно в 1,4–1,6 раз. Это можно объяснить тем, что частицы латекса, группируясь вокруг частиц битума за счет сил межмолекулярного притяжения, экранируют взаимодействие частиц битума, составляющее основу структурообразования в ЭБА, и тем сильнее, чем больше количество латекса в битумной эмульсии.

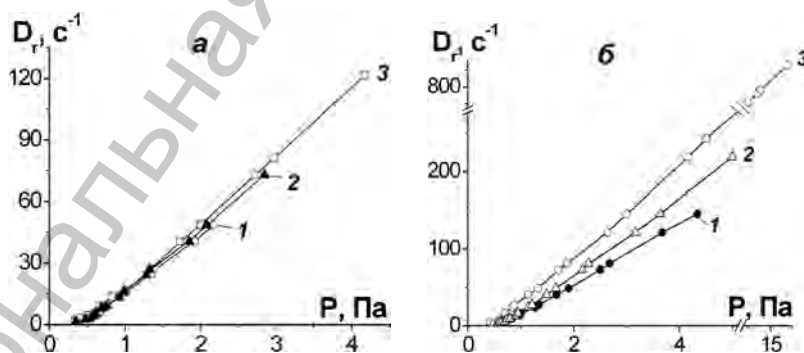


Рис. 3. Реологические кривые течения ЭБА, модифицированных НЛ (а) и БСЛ (б). Концентрация латекса, %: 1 – 5; 2 – 10; 3 – 15

Устойчивость структурированных дисперсных систем характеризуется показателем прочности структуры χ . Введение небольших количеств НЛ (5 %) приводит к снижению значения χ ЭБА на 4,3 %. Это можно объяснить тем, что анизометричные частицы НЛ, размер которых в среднем в 40 раз меньше частиц битума, формируют неравномерную сферу вокруг них. С ростом концентрации НЛ в ЭБА вероятность равномерного взаимного распределения частиц различной природы увеличивается, что приводит к росту показателя χ , и при концентрациях НЛ более 10 % превышает его значения по сравнению с немодифицированной ЭБА в 1,3 раза. Наличие БСЛ увеличивает показатель прочности структуры χ ЭБА уже при концентрации латекса в эмульсии 5 % в 1,4 раза. Это обусловлено тем, что моодисперсный БСЛ, размер частиц которого в среднем в 60 раз меньше, чем битумной эмульсии, равномерно распределяется вокруг частиц битума. И, как и в случае НЛ, с ростом концентрации БСЛ значения χ ЭБА возрастают. Таким образом, устойчивость анионных битумно-латексных эмульсий обусловлена радиусом и концентрацией частиц латекса, что согласуется с положениями теории «гетеростабилизации» [10].

Эффективным способом улучшения эксплуатационных свойств гидроизоляционных материалов является применение композиций двух и более полимеров [15]. Это связано с тем, что свойства таких материалов, как правило, характеризуются аддитивными показателями отдельно взятых полимеров, а в некоторых случаях превосходят средние свойства отдельных компонентов. В связи с этим нами предложено модифицировать ЭБА композицией БСЛ и НЛ. На рис. 4 представлены реологические кривые течения ЭБА, модифицированных композициями латексов БСЛ и НЛ при соотношениях 25 : 75, 50 : 50 и 75 : 25. Анализ структурно-реологических характеристик битумно-латексных эмульсий (табл. 3) показал, что наличие композиции БСЛ и НЛ по сравнению с индивидуальными латексами приводит к развитию и упрочнению пространственных структур эмульсии, о чем свидетельствуют более высокие значения размера структурных связей P_{k2} / P'_r , предела текучести P_{k2} и показателя прочности структуры χ . Более того, значения χ ЭБА уже при суммарных концентрациях латексов 5 %, не зависимо от их соотношения, увеличиваются в 1,7–10,2 раза по сравнению с немодифицированной эмульсией, а следовательно, для композиции синтетического и натурального латексов наблюдается синергетический эффект взаимодействия. Более того, модифицирование ЭБА композициями БСЛ и НЛ при соотношениях 50 : 50 и 75 : 25 (рис. 4, б и в) приводит к тому, что при повышении значений D_r в области медленного течения ($P < P_{k2}$) происходит развитие процессов разрушения пространственной структуры эмульсии и при достижениях напряжений P выше значений, соответствующих условному динамическому пределу текучести P_{k2} , ЭБА течет в полностью дезагрегированном состоянии без коагуляции в исследуемом диапазоне скоростей сдвига. В то время как при модифицировании ЭБА индивидуальными латексами такой эффект достигается только для БСЛ в количестве 15 % (рис. 3, б, кривая 3). Увеличение устойчивости ЭБА, модифицированных

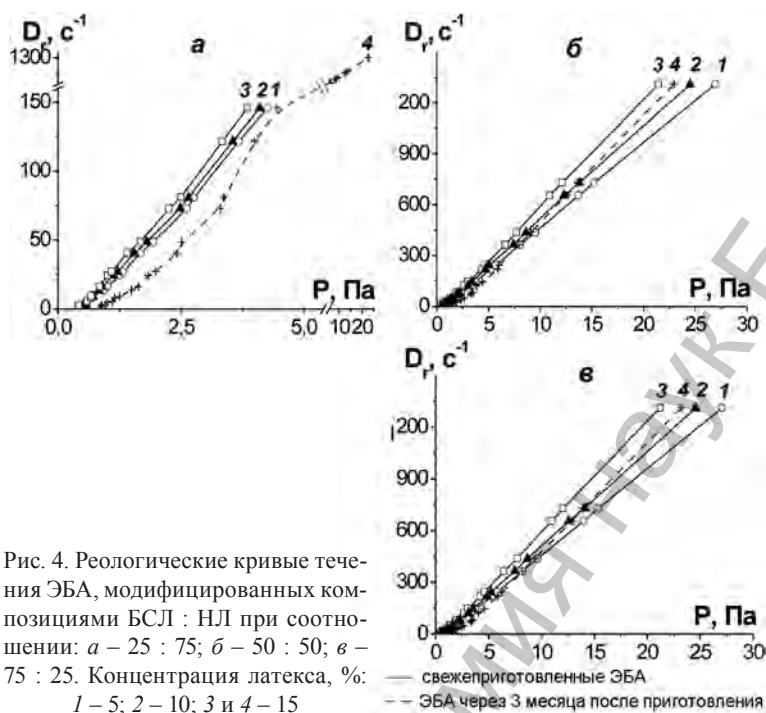


Рис. 4. Реологические кривые течения ЭБА, модифицированных композициями БСЛ : НЛ при соотношении: а – 25 : 75; б – 50 : 50; в – 75 : 25. Концентрация латекса, %: 1 – 5; 2 – 10; 3 и 4 – 15

композициями латексов, по-видимому, связано с формированием более равномерной и плотной защитной сферы, характеризующейся высокой прочностью, вследствие упорядоченной фиксации частиц БСЛ и НЛ относительно друг друга и частиц битума по сравнению с индивидуальными латексами. Следует отметить, что при хранении битумно-латексных эмульсий, наличие композиции латексов не препятствует структурированию ЭБА, на что указывает увеличение граничного напряжения P'_r в 2,4–2,6 раза и предела текучести P_{k2} в 2,7–3 раза. Более того, увеличение прочности P_m структуры со временем при соотношении БСЛ и НЛ 25 : 75 в 5,9 раз обеспечивает устойчивость ЭБА в исследуемом диапазоне скоростей сдвига, так что спустя 3 месяца эмульсия не коагулирует под действием динамических нагрузок (рис. 4, а, кривая 4) в отличие от свежеприготовленной эмульсии (рис. 4, а, кривая 3).

Следовательно, увеличение показателя прочности структуры χ анионных битумно-латексных эмульсий при снижении суммарных концентраций композиции синтетического и натурального латексов до 5 % свидетельствует о синергетическом эффекте влияния композиции латексов на устойчивость ЭБА.

Заключение. Установлена зависимость устойчивости ЭБА от размера и концентрации частиц латекса, проявляющаяся в увеличении агрегативной устойчивости ЭБА с ростом концентрации частиц латекса и при снижении их размера. Это связано с формированием равномерной и прочной сферы из частиц латекса вокруг битумных частиц.

Установлен синергетический эффект использования композиций БСЛ и НЛ для модифицирования ЭБА по сравнению с индивидуальными латексами, проявляющийся в повышении показателя прочности структуры χ в 1,7–10,2 раза в зависимости от соотношения латексов в композиции при одновременном снижении их суммарных концентраций до 5 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект X10M-152).

Литература

1. Сибгатуллина Л. Ш. Битумные и битумно-полимерные эмульсии на смешанном эмульгаторе для гидроизоляционных и кровельных материалов: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Казань, 2005. – 232 с.
2. Latex-Modified Asphalt Emulsion Tiecoat Mastic Coating System: pat. 5 085 896 US, Int. Cl.5 D 05 D 3/02, C 08 L 95/00 / № 545 433; filed 28.01.90; publ. 04.02.92.
3. Битумно-латексная эмульсионная композиция / а. с. 1721064 СССР, МКИ5 С 08 L 95/00, С 08 К 5/00 / № 483356/05; заявл. 29.03.90; опубл. 23.03.92.
4. Гидроизоляционные материалы – XXI век «AquaSTOP»: материалы 1-й Междунар. науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 18–19 апреля 2001 г. СПб., 2001. С. 67.
5. Урьев Н. Б. // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2010. Т. 46, № 1. С. 3–23.
6. Derkach S. R. // Advances in Colloid and Interface Science. 2009. Vol. 151. P. 1–23.
7. Михайлов Н. В., Ребиндер П. А. // Коллоидный журн. 1955. Т. 17, № 2. С. 107–119.
8. Новый справочник химика и технолога: Электродные процессы. Химическая кинетика и диффузия. Коллоидная химия. СПб., 2004. С. 634–636.
9. Мовчан Т. Г., Горбунова В. В., Абрамова Л. С., Есипова Н. Е. // Механика композиционных материалов. 2002. Т. 8, № 3. С. 385–395.
10. Меркушев О. М., Лавров И. С. // Поверхностные силы в тонких пленках и дисперсных системах: сб. докладов IV конф. по поверхностным силам. М., 1972. С. 63–65.
11. Лиштван И. И. Микро- и макрореология дисперсных систем. Минск, 1975. С. 25–26.
12. Peltonen V. P. // J. of Transportation Engineering. 1992. Vol. 118, N 1. P. 50–61.
13. Нагуманова Э. И. и др. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://chem.kstu.ru/butlerov_comm/vol3/cd-a7/data/jchem&cs/russian/n11/appl11/md03/full_materials/b2/md03-2-50.pdf.
14. Щукин Е. Д. Коллоидная химия. М., 2004. С. 237.
15. Лукаш О. В. Регулирование структурно-реологических свойств окисленных битумов полимерами различной химической природы: автореф. дисс. ... канд. хим. наук: 02.00.11. Минск, 2008. – 21 с.

O. A. PLIKUS, E. F. OSTROVSKAJA, N. V. YAKAVETS

EFFECT OF LATEXES ON THE STRUCTURAL-RHEOLOGICAL PROPERTIES OF ANIONIC BITUMEN EMULSION

Summary

Effect of particle concentration and size of the synthetic (butadiene-styrene) and natural latexes on the stability of anionic bitumen emulsions has been examined. It has shown adding of latexes increases stability of anionic bitumen emulsions. Synergistic effect of composition influence of synthetic and natural latexes on the stability of anionic bitumen emulsions has been established.

УДК 634.737:581.19:522.4(476)

Ж. А. РУПАСОВА, И. К. ВОЛОДЬКО, Л. В. ГОНЧАРОВА,
А. М. БУБНОВА, В. Н. РЕШЕТНИКОВ, В. В. ТИТОК

ГЕНОТИПИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НАДЗЕМНЫХ ОРГАНОВ ВЕЧНОЗЕЛЕННЫХ И ЛИСТОПАДНЫХ ВИДОВ *RHODODENDRON* L. ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В БЕЛАРУСИ

Центральный ботанический сад НАН Беларуси

(Поступила в редакцию 02.04.2013)

Приведены результаты сравнительного исследования уровней изменчивости в таксономических рядах 9 вечнозеленых и листопадных видов *Rhododendron* L. параметров накопления соединений разной химической природы в ассимилирующих и генеративных органах и показано, что наибольшей стабильностью характеризовался биохимический состав плодов, особенно листопадных видов, а также соцветий вечнозеленых видов, тогда как наименее стабильным он был у соцветий листопадных видов. Максимальная доля признаков с очень низким уровнем изменчивости отмечена в плодах листопадных видов, с низким – в ассимилирующих органах, со средним – в листьях листопадных видов, с повышенным – в плодах вечнозеленых видов, с очень высоким – в соцветиях листопадных видов. Выявлены различия между ассимилирующими и генеративными органами сезонных изменений уровня вариабельности анализируемых признаков. Наименее выраженные генотипические различия установлены для содержания в надземных частях рододендронов сухих веществ, макроэлементов, гидро- и протопектина, тогда как наиболее существенные – для содержания в них титруемых и фенолкарбоновых кислот, жирных и эфирных масел, дубильных веществ, а также большинства фракций биофлавоноидов, при промежуточном положении аскорбиновой кислоты и растворимых сахаров.

Введение. В связи с интродукцией в Беларусь малоизученных декоративных кустарников рода *Rhododendron* L. сем. *Ericaceae*, являющихся потенциальными источниками лекарственного сырья [1; 8; 11], особое научное и практическое значение обретает исследование биохимического состава их надземных частей. Предварительные исследования в данном направлении, осуществленные на базе коллекции ЦБС НАН Беларуси [12; 13], подтвердили повышенную способность этих растений к накоплению в ассимилирующих и генеративных органах широкого

спектра соединений разной химической природы – органических кислот, углеводов, терпеноидов, биофлавоноидов с их выраженной антиоксидантной активностью, а также минеральных веществ. Вместе с тем логично предположить существование генотипических различий параметров накопления в данных органах отдельных химических соединений, косвенно указывающих на степень их генетической детерминированности, позволяющей обозначить признаки, обладающие наибольшей и соответственно наименьшей устойчивостью при выведении новых сортов.

Целью данной работы является установление межвидовых различий степени зависимости от генотипа количественных характеристик биохимического состава ассимилирующих и генеративных органов вечнозеленых и листопадных видов рододендронов на основе сравнения уровней их изменчивости в двухлетнем цикле наблюдений.

Материалы и методы исследований. В качестве объектов исследования были привлечены следующие представители рода *Rhododendron* L. – 1 полувечнозеленый вид – *Rh. dauricum* L., 2 листопадных вида – *Rh. japonicum* (A. Gray) Suring и *Rh. luteum* (L.) Sweet, второй из которых был представлен тремя формами – Минской (из коллекции ЦБС НАН Беларуси), Ветчиновской и Марковской (отобранными близ соответствующих их названиям населенных пунктов в Гомельской обл.), а также 4 вечнозеленых вида – *Rh. catawbiense* Michx., *Rh. brachycarpum* D. Don, *Rh. smirnowii* Trautv., *Rh. fortunei* Lindl.

Для исследования биохимического состава ассимилирующих и генеративных органов рододендронов в усредненных свежих пробах растительного материала определяли содержание: сухих веществ – по ГОСТ 8756.2–82 [3]; аскорбиновой кислоты (витамина С) – стандартным индофенольным методом [5]; титруемых кислот (общей кислотности) – объемным методом [5]. В высушенных при температуре 65 °С усредненных пробах данных частей растений определяли содержание: растворимых сахаров – ускоренным полумикрометодом [10]; пектиновых веществ (водорастворимого пектина и протопектина) – карбазольным методом [5]; биофлавоноидов, в том числе суммы антоциановых пигментов – по методу T. Swain, W. E. Hillis [16], с построением градуировочной кривой по кристаллическому цианидину, полученному из плодов аронии черноплодной и очищенному по методике Ю. Г. Скориковой и Э. А. Шафтан [14]; собственно антоцианов – по методу Л. О. Шнаймана и В. С. Афанасьевой [15]; суммы флавонолов – фотоэлектроколориметрическим методом [5]; суммы катехинов – фотометрическим методом с использованием ванилинового реактива [7]; фенолкарбоновых кислот (в пересчете на хлорогеновую) – методом нисходящей хроматографии на бумаге [9]; дубильных веществ – титрометрическим методом Левенталя [4]; жирных масел – по методу определения сырого жира [5]; эфирных масел – по ГОСТ 24027.2–80 [2]. Все аналитические определения выполнены в 3-кратной биологической и аналитической повторности. Данные статистически обработаны с использованием программы Excel. При этом средняя квадратичная ошибка среднего не превышала 1,5–2,0 %.

Результаты и их обсуждение. Нашими исследованиями было установлено, что содержание в надземных частях рододендронов органических соединений разной химической природы в значительной степени определялось систематической принадлежностью растений, что указывает на их выраженную зависимость от данного фактора. При этом ширина диапазонов варьирования в таксономических рядах вечнозеленых и листопадных видов усредненных в двулетнем цикле наблюдений количественных характеристик биохимического состава ассимилирующих и генеративных органов оказалась весьма различной (табл. 1). Несопоставимость размеров приведенных диапазонов, обусловленная генотипическими различиями параметров накопления в них отдельных химических соединений, косвенно свидетельствует о разной степени генетической детерминированности анализируемых признаков, что необходимо учитывать в селекционном процессе при выведении новых таксонов данного рода.

С целью установления степени зависимости от генотипа количественных характеристик биохимического состава надземных органов вечнозеленых и листопадных видов рододендронов, было проведено сравнение уровней их изменчивости в соответствующих таксономических рядах в двулетнем цикле наблюдений. При этом мы ориентировались на значения коэффициентов вариации (V) рассматриваемых признаков, указывающие на уровень их зависимости от генотипа растений, т. е. чем выше коэффициент вариации, тем сильнее эта зависимость, а следовательно, ниже уровень генетической детерминированности признака и наоборот. Для оценки уровня изменчивости исследуемых показателей мы ориентировались на шкалу Г. Н. Зайцева (аналог традиционно используемой для сельскохозяйственных культур шкалы Б. А. Доспехова) [6].

Оказалось, что далеко не во всех случаях соответствие уровня вариабельности конкретного признака той или иной области принятой градации генотипической изменчивости у исследуемых видов рододендронов сохранялось в оба сезона, что однозначно указывает на его выраженную зависимость от гидротермического режима вегетационного периода. В связи с этим представляется целесообразным ориентироваться на усредненные в двулетнем цикле наблюдений в таксономических рядах вечнозеленых и листопадных видов значения уровней вариабельности количественных характеристик биохимического состава их надземных органов на разных этапах сезонного развития, приведенные в табл. 2. Анализ этих данных выявил весьма широкий диапазон изменений коэффициентов вариации 23 показателей, что свидетельствовало о разном уровне их генетической детерминированности в ассимилирующих и генеративных органах растений и позволяло обозначить признаки, обладающие наибольшей и соответственно наименьшей степенью зависимости от генотипа. Большинству из них были присущи средний ($V = 13-20\%$) и повышенный ($V = 21-40\%$) уровни вариабельности (соответственно 28,6 и 35,1 % показателей), для 10,4 % – очень высокий ($V > 41\%$) и лишь для 14,4 % – низкий ($V = 8-12\%$) и для 11,5 % – очень низкий ($< 7\%$). При этом максимальная доля признаков с очень низким уровнем изменчивости в таксономических

Таблица 1. Диапазон варьирования в таксономических рядах вечнозеленых и листопадных видов *Rhododendron L.* усредненных в двухлетнем цикле наблюдений количественных характеристик биохимического состава наземных органов

Показатель	Ассимилирующие органы						Генеративные органы					
	Окончание зимы		Фаза активного вегетативного роста		Конец вегетации		Фаза цветения		Фаза плодоношения			
	вечнозеленые виды	листопадные виды	вечнозеленые виды	листопадные виды	вечнозеленые виды	листопадные виды	вечнозеленые виды	листопадные виды	вечнозеленые виды	листопадные виды		
Сухие вещества, %	44,9–50,5	18,3–28,8	20,9–25,4	39,2–43,8	9,8–11,0	7,4–9,1	31,2–45,2	33,7–40,2				
Свободные органические кислоты, %	1,77–3,35	3,14–4,03	2,46–4,52	2,53–3,55	3,19–4,20	3,08–13,27	1,41–2,29	3,10–3,86				
Аскорбиновая кислота, мг%	261,3–398,3	225,3–377,2	358,2–537,0	188,7–277,3	575,6–901,2	409,9–1190,6	57,9–101,0	66,0–76,1				
Растворимые сахара, %	16,1–21,1	14,8–20,8	14,0–22,3	10,4–18,9	23,2–32,1	11,1–14,0	11,8–23,7	15,1–20,9				
Сахарокислотный индекс	5,0–11,8	4,1–6,7	3,5–9,2	3,0–8,1	5,5–10,3	1,1–3,9	7,3–13,1	3,9–7,6				
Гидропектин, %	0,5–0,6	0,5–0,8	1,3–1,8	0,9–1,1	0,7–1,1	0,8–0,9	0,7–1,1	0,6–0,8				
Протопектин, %	4,9–6,2	6,2–8,1	5,7–6,6	7,8–10,1	6,3–6,9	5,2–7,4	3,4–4,2	3,7–3,8				
Сумма пектиновых веществ, %	5,4–6,8	6,8–8,9	7,0–8,0	8,9–11,1	7,2–7,8	6,1–8,3	4,3–5,0	4,3–4,4				
Протопектин/Гидропектин	9,2–12,3	10,3–14,5	3,3–4,6	7,4–12,1	6,6–11,0	5,8–8,3	3,9–5,6	5,2–6,4				
Собств. антоцианы, мг%	12,9–91,4	0	0–376,0	0–49,6	982,7–3463,4	0–753,4	0	0				

Лейкоантоцианы, мг%	5029,9– 9475,7	3434,2– 9340,5	6968,0– 10024,0	4823,0– 10730,4	5060,4– 6507,3	3114,2– 5124,6	6398,9– 11639,4	9276,2– 14840,2
Сумма антоциан- пигм., мг%	5121,3– 9509,5	3434,2– 9340,5	6968,0– 10400,0	4823,0– 10730,4	6141,0– 9858,9	3867,5– 5124,6	6398,9– 11639,4	9276,2– 14840,2
Катехины, мг%	6319,5– 11177,9	7921,4– 23382,7	9013,4– 13996,7	9464,0– 15166,7	2017,2– 3729,7	1236,0– 2175,4	10073,6– 21418,2	11151,1– 18052,7
Флавонолы, мг%	2776,5– 6100,6	2554,5– 4912,5	6982,3– 8074,0	2590,6– 4504,8	2819,8– 6923,4	658,2– 1792,4	2145,5– 2337,6	2411,9– 2634,6
Флавонолы/Катехины	0,3–1,0	0,3–0,7	0,7–0,9	0,2–0,5	1,6–3,7	0,5–1,6	0,1–0,2	0,1–0,2
Сумма биофлавонон- дов, мг%	17541,3– 23084,6	16268,0– 35742,1	23125,2– 32470,7	18791,8– 27357,8	12361,8– 17988,8	5845,8– 8323,0	18618,0– 35231,5	22839,2– 35527,5
Фенолкарбонные кислоты, мг%	629,2–2794,5	2100,0–3225,0	2773,6–4038,9	795,8–2529,2	1642,3–2659,8	2038,5–3243,4	565,3–1183,4	876,4–1284,7
Дубильные вещества, %	5,1–11,4	5,0–13,9	6,9–11,8	4,5–14,0	6,1–9,1	3,0–3,8	7,9–9,0	7,9–12,6
Жирные масла, %	4,25–10,18	2,69–9,27	3,43–4,36	4,79–11,58	3,14–4,55	6,72–8,33	3,93–7,22	3,17–5,29
Эфирные масла, %	0,001–0,067	Не опр.	0,072–0,151	Не опр.	0,001–0,018	0,004–0,026	Не опр.	Не опр.
Азот, %	1,40–2,13	2,22–2,62	3,17–3,66	1,55–2,38	1,37–1,61	3,16–3,73	1,36–1,81	1,49–1,68
Фосфор, %	0,19–0,24	0,25–0,27	0,44–0,51	0,24–0,29	0,32–0,35	0,44–0,50	0,28–0,30	0,30–0,32
Калий, %	0,85–1,26	1,75–2,84	1,88–2,91	0,76–1,36	2,04–2,88	3,13–4,08	1,29–1,87	2,11–2,13

Таблица 2. Усредненные в таксономических рядах вечнозеленых и листопадных видов *Rhododendron L.* значения коэффициентов вариации (V , %) количественных характеристик биохимического состава надземных органов (по двухлетним данным)

Показатель	Перезимовавшие листья		Листья текущего прироста				Генеративные органы				$V_{\text{ср}}$	Позиция показателя в ряду снижения уровня генетич. детермин.
	окончание зимы		фаза активного вегетативного роста		конец вегетации		фаза цветения		фаза плодоношения			
	вечнозеленые виды	листопадные виды	вечнозеленые виды	листопадные виды	вечнозеленые виды	листопадные виды	вечнозеленые виды	листопадные виды	вечнозеленые виды	листопадные виды		
Сухие вещества	5,8	22,5	8,5	6,1	5,6	9,1	17,9	19,3	11,9	5		
Свободные органические кислоты	31,6	15,2	26,0	15,3	11,9	84,6	21,7	19,1	28,2	15		
Аскорбиновая кислота	15,8	18,8	20,6	16,4	17,2	54,0	24,2	13,5	22,6	11		
Сумма растворимых сахаров	14,4	14,1	24,6	20,7	13,0	32,1	25,8	19,7	20,6	9		
Сахарокислотный индекс	29,6	25,6	47,7	32,2	23,7	57,0	26,0	25,7	33,4	19		
Гидропектин	12,6	19,8	16,4	10,2	17,7	14,6	15,6	13,2	15,0	6		
Протопектин	12,0	11,8	9,0	11,6	8,4	18,6	10,4	4,7	10,8	3		
Сумма пектиновых веществ	11,4	11,6	8,3	9,7	7,4	17,4	9,2	5,3	10,0	2		
Протопектин/Гидропектин	13,9	17,6	16,4	21,2	25,4	17,2	16,9	11,3	17,5	8		
Собственные антоцианы	81,3	0	119,2	53,4	64,4	200,0	0	0	64,8	22		
Лейкоантоцианы	29,4	33,4	18,1	33,3	15,8	27,4	29,2	28,0	26,8	13		
Сумма антоциановых пигментов	29,0	33,4	19,4	33,2	22,0	23,6	29,2	28,0	27,2	14		
Катехины	21,3	46,0	20,4	23,0	32,6	30,7	38,3	27,9	30,0	18		
Флавонолы	37,0	26,8	7,5	27,7	38,8	63,0	20,1	7,8	28,6	16		
Флавонолы/Катехины	64,5	51,4	14,4	38,3	44,7	68,8	25,2	31,1	42,3	21		
Сумма биофлавоноидов	13,3	30,7	15,1	16,6	19,4	20,7	32,5	25,8	21,8	10		
Фенолкарбоновые кислоты	69,1	26,9	17,5	53,6	21,8	28,1	38,2	31,6	35,9	20		
Дубильные вещества	26,6	36,9	26,2	37,4	21,8	21,4	6,6	32,7	26,2	12		
Жирные масла	37,3	52,4	11,4	42,7	15,8	9,9	35,1	32,3	29,6	17		
Эфирные масла	92,7	Не опр.	32,6	Не опр.	117,6	Не опр.	Не опр.	Не опр.	81,0	23		
Азот	17,4	8,3	6,3	17,4	8,5	6,8	10,2	13,3	11,0	4		
Фосфор	14,0	5,7	6,5	9,7	5,1	6,9	3,7	7,1	7,3	1		
Калий	15,2	18,6	19,1	21,2	14,4	12,9	13,8	14,3	16,2	7		
$V_{\text{ср}}$	27,4	24,0	21,8	25,0	20,7	37,5	20,4	18,7	-	-		

Таблица 3. Относительная доля показателей биохимического состава надземных органов растений с разным уровнем изменчивости в таксономических рядах вечнозеленых и листопадных видов *Rhododendron L.*, %

Уровень изменчивости	Перезимовавшие листья	Листья текущего прироста				Генеративные органы				Среднее значение
	окончание зимы	фаза активного вегетативного роста		конец вегетации	фаза цветения		фаза плодоношения			
	вечнозеленые виды	вечнозеленые виды	листопадные виды	вечнозеленые виды	вечнозеленые виды	листопадные виды	вечнозеленые виды	листопадные виды		
Очень низкий (<7 %)	5	9	14	5	14	9	14	22	11,5	
Низкий (8–12 %)	18	14	18	18	14	14	14	5	14,4	
Средний (13–20 %)	27	27	45	22	32	22	22	32	28,6	
Повышенный (21–40 %)	36	41	14	41	31	27	50	41	35,1	
Очень высокий (>41 %)	14	9	9	14	9	28	0	0	10,4	

рядах отмечена в плодах листопадных видов, с низким – в ассимилирующих органах, со средним – в листьях листопадных видов, с повышенным – в плодах вечнозеленых видов, с очень высоким – в соцветиях листопадных видов (табл. 3).

При этом в ряде случаев у листопадных и вечнозеленых видов было выявлено заметное сходство параметров изменчивости анализируемых признаков в ассимилирующих и генеративных органах. Так, наименее выразительными генотипические различия оказались для содержания в них азота, фосфора, сухих и пектиновых веществ, тогда как наиболее выразительными – для содержания антоциановых пигментов и катехинов, дубильных веществ и показателя сахарокислотного индекса.

Вместе с тем данным компонентам фитомассы сравниваемых групп рододендронов на разных этапах сезонного развития были присущи и индивидуальные особенности генотипической изменчивости количественных характеристик биохимического состава даже в пределах ее конкретной области. Например, в период активного вегетативного роста в ассимилирующих органах листопадных видов был установлен меньший, чем у вечнозеленых, уровень зависимости от генотипа содержания сухих, пектиновых и дубильных веществ, а также всех фракций биофлавоноидов, фенолкарбоновых кислот, азота и жирных масел, но более высокий – для содержания растворимых сахаров, аскорбиновой и свободных органических кислот, при отсутствии различий в этом плане для содержания фосфора и калия. При этом к концу сезона в листьях вечнозеленых рододендронов наблюдалось выраженное в разной степени снижение уровня зависимости от генотипа содержания сухих веществ, аскорбиновой кислоты, гидропектина, жирных масел, ка-

техинов и общего количества биофлавоноидов, на фоне усиления данной зависимости для содержания растворимых сахаров, собственно антоцианов, фенолкарбоновых кислот и макроэлементов, при отсутствии выраженных ее изменений для содержания титруемых кислот, протопектина, лейкоантоцианов, флавонолов и дубильных веществ.

Сравнительный анализ уровня варибельности исследуемых признаков в генеративных органах в период цветения также выявил заметные различия между листопадными и вечнозелеными видами в значениях данного показателя при выраженном сходстве с подобными различиями, установленными в ассимилирующих органах. В частности, соцветия листопадных видов, как и их новообразованные листья, характеризовались более высокой, чем у вечнозеленых, зависимостью от генотипа содержания фосфора, аскорбиновой и свободных органических кислот, растворимых сахаров и собственно антоцианов, но при этом меньшим уровнем данной зависимости для содержания азота, гидропектина и жирных масел. Вместе с тем, в отличие от ассимилирующих органов, соцветия листопадных видов обладали более значительной, чем у вечнозеленых, зависимостью от генотипа содержания сухих веществ, протопектина, лейкоантоцианов, флавонолов и фенолкарбоновых кислот, при меньшем уровне данной зависимости для содержания калия и отсутствии различий в ней между сравниваемыми группами рододендронов для содержания дубильных веществ, суммы антоциановых пигментов, катехинов и биофлавоноидов в целом.

У листопадных и вечнозеленых видов в процессе сезонного развития генеративных органов для большинства компонентов их биохимического состава установлены противоположные по знаку изменения уровня зависимости от генотипа, и лишь для отдельных характеристик выявлена одновекторная направленность данных изменений, состоявшая в усилении данной зависимости для содержания сухих веществ, азота, фенолкарбоновых кислот, жирных масел и общего количества биофлавоноидов, при ее ослаблении для содержания гидропектина и флавонолов. При этом для большинства показателей биохимического состава плодов листопадных видов был показан либо меньший, либо сходный с таковым у вечнозеленых видов уровень зависимости от генотипа, и лишь для содержания дубильных веществ и макроэлементов он оказался более высоким.

Для выявления последовательности 22 анализируемых признаков в порядке снижения уровня их генетической детерминированности, указывающего на усиление межвидовых различий, были определены средние для 8 исследуемых компонентов фитомассы значения коэффициентов вариации и обозначены позиции каждого из них, в соответствии с увеличением полученного интегрального показателя (табл. 2). Наименее выраженные межвидовые различия у рододендронов установлены для содержания в их надземных органах сухих веществ, макроэлементов, гидро- и протопектина, обладавшего преимущественно низким и очень низким уровнем изменчивости в таксономических рядах, тогда как наиболее существенные межвидовые различия выявлены для параметров накопления в них

титруемых и фенолкарбоновых кислот, жирных и эфирных масел, дубильных веществ, а также большинства фракций биофлавоноидов, обладающих в основном повышенным и очень высоким уровнем данной изменчивости. При этом параметры накопления аскорбиновой кислоты и растворимых сахаров, характеризовавшиеся близкими к среднему уровнями последней, занимали в этом ряду промежуточное положение.

В наших более ранних исследованиях, связанных с оценкой генотипической изменчивости в таксономических рядах биохимического состава плодов представителей родов *Vaccinium* и *Oxycoccus*, были получены близкие приведенным выше результаты [15], что свидетельствовало об общности характера выявленных закономерностей для сем. *Ericaceae*, к которому принадлежит также род *Rhododendron* L.

С целью выявления компонентов надземной фитомассы исследуемых таксонов рододендронов с наибольшим и наименьшим интегральными уровнями изменчивости их биохимического состава, во всех органах растений для исследуемого набора показателей были определены средние значения коэффициентов вариации (табл. 2). При диапазоне изменений от 18,7 до 37,5 % в большинстве случаев они оказались близки между собой и в рамках принятой градации в основном соответствовали верхней границе среднего либо нижней границе повышенного уровня изменчивости. При этом наибольшей стабильностью в пределах таксономического ряда интродуцентов характеризовался биохимический состав плодов рододендронов, особенно у листопадных видов, а также соцветий вечнозеленых видов, тогда как наименее стабильным он был у соцветий листопадных видов.

Заключение. На основании двухлетнего (2010–2011 гг.) исследования сезонной динамики биохимического состава ассимилирующих и генеративных органов 9 таксонов *Rhododendron* L. – 1 полувечнозеленого *Rh. dauricum* L., 4 вечнозеленых (*Rh. catawbiense* Michx., *Rh. brachycarpum* D. Don, *Rh. smirnowii* Trautv., *Rh. fortunei* Lindl.) и 2 листопадных видов (*Rh. japonicum* (A. Gray) Suring и *Rh. luteum* (L.) Sweet.), второй из которых был представлен тремя формами – Минской (из коллекции ЦБС НАН Беларуси), Ветчиновской и Марковской, отобранными близ соответствующих их названиям населенных пунктов в Гомельской обл., выявлены отчетливые генотипические различия в содержании в них полезных веществ разной химической природы.

Впервые в двухлетнем цикле наблюдений определены межвидовые различия степени генетической детерминированности параметров накопления в надземных органах рододендронов соединений разной химической природы и показано, что наибольшей стабильностью в таксономическом ряду рододендронов характеризовался биохимический состав плодов, особенно листопадных видов, а также соцветий вечнозеленых видов, тогда как наименее стабильным он был у соцветий листопадных видов. Показано, что максимальная доля признаков с очень низким уровнем изменчивости в таксономических рядах отмечена в плодах листопадных видов, с низким – в ассимилирующих органах, со средним – в листьях

листопадных видов, с повышенным – в плодах вечнозеленых видов, с очень высоким – в соцветиях листопадных видов.

В процессе сезонного развития ассимилирующих органов вечнозеленых рододендронов установлено выраженное в разной степени снижение уровня зависимости от генотипа содержания сухих веществ, аскорбиновой кислоты, гидропектина, жирных масел, катехинов и общего количества биофлавоноидов, на фоне усиления данной зависимости для содержания растворимых сахаров, собственно антоцианов, фенолкарбоновых кислот и макроэлементов, при отсутствии выраженных ее изменений для содержания титруемых кислот, протопектина, лейкоантоцианов, флавонолов и дубильных веществ.

В процессе сезонного развития генеративных органов листопадных и вечнозеленых видов для большинства компонентов их биохимического состава установлены противоположные по знаку изменения уровня зависимости от генотипа, и лишь для отдельных характеристик выявлена одновекторная направленность данных изменений, состоявшая в усилении данной зависимости для содержания сухих веществ, азота, фенолкарбоновых кислот, жирных масел и общего количества биофлавоноидов, при ее ослаблении для содержания гидропектина и флавонолов. При этом для большинства показателей биохимического состава плодов листопадных видов был показан либо меньший, либо сходный с таковым у вечнозеленых видов уровень зависимости от генотипа, и лишь для содержания дубильных веществ и макроэлементов он оказался более высоким.

Наименее выраженные генотипические различия в надземных органах рододендронов установлены для содержания сухих веществ, макроэлементов, гидро- и протопектина, тогда как наиболее существенные – для содержания в них титруемых и фенолкарбоновых кислот, жирных и эфирных масел, дубильных веществ, а также большинства фракций биофлавоноидов, при промежуточном положении аскорбиновой кислоты и растворимых сахаров.

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

Литература

1. Александрова М. С. Рододендроны природной флоры СССР. М., 1975. – 112 с.
2. ГОСТ 24027.2–80. Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла. М., 1981. – 7 с.
3. ГОСТ 8756.2–82. Методы определения сухих веществ. М., 1982. – 5 с.
4. Государственная фармакопея СССР. М., 1987. Вып. 1. Общие методы анализа. С. 286–287.
5. Ермаков А. И. Методы биохимического исследования растений. М., 1987. – 430 с.
6. Зайцев Г. Н. Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М., 1973. – 256 с.
7. Запрометов М. Н. Биохимия катехинов. М., 1964. – 325 с.
8. Кондратович Р. Я. Рододендроны в Латвийской ССР. Биологические особенности культуры. Рига, 1981. – 332 с.
9. Мжаванадзе В. В. // Сообщ. АН Груз ССР. 1971. Т. 63, вып. 1. С. 205–210.

10. Плешков Б. П. Практикум по биохимии растений. М., 1985. С. 110–112.
11. Российский Д. М. // Фармакология и токсикология. 1954. Т. 17, № 4. С. 33–34.
12. Рупасова Ж. А. // Весн. Вітебскага дзярж. ўн-та імя П. М. Машэрава. 2012. № 3(69). С. 30–35.
13. Рупасова Ж. А. // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук. 2000. № 3. С. 11–16.
14. Скорикова Ю. Г. // Тр. 3 Всесоюз. семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод. Свердловск, 1968. С. 451–461.
15. Шнайдман Л. О. // Реф. докл. и сообщ.: 9-й Менделеевский съезд по общ. и прикл. химии. М., 1965. № 8. С. 79–80.
16. Swain T. // J. Sci. Food Agric. 1959. Vol. 10, N 1. P. 63–68.

Zh. A. RUPASOVA, I. K. VOLODKO, L. V. GONCHAROVA, A. M. BUBNOVA,
V. N. RESHETNIKOV, V. V. TITOK

**GENOTYPIC VARIABILITY OF BIOCHEMICAL COMPOSITION
OF OVERHEAD ORGANS OF EVERGREEN AND DECIDUOUS SPECIES
RHODODENDRON L. WHEN INTRODUCED IN BELARUS**

Summary

The results of a comparative study of the levels of variation in taxonomic ranks 9 evergreen and deciduous species of *Rhododendron* L. accumulation parameters of compounds of different chemical nature in assimilating and generative organs and demonstrated that the highest stability characterized the biochemical composition of fruits, especially deciduous species and inflorescences evergreen species, while the least stable was in inflorescences deciduous species are presented. Maximum share characteristics with very low variability observed in deciduous fruit species with low in assimilating organs, with the average level in the leaves of deciduous species, with a higher level in the fruit of an evergreen species, with very high level in the inflorescences of deciduous species. The differences between the assimilated and generative organs of seasonal changes in the level of variability of the analyzed traits are identified. Expressed the least genotypic differences are established for the content of above-ground parts of the rhododendrons of dry matter, macronutrients, hydro and protopectin, while the most important are identified for their content of titratable and phenol carbonic acids, fatty and essential oils, tannins, and most factions bioflavonoids in intermediate position of ascorbic acid and soluble sugars.

УДК 621.79:536.2

О. О. КУЗНЕЧИК¹, Д. В. МИНЬКО², К. Е. БЕЛЯВИН², Е. Г. ГРИГОРЬЕВ³

РЕГИСТРАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МИКРОПЛАЗМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОМ СПЕКАНИИ ПОРОШКА ТИТАНА

¹Институт порошковой металлургии²Белорусский национальный технологический университет³Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

(Поступила в редакцию 29.04.2013)

Приведен алгоритм работы двухцветного пирометра, изложены порядок его калибровки и методика измерения температуры в зоне электроимпульсного спекания (ЭИС) импульсным током высоковольтного разряда. Представлены результаты регистрации температуры в зоне ЭИС сферических порошков титана. Установлено, что в течение первого полупериода высоковольтного разряда скорость подъема и падения температуры регистрируемого процесса является максимальной и лежит в пределах 10^5 – 10^6 °C/с. На этом временном промежутке температура достигает своего максимума, значения которого лежат в пределах 5600–5800 °C. По этим показателям следует полагать, что в зоне ЭИС между частицами порошка на этом этапе возникла низкотемпературная плазма, особенностью которой являлось то, что своего максимума она достигала несколько раньше (через 9–12 мкс), чем достигался (через 15–16 мкс) максимум амплитуды импульсного тока высоковольтного разряда. Зафиксировано, что в конце первого полупериода (через 30–32 мкс), когда амплитуда силы импульсного тока равна нулю, температура имела значения (1660–1680 °C), сопоставимые с температурой плавления титана, и с этого момента, в последующий период времени, характер ее изменения был сопоставим с характером изменения импульсного тока и в большей мере соответствовал характеру изменения температуры нагреваемого током проводника.

Введение. Электроимпульсное спекание (ЭИС) высоковольтным (свыше 1 кВ) разрядом порошков титана используется в медицине для получения имплантатов, а также в машиностроении для изготовления фильтроэлементов, включая пластины дивертора [1]. Процесс ЭИС характеризуется мощным кратковременным выделением тепловой энергии в контактных зонах частиц порошка, которое сопровождается яркой световой вспышкой, характерной для микроплазменных

процессов. Появление этих процессов обусловлено протеканием высоковольтного электрического разряда через сжимаемый электродами-пуансонами в диэлектрической матрице порошок, частицы которого испытывают упругую деформацию. При этом плотность тока в импульсе может достигать значений порядка 10^5 – 10^6 кА/м², а сам импульс имеет длительность порядка 100 мкс [2]. Малая длительность ЭИС порошков титана не позволяет в этом случае применять при регистрации температуры микроплазменных процессов обычные металлургические пирометры, быстроедействие которых на два порядка ниже длительности импульсного тока. Поэтому температура микроплазменных процессов при ЭИС, как правило, определяется расчетными методами [2–4], точность которых ограничивается принимаемыми модельными допущениями. Определяемая таким образом температура и динамика ее изменения носят вероятностно-предположительный характер. Поэтому экспериментальное измерение температуры, а также последующий анализ физических явлений, происходящих в процессе ЭИС, является актуальной задачей для порошковой металлургии. Как показал анализ работ [5; 6], такая задача может решаться фотоэмиссионным методом, однако для его реализации используются, как правило, высоковольтные фотоэлектронные умножители сложной конструкции (например, ФЭУ 175М, отличающийся от известных тем, что дополнительно содержит модулятор фотоэлектронов). По этим причинам данный метод и изготавливаемые на его основе пирометры имеют ограниченное применение при изучении быстропротекающих высокотемпературных металлургических процессов. Второй вариант решения задачи по определению температуры ЭИС порошков титана может основываться на методе двухцветной пирометрии [7; 8]. Суть этого метода заключается в измерении электромагнитного излучения в двух, имеющих длину волны λ_1 , λ_2 , достаточно узких спектральных диапазонах $\Delta\lambda_1$ и $\Delta\lambda_2$, для которых предполагается равенство спектральных коэффициентов излучения. Как показал анализ работ [7; 8], метод двухцветной пирометрии может применяться в исследованиях быстропротекающих высокотемпературных металлургических процессов, возникающих в результате воздействия на поверхность твердого тела высококонцентрированных тепловых потоков, генерируемых импульсными источниками энергии. Исходя из того, что механизм образования металлических контактов при высоковольтном разряде между порошковыми частицами титана хорошо изучен на основе металлографических исследований, можно дать сопоставительную по отношению к фотоэмиссионному методу [5; 6] оценку возможного применения предлагаемого метода относительно регистрации температуры микроплазменных процессов при ЭИС. Целью данной работы является практическое решение поставленной задачи.

Методика измерения температуры. Измерение температуры микроплазменных процессов ЭИС порошков титана основывалось на существующей зависимости отношений энергетических яркостей в двух спектральных интервалах от температуры. С учетом предполагаемого равенства спектральных коэффициентов излучения и равной чувствительности фотоприемников для λ_1 , λ_2 , согласно работе [9], эта зависимость определялась следующим выражением:

$$T = \frac{ch}{k} \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) \left\{ \ln \left[\frac{S_{\lambda_1} \Delta\lambda_1 \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^6}{S_{\lambda_2} \Delta\lambda_2} \right] \right\}^{-1}, \quad (1)$$

где T – температура; c – скорость света; h – постоянная Планка; k – постоянная Больцмана; S_{λ_1} , S_{λ_2} – дифференциальные сигналы фотоприемников, каждый из которых соответственным образом настроен на длину электромагнитного излучения λ_1 , λ_2 .

При проведении исследований считалось, что в (1) переменными величинами являются дифференциальные сигналы с фотоприемников $S_{\lambda_1} = S_{\lambda_1}(t)$ и $S_{\lambda_2} = S_{\lambda_2}(t)$. При последующей обработке регистрируемых значений этих сигналов производилось их преобразование в относительную величину $m(t) = S_{\lambda_1}(t) / S_{\lambda_2}(t)$.

Регистрация излучения с поверхности нагреваемых частиц при ЭИС порошков титана осуществлялась с использованием двухканального пирометра, блок-схема которого приведена на рис. 1.

Приведенные в блок-схеме конструктивные элементы двухканального пирометра подбирались таким образом, чтобы временное разрешение этого прибора обеспечивало погрешность измерения в пределах 5–10 %. При этом считалось, что временное разрешение двухканального пирометра является минимальным периодом времени, в пределах которого изменением температуры поверхности исследуемого объекта можно пренебречь.

Частота дискретизации АЦП 5 подбиралась таким образом, чтобы в пределах временного разрешения получать средние величины S_{cp} , регистрируемые фотоприемниками 3 значения S_{λ_1} , S_{λ_2} , для которых относительный показатель (ϵ_s) среднеквадратичной погрешности ΔS_λ не превышает 5 %. При этом

$$\epsilon_s = \frac{\Delta S_\lambda}{S_{max}} = \sqrt{\left[\xi_s \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - S_{cp})^2}{n(n-1)}} \right]^2 + \left[\frac{S_{max}}{2^N} \right]^2}, \quad (2)$$

где ξ_s – коэффициент Стьюдента; S_i , S_{max} – текущее и максимальное значение напряжения дифференциального сигнала на выходе фотоприемника; N – разрядность АЦП; n – количество измерений.

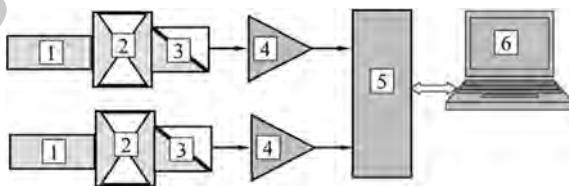


Рис. 1. Блок-схема двухканального пирометра: 1 – световод; 2 – система оптической фокусировки; 3 – фотоприемник; 4 – усилитель тока; 5 – двухканальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП); 6 – ПК – персональный компьютер

При подборе конструктивных элементов двухканального пирометра учитывалось влияние на погрешность измерений температуры исследуемого объекта динамической погрешности (ε_d), которая оценивалась по формуле

$$\varepsilon_d = \frac{\Delta T}{T} = \frac{\tau_{\text{изм}}}{\tau_{\text{имп}}}, \quad (3)$$

где ΔT – абсолютная погрешность измерения температуры; T – ожидаемое значение температуры; $\tau_{\text{изм}}$ – временное разрешение двухканального пирометра; $\tau_{\text{имп}}$ – длительность импульса тока высоковольтного разряда.

При этом величина $\tau_{\text{изм}}$ определялась следующим образом:

$$\tau_{\text{изм}} = k \sqrt{\sum_{i=1}^{N=6} (\Delta t_i)^2}, \quad (4)$$

где $k = 1,1$ при доверительной вероятности $P = 0,95$ или $k = 1,4$ при $P = 0,99$; Δt_i – временное разрешение конструктивных элементов, входящих в блок-схему на рис. 1.

Калибровка двухканального пирометра до температур 2583 °С осуществлялась с помощью эталонного источника непрерывного свечения с использованием нейтрального светофильтра для ослабления светового потока от источника излучения. При калибровке двухканального пирометра свыше указанной температуры использовались соответствующие светофильтры, преобразующие источник излучения типа А в источник излучения типа В или С (ГОСТ 7721–89). Длина световодов подбиралась таким образом, чтобы снизить до минимума влияние случайных факторов, например таких, как электромагнитное излучение и вибрация, влияющих как на точность калибровки, так и на точность измерения температуры. При калибровке фотоэмиссионного пирометра частота импульсного тока не менее чем на порядок была меньше тактовой частоты АЦП. После этого ПК преобразовывал их в относительную величину m_i , соответствующую значению установленной на эталонном источнике температуры. Таким образом, в разрешенном для эталонного источника диапазоне температур в запоминающем устройстве ПК двухканального пирометра формировались промежуточные массивы эталонных значений $\{T_i\}$ и соответствующих им $\{m_i\}$. С помощью пакета прикладных математических программ типа MS Excel, путем интерполяции между ними устанавливалась связь в виде некоторой калибровочной функции $T = T(m)$, обеспечивающей двухканальному пирометру диапазон измерений температуры в пределах от 1200 до 6500 °С.

Методика проведения исследований. Регистрация температуры процессов ЭИС порошка титана осуществлялась согласно приведенной методике. При этом в качестве конструктивных элементов (рис. 1) двухканального пирометра использовалось следующее:

1 – световод марки ГВОЖ;

2 – система оптической фокусировки – объектив цифровой камеры ICX 415 AL;

3 – в качестве фотоприемника – блок фотодиодов с платой логарифмического решающего усилителя ФД-10, ФДУК-11;

4 – в качестве усилителя тока – усилитель яркости с оптическим модулем ЭОП ЭПМ-65;

5 – в качестве двухканального АЦП – ADC 100M/12–412;

6 – ПЭВМ – IBM Р-166.

Для осуществления ЭИС порошков титана использовалась высоковольтная установка «Импульс-БМ» с конденсаторным накопителем энергии, позволяющая формировать высоковольтные разряды с регулируемой начальной амплитудой напряжения в пределах от 1 до 6 кВ [2].

В качестве объекта исследования использовались порошки титана ВТ1–0 (ГОСТ 19807–91) со сферической формой частиц фракции 200–315 мкм.

Перед ЭИС исследуемые порошки насыпали в цилиндрическую пресс-форму из оптически прозрачного кварцевого стекла с внутренним диаметром 6 мм высотой 12 мм и с помощью нагружения электродами-пуансонами обеспечивали упругую подпрессовку. Начальное напряжение разряда U_0 – 1300 В.

Значения тока и длительности электрического разряда определяли с помощью пояса Роговского, подключенного к измерительному каналу ADC 100M/12–412. Для регистрации процесса ЭИС и фиксации цвета вспышки, возникающей в спекаемом порошке при высоковольтном разряде, использовали цифровую камеру «Nikon-Coolpix SQ» (выдержка – 1/1, диафрагма 4,8).

Металлографические исследования проводились на сканирующем микроскопе типа MSM-2.

Результаты и их обсуждение. В ходе ЭИС порошков титана было получено три экспериментальных образца для металлографических исследований. При этом в момент высоковольтных разрядов зафиксированы микроплазменные вспышки белого цвета (рис. 2), которые на своей периферии имели голубовато-синий оттенок.



Рис. 2. Микроплазменная вспышка в исследуемом порошке при ЭИС

Результаты регистрации тока импульсного разряда и связанного с ним временного распределения температуры микроплазменных процессов приведены на рис. 3 и 4.

Результаты металлографических исследований представлены на рис. 5.

Анализ полученных результатов исследования позволяет сделать следующие выводы.

1. В течение первого полупериода (рис. 3) высоковольтного разряда скорости подъема и опускания температуры регистрируемого процесса являлись максимальными и лежали в пределах 105–106 °С/с. На этом временном

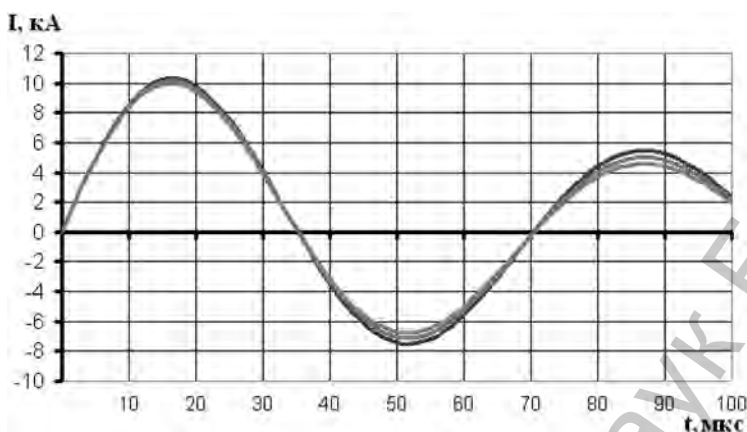


Рис. 3. Разброс изменений силы тока при ЭИС

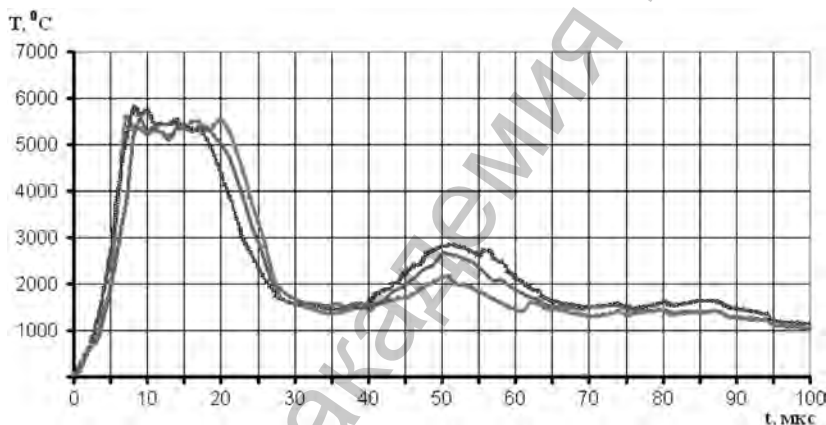


Рис. 4. Разброс изменений температуры ЭИС при протекании импульсного тока

промежутке (рис. 3, 4) температура достигала своего максимума, значения которого лежали в пределах 5600–5800 $^{\circ}\text{C}$, значительно превышающие температуру кипения титана (3170–3300 $^{\circ}\text{C}$). Особенностью динамики изменения температуры на этом временном промежутке (рис. 4) также явилось и то, что своего максимума она достигла несколько раньше (через 9–12 мкс), чем достигала (через 15–16 мкс) своего максимума амплитуда импульсного тока высоковольтного разряда. Из этого следует,

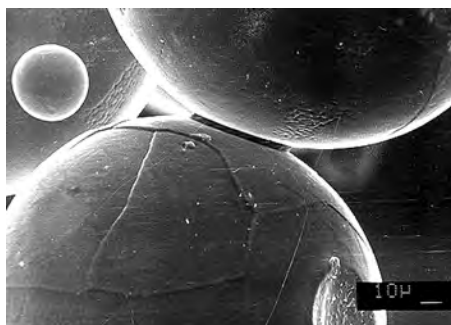


Рис. 5. Металлический контакт между исследуемыми порошковыми частицами

что в течение первых 20–23 мкс (т. е. в течение $\frac{3}{4}$ от длительности первого полупериода) высоковольтного разряда в зоне ЭИС между частицами порошка возникла низкотемпературная плазма, а регистрируемое двухцветным пирометром излучение несло информацию о динамике изменения ее температуры.

2. Зафиксировано (рис. 4), что в конце первого полупериода (через 30–32 мкс) высоковольтного разряда, когда амплитуда силы импульсного тока стала равной нулю, регистрируемая температура имела значения (1660–1680 °С), сопоставимые с температурой плавления титана (1668 ± 4 °С). Начиная с этого момента, в течение последующего временного промежутка высоковольтного разряда регистрируемая температура в своем максимуме (2200–2800 °С) не превысила температуры кипения титана, скорости ее подъема и опускания в значительной мере соответствовали скоростям подъема и опускания амплитуды силы импульсного тока. По этим показателям регистрируемая после окончания первого полупериода высоковольтного разряда температура в большей мере соответствовала динамике изменения температуры нагреваемого электрическим током проводника, находящегося в жидком или твердом состоянии. Отчасти это подтверждается результатами металлографических исследований (рис. 5), из которых следует, что на определенном этапе ЭИС между частицами порошка появилась жидкометаллическая фаза. Судя по динамике изменения температуры (рис. 4), наличие этой фазы уже могло быть в конце первого полупериода высоковольтного разряда.

3. Полученные результаты хорошо согласуются с результатами как полученных, так и изложенных в известных работах [2–4] по изучению ЭИС порошков тугоплавких металлов.

4. Полученные с помощью двухцветной пирометрии результаты регистрации температуры микроплазменных процессов ЭИС исследуемых порошков сопоставимы с аналогичными результатами, полученными ранее [10; 11] с помощью фотоэмиссионного метода.

Заключение. С помощью изложенного метода двухцветной пирометрии, содержащего оригинальную методику измерения температуры и блок-схему двухканального пирометра, определена динамика изменения температуры микроплазменных процессов ЭИС порошка титана. Установлено, что своего максимума (5600–5800 °С) температура этого процесса достигает через 9–12 мкс, в то время как сила импульсного тока высоковольтного разряда, вызывающего этот процесс, своего максимума достигает через 15–16 мкс. Получаемые при этом результаты регистрации температуры сопоставимы с аналогичными результатами ее измерения фотоэмиссионным методом, основанным на использовании ФЭУ, содержащего в своей конструкции модулятор фотоэлектронов. Изложенный метод двухцветной пирометрии может использоваться для регистрации температуры микроплазменных процессов, связанных с электроимпульсной обработкой порошковых материалов и покрытий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Т11Укр-017).

Литература

1. *Белявин К. Е., Шелег В. К.* // Теория и практика машиностроения. 2004. № 2. С. 68–77.
2. *Белявин К. Е., Мазюк В. В., Минько Д. В., Шелег В. К.* Теория и практика электроимпульсного спекания пористых порошковых материалов. Минск, 1997. – 180 с.
3. *Белявин К. Е., Минько Д. В., Кузнецик О. О.* // Порошковая металлургия. 2002. Вып. 25. С. 95–99.
4. *Белявин К. Е., Минько Д. В., Кузнецик О. О.* // ИФЖ. 2004. Т. 77, № 3. С. 136–143.
5. *Каспаров К. Н.* // ИФЖ. 1978. Т. 35, № 2. С. 257–265.
6. *Каспаров К. Н.* // Measurement Science and Technology. 1998. Vol. 9. P. 1388–1399.
7. *Болтон У.* Карманный справочник инженера-метролога. М., 2002. – 384 с.
8. *Иванова Г. М., Кузнецов Н. Д., Чистяков В. С.* Теплотехнические измерения и приборы: Учеб. для вузов. М., 2005.
9. *Кириллов В. М., Скворцов Л. А.* // Квантовая электроника. 2006. Т. 36, № 8. С. 797–800.
10. *Белявин К. Е., Каспаров К. Н., Минько Д. В.* и др. // Порошковая металлургия. 2006. Вып. 29. С. 263–267.
11. *Белявин К. Е., Каспаров К. Н., Минько Д. В.* и др. // Сварка и родственные технологии. 2006. Вып. 8. С. 36–39.

O. O. KUZNECHIK, D. V. MIN'KO, K. E. BELYAVIN, E. G. GRIGOR'EV

REGISTRATION THE TEMPERATURE OF MICROPLASMA PROCESSES DURING ELECTRIC PULSE DISCHARGE SINTERING OF TITANIUM POWDER

Summary

The algorithm steps of two-color pyrometer is shown, the procedure for calibration this device and the method for measuring the temperature in sintering zone electroimpulse of high-voltage discharge set out in Article. Results of registration of temperature in electroimpulse sintering zone of spherical titanium powders are presented in it. It is established that during the first half cycle of the high discharge rate of rise and fall of temperature of the process is detected maximum and lies within the 10^5 – 10^6 °C/c. In this time interval the temperature reaches its maximum value which lies within 5600–5800 °C. According to these indicators must be assumed that in sintering zone electroimpulse between the particles of the powder at this stage, there was a low-temperature plasma, which feature was that it had reached its peak somewhat earlier (at 9–12 μs) than was achieved (through 15–16 μs), the maximum amplitude of the pulsed high-current discharge. Fixed at that end of the first half cycle (after 30–32 μs) when the amplitude of the power pulse current is equal to zero, the temperature had values (1660–1680 °C) comparable to the melting point of titanium and from that moment, in the next period of time, the nature of change was comparable to the nature of the change of pulse current and more consistent with the nature of the changes in temperature of the heated current conductor.

УДК 536.46:534.29:669.018.45

В. В. КЛУБОВИЧ, М. М. КУЛАК

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ТУГОПЛАВКИХ СОЕДИНЕНИЙ ТИТАНА, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ СВС ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Институт технической акустики НАН Беларуси

(Поступила в редакцию 29.05.2013)

В статье рассматриваются вопросы влияния ультразвуковых колебаний на структурообразование тугоплавких соединений титана, получаемых методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), на условия синтеза (скорость и максимальную температуру горения), фазовый состав, параметры кристаллических решеток синтезированных фаз, электросопротивление и микроструктуру получаемых в результате синтеза конечного продукта систем титан–углерод, титан–углерод–металлическая связка, титан–кремний, титан–бор. Показано, что воздействие ультразвуковых колебаний на СВС-процесс является эффективным физическим методом целенаправленного управления фазовым составом и структурой продуктов синтеза. Установлено, что наложение ультразвуковых колебаний при проведении процесса СВС для всех исследованных систем приводит к изменению фазового состава продуктов синтеза, параметры кристаллических решеток синтезированных фаз приближаются к эталонным, а также возникает периодичность распределения пористости по высоте образца.

Введение. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) – физико-химический эффект, открытый А. Г. Мержановым с соавт. в 1967 г. [1]. Это открытие легло в основу нового научного направления на стыке материаловедения и химической физики – структурной макрокинетике СВС-процессов, которое активно развивается с начала 1970-х годов. Уникальность СВС состоит в том, что полное превращение реагентов в продукты, для которого при традиционном печном синтезе требуется время порядка 1–10 ч, при СВС достигается за считанные секунды. В этом смысле СВС представляет собой «исключение из правил». В конденсированных средах взаимодействие реагентов, т. е. рост сплошного слоя или отдельных частиц новой фазы-продукта, лимитируется, как правило, подводом атомов к межфазной границе, на которой происходит химическая реакция. В твердых веществах подвод атомов осуществляется за счет твердофазной

диффузии, т. е. достаточно медленно – этим и обусловлена большая длительность реагирования в традиционных процессах синтеза. В волне СВС достигаются экстремальные условия (высокая температура – до 4000 °С, большая скорость нагрева – до 10⁶ К/с и резкий градиент температуры – до 10⁵ К/см) и скорость горения достаточно велика (для большинства неорганических систем – в пределах 0,1–10 см/с). В силу этого в ней реализуются необычные с точки зрения традиционного физического материаловедения механизмы фазо- и структурообразования, которые и составляют предмет структурной макрокинетики СВС-процессов. Продукты СВС обычно обладают мелкозернистой структурой, которая определяет уникальные свойства получаемого материала. Это связано с необычными с точки зрения классического материаловедения механизмами фазо- и структурообразования, которые работают во время СВС.

При всех достоинствах СВС-процессов им присущ ряд ограничений: СВС протекает в узкой области параметров и плохо поддается контролю после инициирования; управление обычно сводится к изменению состава и начальной температуры шихты. В связи с этим создание новых материалов и СВС-технологий возможно только на основе фундаментальных исследований влияния внешних воздействий на фазо- и структурообразование при СВС. В литературе приводятся многочисленные данные о том, что внешнее физическое воздействие, в частности электромагнитное поле, приложенное во время синтеза, изменяет кинетику горения, структуру и свойства продукта [2–4], причем эти наблюдаемые эффекты невозможно свести только к тепловому влиянию (например, выделение джоулевой теплоты при пропускании электрического тока через образец, анализ которого проведен в работах [5; 6]).

Изучение самораспространяющегося высокотемпературного синтеза ведется на стыке химической физики, физики твердого тела и материаловедения: исследование теории процессов СВС происходит на базе науки о горении, а изучение продуктов СВС – с помощью методов и представлений, развитых в физике твердого тела и материаловедении тугоплавких соединений.

Макрокинетические характеристики процессов СВС, структура и свойства продуктов синтеза определяются множеством физических, технологических и химических свойств порошков исходных реагентов и их экзотермических смесей, начальной температурой, составом и размером шихтового брикета, давлением газа, наличием внешних физических воздействий, другими параметрами, присутствующими конкретному технологическому типу СВС-процесса. Поэтому для разработки научных принципов управления процессами и продуктами СВС необходимо установить закономерности влияния перечисленных параметров на структуру и свойства целевого продукта. Однако использование традиционных методик, предусматривающих регулирование процессов СВС путем изменения внешнего давления, начальной температуры, параметров смеси, нередко бывает ограничено, например, в силу слабой зависимости реакции от давления, температуры или определенных требований, предъявляемых к составу смеси. В таких случаях

большие возможности для управления СВС может дать применение воздействий физических полей, зарекомендовавших себя в практике горения порохов и ракетных топлив, литья сплавов, спекания порошков и других процессах. В связи с этим практический и научный интерес представляет изучение воздействия физических полей на закономерности СВС, направленное на поиск новых путей управления и исследования реакций и являющееся реальной основой для разработки гибких технологических процессов получения СВС-продуктов, обладающих необходимыми свойствами.

Анализ возможностей процессов СВС приводит к заключению, что несмотря на сложность процессов формирования СВС-продуктов, определенную фрагментарность полученных прямых данных в этой области и многоаспектность проблемы направленного управления этими процессами, в настоящее время известно несколько эффективных способов целевого влияния на состав и структуру СВС-продуктов. К числу таких способов относится воздействие на исходную СВС-систему и ее компоненты (различные вариации состава, диспергирование, предварительное сплавление, механоактивация), изменение условий проведения СВС-процесса (температура, давление), наложение на систему центробежных сил, а также физических полей – электрических и магнитных, которые позволяют в процессе синтеза оперативно изменять величину воздействия на механизм и кинетику формирования конечного продукта с целью получения материалов с улучшенными физико-механическими свойствами.

Одним из методов внешнего воздействия на процесс СВС является мощный ультразвук. Вследствие нелинейных эффектов, возникающих в веществе под воздействием ультразвуковых колебаний (УЗК), изменяются физико-механические свойства озвучиваемого материала. Поэтому воздействие ультразвука на процесс СВС может привести к необратимым изменениям как тепловой структуры волны горения, так и процессов фазо- и структурообразования продуктов синтеза. Но для эффективного использования ультразвуковых колебаний на практике необходимо знание основных закономерностей и механизмов воздействия энергии УЗК.

Создание научных принципов управления процессом СВС и свойствами продуктов синтеза с наложением интенсивных ультразвуковых колебаний, несомненно, актуально и представляет большой научный и практический интерес. Результаты их исследования являются научной основой для успешного регулирования процессов создания материалов с заданными свойствами методом СВС в ультразвуковом поле.

В литературе отсутствует целостная картина исследования влияния УЗК на параметры процесса горения и состав продуктов синтеза гетерогенных систем с различающимся количеством кристаллических фаз в конечном продукте. Имеются отдельные работы по монофазной системе титан–углерод, проведены исследования более сложной в кристаллографическом отношении системы титан–кремний, а также системы титан–бор. Эти последние системы характеризуются наличием большего числа фаз, и в зависимости от состава шихты, возможно, получать как

моно-, так и многофазный конечный продукт. Поэтому изучение особенностей процесса горения таких систем в рамках одного подхода при ультразвуковом воздействии представляет как научный интерес, в плане исследования влияния ультразвука на механизм горения и структурообразования получаемого продукта, так и практический как способ активного влияния его на структуру и фазовый состав синтезируемых материалов.

Материалы и методы эксперимента. В работе использовали порошки полидисперсного титана марки ПТМ с размером частиц менее 100 мкм, марки ПТОМ с размером частиц менее 50 мкм, полупроводникового кремния марки КПС-3, размер частиц менее 63 мкм, бор аморфный (удельная поверхность 16,5 м²/г), ламповую сажу марки ПМ-16Э с размером частиц менее 1 мкм, никель марки ПНК-2 дисперсностью 10 мкм и порошок молибдена с размером частиц менее 10 мкм. Порошки предварительно не менее 10 ч сушили в вакуумном термостатированном шкафу при температуре 100 °С. Смешивание порошков осуществляли в керамической ступке с последующим перемешиванием в смесителе Turbula в течение 4 ч. Затем в смесь порошков для увеличения механической прочности вводили связку на основе клея 88Н. Содержание связки не превышало 2 % от веса образца. Экспериментально установлено, что такое количество связки не приводит к изменению скорости и температуры горения. Далее из полученных смесей методом глухого прессования изготавливали образцы диаметром 20 мм. Образцы имели высоту 20–25 мм, выбор высоты образцов определялся требованиями обеспечения постоянства интенсивности ультразвуковых колебаний по высоте образца. После прессования образцы помещали в вакуумный термостат и не менее 10 ч выдерживали при температуре 100 °С для обеспечения полимеризации связки и удаления летучего растворителя (этиловый эфир уксусной кислоты). Величину относительной плотности спрессованных образцов выбирали на основании литературных данных, основным критерием при выборе был максимум скорости горения для конкретной системы. Относительная плотность образцов составляла 0,55–0,6.

С целью установления закономерностей процесса синтеза тугоплавких неорганических соединений при воздействии ультразвуковых колебаний была создана установка [7], позволяющая изучать влияние УЗК на параметры волны горения: скорость, максимальную температуру горения и ее распределение в волне горения при изменении интенсивности подводимых УЗ-колебаний и изменении соотношения компонентов в исходной смеси. Синтез исследуемого образца проводили в условиях бомбы постоянного давления (БПД) в среде аргона при давлении 1 МПа. Давление газовой среды варьировали в интервале 0,1–15 МПа. Изменение давления газа в БПД, возникающее вследствие газовыделения при горении образца, измеряли индукционным датчиком давления типа ДД-10, тензостанцией типа ИД-2И с последующей регистрацией на светолучевом осциллографе типа Н117. Ультразвуковые колебания создавали при помощи магнитострикционного преобразователя типа ПМС-15А-18, запитанного от ультразвукового генератора типа УЗГ3-4;

частоту колебаний измеряли частотомером типа Ф-5137. Генератор УЗГ3-4 оборудован блоком автоматической подстройки частоты, что позволяет поддерживать колебательную систему в состоянии резонанса и компенсировать уход волновой системы за счет изменения волнового сопротивления горящего образца. Ультразвуковые колебания от преобразователя усиливали коническим концентратором и передавали волноводу.

Для увеличения стабильности работы ультразвуковой системы использовали разгрузочный стакан. Концентратор и волновод изготовлены из титанового сплава ВТ-3-1. Контроль амплитуды колебаний волновода во время синтеза проводили электродинамическим датчиком проходного типа, состоящим из двухсекционной катушки, помещенной в кольцевой магнит из кобальт-самариевого сплава. Зазор между волноводом и катушкой составлял 0,5 мм. Тарировку датчика амплитуды проводили при помощи микронного индикатора типа 1 МИГП. Погрешность измерения амплитуды колебаний не превышала 5 %.

В эксперименте образец устанавливали на торец волновода. Акустический контакт между волноводом и образцом создавали с помощью грузов. Между образцом и грузами находится пружина, служащая акустической развязкой между образцом и конструктивными элементами всей установки. Данная конструкция крепления обеспечивает постоянство усилия прижима образца к торцу волновода и возможность изменения усилия прижима в пределах 0,01–2 МПа. Жесткость и размер пружины определяли из условия несовпадения собственной частоты пружины с частотой ультразвуковых колебаний.

Результаты и их обсуждение. В реальной среде при прохождении по ней ультразвуковой волны происходит поглощение УЗ-энергии и образец нагревается. Поскольку скорость горения СВС-системы зависит от начальной температуры, необходимо исследовать скорость роста температуры образцов в зависимости от амплитуды УЗК.

Экспериментальное исследование взаимодействия УЗК с негорящими исходными образцами системы Ti-βC (β – стехиометрический коэффициент) проводили методом термографического анализа исходных смесей при варьировании соотношения компонентов, степени теплоизоляции образцов от окружающей газовой среды (аргон) при рабочем давлении 1 МПа и амплитуды УЗК. Температуру нагрева образцов за счет диссипации энергии УЗК определяли с помощью медь-константановой термопары диаметром 50 мкм, которую вводили в образец. В ряде экспериментов боковая поверхность была теплоизолирована от окружающей среды асбестовой рубашкой для создания условий, приближенных к адиабатическим [8].

На рис. 1 приведены экспериментальные данные по нагреву исходной шихты Ti + C под действием приложенных ультразвуковых колебаний. Видно, что температура нагрева и скорость ее нарастания существенно зависят как от амплитуды подводимых колебаний, так и от состава исходной смеси, и они значительно меньше скоростей и температур разогрева, достигаемых при процессе СВС в обычных условиях без УЗК.

Зависимость температуры нагрева образцов исследуемых смесей от амплитуды УЗК (рис. 1) указывает на то, что при воздействии УЗ-колебаний меняются условия теплообмена между боковой поверхностью образца и окружающей газовой средой, т. е. изменяется величина коэффициента теплоотдачи α . Коэффициент теплоотдачи α можно оценить путем сравнения скоростей нагрева образцов под воздействием УЗК в условиях свободной конвекции (без теплоизоляции образцов от окружающей газовой среды) и в квазиadiaбатических условиях (образцы теплоизолированы от окружающей среды). На основании приведенных экспериментальных данных, геометрических размеров и теплофизических характеристик образцов были рассчитаны коэффициенты теплоотдачи для исследуемых систем. Результаты приведены на рис. 2. Видно, что наложение УЗК приводит к увеличению коэффициента теплоотдачи α . При этом его величина не зависит от состава исходной шихты. Это связано, по-видимому, с ростом интенсивности конвективных потоков под действием УЗК вблизи поверхности горящего образца, и изменение условий теплообмена в результате воздействия УЗК может привести к изменению условий образования конечного продукта в волне СВС.

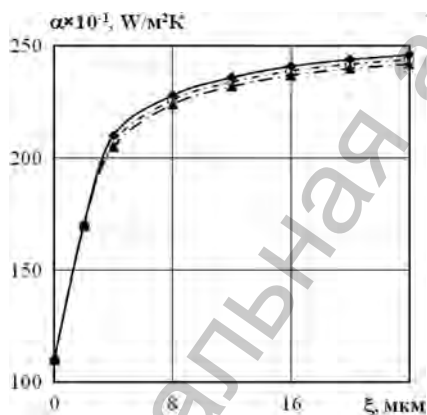


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплоотдачи α с поверхности образцов титан-углерод с различным соотношением компонентов от амплитуды УЗК: β : \blacktriangle – 0,6; \circ – 1,0; \blacklozenge – 1,2

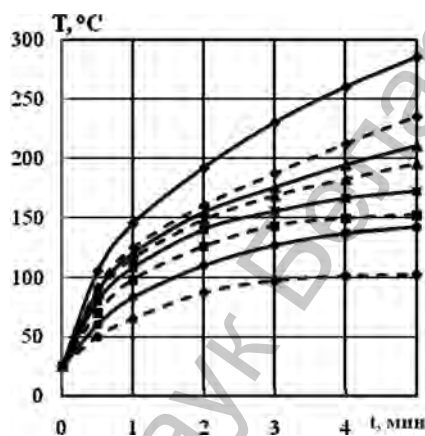


Рис. 1. Зависимость температуры разогрева образцов смеси титан-углерод с различным соотношением компонентов от времени t и амплитуды УЗК: β : \blacklozenge – 1,0, \blacktriangle – 0,6, $\xi = 21$ мкм; \blacksquare – 1,0, \bullet – 0,6, $\xi = 3$ мкм; пунктирная линия – без теплоизоляции; сплошная линия – с теплоизоляцией

Изучение влияния УЗК на скорость и максимальную температуру горения смесей $T_i + \beta C$ проводили при изменении исходного состава шихты (параметр β) и амплитуды ультразвуковых колебаний. На рис. 3, а приведены экспериментально полученные зависимости скорости горения смеси титан-углерод с различным соотношением компонентов от амплитуды подводимых ультразвуковых колебаний. Анализ данных (рис. 3, а) показывает, что независимо от соотношения компонентов в исходной смеси, воздействие УЗК приводит к существенному изменению скорости горения.

Например, при воздействии УЗК амплитудой 12 мкм в стехиометрическом составе $\beta = 1,0$ скорость горения образцов снижается от 2,8 до 2,0 см/с, в системе с недостатком углеро-

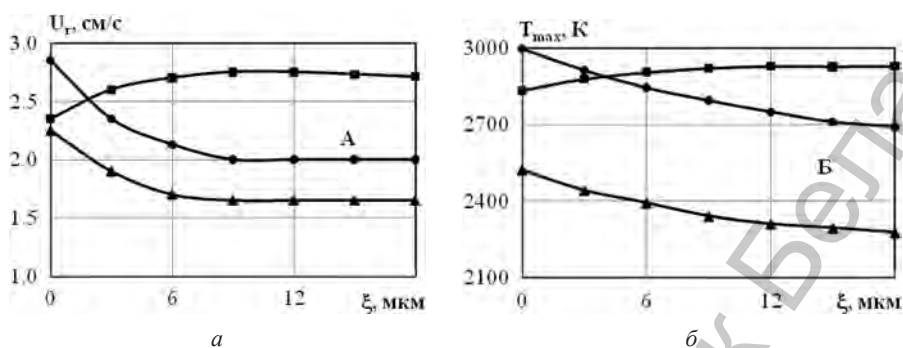


Рис. 3. Зависимости скорости горения (а) и максимальной температуры горения (б) системы титан–углерод от амплитуды ультразвуковых колебаний: β : ■ – 1,2; ● – 1,0; ▲ – 0,6

да $\beta = 0,6$ скорость также уменьшается – от 2,3 до 1,7 см/с, а в составе с избытком углерода $\beta = 1,2$ скорость волны СВЧ возрастает с 2,4 до 2,7 см/с. Для стехиометрического состава $\beta = 1,0$ наибольшее изменение скорости горения наблюдается при амплитудах колебаний до 5 мкм. При дальнейшем увеличении амплитуды колебаний величина изменения скорости горения уменьшается. На рис. 3, б приведены зависимости максимальной температуры горения смесей с различным соотношением компонентов от амплитуды УЗК. При воздействии УЗК существенные изменения максимальной температуры горения T_{\max} достигаются при амплитудах колебаний до 15 мкм. Например, при амплитуде колебаний 15 мкм для стехиометрической смеси ($\beta = 1,0$) величина T_{\max} снижается от 3000 до 2800 К, для смеси с $\beta = 0,6$ значение T_{\max} также уменьшается от 2430 до 2280 К, а для смеси $\beta = 1,2$ максимальная температура увеличилась с 2880 до 3000 К.

Таким образом, анализ приведенных на рис. 3 данных показывает, что независимо от соотношения компонентов в исходной смеси, воздействие ультразвука приводит к изменению как скорости, так и максимальной температуры горения. При этом характер изменения скорости и максимальной температуры горения одинаков: при снижении скорости горения одновременно снижается максимальная температура горения. Следовательно, изменение условий теплообмена при воздействии УЗК приводит и к изменению условий образования конечного продукта и поэтому следует ожидать существенного влияния ультразвуковых колебаний, подведенных к образцу при проведении СВЧ, на структуру и параметры тонкой структуры кристаллических решеток синтезированных продуктов.

Рентгенофазовый анализ образцов показал, что наложение УЗК на процесс синтеза приводит к изменению периода кристаллической решетки карбида титана. Наблюдается ее увеличение, что указывает на возрастание степени насыщенности карбида углеродом, т. е. растет полнота реагирования титана с углеродом (рис. 4): доля связанного углерода в карбиде титана увеличилась до 19,28 масс. %, что близко к стехиометрии $\text{TiC}_{1,0}$.

На рис. 5–7 представлены зависимости скорости и максимальной температуры горения систем титан–углерод–металлическая связка (Ni + Mo), титан–кремний, титан–бор от амплитуды УЗК.

Для установления зон волны СВС, в которых ультразвук оказывает наибольшее влияние на образование конечного продукта, проведены следующие эксперименты для шихты Ti – 0,6Si: 1) включали ультразвук одновременно с иницированием СВС и выключали сразу после прохождения волны СВС по образцу, т. е. воздействовали на все зоны волны горения во время ее прохождения по образцу; 2) УЗК накладывали после прохождения волны горения по образцу, т. е. оказывали воздействие ультразвука только на зону дореагирования; 3) УЗК включали одновременно с поджигом и выключали после остывания образца, т. е. объединяли случаи 1 и 2. После синтеза на основе данных рентгеноструктурного анализа (РСА) рассчитывали объем элементарной ячейки (ОЭЯ) фазы-продукта (Ti₅Si₃). В данной системе при СВС без УЗК в продукте наблюдается небольшое количество фазы TiS₂, которая исчезает при СВС с наложением УЗК.

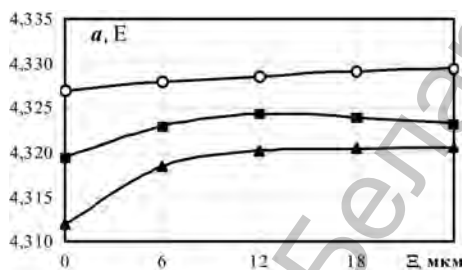


Рис. 4. Зависимость периода решетки карбида титана системы титан–углерод от амплитуды УЗК ξ: β: ■ – 1,2; о – 1,0; ▲ – 0,6

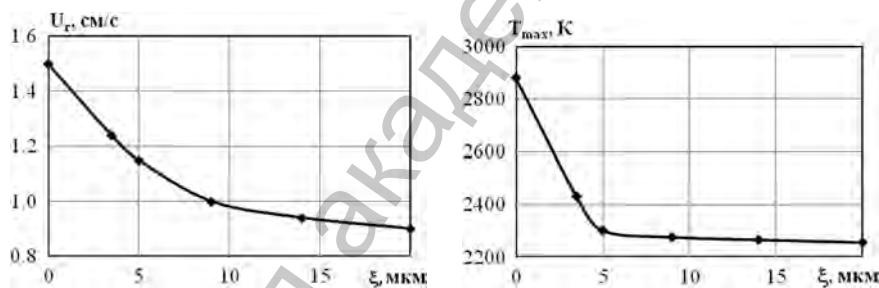


Рис. 5. Зависимость параметров процесса горения многокомпонентной системы Ti–C–Ni–Mo от амплитуды УЗК

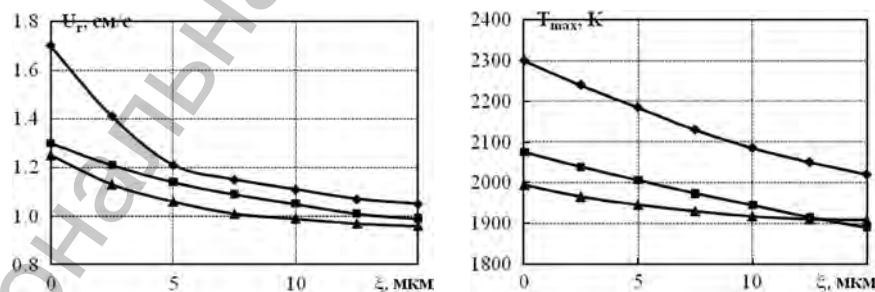


Рис. 6. Кривые изменения параметров процесса горения смесей титан–кремний с различным соотношением компонентов от амплитуды УЗК: β: ■ – 0,5; ◆ – 0,6; ▲ – 0,8

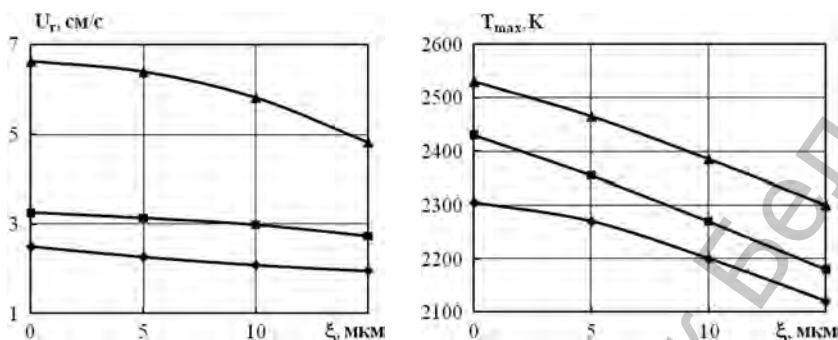


Рис. 7. Зависимости параметров процесса горения смесей титан–бор с различным соотношением компонентов от амплитуды УЗК: β : ◆ – 0,75; ■ – 1,0; ▲ – 1,5

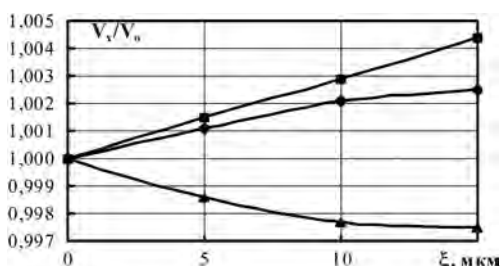


Рис. 8. Относительное изменение ОЭЯ фазы-продукта (Ti_5Si_3) при воздействии УЗК на зоны волны горения состава $Ti + 0,6Si$: ▲ – на волну горения (случай 1); ■ – на зону догорания (случай 2); ◆ – на весь процесс СВС (случай 3)

Результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 8.

В первом случае (при воздействии УЗК во время прохождения волны СВС) наблюдали снижение скорости и температуры горения и уменьшение ОЭЯ. Это вероятно связано с ускоренной диффузией в местах контакта частиц $Ti-Si$ и формированием промежуточных фаз в зоне прогрева, что приводит к снижению тепловыделения в зоне быстрой реакции волны горения. Кроме того, при наложении УЗК увеличивается теплоотдача с поверхности образца, интенсифицируется выделение адсорбированных на поверхности частиц и растворенных в исходном титане газов, что приводит к уменьшению плотности образцов и ухудшению контакта реагентов. В результате такого воздействия ультразвука происходит снижение ОЭЯ фазы Ti_5Si_3 .

Во втором случае (воздействие УЗК только на зону догорания) наблюдается увеличение ОЭЯ фазы Ti_5Si_3 , что вероятно связано с ускорением массопереноса в расплаве $Ti-Si$, присутствующем в зоне догорания, и воздействием УЗК на окончательное структурообразование продукта (коалесценция зерен и завершение кристаллизации). В третьем случае эффекты, имеющие место в первом и втором случаях, суммируются, и ОЭЯ увеличивается в меньшей степени, чем в случае 2; при этом доминирует влияние УЗК на процессы в зоне догорания.

Карбиды с металлической связкой. Согласно данным РСА анализа (рис. 9), СВС-продукт в системе $Ti-C-Ni-Mo$ состоит из следующих фаз: карбид титана, сложный никелево-молибденовый карбид $Mo_6Ni_6C_{1,06}$, остаточный никель (от 2 до 5,4 %) и малого количества интерметаллического соединения $MoNi_4$ (около 1 %). Видно, что УЗК изменяют содержание образующегося карбида титана в конечном

образце. В первом случае (при воздействии УЗК во время прохождения волны СВС) наблюдали снижение скорости и температуры горения и уменьшение ОЭЯ. Это вероятно связано с ускоренной диффузией в местах контакта частиц $Ti-Si$ и формированием промежуточных фаз в зоне прогрева, что приводит к снижению тепловыделения в зоне быстрой реакции волны горения. Кроме того, при наложении УЗК увеличивается теплоотдача с поверхности образца, интенсифицируется выделение адсорбированных на поверхности частиц и растворенных в исходном титане газов, что приводит к уменьшению плотности образцов и ухудшению контакта реагентов. В результате такого воздействия ультразвука происходит снижение ОЭЯ фазы Ti_5Si_3 .

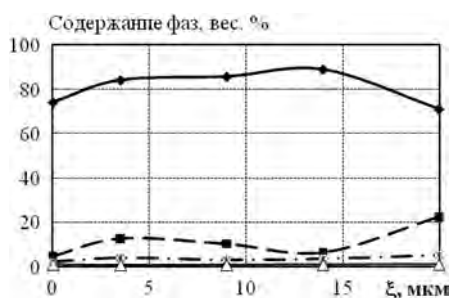


Рис. 9. Содержание синтезированных фаз многокомпонентной системы Ti–C–Ni–Mo в зависимости от амплитуды УЗК: ♦ – TiC; ■ – Ni₆Mo₆C_{1,06}; Δ – MoNi_{4-x} – Ni

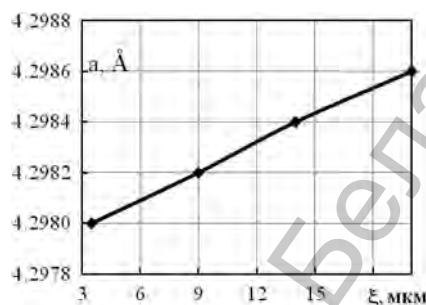


Рис. 10. Период решетки синтезированного карбида титана многокомпонентной системы Ti–C–Ni–Mo в зависимости от амплитуды УЗК

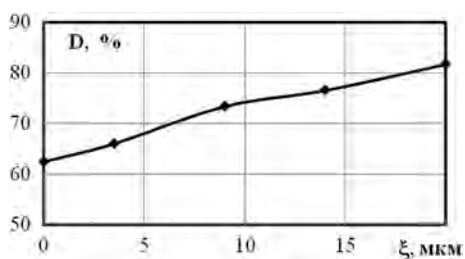


Рис. 11. Изменение доли МКК в центральном поперечном сечении образца состава TiC + Ni + Mo в зависимости от амплитуды УЗК при СВС-процессе

продукте. Эти изменения наиболее видны при $\xi > 15$ мкм. Содержание TiC снижается, в то время как содержание Mo₆Ni₆C_{1,06} увеличивается, а доля остальных фаз почти не меняется. Кроме того, анализ рентгеновских спектров показал, что УЗК влияют на период решетки *a* карбида титана в продуктах СВС: он увеличивается почти линейно с увеличением амплитуды УЗК ξ (рис. 10) и приближается к эталонным значениям. Тот факт, что карбид титана во время СВС в этой четверной системе испытывает дефицит по углероду, может быть связан с формированием сложного никель-молибденового карбида.

С помощью программы количественного металлографического анализа Image SP определена доля (*D*) металлокерамической компоненты (МКК) структуры в образцах различного состава [9]. Результаты приведены на рис. 11. Из графика следует, что с увеличением амплитуды УЗК возрастает количество МКК в образцах.

Поскольку в эксперименте цилиндрический образец устанавливали на торец волновода, а поджиг осуществляли сверху, то исследовали распределение *D* по высоте образца. Наиболее плотный участок прессовки (с максимальным *D*) расположен в донной части заготовки (рис. 12).

Микроструктура синтезируемого материала вместе с распределением элементов, определенных рентгеноспектральным микроанализом, представлена на рис. 13, а, 1–2. МКК состоит

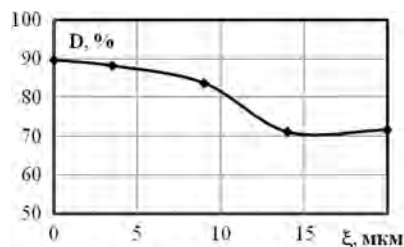


Рис. 12. Изменение доли МКК в осевом сечении образца состава TiC + Ni + Mo при СВС-процессе

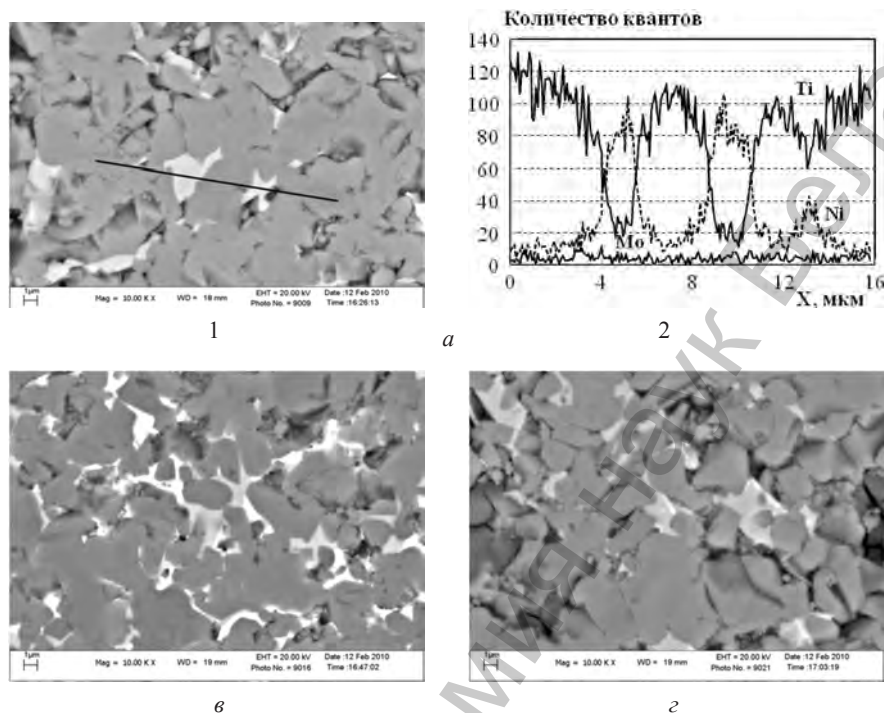


Рис. 13. Микроструктура образцов состава TiC + Ni + Mo после процесса СВС (а) без ультразвука; процесса СВС с наложением ультразвуковых колебаний амплитудой 9 мкм (б) и 21 мкм (в); а, б, в – РЭМ

из зерен карбида титана прямоугольной формы с четкой огранкой размером около 5 мкм (рис. 13, а, 1).

В пространстве между тугоплавкими частицами TiC имеется металлическая связка на основе никеля в виде светлых блестящих прослоек неправильной формы (рис. 13, а, 1). Это показывает, что расплавленная связка на основе Ni кристаллизуется в зоне догорания после выделения из многокомпонентного расплава зерен тугоплавкого карбида, заполняя промежутки между последними. В донной части прессовки размер карбида титана составляет те же 5 мкм, однако форма карбида стала близка к округлой. Никельсодержащая компонента также видоизменилась – растеклась, за счет сближения карбидных частиц более легкоплавкая никельсодержащая компонента имеет вид оторочки вокруг первых.

В процессе СВС в обычных условиях без УЗК размер зерен TiC находится в интервале от 1 до 6 мкм, наибольшее количество (22 %) составляют зерна размером 2,5 мкм. При амплитуде УЗК $\xi = 9$ мкм максимальное количество (32 %) составляют зерна размером 0,5–1 мкм, а при $\xi = 20$ мкм – зерна размером 1 мкм составляют 24 % от всего количества, т. е. с увеличением амплитуды УЗК размер зерен карбидной фазы уменьшается (рис. 14). Таким образом, УЗК воздействует на кристаллизацию тугоплавкого карбида из многокомпонентного расплава в зонах

реакции и догорания волны СВЧ. Увеличение амплитуды приводит к возрастанию числа центров кристаллизации, что способствует измельчению зерен карбида титана. При этом возрастает общая поверхность границ зерен TiC, и данного количества никелевой связки становится недостаточно для полного обволакивания зерен карбида. В результате УЗ-воздействия изменяются не только размеры карбида титана, но и их соотношение.

Таким образом, при наложении ультразвука на процесс СВЧ за счет ультразвукового капиллярного эффекта интенсифицируется растекание инертного компонента (связки) в высокотемпературных зонах волны СВЧ, более равномерно распределяется связка между зернами TiC и повышается структурная однородность синтезируемого материала. Существует оптимальная амплитуда ультразвуковых колебаний, $\xi = 9$ мкм, при которой размер зерен TiC близок к однородному.

Применение ультразвуковых колебаний в процессе СВЧ приводит к увеличению содержания карбида титана и увеличению его периода решетки, что свидетельствует об увеличении степени насыщенности карбида углеродом.

Силициды. Выполнен анализ структуры полученного материала в осевом сечении образцов различного состава. В области составов от Ti-0,5Si до Ti-0,8Si горение происходит в стационарном режиме, и в продуктах присутствуют только фазы Ti_5Si_3 и $TiSi_2$ [10].

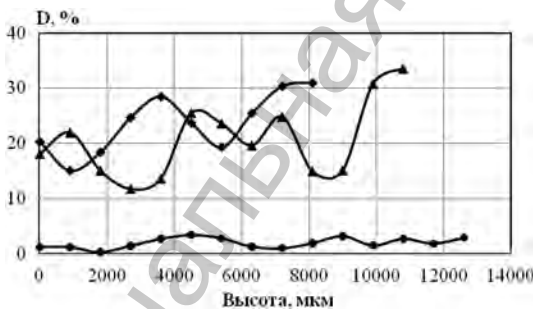


Рис. 15. Распределение доли МКК D по высоте образца состава Ti-0,5Si после СВЧ без ($\xi = 0$) и с наложением УЗК: ● – $\xi = 0$ мкм; ▲ – $\xi = 5$ мкм; ◆ – $\xi = 10$ мкм

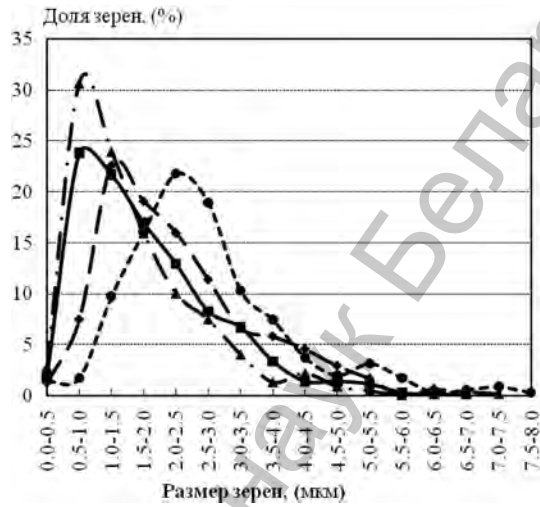


Рис. 14. Изменение размера зерен карбида титана многокомпонентной системы Ti-C-Ni-Mo при наложении УЗК на процесс СВЧ: ● – $\xi = 0$ мкм; ◆ – $\xi = 3,5$ мкм; ▲ – $\xi = 9$ мкм; ■ – $\xi = 21$ мкм

На долевом сечении композитов после СВЧ процесса наблюдается чередование зон с повышенной и пониженной плотностью, при этом амплитуда ее осцилляций невелика (рис. 15). Наложение УЗК на процесс СВЧ существенно увеличивает амплитуду осцилляций пористости и изменяет их период. Наложение ультразвуковых колебаний на процесс СВЧ изменяет расположение чередования зон повышенной и пониженной плотности по высоте композитов с сохране-

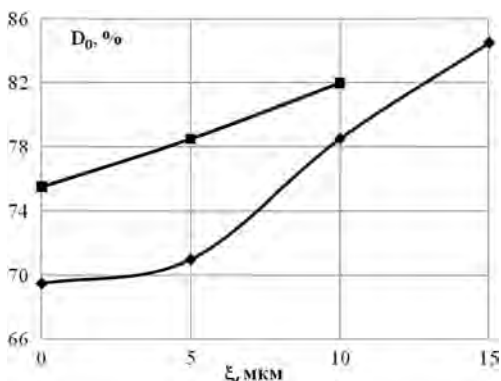


Рис. 16. Изменение относительной доли площади D_0 ММК образца в зависимости от стехиометрического состава β и амплитуды УЗК в процессе СВС: β : \blacklozenge – 0,5; \blacksquare – 0,8

ультразвуковых колебаний (рис. 16). В составе при $\beta = 0,8$ металлокерамической компоненты больше, чем в составе $\text{Ti-Si}_{0,5}$. Доля площади металлокерамической компоненты для обоих составов возрастает при наложении ультразвука, и с увеличением его амплитуды, даже несмотря на появление крупных единичных пор, доля металлокерамической компоненты при увеличении кремния в системе возрастает в целом.

Проанализировано соотношение размера зерен и пор в системе $\text{Ti-Si}_{0,8}$ после СВС-процесса и СВС с наложением УЗК. Результаты приведены на рис. 17.

Полученные методом СВС с наложением УЗК образцы исследовали методом РСА [10]. В табл. 1 приведены результаты исследования фазового анализа продуктов горения системы $\text{Ti} + \beta\text{Si}$ для различных значений величины β . Из анализа данных табл. 1 видно, что в исследованных пределах изменения соотношения исходных компонентов в шихте в процессе горения синтезируются все фазы, достоверно известные по диаграмме состояний [11]. При горении обедненной кремнием шихты в продуктах синтеза обнаружена фаза Ti_5Si_3 и свободный металл. При горении обедненных металлом смесей ($\text{Ti} + 0,8\text{Si}$, $\text{Ti} + 1,0\text{Si}$) в продуктах обнаружены более богатые кремнием фазы: TiSi_2 и TiSi . При горении шихты стехиометрического состава $\text{Ti} + 0,6\text{Si}$ получен продукт, состоящий из фазы Ti_5Si_3 и очень небольшого количества фазы TiSi_2 (следы), что согласуется с результатами работы [12], так как независимо от состава исходной смеси в волне обязательно образуется высший силицид TiSi_2 , даже при очень малых β (например, $\beta = 0,45$). Он образуется до температурного плато

нием характера распределения (рис. 15). После процесса СВС максимальное количество изолированных пор отвечает размеру 80–90 мкм. После СВС с наложением ультразвука амплитудой 5 мкм максимальный размер изолированных пор – 50–60 мкм, при ультразвуке амплитудой 10 мкм – 40–50 мкм (рис. 16).

На основании результатов обсчета площадей, занимаемых металлокерамической компонентой, построен график изменения доли площади металлокерамической компоненты в зависимости от стехиометрического состава исходной шихты и амплитуды прилагаемых

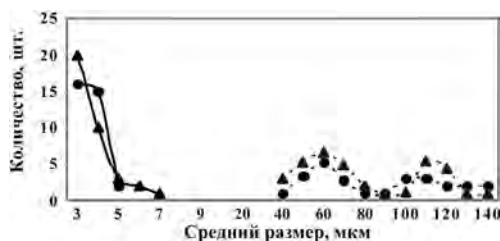


Рис. 17. Соотношение размера зерен (сплошная линия) и пор (пунктирная линия) в системе $\text{Ti-Si}_{0,8}$ после СВС-процесса (●) и СВС с наложением ультразвука $\xi = 5$ мкм (▲)

Т а б л и ц а 1. Фазовый состав продуктов горения системы Ti + βSi

β = 0,5	β = 0,6	β = 0,8	β = 1,0
Ti ₅ Si ₃ + αTi	Ti ₅ Si ₃ + следы TiSi ₂	Ti ₅ Si ₃ + TiSi ₂	Ti ₅ Si ₃ + TiSi ₂ + следы TiSi

(1530 °С), которое макроскопически обнаруживает его плавление. Рентгенофазовый анализ показывает наличие TiSi₂ в продуктах горения всякий раз, когда тем или иным способом удается подавить реакции в зоне структурообразования.

При проведении качественного рентгенофазового анализа было обнаружено существенное изменение интенсивности линий фаз Ti₅Si₃ и TiSi₂ в зависимости от амплитуды УЗК, что позволило предположить относительное изменение количества фаз Ti₅Si₃ и TiSi₂. Для проверки этого предположения необходимо было провести количественный анализ. Проводить количественный фазовый анализ по суммарной интегральной интенсивности всех пиков, соответствующих фазам Ti₅Si₃ и TiSi₂, не представлялось возможным. Поэтому для анализа были взяты 100 %-ные линии фаз Ti₅Si₃ и TiSi₂, которые являются недублетными и близко расположены в шкале 2θ.

Отношение интегральных интенсивностей I 100 %-ных линий фаз Ti₅Si₃ и TiSi₂ можно интерпретировать как оценку относительного содержания фаз в образце. Такая оценка является достаточно грубой и неприменима для определения абсолютных значений концентраций фаз, тем не менее, вполне удовлетворительна при проведении относительных измерений. Для подтверждения результатов рентгеновских исследований фазового состава требовалась проверка с помощью метода, использующего другой физический принцип измерения. В качестве такого метода было выбрано измерение электросопротивления синтезированных образцов R_ξ, так как величины электропроводностей фаз Ti₅Si₃ и TiSi₂ отличаются более чем в 5 раз [11]. Для составов Ti + 0,8Si и Ti + 1,0Si измерены интегральные интенсивности 100 %-ных линий <211> и <311> фаз Ti₅Si₃ и TiSi₂ и электросопротивления продуктов синтеза, синтезированных при воздействии УЗК (табл. 2).

Анализ данных табл. 2 показывает, что воздействие ультразвуковых колебаний на процесс СВС приводит к увеличению доли фазы Ti₅Si₃ в образце состава

Т а б л и ц а 2. Зависимость отношения интегральных интенсивностей I 100 %-ных линий <211> и <311> фаз Ti₅Si₃ и TiSi₂ и электросопротивления R от амплитуды УЗК для составов Ti + 0,8Si и Ti + 1,0Si

ξ, μm	Ti + 0,8Si		Ti + 1,0Si	
	I _ξ / I ₀	R _ξ / R ₀	I _ξ / I ₀	R _ξ / R ₀
0	1,00	1,00	1,00	1,00
5	1,64	1,33	0,87	0,89
10	2,00	1,54	0,81	0,85
15	3,10	1,87	0,79	0,77
20	–	–	0,76	0,70

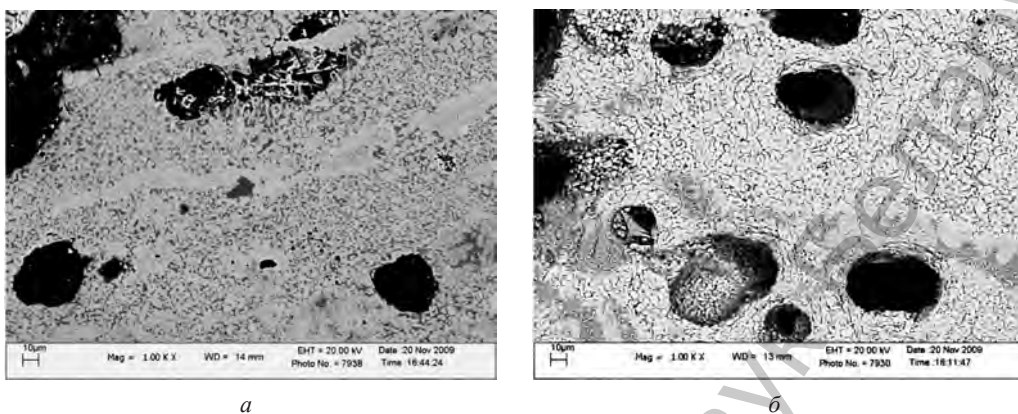


Рис. 18. Микроструктура образцов состава $Ti + 0,8Si$ в обычных условиях (а) и с наложением УЗК амплитудой $\xi = 5$ мкм (б)

$Ti + 0,8Si$ и уменьшению доли $TiSi_2$, а для состава $Ti + 1,0Si$ наложение УЗК увеличивает количество фазы $TiSi_2$ и уменьшает содержание Ti_5Si_3 .

Температура горения образцов составляла 1900–2300 К, что выше точек плавления исходных компонентов, продукт синтеза формируется в результате кристаллизации бинарного расплава. Ультразвуковые колебания УЗК изменяют массоперенос в расплаве и условия зародышеобразования, что приводит к обнаруженному смещению соотношений фаз в конечном продукте.

Изучено распределение фаз по длине образца. Структура материала состава $Ti + 0,8Si$ после проведения СВС представляет собой каркас силицидов и поры. Основа представлена чередующимися более светлыми полосами (рис. 18, а), состав которых близок к дисилициду титана. Зерна силицида Ti_5Si_3 (темно-серые включения) имеют размер до 10 мкм.

Воздействие ультразвуком приводит к образованию более гомогенной структуры, т. е. исчезновению упомянутой полосчатости (рис. 18, б). Размер зерен силицида $TiSi_2$ составляет до 30 мкм, а фазы Ti_5Si_3 – 2 мкм. С увеличением амплитуды УЗК степень однородности возрастает, увеличивается количество фазы Ti_5Si_3 и, соответственно, уменьшается содержание $TiSi_2$. Таким образом, применение УЗК приводит к уменьшению размера зерен доминирующей фазы (Ti_5Si_3) и более однородному их распределению по объему. Были определены параметры кристаллических решеток (ПКР) синтезированных фаз [10]. Установлено, что ПКР синтезированных фаз при наложении УЗК на процесс синтеза приближаются к эталонным значениям [13].

Бориды. СВС в системе $Ti-\beta V$ ($\beta = 0,75-2,25$) проводили в обычных условиях и с наложением УЗК амплитудой $\xi = 5$ и 10 мкм [14]. После СВС без УЗК в осевом сечении образцов $Ti-1,0V$, $Ti-1,5V$, $Ti-2,0V$ наблюдаются зоны плотной металло-керамической составляющей и зоны с большим количеством пор. Распределение плотных и пористых зон по высоте образца носит периодический характер,

а поры имеют сплюснутую форму. Размер пор в системе Ti-1,0В находится в интервале 45–140 мкм с преобладанием пор размером 65–75 мкм. При наложении ультразвука с $\xi = 5$ мкм максимальное количество пор отвечает размеру 35–45 мкм, и их форма приближается к округлой.

Для состава Ti-2,0В размер пор находится в пределах 45–140 мкм, и максимальное количество соответствует размеру 95–110 мкм. После наложения ультразвука большинство пор имеет размер 85–95 мкм (рис. 19). Увеличение содержания бора приводит к росту размера пор, который снижается при наложении ультразвука на процесс СВС. При этом происходит уплотнение материала в целом, возрастающее при наложении УЗК (рис. 20), что объясняется увеличением газовой выделением при повышении содержания бора в исходной шихте.

В системе Ti-1,0В максимальный размер зерен борида титана достигает 8 мкм при синтезе в обычных условиях, а при наложении ультразвука с $\xi = 5$ мкм – 6 мкм. На гистограмме распределения зерен по среднему размеру (рис. 21) видно, что при СВС-процессе максимальное количество зерен имеет размер 4–5 мкм, а при наложении ультразвука – 2,5–3 мкм, что указывает на диспергирование зерен борида титана при наложении ультразвука в процессе СВС.

Рентгеноструктурным анализом СВС-продуктов в системе Ti-βВ установлено наличие следующих фаз: Ti; TiВ-орторомбической и кубической структуры, Ti₃V₄, TiВ₂-гексагональный и Ti₃V₄-ромбический, доли которых зависят от коэффициента β и амплитуды УЗК ξ (табл. 3). Видно, что при одном и том же соотношении реагентов фазовый состав продуктов изменяется в зависимости от амплитуды УЗК.

Диборид титана TiВ₂ присутствует во всех системах. Увеличение количества бора ведет к изменению соотношения получаемых боридов. Так, для системы Ti-1,0В количество TiВ₂ составляет 11,7 %, для системы Ti-1,5В – 61,9 %, для Ti-2,0В – 100 %. Наложение ультразвука на процесс СВС для всех систем приводит к количественному и качественному перераспределению фаз. Так, при ампли-

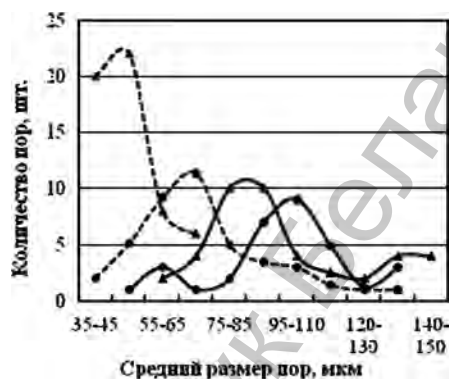


Рис. 19. Распределение среднего размера пор по осевому сечению образца в системе Ti-1,0В (пунктирная линия) и Ti-2,0В (сплошная линия) после СВС-процесса (▲) и СВС с наложением ультразвука амплитудой $\xi = 5$ мкм (●)

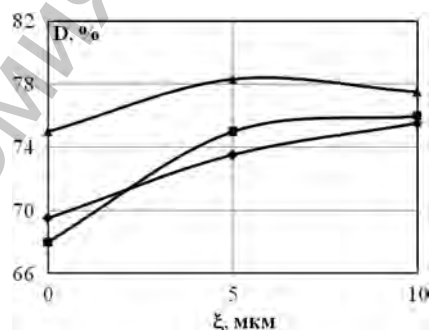


Рис. 20. Изменение доли МКК в центральном поперечном сечении образца системы Ti-В различного состава в зависимости от амплитуды УЗК: β: ♦ – 1,0; ■ – 1,5; ▲ – 2,0

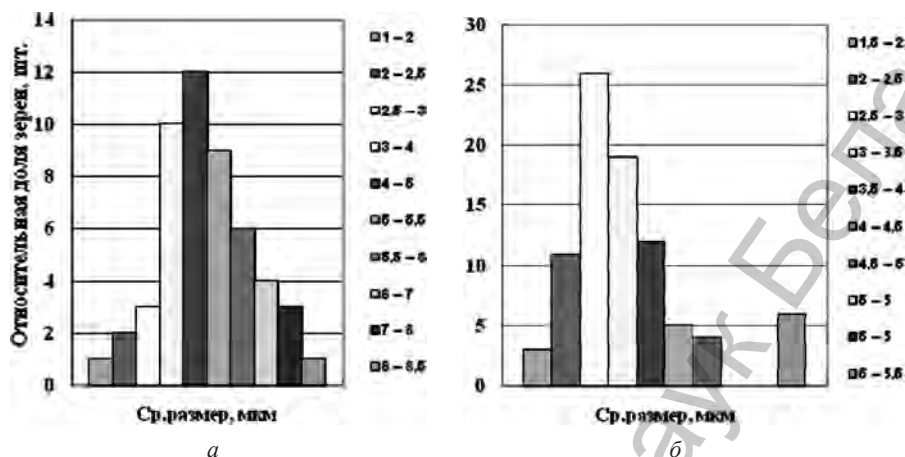


Рис. 21. Гистограммы распределения среднего размера зерен борида титана в составе Ti-B ($\beta = 1$) при СВС без ультразвука (а) и с наложением ультразвука амплитудой 5 мкм (б) в центральном поперечном сечении образца

туде УЗК 5 мкм для системы Ti-1,0В возрастает количество боридов состава TiB_2 и Ti_3B_4 и снижается доля свободного титана, что приводит к изменению соотношения модификаций борида TiB. При $\xi = 10$ мкм снижается количество свободного титана, увеличиваются доли TiB_2 , Ti_3B_4 и TiB-кубического. В системе состава Ti-1,5В свободный титан и борид Ti_3B_4 отсутствуют. С увеличением амплитуды значительно возрастает доля TiB как орторомбической, так и кубической структуры. В системе Ti-2,0В во всех случаях присутствует только TiB_2 .

Методом дифференциальной сканирующей калориметрии определены удельные теплоемкости конечных продуктов синтеза в зависимости от амплитуды УЗК

Таблица 3. Количественный фазовый анализ продуктов горения системы Ti-βВ [15]

β	ξ , мкм	TiB (орторм), %	TiB (куб), %	TiB_2 , %	Ti, %	Ti_3B_4 , %
0,75	0	58,4	9,6	3,1	28,9	—
	5	57,2	9,4	3,5	29,9	—
	10	56,3	9,1	6,6	28	—
1,0	0	36,4	8,8	10,4	27,9	16,5
	5	29,0	8,4	11,7	22,9	28,0
	10	13,6	6,8	15,3	21,7	42,6
1,5	0	12,8	7,6	58,8	20,8	—
	5	12,8	7,2	61,9	18,1	—
	10	12,0	5,3	66,9	15,8	—
2,0	0	—	—	100	—	—
	5	—	—	100	—	—
	10	—	—	100	—	—

(рис. 22). Видно, что при росте амплитуды УЗК удельная теплоемкость продуктов СВС увеличивается.

В режиме РЭМ были исследованы образцы различного стехиометрического состава (рис. 23–25), полученные СВС без наложения и с наложением ультразвука. Съемку проводили на поперечном срезе. Различие морфологических форм боридов титана обусловлено разнообразием образующихся соединений. Бориды стехиометрий $Ti + B$ и $Ti + 2B$ имеют округлую форму, бориды для состава со стехиометрией $Ti + 1,5B$ – форму кубическую. В результате наложения ультразвуковых колебаний в боридной системе со стехиометрией $Ti + 1,5B$ на внутренней поверхности пор наблюдается

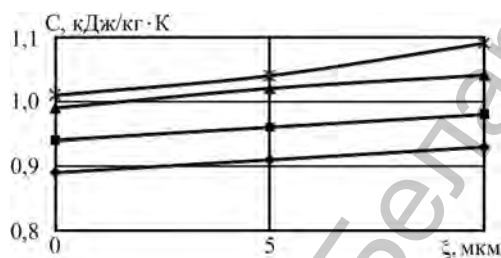


Рис. 22. Зависимость удельной теплоемкости синтезированных фаз с различным соотношением компонентов β от амплитуды УЗК ξ для системы титан–бор: β : \blacklozenge – 0,75; \blacksquare – 1; \blacktriangle – 1,5; \times – 2

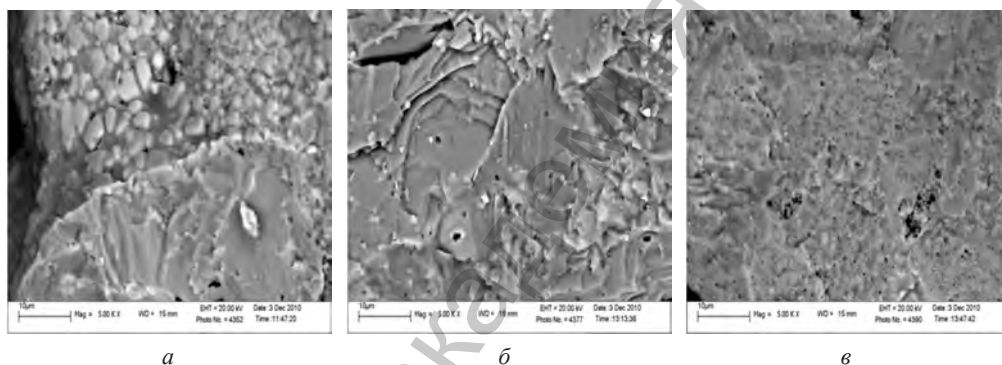


Рис. 23. Микроструктура материала состава $Ti + B$ после проведения процесса СВС без наложения (а) и с наложением ультразвука (б, в): а – $\xi = 0$ мкм; б – $\xi = 5$ мкм; в – $\xi = 10$ мкм

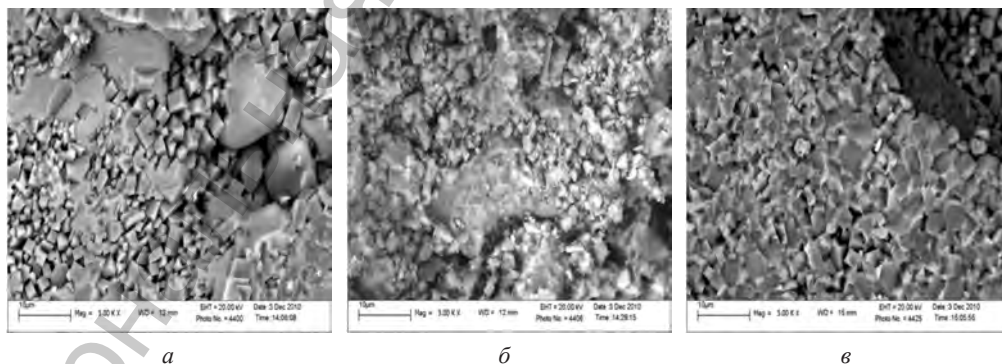


Рис. 24. Микроструктура материала состава $Ti + 1,5B$ после проведения процесса СВС без наложения (а) и с наложением ультразвука (б, в): а – $\xi = 0$ мкм; б – $\xi = 5$ мкм; в – $\xi = 10$ мкм

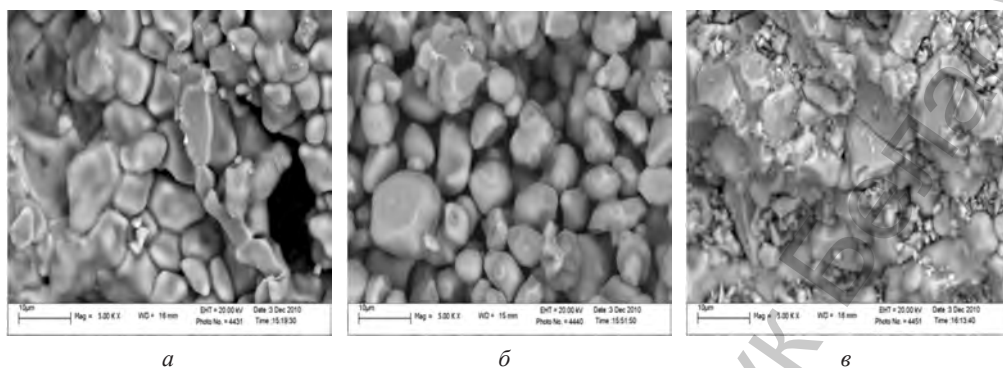


Рис. 25. Микроструктура материала состава $Ti + 2,0V$ после проведения процесса СВС без наложения (*a*) и с наложением ультразвука (*б*, *в*): *a* – $\xi = 0$ мкм; *б* – $\xi = 5$ мкм; *в* – $\xi = 10$ мкм

увеличение содержания кубической фазы TiV (рис. 24), а структура зерен боридной системы $Ti + 2V$ приобретает более четкую огранку (рис. 25).

Проведенным рентгеноструктурным анализом подтверждено наличие в данных образцах фаз: Ti , TiV -орторомбическая, кубическая; Ti_3B_4 , TiB_2 -гексагональная.

В результате наложения ультразвука на процесс синтеза для всех составов прослеживается измельчение фазовых составляющих с образованием большого числа новых боридов и перераспределением их в объеме. Наложение ультразвука приводит к изменению как фазового, так и количественного состава синтезированных фаз.

Проведенные исследования показали, что наличие пор в исходной шихте играет значительную роль в процессах структурообразования конечного продукта и поэтому получить равновесный материал методом СВС невозможно.

Следовательно, применение ультразвуковых колебаний при синтезе неорганических материалов методом СВС позволяет оперативно влиять на свойства синтезируемых образцов.

Выводы

1. Установлены основные закономерности влияния ультразвуковых колебаний на процесс СВС. Показано, что наложение ультразвука на процесс синтеза приводит к изменениям характеристик горения (скорости и максимальной температуры) и параметров кристаллических решеток тугоплавких соединений на основе титана для всех исследованных систем, различающихся количеством фаз в конечном продукте – от моно- до многофазных структур. Температура и скорость горения при наложении ультразвуковых колебаний уменьшаются.

2. Показано, что с увеличением амплитуды УЗК параметры кристаллических решеток синтезированных фаз приближаются к эталонным значениям для всех исследованных систем.

3. Установлено, что воздействие ультразвуковых колебаний на процесс СВС системы титан–углерод–металлическая связка приводит к измельчению зерен

карбида титана. Ультразвук существенно ускоряет массоперенос компонентов в расплаве, интенсифицирует растекание инертного компонента по поверхности частиц карбида титана, что обеспечивает более равномерное распределение связи между зёрнами и повышает структурную однородность продуктов. Существует оптимальная амплитуда ультразвуковых колебаний, равная 9 мкм, при которой размер зёрен близок к однородному.

4. Для системы титан–кремний впервые показано, что применение ультразвуковых колебаний в процессе СВС приводит к изменению соотношения фаз в продукте и к получению более гомогенной структуры: однородное распределение фазовых составляющих и пор по объёму образца. Так, для состава Ti–0,8Si увеличивается количество фазы Ti_5Si_3 и уменьшается содержание фазы $TiSi_2$, а для состава Ti–1,0Si увеличивается количество фазы $TiSi_2$ и уменьшается содержание фазы Ti_5Si_3 .

5. Показано, что для системы титан–бор для всех исследованных мольных соотношений реагентов $\beta = 0,75–2,25$ наложение УЗК во время синтеза приводит к изменению фазового состава продуктов синтеза, увеличивается содержание фазы TiB_2 .

6. Установлено, что при увеличении доли неметалла в шихте системы титан–бор количество Ti и TiB уменьшается, а фазы TiB_2 увеличивается. Увеличение содержания бора в исходной шихте приводит к измельчению зёрен в структуре синтезированного материала, а наложение ультразвуковых колебаний на процесс СВС приводит к изменению морфологии зёрен; их форма становится более равноосной, размер уменьшается от 12–14 до 8–10 мкм и разброс по размеру снижается. Для состава Ti–0,75B и Ti–1,5B обнаружены: фаза титана, TiB с орторомбической и кубической решетками и фаза TiB_2 . При горении состава Ti–B, кроме перечисленных фаз, обнаружена фаза Ti_3B_4 , а при горении составов Ti–2B и Ti–2,25B образуется только фаза TiB_2 .

7. Показано, что воздействие ультразвуковых колебаний на СВС-процесс является эффективным физическим методом целенаправленного управления фазовым составом и структурой продуктов синтеза. Установлено, что наложение ультразвуковых колебаний при проведении процесса СВС для всех исследованных систем приводит к изменению фазового состава продуктов синтеза, параметры кристаллических решеток синтезированных фаз приближаются к эталонным, а также возникает периодичность распределения пористости по высоте образца.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Т10Р-244).

Литература

1. Мерджанов А. Г., Боровинская И. П., Шкиро В. М. Явление волновой локализации автотормозящихся твердофазных реакций. Диплом СССР на открытие № 287 // Бюл. изобретений. 1984. № 32. С. 3.
2. Морозов Ю. Г., Кузнецов М. В., Мерджанов А. Г. // Доклады Российской Академии наук. 1997. Т. 352, № 6. С. 771–773.

3. *Morozov Yu. G., Kuznetsov M. V., Merzhanov A. G.* // International J. of SHS. 1997. Vol. 6, N 1. P. 1–13.
4. Microstructural aspects of the self-propagating high temperature synthesis of hexagonal barium ferrites in an external magnetic field / L. Affleck, M. D. Aguas, I. P. Parkin et al. // J. of the Materials Chemistry. 2000. Vol. 10. P. 1925–1932.
5. *Feng A., Munir Z. A.* // J. of the American Ceramic Society. 1997. Vol. 80, N 5. P. 1222–1230.
6. Mechanistic investigation of electric field-activated self-propagating reactions: experimental and modeling studies / R. Orru, A. Cincotti, G. Cao, Z. A. Munir // Chemical Engineering Science. 2001. Vol. 56, N 2. P. 683–692.
7. *Клубович В. В., Кулак М. М., Платонов Л. Л.* Установка для синтеза тугоплавких соединений Пат. 4319 У Респ. Беларусь, МПК (2006) В 22F 3/00 / Заяв. ИТА НАН Беларуси, г. Витебск – и 20070417, заявл. 06.08.2007, опубл. 30.04.2008 // Официальный бюллетень / Национальный центр интеллектуальной собственности. 2008. № 2(61). С. 139.
8. *Клубович В. В., Кулак М. М., Хина Б. Б.* // Тезисы докладов XIV Минского Междунар. форума по тепло- и массообмену. Минск, Беларусь, 10–13 сент. 2012. Минск, 2012. Т. 2, ч. 1. С. 69–72.
9. *Клубович В. В., Кулак М. М., Румянцева И. Н.* // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2011. № 1. С. 5–10.
10. *Клубович В. В., Кулак М. М., Хина Б. Б.* Ультразвук в процессах СВС. Минск, 2006. – 279 с.
11. *Самсонов Г. В., Дворина Л. А., Рудь Б. М.* Силициды. М., 1979. – 272 с.
12. *Зенин А. А., Нерсисян Г. А.* Тепловая структура волны СВС, механизм и макрокинетика высокотемпературного неизотермического взаимодействия элементов в системах Ti–Si и Zr–Si. Черногловка, 1980. – 42 с. (Препринт, ОИХФ АН СССР).
13. Powder Diffraction File. Data Cards. Inorganic Section. Sets 1–34. JCPDS. Swarthmore, Pennsylvania, USA, 1948–1984.
14. *Клубович В. В., Кулак М. М., Платонов Л. Л.* // Перспективные технологии и методы контроля. Витебск, 2009. С. 37–67.
15. *Клубович В. В., Кулак М. М., Платонов Л. Л., Мосунов Е. И.* // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2009. № 1. С. 67–71.

V. V. KLUBOVICH, M. M. KULAK

STRUCTURE FORMATION OF HIGH-MELTING TITANIUM COMPOUNDS OBTAINED BY SHS UNDER ULTRASONIC INFLUENCE

Summary

The paper discusses the influence of ultrasonic vibrations on the structure formation of high-melting titanium compounds produced by the self-propagating high-temperature synthesis method, on the synthesis conditions (speed and maximum flame temperature), the phase composition, the lattice parameters of the synthesized phases, the electrical resistivity and the microstructure of the resulting synthesis of the final product for titanium-carbon, titanium-carbon-matrix metal, titanium-silicon, titanium-boron systems. It is shown that the influence of ultrasonic vibrations on the SHS process is an effective physical method of controlling phase composition and structure of synthesis products. It has been found that the application of ultrasonic vibrations during the SHS process for all the investigated systems leads to a change in the phase composition of the synthesis products; the lattice parameters of the synthesized phases are fixed to be to the standard parameters and the porosity distribution occurs over the in height of the sample.

УДК 577.346:574+504.064

О. И. ЯРОШЕВИЧ¹, А. К. КАРАБАНОВ², М. В. КОНОПЕЛЬКО¹,
А. В. МАТВЕЕВ², И. В. ЖУК¹, Л. Л. ВАСИЛЕВСКИЙ¹, Ж. А. ЛУКАШЕВИЧ¹

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ РАДОНА В БЕЛАРУСИ И ДРУГИХ СТРАНАХ ЕВРОПЫ

¹Объединенный институт энергетических и ядерных исследований –
Сосны НАН Беларуси, Минск

²Институт природопользования НАН Беларуси, Минск

(Поступила 07.06.2013)

Представлен сравнительный анализ программ и результатов мониторинга радона, проведенных в 24 странах Европы и сравнение этих результатов с аналогичными исследованиями в Беларуси. Показаны вклад от содержащегося в воздухе помещений радона в суммарную дозу облучения населения, источники и пути проникновения радона в здания. Проанализированы геолого-геофизические особенности территории Беларуси, представлены основные результаты мониторинга радона в воздухе помещений и дозы облучения населения от радона и продуктов его распада в различных регионах Беларуси.

Введение. Оценка доз облучения населения от различных источников ионизирующего облучения (ИИИ) является одним из основных критериев при проведении процедур радиационной защиты населения.

Источники радиоактивного облучения населения можно условно разделить на следующие виды:

техногенно-усиленные источники природного происхождения (управляемые компоненты суммарной дозы облучения). К ним относятся излучение радона и его дочерних продуктов распада (ДПР) в воздухе помещений, радиоактивность строительных материалов, радиоактивность естественных радионуклидов в питьевой воде;

неуправляемые компоненты суммарной дозы облучения природного происхождения: космическое излучение, природный гамма-фон, внутренние облучения за счет перорального поступления радионуклидов ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra с продуктами питания;

техногенные источники облучения населения: медицинская диагностика и лечение, использование ИИИ в промышленности и научных исследованиях, аварии на АЭС (к аварийным техногенным источникам облучения населения в Беларуси в основном относятся радиоактивные выпадения в результате катастрофы на ЧАЭС),

испытания ядерного оружия в атмосфере, производство энергии на АЭС, радиоактивные отходы различных видов.

Доминирующий вклад в суммарную дозу облучения населения от всех природных и техногенных ИИИ вносит радон-222 и его ДПР, содержащиеся в воздухе зданий [1–3]. ДПР радона, присоединяясь к содержащимся в воздухе помещений частицам пыли или влаги, образуют радиоактивные аэрозоли, попадающие в легкие человека и вызывающие рак легкого. Радон и его ДПР признаны вторым после курения фактором, вызывающим рак легкого.

Учитывая многофакторную зависимость значений объемной активности радона в воздухе помещений и его доминирующий вклад в суммарную дозу облучения населения, во многих странах, включая Беларусь, проводятся многолетние широкомасштабные исследования по мониторингу радона в воздухе помещений, продолжающиеся до настоящего времени. Проблемами радона в воздухе зданий занимаются такие авторитетные организации, как Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), Научный комитет по действию атомной радиации при ООН (НКДАР ООН), Международная организация по радиологической защите (МКРЗ), Комиссия по биологическим эффектам ионизирующего излучения (BEIR) при Национальной академии наук США.

Основные результаты этих исследований в Беларуси в разные годы отражены в [4; 5 и др.].

Настоящая статья посвящена главным образом сравнительному анализу объемов радоновых исследований в воздухе существующих зданий, стратегии выбора исследуемых населенных пунктов, методам измерений, типам используемых детекторов, условиям проведения измерений (длительность и сезон проведения экспозиций радонметров в зданиях) и результатам мониторинга радона, проведенного в 24 странах Европы и России, а также сравнению этих результатов с аналогичными исследованиями в Беларуси методом твердотельных трековых детекторов (ТТД). Результаты этого анализа позволили ввести коррективы в концепцию и программу радоновых исследований в Беларуси на различных этапах ее выполнения.

Исследования, описанные в настоящей статье проводились в рамках государственных программ «Высокоэнергетические, ядерные и радиационные технологии» на 2006–2010 гг., «Атомная энергетика, ядерные и радиационные технологии» на 2011–2013 гг., проекта 571 Международной программы геологической корреляции, курируемой ЮНЕСКО, а также хоздоговоров с Госкомчернобылем и отдельными городскими и областными ЦГЭиОЗ Минздрава Республики Беларусь.

История развития радоновых исследований. Радоновая опасность обнаружилась задолго до открытия этого газа немецким физиком Ф. Дорном в 1900 г.: на рубеже XV–XVI вв. среди шахтеров, добывавших серебро в шахтах в районе г. Шнееберга (Германия), была замечена повышенная смертность от легочных заболеваний (в 1879 г. их идентифицировали как рак легких). В 1926 г. было показано, что шахтеры Яхимова (Чехия) также подвержены повышенной заболеваемости раком легкого. Начиная с первых измерений радона в начале XX в. в воздухе

шахт обнаружены его высокие концентрации. Это позволило выдвинуть гипотезу о причинной связи между высоким содержанием радона в воздухе и раком легких. Однако все попытки объяснить возникновение рака легкого ингаляцией только газообразного радона были безуспешными, пока Вильям Ф. Бэйл не выдвинул идею, что основной причиной могут быть продукты распада радона [6]. Дальнейшие исследования, проведенные учеными разных стран, полностью подтвердили эту гипотезу.

Позднее, в докладе Комиссии BEIR [7] был проведен более детальный объединенный эпидемиологический анализ связи рака легкого с экспозицией по ДПР радона в урановых и неурановых шахтах. На настоящий момент возникновение рака легкого является основным и единственным достоверно доказанным эффектом влияния ингаляционного поступления дочерних продуктов распада радона в организм человека.

С 1970-х годов проблема радона заняла центральное место в Национальных радиологических программах стран Западной Европы и США.

Длительное проживание в доме со значением объемной активности радона 100 Бк/м^3 приводит к увеличению вероятности заболеть раком легкого на 12 %. Результаты эпидемиологических анализов облучения радоном в жилищах [8] показали линейную зависимость риска развития рака легких при среднегодовой активности радона свыше 75 Бк/м^3 . В России в Свердловской области, например, по данным [9], облучение радоном обуславливает примерно 19 % смертности от рака легкого. Результаты оценки рисков [10] при облучении дочерними продуктами распада радона показывают, что пожизненный риск возникновения рака легкого для населения Могилевской области составляет в среднем 13,8 %, или 69 дополнительных случаев радиационно-индуцированного рака легкого в год.

Сам радон химически инертен, но ионизированные продукты его распада (радионуклиды полония, висмута, свинца) сорбируются пылью и влагой, образуя альфа-радиоактивные аэрозольные частицы. Наиболее опасны аэрозоли субмикронных размеров, которые могут проникать в верхние дыхательные пути и оседать в них, создавая локальные источники альфа-облучения клеток. В определенной степени такие аэрозоли эквивалентны «горячим частицам» радиоактивной топливной пыли чернобыльских осадков [11]. Табачный дым усугубляет опасность радонового облучения (смещает радиоактивное равновесие в сторону продуктов распада радона), образуя в воздухе мелкодисперсные аэрозольные частицы с большой суммарной площадью поверхности. Такие частицы могут сорбировать радионуклиды (ДПР радона) и затем транспортировать их в бронхи и легкие, резко повышая локальный уровень облучения клеток [11].

Источники поступления радона в воздух помещений и структура относительных доз облучения населения. Радон в тех или иных количествах неизбежно присутствует в воздухе любого здания, независимо от типа его конструкции, хотя бы потому, что объемная активность радона в атмосферном воздухе вне помещений отлична от нуля и в среднем составляет около 10 Бк/м^3 . Практически

во всех зданиях она значительно выше (иногда на несколько порядков), чем в атмосферном воздухе. Этот эффект обусловлен комплексом причин (рис. 1) [6], главная из которых – наличие в непосредственной близости от здания или в нем самом источника радона, т. е. радия (^{226}Ra), при распаде которого образуется радон (^{222}Rn). Радиоактивный распад ^{238}U , образование и распад ^{222}Rn происходит по следующей цепочке (в скобках указаны периоды полураспада радионуклидов; между радионуклидами – виды их излучений α , β , γ): ^{238}U ($4,479 \cdot 10^9$ лет)*— α → ^{234}Th (24,1 сут.)— β → [$^{234\text{m}}\text{Pa}$ (1,17 мин) + ^{234}Pa (6,7 ч)]— β → ^{234}U ($2,45 \cdot 10^5$ лет)— α → ^{230}Th ($7,54 \cdot 10^4$ лет)— α → ^{226}Ra (1620 лет)— α → ^{222}Rn (3,82 сут.)— α → ^{218}Po (3,05 сут.)— α → ^{214}Pb (26,8 мин)— β , γ → ^{214}Bi (19,8 мин)— β , γ → ^{214}Po (164 мкс)— α → ^{210}Pb (22,3 года)— β , γ → ^{210}Bi (5,01 сут.)— β → ^{210}Po (138,4 сут.)— α → ^{206}Pb (стабилен).

Основной источник радона – почва под зданием. Объемная активность радона в почвенном воздухе составляет десятки кБк/м³. Эта цифра может многократно

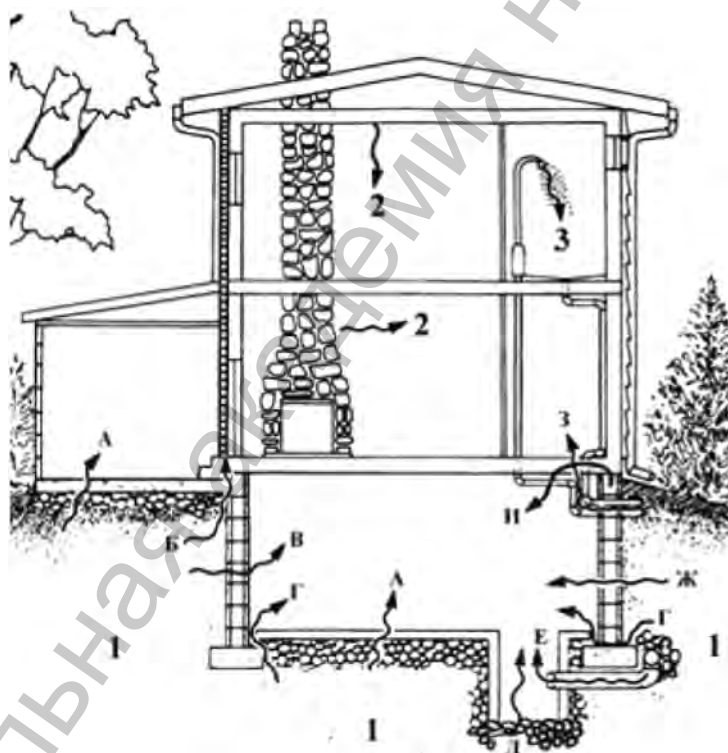


Рис. 1. Основные источники (1–3) и пути проникновения (А–З) радона в здания [6]. 1 – почва под зданием; 2 – строительные материалы; 3 – вода из подземных источников; А – трещины в бетонных перекрытиях; Б – пространство за облицовочной стеной, установленной на перекрытом фундаменте из полых блоков; В – поры и трещины в бетонных блоках фундамента; Г – соединения между полом и стеной; Д – открытая почва (например, в дренажном колодце); Е – швы между блоками фундамента, заполненные раствором; Ж – плохо изолированные вводы труб и коммуникаций; З – открытые торцы пустотелых блочных стен



Рис. 2. Структура относительных доз облучения населения от природных и техногенных источников радиации, усредненные по всем странам мира [12]

возрасти при повышенном содержании радия в грунте под зданием или при наличии глубже расположенных радийсодержащих рудных образований [6].

Поступление радона из почвы зависит от многих факторов. Основными факторами являются геологические типы почв и подстилающих горных пород, наличие зон дробления пород и тектонических нарушений; содержание радионуклидов семейства урана и тория в подстилающих горных породах; глубина залегания содержащих радионуклиды горных пород. Скорость проникновения исходящего из земли радона в помещение фактически определяется толщиной и целостностью (т. е. количеством трещин и микротрещин) межэтажных перекрытий. В зависимости от перечисленных выше факторов могут наблюдаться локальные или обширные зоны с повышенной эксхалляцией радона из почвы. Кроме того, эксхалляция радона зависит от погодных факторов, времени суток и времени года.

Структура относительных доз облучения населения от всех ИИИ, усредненных по всем странам мира, приведена на рис. 2.

Как видно из рис. 2, вклад в суммарную дозу облучения населения всех техногенных ИИИ составляет 14,56 %, природных – 85,4 %.

Поскольку распределение урана-238 – предшественника материнских ядер радона и торона ^{226}Ra и ^{224}Ra в земной коре неравномерно. Поэтому как абсолютные значения доз от радона, так и относительные вклады радона в суммарную дозу облучения от радона в различных странах могут существенно различаться. Например, суммарная доза от всех природных и техногенных ИИИ в Украине составляет 6,9 мЗв/год, радон обуславливает 72 % от этой дозы, или 5,0 мЗв/год, медицинское облучение составляет 0,5 мЗв/год, а доза от аварии на ЧАЭС, получаемая населением в настоящее время, после реализации за 25 послеаварийных лет более 90 % пожизненной «чернобыльской» дозы критической группы населения и без учета дозы облучения щитовидной железы, составляет 0,3 мЗв/год [13].

Геолого-геофизические особенности территории Беларуси и критерии выбора населенных пунктов и помещений для мониторинга. Территория Беларуси

расположена в пределах Русской плиты в западной части Восточно-Европейской платформы. Глубина залегания кристаллического фундамента в основном варьирует от нескольких десятков метров до 5–6 км. В районе д. Глушковичи Лельчицкого района кристаллические породы выходят на земную поверхность, а вблизи г. п. Микашевичи вскрыты крупным карьером. Среди пород фундамента преобладают гранитоиды, кристаллические сланцы, амфиболиты, гнейсы, габбро, диабазы и др. Эти породы в относительно высоких концентрациях могут содержать уран и торий, которые являются постоянным продуцентом радона. При этом наибольшее количество радиоактивных элементов приурочено к гранитам, гранодиоритам, некоторым кристаллическим сланцам.

На фундаменте залегает платформенный чехол различной мощности, в составе которого представлены разновозрастные отложения, накапливавшиеся от позднего протерозоя до четвертичного времени. Среди отложений, строящих чехол, представлены песчаники, пески, конгломераты, алевролиты, глины, доломиты, известняки, мела, туфогенно-осадочные комплексы, соли разного состава и др. Некоторые из этих отложений могут также являться источником радона. В самой верхней части чехла выделяются образования преимущественно ледниковой формации, мощность которой изменяется от нескольких до 300 м и более. Не менее 50 % объема этой толщи приходится на моренные валунные супеси и суглинки и песчано-гравийно-галечно-валунный материал краевых ледниковых образований (озов, камов, конечно-моренных гряд), включающих обломки кристаллических пород, которые заметно влияют на поступление радона в почвенный воздух.

Породы фундамента, а часто и чехла разбиты густой сетью разломов разного ранга (суперрегиональные, региональные, субрегиональные и локальные), которые протягиваются на десятки и сотни километров при ширине, изменяющейся в зависимости от ранга нарушений от нескольких метров до нескольких сотен километров и более, причем зона динамического влияния разлома может достигать нескольких километров. Учитывая тот факт, что зоны разломов являются наиболее ослабленными участками земной коры, по ним происходит поступление из глубинных горизонтов земной коры к поверхности различных флюидов и газовых эманаций. Особенно это характерно для так называемых активных разломов, геодинамические процессы в зонах которых проявлялись на новейшем и современном этапах. На территории Беларуси выделена достаточно густая сеть подобных разрывных структур, с которыми может быть связано формирование радоновых аномалий в покровных отложениях, которые превышают фоновые значения в 2–3 раза и более. С использованием тектонической карты масштаба 1 : 1250000, геологической карты четвертичных отложений масштаба 1 : 500000 на карты административно-территориального деления каждой из областей Беларуси были нанесены суперрегиональные, региональные и локальные разломы, проникающие и непроникающие в чехол, выделены площади распространения наиболее мощных горизонтов моренных отложений и краевых ледниковых комплексов, показаны глубины за-

легания пород фундамента. Все эти данные были использованы при выборе населенных пунктов для мониторинга концентраций радона в воздухе зданий.

Важнейшим фактором при планировании мониторинга радона является стратегия выбора населенных пунктов, зданий и помещений. Это объясняется мультифакторной зависимостью концентраций радона в воздухе помещений и их сильной вариабельностью даже в пределах небольших населенных пунктов (деревень) и даже отдельных зданий.

На первой («пилотной») стадии мониторинга радона в Беларуси (до 2009–2010 гг.) основным критерием выбора населенных пунктов, в которых планировались измерения концентраций радона в воздухе помещений, являлось расположение населенных пунктов в зонах с тектоническими разломами (на или вблизи разломов). Однако, как это подтверждено в новейших данных [3 и др.], геологические особенности конкретных территорий указывают лишь на вероятность повышенного уровня радона в зданиях, а основными факторами являются инженерно-планировочные особенности конкретных зданий, определяющие вентиляцию помещений, а также образ жизни и поведение жителей. Например, более высокая активность ДПР радона наблюдается в пыльных и задымленных комнатах, а не в чистых комнатах. Это объясняется тем, что ДПР радона обладают сильной склонностью присоединяться к пыли и другим частицам в воздухе, а не оседать на поверхности стен и занавесок, где вероятность их ингаляционного поступления в легкие человека меньше [14].

С 2010 г. населенные пункты выбираются произвольно без учета геолого-геофизических особенностей территорий, экспозиция радонометров в воздухе помещений проводится только в холодный период года. Как и при пилотном мониторинге основной объем измерений проводится в сельских одноэтажных домах, не имеющих хорошей напольной изоляции от основного источника поступления радона в здания – подстилающих почвенных грунтов, и в помещениях на первых или цокольных этажах многоэтажных городских зданий, с учетом разнообразия используемых в Беларуси строительных материалов зданий.

Радоновые исследования в странах Европы. Во многих странах мира были проведены многочисленные исследования по содержанию радона и его ДПР в воздухе жилых, производственных и общественных зданий. В этих странах разработаны и осуществляются долгосрочные (15–30 лет) национальные программы по мониторингу радона. Более подробно результаты и методы радоновых исследований в 24 странах Европы и России представлены в табл. 1, разработанной на основе анализа данных [1; 3; 13; 15–17].

Как будет показано ниже, существенно меньшие объемы проведенных радоновых исследований в воздухе помещений в Беларуси (как в абсолютном исчислении, так и по количеству исследованных помещений на 1 млн населения) во многом объясняются тем, что после катастрофы на чернобыльской АЭС большинство высококвалифицированных специалистов в области радиоэкологии и измерений радиоактивных излучений были отвлечены на исследования по минимизации

Таблица 1. Обобщенные данные по объемам исследований, стратегии выбора исследуемых населенных пунктов, методам, условиям проведения измерений и результатам мониторинга района в воздухе зданий в 24 странах Европы и России [1; 3; 15]

Страна, численность населения ($\times 10^6$), чел.	Количество обследованных помещений, всего N / на 1 млн. чел., Q/N	Длительность мониторинга, лет и стратегия выбора населенных пунктов (R^1 или G^2)	Метод измерений, тип используемых детекторов	Условия проведения измерений: длительность экспозиции (сут.) / сезон экспозиции радиометров в зданиях	Результаты мониторинга района	
					Оцененные среднегодовые уровни района, Бк/м ³	Процент превышений >400 Бк/м ³
Австрия, 8,2	16000/1951	1991–2002, 11 лет R	ТТД, E-PERM ³ , CA+LSC ⁴	90 (ТТД, E-PERM), 3 (CA+LSC)/осень–весна	97	12
Бельгия, 10,4	9000/865	1995–1999, 5 лет G	ТТД, макрофол	90/февраль–апрель	48	2
Венгрия, 10,0	15602/1560	1994–2004, 11 лет R	ТТД, CR-39	240 (3 экспозиции по 80 сут.) / осень, зима, весна (последовательно)	89	5,9
Германия, 82,4	$>50000/606$	1978–2003, 25 лет $R + G$	ТТД, макрофол, CA+LSC и CA+ γ S	365/весь год (ТТД) /любой (макрофол) 3/любой (CA+LSC и CA+ γ S)	50	1,7
Дания, 5,4	320/59	1995–1996, 2 года R	ТТД, CR-39	365/весь год	53	2,9
Великобритания, 60,4	450000/7450	1980–2005, 26 лет $R + G$	ТТД	90–365/все сезоны	20	0,5
Ирландия, 4,0	11319/2830	1992–1999, 8 лет R	ТТД, CR-39	365/весь год	89	7,5
Италия, 58,1	5361/92,3	1989–1998, 10 лет R	ТТД, LR-115	180/весь год	70	4,1
Люксембург, 0,5	2619/5238	1993–2002, 10 лет R (90%) G (10%)	ТТД, макрофол	103/в осн. холодный период	115	NA ⁵
Литва, 3,49	4720/1352	1995–2004, 10 лет R	E-PERM	не менее трех недель в отапливаемый период	55	NA
Норвегия, 4,6	51925/11288	1987–2003, 17 лет R	ТТД, CR-39	60–180/весь год	89	9,0
Россия, 145	$\approx 1900000/13100$	1996–2007, 17 лет $R + G$	ТТД, LR-115, CR-39	90/во все сезоны	26,9 ⁴	NA

Польша, 38,6	4068/105	1992–2003, 13 лет <i>R</i> (70 %) <i>G</i> (30 %)	ТТД, LR-115	90/осень–весна	49	2,0	0,4*
Португалия, 10,6	3317/312	1988–1991, 4 года <i>R</i>	ТТД, LR-115	80/холодный сезон	86	8,6	2,6
Словакия, 5,4	4019/744	1992–2003, 12 лет <i>R</i>	ТТД, CR-39	183/50 % в холодный, 50 % в теплый сезон	108	25	11
Словения, 2,0	2512/1256	1990–2005, 16 лет <i>R</i>	ТТД	96/холодный сезон	87	7,5	2,0
Украина, 55	≈20087/365	1989–2006, 18 лет <i>R</i>	ТТД, LR-115	30–180/во все сезоны	49 (52,40,23) ^{6,7}	6,3	3,6
Финляндия, 5,2	73074/14053	1984–2005, 21 год <i>R</i>	ТТД, макрофол	365 (за 2 раза в течение 6 мес./весь год)	120	12,3	2,0
Франция, 60,7	12261/201	1980–2003, 23 года <i>R</i>	ТТД, LR-115	60/во все сезоны	63	8,5	NA
Хорватия, 4,5	782/178	2003–2005, 3 года <i>R</i>	ТТД, LR-115	365/весь год	68	NA	2,0
Чехия, 10,2	150000/1470	1984 – по наст. время, 26 лет <i>R</i>	ТТД, LR-115	365/весь год	140	14	NA
Швейцария, 7,5	≈55000/7450	1980–2005, 26 лет <i>R + G</i>	ТТД (60 %), E-PERM (40 %)	100/ноябрь–март	77	17	NA
Швеция, 9,0	≈500000 (≈10 % всех зданий)/55555	1979 – по наст. время, >30 лет <i>R + G</i>	ТТД, CR-39	90/октябрь–апрель	108	14	3–4
Эстония, 1,3	515/396	1998–2001, 4 года <i>R</i>	ТТД, CR-39	60–90/во все сезоны	60	2,3–3,0	0,3–0,5

Примечания: 1 – произвольный (без учета геологических особенностей) выбор населенных пунктов для мониторинга района в воздухе помещений; 2 – выбор населенных пунктов с учетом геологических особенностей территории (на потенциально радиоопасных территориях); 3 – E-PERM – Electret Passive Environmental Radon Monitor – пассивный электретный радон-монитор окружающей среды; 4 – SA + LSC – угольные адсорберы с термомоноциентными счетчиками; SA + γS – угольные адсорберы и γ-спектрометрия; 5 – NA (NotAvailable) – данные не приведены; 6 – для России и Украины указаны значения среднегодовой эквивалентной активности района (ЭРОА_{кв}), для остальных стран – оцененные среднегодовые уровни объемной активности района (ОА_{кв}); 7 – в скобках приведены значения ЭРОА_{кв} соответственно для одноэтажных (сельских) зданий, для квартир на 1-м этаже многоэтажных зданий и этажах выше первого. Вне скобок значение ЭРОА_{кв} усредненное с весом выборки по всем типам обследованных зданий.

последствий этой катастрофы. Кроме того, бытует мнение, что проблема радона в воздухе помещений не нова и может быть решена простым способом – тщательным проветриванием помещений. Однако, как показано в [18], проветривание помещений эффективно только во время его проведения, после его прекращения уровни активности радона и его ДПР в течении нескольких часов достигают прежних значений. Кроме того, интенсивное проветривание помещений, особенно в холодное время года, будет приводить к большим потерям тепла в зданиях и дискомфорту его обитателей. Поэтому необходимо проводить комплексные противорадоновые мероприятия, наиболее полно отраженные в [14].

Информация, приведенная выше, использовалась нами для корректировки концепции и программ исследований по радону в Беларуси.

Метод и результаты проведения мониторинга радона в Беларуси. В ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны» с 2004 г. совместно с Институтом природопользования НАН Беларуси и некоторыми областными и городскими ЦГЭиОЗ начаты систематические исследования по мониторингу радона в воздухе помещений. Для исследований был выбран метод твердотельных трековых детекторов [19]. Суть этого метода состоит в том, что в некоторых диэлектрических материалах альфа-частицы радона и его ДПР (как и другие тяжелые ядерные частицы) производят радиационные повреждения (латентные треки), которые после протравливания в химических реагентах могут быть подсчитаны с помощью оптического микроскопа или другими методами. В наших исследованиях в качестве детекторов использовалась нитроцеллюлозная пленка LR-115, типа 2, производства фирмы DOSIRAD (Франция), позволяющая применить относительно простой искровой способ подсчета треков на детекторах.

Измеряемой величиной при мониторинге радона в воздухе помещений является усредненная за время экспозиции радонометров с трековыми детекторами в воздухе исследуемых помещений объемная активность радона для каждого i -го помещения

$$(\overline{OA}_{Rn})_i = (\overline{n}_i - n_0)(\epsilon_0 T_{\text{Э}})^{-1}, \quad (1)$$

где $(\overline{OA}_{Rn})_i$ – объемная активность радона в i -помещении, Бк · м⁻³; n_i – плотность треков на i -детекторе, трек · см⁻²; $T_{\text{Э}}$ – длительность экспозиции, сут.; n_0 – уровень собственного фона трекового детектора, трек · см⁻²; ϵ_0 – чувствительность комплекса средств измерений объемной активности радона КСИОАР, трек · см⁻² · Бк⁻¹ · м⁻³ · сут⁻¹ (значения ϵ_0 и n_0 указаны в свидетельстве о метрологической поверке комплекса КСИОАР, проводимой в Федеральном ГУП ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, г. С.-Петербург с периодичностью 1–2 года).

Затем, используя коэффициенты сдвига равновесия между радоном и его ДПР, коэффициент вариации, зависящий от продолжительности экспозиции радонометров в воздухе помещений и сезона проведения измерений, а также основную погрешность измерений по свидетельству о метрологической аттестации КСИОАР (30 %) определяется среднегодовая эквивалентная равновесная активность радо-

на ($\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$) – нормируемый в санитарных нормах и правилах «Требования к радиационной безопасности» Минздрава Республики Беларусь по радону параметр. Полученные значения $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ используются затем для расчета среднегодовых эффективных доз облучения населения радоном и его ДПР ($(E_{\text{эф}})_{\text{Rn}}$). Более подробно методика определения $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ и $(E_{\text{эф}})_{\text{Rn}}$ описана в [20].

Всего в Беларуси нами было обследовано с использованием метода ТТД 3867 эксплуатируемых зданий, из них 73 % составили жилые здания, 62 % – одноэтажные здания сельского типа. Деревянные дома составили 27,6 %, кирпичные – 47 %, дома из железобетонных конструкций – 13,8 %, из дерева и кирпича – 7 %, из силикатных блоков – 0,7 %, из шлакобетона – 1 % и из других стройматериалов – 2,9 %. В 31 % от обследованных зданий было печное отопление, в 29 % – центральное, а в 40 % – местное отопление на газе или твердом топливе.

Результаты мониторинга за период 2004–2013 гг. представлены в табл. 2 и 3.

Т а б л и ц а 2. Основные результаты мониторинга радона в воздухе помещений в различных регионах Беларуси

Регион Беларуси	Население, $Q (\times 10^3)$ чел.	Объем обследованных помещений, N шт. (всего/на 1 млн населения)	Усредненные по регионам уровни радона, $\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3}$		Превышение значений $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$, %	
			ОА_{Rn}	$\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$	$>100 \text{ Бк/м}^3$	$>200 \text{ Бк/м}^3$
Брестская область	1390,2	178/128	47	31	2,8	0,6
Витебская область	1208,0	371/307	88	76	22,4	2,2
Гомельская область	1427,7	904/633	62	35	3,4	0,7
Гродненская область	1058,3	900/850	100	62	15,7	3,3
г. Минск	1900,8	397/209	86	74	19,6	5,3
Минская область	1401,8	198/141	99	84	18,7	6,1
Могилевская область	1076,5	919/854	98	57	10,7	1,4
По всем областям	9463,3	3867/409	86	57	12,2	2,4

Как видно из данных табл. 2, наблюдаются существенные различия в уровнях радона по отдельным регионам Беларуси, наибольшие среднегодовые уровни $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ зафиксированы в Минской, Витебской и Гродненской областях и в Минске. Наименьшие среднегодовые уровни $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ зафиксированы в Брестской и Гомельской областях. Эти различия связаны с региональными особенностями геологического строения земной коры на территории Беларуси, в том числе различиями в глубине залегания пород кристаллического фундамента, а также состава и мощности четвертичных отложений. Так, значительную часть территории Гродненской, Минской и частично Витебской областей занимает крупная положительная тектоническая структура – Белорусская антеклиза с небольшой глубиной залегания фундамента в ее сводовой части (до + 103 м). На территорию названных областей приходятся участки с максимальными значениями мощности толщи четвертичных отложений (250–300 м и более), в то время как на территории Брестской и Гомельской областей этот показатель в несколько раз ниже и на зна-

чительных участках составляет не более 30–40 м. Кроме того, в северо-западных и центральных районах страны, а это и есть в основном Гродненская и Минская области, расположены краевые ледниковые образования Белорусской гряды, образующие Гродненскую, Волковысскую, Новогрудскую, Ошмянскую, Минскую возвышенности. В составе четвертичных отложений, формирующих эти возвышенности, преобладают конечно-моренные, камовые, озовые образования с высоким содержанием гравийно-галечного и другого обломочного материала. На территории Витебской области расположено Белорусское Поозерье, отличающееся широким развитием краевых ледниковых образований последнего оледенения, включая конечно-моренные возвышенности и моренные равнины, сложенные песчано-гравийно-галечными отложениями и валунными суглинками, с которыми, как отмечалось ранее, часто связаны высокие концентрации радона в почвенном воздухе.

Значение $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$, усредненное по всем регионам Беларуси (57 Бк/м^3), значительно превышает среднемировое значение, равное 16 Бк/м^3 [21] и значения $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ для России (27 Бк/м^3) [15]. Возможно, это объясняется тем, что во всех вышеуказанных странах измерения объемной активности радона проводились в произвольно выбранных населенных пунктах, в то время как в Беларуси значи-

Таблица 3. Типы, назначения и годы постройки исследованных зданий в Беларуси и результаты радоновых исследований в этих зданиях

Тип зданий, назначение, годы постройки	N	ОА					$\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$		
		Ср. арифм.	Ср. геом.	Процент превышения величины			Ср. арифм.	Ср. геом.	Процент превышения >200 Бк/м ³
				>100 Бк/м ³	>200 Бк/м ³	>400 Бк/м ³			
Одноэтажные сельские	2387	91	69	28,5	6,8	1,1	59	44	2,3
Многоэтажные городские	1480	78	60	21,7	4,9	0,9	54	40	2,5
Жилые	2822	84	64	25,5	5,6	0,9	54	41	1,8
Административные и общественные	645	92	68	27,8	7,8	1,9	69	49	4,5 (1,6)*
Учреждения здравоохранения	72	89	72	29,2	5,6	1,4	59	48	1,4
Детские учреждения	281	85	66	24,9	6,4	0,4	54	40	1,8
Производственные	47	94	68	23,4	12,8	0,0	69	44	8,5 (4,3)*
Год постройки									
До 1950-х годов	255	109	79	36,1	11,0	3,1	74,4	52,2	6,7
1950-е годы	368	99	75	33,4	8,7	2,2	65	48	4,1
1960-е годы	536	82	67	28,0	4,1	0,2	53	43	0,9
1970-е годы	683	86	65	25,3	6,1	1,0	55	41	1,8
1980-е годы	780	76	60	21,0	4,4	0,5	48	37	1,2
1990-е годы – 2012	756	80	62	24,1	5,2	0,5	50	38	1,1

Примечание: * – в скобках указано превышение норматива по радону для производственных, общественных и других типов зданий (310 Бк/м^3).

тельный объем мониторинга радона проведен на потенциально радоноопасных территориях.

Как видно из данных табл. 3, из всех обследованных зданий 73 % составили жилые здания, 17,3 % – административные и общественные здания, 7,4 % – детские учреждения (школы, детские сады, кружки и секции), 1,9 % – учреждения здравоохранения (больницы, поликлиники, медицинские центры, фельдшерско-акушерские пункты), 1,3 % – производственные здания. Наибольший процент превышения установленного норматива по радону в воздухе жилых зданий (200 Бк/м^3) наблюдается в зданиях, построенных до 1950 г., и в производственных и общественных помещениях, расположенных в подвальных и цокольных этажах зданий (норматив по радону – 310 Бк/м^3).

Для оценки влияния длительного радиационного воздействия радона-222 был проведен расчет годовых эффективных доз облучения населения E_{Rn} , обусловленных радонотом и его ДПР по инструкции [22]. Результаты приведены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4. Эффективные годовые дозы облучения населения за счет радона и его ДПР (E_{Rn}) в различных регионах Беларуси

Регион Беларуси	E_{Rn} , мЗв · год ⁻¹ *	
	Среднее значение	Максимальное значение
Брестская область	2,0	13,9
Витебская область	4,8	32,4
Гомельская область	2,2	31,9
Гродненская область	3,9	50,9
г. Минск	4,7	86,9
Минская область	5,3	66,3
Могилевская область	3,6	19,7
По всем областям	3,6	86,9

П р и м е ч а н и я: * – данные, приведенные в табл. 4, получены при использовании коэффициента дозового перехода от уровней ЭРОА_{Rn} к годовым эффективным дозам облучения населения равного $0,063 \text{ мЗв} \cdot \text{год}^{-1}/\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ как в соответствии с инструкцией [22] и рекомендациями [23].

Расчеты показали, что в среднем по Беларуси доза облучения населения за счет радона составила $3,6 \text{ мЗв/год}$, при вариации в отдельных областях от $2,2$ до $5,3 \text{ мЗв/год}$. Максимальная доза облучения $86,9 \text{ мЗв/год}$ зафиксирована в Минске. Следует отметить, что доза от «чернобыльских» радионуклидов на загрязненных территориях в настоящее время редко превышает значение в 1 мЗв/год .

З а к л ю ч е н и е. Проведен повторный анализ новейших литературных данных по многолетним (до 15–20 лет) исследованиям по проблемам радона в воздухе существующих зданий (объемам мониторинга, стратегии выбора населенных пунктов и зданий для мониторинга радона, условиям и результатам измерений объемной активности радона-222 и его ДПР в воздухе зданий, выполненных к 2013 г., в 24 странах Европы и России).

Результаты этого анализа показали:

практически во всех странах Европы в качестве основного метода измерений выбирался рекомендуемый МКРЗ интегральный метод твердотельных трековых детекторов альфа-частиц;

в большинстве стран в качестве материала детекторов использовалась нитроцеллюлозная пленка LR-115 или пластик типа CR-39;

населенные пункты для мониторинга радона выбирались в основном произвольно, без учета геолого-геофизических особенностей территории стран;

экспозиция пассивных радонометров с трековыми детекторами в воздухе исследуемых помещений проводилась в основном в течение от 1 до 3 месяцев в холодные сезоны года.

Указанные выше условия соблюдены при выборе концепции, методики и программ мониторинга в воздухе зданий в Беларуси.

Наибольшие объемы измерений в воздухе помещений выполнены в России (~1900000), Швеции (~500000), Великобритании (~450000), Чехии (~150000), Финляндии (~73000), Швейцарии (~55000), Норвегии (~52000) и Германии (~50000); наибольшие объемы измерений на 1 млн населения – в Швеции (~56000), Финляндии (~14000), России (~13000), Норвегии (~11000), Швейцарии и Великобритании (~7500), Люксембурге (~5200).

Максимальные среднегодовые уровни радона были обнаружены в воздухе зданий в Чехии (140 Бк/м³), Финляндии (120 Бк/м³), Люксембурге (115 Бк/м³), Словакии и Швеции (108 Бк/м³). Самый высокий процент превышений с объемной активностью радона более 200 Бк/м³ (значение установленного в большинстве стран норматива по содержанию радона в воздухе помещений) зафиксирован в Словакии (~25 % от обследованных зданий), Швейцарии (~17 %), Чехии, Швеции, Финляндии и Австрии (~12–14 %), Норвегии (~9 %). В остальных странах Европы превышение уровня радона в 200 Бк/м³ в воздухе зданий находится в диапазоне 0,5–8 %.

С использованием наиболее представительной методики твердотельных трековых детекторов альфа-частиц и пассивных трековых радонометров к настоящему времени (1 полугодие 2013 г.) проведены измерения объемной активности радона в воздухе 3867 эксплуатируемых зданий различных типов и назначений во всех областях Беларуси и в г. Минске. Объемы выполненных радоновых исследований в Беларуси все еще значительно уступают объемам аналогичных радоновых исследований, выполненных во многих других странах Европы.

По среднегодовым уровням объемной активности радона и его ДПР в воздухе помещений (57 Бк/м³) Беларусь находится на 16 месте среди 24 других стран Европы. Наибольшие уровни среднегодовой объемной активности зафиксированы в странах северной и центральной части Европы (скандинавские страны, Чехия, Швейцария, Словакия), в то время как в других странах с близкими к Беларуси по геологическим характеристикам территориями и климатическими условиями (Германия, Дания, Бельгия, Украина, Польша, Литва и др.) среднегодовые уровни объемной активности в воздухе помещений близки или ниже, чем в Беларуси.

Эти различия в распределении уровней среднегодовой объемной активности радона можно объяснить прежде всего тем, что территория Европы расположена в областях с принципиально разным геологическим строением. Южная и частично Центральная Европа, а это Австрия, Италия, Швейцария, Венгрия, Словакия, приурочены к Альпийско-Гималайскому складчатому поясу, включающему горные системы Пиренеев, Альп и Карпат. С севера к этому поясу примыкает область распространения более древних складчато-глыбовых сооружений байкальской, каледонской и герцинской складчатости: горных массивов Западной и Центральной Европы – Центральный Французский массив, Вогезы (Франция), Шварцвальд, Рудные горы (Южная Германия), Чешский лес, Богемский массив (Чехия), Скандинавские горы (Норвегия, Швеция). Общей чертой складчатых областей и особенно области самой молодой, альпийской, складчатости является большая подвижность земной коры и повышенная тектоническая активность, которая проявляется в форме вулканизма, сейсмичности, смещений по разломам, гидротермальных процессах. Именно здесь формируются месторождения руд цветных, благородных и радиоактивных металлов, полиметаллических руд, с которыми часто связаны аномально высокие концентрации радона.

В то же время значительные площади Западной, Центральной и Северной Европы приходится на области, где отсутствуют горные системы (Ирландия), а также относительно стабильные в тектоническом отношении платформы, имеющие платформенный чехол мощностью до 6–8 км и более. Это Западно-Европейская молодая платформа со складчатым фундаментом преимущественно позднепротерозойского и палеозойского возраста (1,6–0,2 млрд лет), перекрытым осадочным чехлом большой мощности с участием формаций (территория Голландии, Дании, северной части Германии, юго-западной Польши) и Восточно-Европейская древняя платформа с фундаментом, сложенным кристаллическими породами архейского и раннепротерозойского возраста (более 1,6 млрд лет). В свою очередь, в пределах Восточно-Европейской древней платформы различия геологического строения обусловлены в основном глубиной залегания фундамента. Так, территория Швеции, Финляндии, северо-западных районов России приурочена к крупному выступу фундамента – Балтийскому щиту, север Украины – к Украинскому щиту. Между Балтийским и Украинским щитами расположена Русская плита, в пределах которой имеются различные тектонические структуры с большой дифференциацией мощности осадочного чехла (территория северо-западной Польши, Литвы, Латвии, Эстонии, Беларуси, западные районы России, большая часть Украины). Как отмечалось выше в отношении территории Беларуси, весьма значительное влияние на распределение среднегодовой объемной активности радона в европейских странах и внутри этих стран оказывает наличие либо отсутствие отложений ледниковой формации: краевых ледниковых образований, сложенных породами с высоким содержанием гравийно-галечно-валунного материала.

Следует также учитывать различия в образе жизни жителей различных стран, как указывалось ранее в тексте настоящей статьи, оказывающих существенное

влияние на образование в воздухе зданий аэрозолей с дочерними продуктами распада радона – основным дозообразующим фактором радиоактивного облучения населения.

Материалы, изложенные в статье, отражают актуальность и масштаб радоновых исследований в Европе. Проведенные исследования имеют важную социальную направленность: существенное уменьшение доз радиоактивного облучения населения от управляемой радоновой компоненты. Результаты радоновых исследований, описанных в настоящей статье, использованы при разработке пакета документов в обоснование необходимости проведения дальнейших работ по радону на 2014–2015 гг.

Авторы выражают благодарность своим российским (В. А. Николаеву, А. М. Маренному, А. В. Громову и И. Б. Воробьеву) и украинским (Т. А. Павленко, Н. В. Аксену) коллегам за помощь в проведении радоновых исследований в Беларуси, а также бывшему и нынешнему главным санитарным врачам Республики Беларусь О. В. Арнаутову и И. В. Гаевскому, главным врачам и начальникам радиологических служб областных, городских и районных ЦГЭ и ОЗ Минздрава Республики Беларусь за помощь, без которой при выделяемом финансировании невозможно было бы провести радоновые исследования в объеме, приведенной в данной статье.

Работа выполнена при финансовой помощи Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект X04P-088).

Литература

1. *Dubois G.* An overview of radon surveys in Europe. Luxembourg, 2005. – 168 p.
2. *Darby S.* et al. // *British Medical J.* 2005. Vol. 330, N 7485. P. 223–330.
3. *Павленко Т. О.* // Довкілля та здоров'я. 2007. № 2(41). С. 22–25.
4. *Ярошевич О. И., Жук И. В., Карабанов А. К.* и др. // Докл. НАН Беларуси. 2012. Т. 56, № 6. С. 92–97.
5. *Карабанов А. К., Жук И. В., Ярошевич О. И.* и др. // Наука и инновации. 2013. № 4(122). С. 63–67.
6. *Жуковский М. В.* // Вестн. УрО РАН. 2010. № 1(31). С. 27–38.
7. *Health Effects of Exposure to Radon.* Committee on Health Risks of Exposure to Radon (BEIR VI). National Academy Press, Washington, 1999.
8. *Ярмошенко И. В., Кирдин И. А., Жуковский М. В., Астраханцева С. Ю.* // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2003. Т. 48, № 5. С. 33–43.
9. *Жуковский М. В., Ярмошенко И. В., Кирдин И. А.* и др. // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2003. Т. 48, № 2. С. 5–17.
10. *Липницкий Л. В., Костицкая Е. В.* // Агроэкология: сб. науч. тр. 2004. Вып. 1. С. 100–105.
11. *Кольцов В. К.* // Вестн. РАН. 1996. Т. 66, № 2. С. 114–128.
12. *Charles M.* // *J. of Radiological Protection.* 2001. № 21(1). P. 83–85.
13. *Лось И. П., Павленко Т. А.* // Журн. АМН України. 2006. Т. 12, № 1. С. 168–173.
14. *Клавеншён Б., Окерблум Г.* Радоновая книга. Меры по борьбе с радонам в существующих зданиях. Стокгольм, 2007. С. 25.
15. *Губин А. Т., Сакович В. А., Киселев М. Ф.* и др. // АНРИ. 2009. № 4(59). С. 21–28.
16. *Karpińska M., Mnich Z., Kapala J., Szpak A.* // *Polish J. of Environ. Stud.* 2009. Vol. 18, N 6. P. 1005–1012.

17. *Pilkyte L., Butkus D., Mork G.* // Radiation Protection Dosimetry. 2006. Vol. 121, N 2. P. 140–147.
18. Will Opening Windows Reduce the Radon Level in My Home? // Environmental Radon Newsletter April 2013 Issue 70, P. 4 [Electronic resource]. – Mode of access: [http:// www.ukradon.org/downloads/ERN/ERN_70.pdf](http://www.ukradon.org/downloads/ERN/ERN_70.pdf).
19. *Николаев В. А.* Твердотельные трековые детекторы в радиационных исследованиях. СПб., 2012. С. 115–147.
20. *Карабанов А. К., Ярошевич О. И., Жук И. В.* и др. // Докл. НАН Беларуси. 2008. Т. 52, № 4. С. 109–113.
21. Источники и эффекты ионизирующего излучения. Отчет НКДАР ООН 2000 года Генеральной Ассамблее с научными приложениями. Том 1: источники (часть 1) / Пер. с англ. Радэкон, 2002. – 306 с.
22. Инструкция по оценке индивидуальных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. Инструкция 2.6.1.: утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь. Минск, 2006. – 20 с.
23. *Vanmarcke H.* // Radiation Protection Dosimetry. 2008. Vol. 130, N 1(10). P. 76–80.

*O. I. YAROSHEVICH, A. K. KARABANOV, M. B. KONOPELKO, A. B. MATVEEV,
I. V. ZHUK, L. L. VASILEVSKIJ, Z. A. LUKASHEVICH*

STUDIES ON THE RADON PROBLEM IN BELARUS AND OTHER COUNTRIES OF EUROPE

Summary

This paper presents a comparative analysis of the programs and the results of radon monitoring conducted in 24 countries in Europe and comparison of these results with similar studies in Belarus. The contribution of indoor radon to the total radiation dose of the population, the sources and pathways of this gas into the building are shown. Geological and geophysical features of the territory of Belarus are analyzed, the main results of indoor radon monitoring and population radiation dose from radon and its decay products in different regions of Belarus are presented.

УДК 535.4:53.5

А. В. МАКАРЕВИЧ¹, В. В. ШЕПЕЛЕВИЧ¹, М. В. ДУБИНА¹,
П. И. РОПОТ², С. М. ШАНДАРОВ³

ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР НА ОСНОВЕ ФОТОРЕФРАКТИВНОГО КРИСТАЛЛА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЙ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

¹Мозырский государственный педагогический университет им. И. П. Шамякина

²Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск

³Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

(Поступила в редакцию 01.10.2013)

Разработана оптическая схема голографического интерферометра, реализуемого на основе динамических пропускающих голограмм, сформированных в кубическом фоторефрактивном кристалле семейства силленитов $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ среза (110) в отсутствие внешнего электрического поля, приложенного к кристаллу. Показана возможность применения интерферометра в качестве измерительного прибора, способного регистрировать малые изменения толщины просветляющих покрытий, наносимых на оптические элементы, с помощью отраженного или прошедшего зондирующего излучения.

Кубические фоторефрактивные кристаллы семейства силленитов $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO), $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ (BTO), $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ (BGO) находят применение в качестве динамической регистрирующей среды в голографической интерферометрии. Повышенный интерес к применению кристаллов силленитов в этой области обусловлен тем, что они обладают высокой светочувствительностью и разрешающей способностью, а также реверсивностью с практически неограниченным количеством циклов запись–считывание [1]. Одним из важных метрологических преимуществ использования кристаллов данного типа в интерферометрии является адаптивный характер записанных в них голограмм, позволяющий компенсировать влияние на измерительную систему быстро изменяющихся внешних факторов. Это дает возможность повысить помехоустойчивость интерференционных исследований объектов по сравнению с методами, не использующими динамическую голографическую интерферометрию.

В большинстве известных схем адаптивных интерферометров используется внешнее электрическое поле, приложенное к кристаллу, которое хотя и позволяет усилить контраст интерференционной картины, но приводит к перегреву кристалла, появлению дополнительных шумов в интерференционной картине и др.

В связи с этим на основании результатов, полученных ранее в [2–4], была проведена оптимизация условий записи и считывания голограмм в фоторефрактивном кристалле с целью разработки оптической схемы адаптивного голографического интерферометра, позволяющего проводить интерференционные исследования объектов без приложения к кристаллу внешнего электрического поля.

В основу работы интерферометра положен принцип использования опорной системы интерференционных полос, создаваемых до начала проведения мониторинга объектов. В [5] была показана возможность создания такой системы полос с помощью кристаллов BSO и ВТО и продемонстрирована возможность применения этих кристаллов с приложенным к ним внешним электрическим полем типа меандр для интерферометрических исследований объектов.

В предложенной нами схеме оптимизированного интерферометра за счет специального выбора ориентации фоторефрактивного кристалла семейства силленитов ВТО среза (110), имеющего толщину 7,7 мм (угол θ между направлением [001] и вектором голографической решетки приблизительно равен 67°), достигаются сравнительно высокие значения (более 1,5 %) дифракционной эффективности записанных голограмм, поэтому такой интерферометр может быть использован для измерения малых изменений толщины прозрачных и зеркально отражающих объектов без приложения к кристаллу внешнего электрического поля.

Схема проведения экспериментов, моделирующих процесс измерения изменяющейся толщины покрытий оптических элементов, представлена на рис. 1.

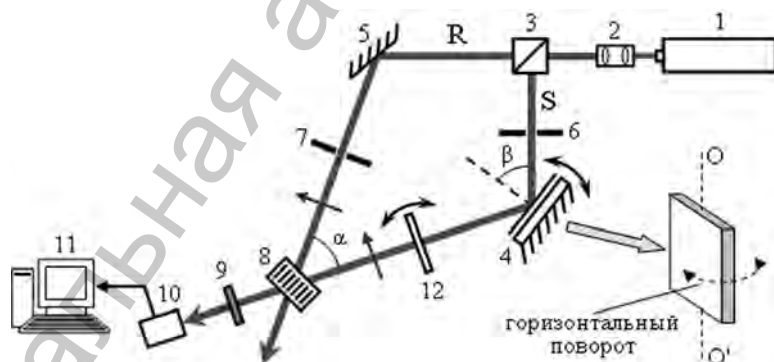


Рис. 1. Оптическая схема голографического интерферометра для исследования изменения толщины прозрачных и зеркально отражающих объектов: 1 – He-Ne лазер; 2 – коллиматор; 3 – светоделительный кубик; 4 – пьезоэлектрическое зеркало; 5 – глухое зеркало; 6, 7 – диафрагмы; 8 – фоторефрактивный кристалл ВТО; 9 – ослабитель; 10 – ПЗС-датчик; 11 – персональный компьютер; 12 – стеклянная пластинка

Световой пучок гелий-неонового лазера I с вектором поляризации, лежащим в плоскости рисунка, проходил через установленный на его пути коллиматор 2, содержащий фильтр пространственных частот. Затем с помощью светоделительного кубика 3 пучок разделялся на опорный R и предметный S пучки. Опорный пучок R после отражения от глухого зеркала 5 проходил через диафрагму 7 и падал на фоторефрактивный кристалл 8. Предметный пучок S после прохождения через диафрагму 6 отражался от пьезоэлектрического зеркала 4 и направлялся на светочувствительную матрицу ПЗС-датчика 10, соединенного с персональным компьютером 11, проходя при этом через фоторефрактивный кристалл ВТО 8 и ослабитель интенсивности светового пучка 9. При моделировании процесса измерения толщины покрытий прозрачных оптических элементов между пьезоэлектрическим зеркалом и кристаллом дополнительно устанавливалась стеклянная пластинка 12 с возможностью изменения ее наклона по отношению к пучку S . При взаимодействии световых пучков R и S , пересекающихся в кристалле 8 (угол α между пучками вне кристалла был равен 57°), в кристалле записывалась голограмма, позволяющая восстановить в случае необходимости копию S' предметного пучка S .

Методика проведения эксперимента с помощью данного интерферометра по исследованию сдвигов опорной системы интерференционных полос, вызываемых изменениями толщины прозрачных объектов и зависящих от величины этих изменений, заключалась в следующем. По истечению времени формирования в кристалле ВТО голографической решетки ($\tau \approx 30$ с при заданной интенсивности $I_S = 0,05$ мВт/см² предметного и $I_R = 0,75$ мВт/см² опорного пучков) пьезоэлектрическое зеркало поворачивалось в горизонтальном направлении вокруг оси OO' на небольшой угол, составляющий $\approx 0,05^\circ$. Это приводило к небольшому изменению оптического пути и направления распространения предметного пучка S , проходящего через кристалл, что фактически соответствовало возникновению нового предметного пучка S_1 , являющегося в схеме интерферометра контролирующим (зондирующим). В то же время опорный пучок R в результате дифракции на голограмме продолжал восстанавливать копию S' предметного пучка S , который использовался до поворота пьезоэлектрического зеркала. Таким образом, из кристалла в сторону ПЗС-датчика выходили два интерферирующих друг с другом пучка S_1 и S' , которые формировали опорную систему интерференционных полос на светочувствительной матрице ПЗС-датчика. При этом малый поворот стеклянной пластинки приводил к изменению оптического пути предметного пучка S_1 и тем самым моделировал изменение толщины прозрачного объекта, вследствие чего на мониторе персонального компьютера наблюдалось смещение опорной системы интерференционных полос.

Для моделирования изменения толщины зеркально отражающего объекта использовалось пьезоэлектрическое зеркало 4. В этом случае стеклянная пластинка в оптической схеме интерферометра отсутствовала. Формирование опорной системы интерференционных полос на светочувствительной матрице ПЗС-датчика

осуществлялось аналогично рассмотренному выше случаю. Угол поворота пьезоэлектрического зеркала в горизонтальном направлении составлял $\approx 0,03^\circ$.

После формирования опорной системы интерференционных полос на пьезоэлектрическое зеркало подавалось медленно возрастающее электрическое напряжение. За счет обратного пьезоэлектрического эффекта пьезозеркало изменяло толщину, вследствие чего его зеркальная поверхность смещалась в направлении, параллельном биссектрисе угла между падающим и отраженным пучками. Это приводило к изменению оптического пути предметного пучка S_1 , и на мониторе компьютера в режиме реального времени наблюдалось смещение опорной системы интерференционных полос, вызванное изменением положения зеркальной поверхности, моделирующим изменение толщины покрытия отражающего объекта.

Таким образом, за счет специального выбора ориентации кристалла оптимизированный интерферометр может быть использован для измерения малых значений изменения толщины прозрачных и зеркально отражающих объектов без приложения к кристаллу внешнего электрического поля.

На рис. 2 и 3 представлены 3 последовательных кадра, демонстрирующих смещение произвольно выбранной интерференционной полосы примерно на один пространственный период интерференционной картины при повороте стеклянной пластинки (рис. 2) и приложении постоянного электрического напряжения к пьезоэлектрическому зеркалу (рис. 3) для моделирования изменения толщины покрытия непрозрачного объекта. На обоих рисунках рамкой белого цвета выделена произвольно выбранная светлая интерференционная полоса, смещение которой происходит влево на рис. 2 и вправо на рис. 3 относительно горизонтальной шкалы с делениями, равными пространственному периоду интерферограммы.

Представленные на рис. 2 и 3 последовательности кадров получены при использовании программного пакета PotPlayer. Захват кадров из видеозаписей движения опорной системы интерференционных полос, выводимых на монитор персонального компьютера при проведении экспериментов, осуществлялся через интервал времени 1 с.

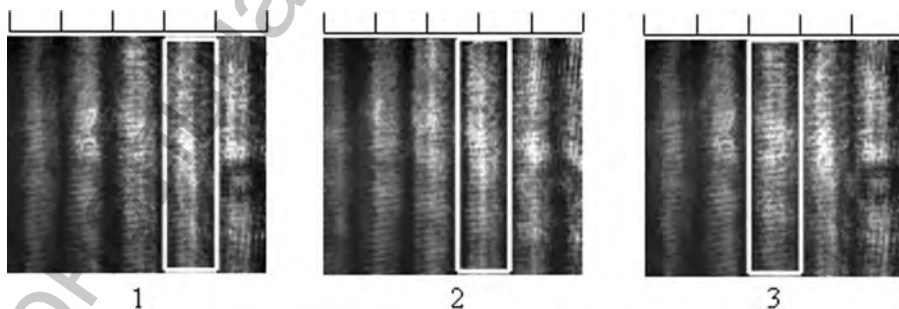


Рис. 2. Последовательное смещение интерференционных полос при повороте стеклянной пластинки

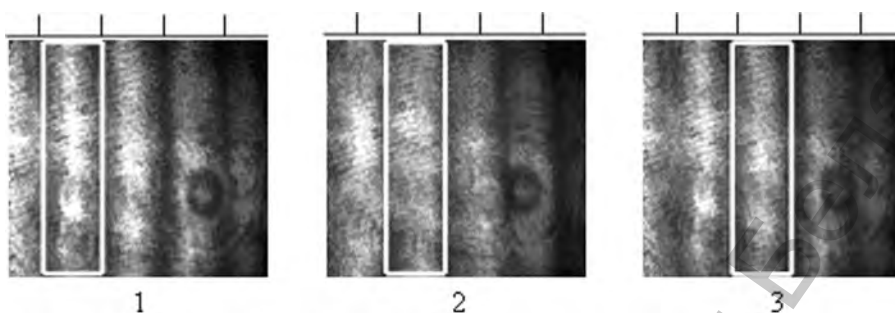


Рис. 3. Последовательное смещение интерференционных полос при приложении к пьезоэлектрическому зеркалу постепенно возрастающего электрического напряжения

Отметим, что для смещения опорной системы интерференционных полос или произвольно выбранной интерференционной полосы на один пространственный период должно произойти изменение фазы контролирующего пучка S_1 на 2π , что эквивалентно смещению фазового фронта этого пучка на длину волны λ .

Способность интерферометра фиксировать столь малые значения изменения фазового фронта контролирующего пучка S_1 свидетельствует о потенциальной возможности применения этого устройства для контроля толщины просветляющих покрытий, наносимых на оптические элементы, с помощью отраженного или прошедшего света.

Например, при контроле толщины просветляющих покрытий с помощью прошедшего света, изменение толщины Δd покрытия, наносимого на оптический элемент, повлечет за собой увеличение оптического пути контролирующего пучка на величину $\Delta = \Delta dn$, если напыляемая плоскость оптического элемента будет установлена перпендикулярно к направлению распространения контролирующего пучка. Здесь n – показатель преломления просветляющего вещества. Для описания смещения интерференционной картины удобно использовать нормированное смещение ΔL_n , равное отношению реального смещения ΔL к пространственному периоду интерференционной картины Λ ($\Delta L_n = \Delta L / \Lambda$). Зависимость величины ΔL_n от толщины Δd покрытия можно найти из соотношения $\Delta L_n = \Delta dn / \lambda_{\text{зонд}}$, где $\lambda_{\text{зонд}}$ – длина волны зондирующего излучения.

В табл. 1 представлены оценки нормированного на пространственный период интерференционной картины расстояния ΔL_n , на которое сместится опорная система полос, при напылении на оптический элемент двух различных веществ, применяемых для просветления оптики в случае использования для контроля прошедшего света. В качестве значения толщины Δd просветляющей пленки выбрана такая ее величина, при которой достигается гашение отраженного излучения на длине волны средней части видимого спектра $\lambda = 555$ нм, к которой наиболее чувствителен человеческий глаз. Длина волны зондирующего излучения $\lambda_{\text{зонд}}$ выбрана равной длине волны излучения гелий-неонового лазера, составляющей 632,8 нм.

Таблица 1. Результаты оценки нормированного сдвига ΔL_n , на который сместится опорная система полос, при контроле толщины просветляющих покрытий с помощью прошедшего света

Вещество	n	Δd , мкм	ΔL_n
Фторид бария (BaF_2)	1,48	0,0937	0,2193
Фторид магния (MgF_2)	1,38	0,1005	0,2193

Таблица 2. Результаты оценки нормализованного сдвига ΔL_n опорной системы интерференционных полос при контроле толщины некоторых просветляющих веществ с помощью отраженного света

Вещество	n	Δd , мкм	ΔL_n
Фторид бария (BaF_2)	1,48	0,0937	0,2616
Фторид магния (MgF_2)	1,38	0,1005	0,2806

В случае контроля толщины покрытия, наносимого на оптический элемент, при помощи отраженного от него света, нормированную величину смещения ΔL_n интерференционной картины, соответствующую достижению необходимой толщины Δd просветляющей пленки, можно найти из соотношения $\Delta L_n = 2\Delta d \cos\beta / \lambda_{зонд.}$, где β – угол падения зондирующего пучка на напыляемый слой.

В табл. 2 представлены результаты оценки нормированного смещения ΔL_n интерференционной картины, на которое сдвинется опорная система полос при напылении на оптический элемент веществ, применяемых для просветления оптики в случае использования для контроля отраженного света. При расчете использовано экспериментально выбранное значение угла β , равное 28° .

Как видно из данных табл. 1 и 2, в обоих случаях при достижении необходимой толщины Δd просветляющего покрытия опорная система интерференционных полос должна сдвинуться относительно первоначального положения более чем на пятую часть пространственного периода. Это позволяет сделать вывод о том, что представленная здесь оптическая схема голографического интерферометра может быть практически применена для инвазивного контроля толщины покрытий оптических элементов. При этом в зависимости от условий производства просветленных оптических элементов может использоваться прошедшее или отраженное зондирующее излучение.

Следует отметить и тот факт, что в случае практического применения такой оптической схемы голографического интерферометра погрешность измерений толщины просветляющих покрытий оптических элементов будет непосредственно зависеть от разрешающей способности светочувствительной матрицы ПЗС-датчика (количество пикселей на единицу площади матрицы). Эта погрешность прежде всего связана с точностью определения положения сдвига локальных максимумов (минимумов) опорной системы интерференционных полос, который обусловлен изменением фазы контролирующего пучка S_1 при нанесении на оптический элемент просветляющего покрытия, относительно первоначальных локальных максимумов (минимумов) опорной системы интерференционных полос, образованных на светочувствительной матрице ПЗС-датчика до нанесения на оптический элемент просветляющего покрытия. Поэтому для снижения погрешности проводимых измерений целесообразным является увеличение пространственного периода опорной интерферограммы, реализуемое путем выбора необходимой

величины угла поворота зеркала, размещенного на пути распространения опорного пучка, роль которого в данном случае выполняет пьезозеркало 4 на рис. 1.

Увеличение значения нормированного смещения ΔL_n также влечет снижение погрешности измерения толщины оптического покрытия. Это обусловлено тем, что при увеличении нормированного смещения погрешность, связанная с размерами пикселя, будет снижена за счет уменьшения величины пикселя по отношению к величине пространственного смещения опорной системы интерференционных полос. Подобное снижение погрешности может быть реализовано за счет уменьшения длины волны зондирующего излучения и, в частности, при использовании отраженного излучения за счет уменьшения угла падения β контролирующего пучка на оптический элемент. В случае получения просветляющих покрытий оптических элементов, ориентированных на инфракрасную область спектра, снижение погрешности будет реализовано за счет увеличения значения необходимой толщины просветляющей пленки, что приведет к увеличению значения нормированного смещения.

В заключение отметим, что при использовании традиционного метода контроля толщины просветляющих покрытий, основанного на интерференции света, отраженного от двух границ пленки в процессе напыления, наблюдается нелинейная периодическая зависимость изменения интенсивности регистрируемого фотоприемником зондирующего излучения от толщины покрытия. Это создает некоторые трудности при точном установлении времени отключения процесса напыления, соответствующего экстремумам кривой, описывающей зависимость интенсивности от толщины покрытия. Ведь точное положение максимума (минимума) периодической зависимости можно экспериментально найти лишь тогда, когда интенсивность света начинает уменьшаться (увеличиваться), т. е. несколько позже необходимого момента времени. Это приводит к некоторой ошибке в измерениях. Кроме того, по мере увеличения толщины напыляемого покрытия изменяются контраст интерференционной картины и чувствительность метода, а в случае нанесения непрозрачных покрытий он принципиально неприменим [6].

Предлагаемый интерферометр позволяет осуществлять контроль как прозрачных, так и непрозрачных покрытий, наносимых на оптические элементы, а также обеспечивает линейную зависимость смещения интерференционных полос от толщины покрытия, что способствует более точному определению времени отключения процесса напыления. В то же время рассматриваемый интерферометр характеризуется некоторыми недостатками, например, его применимость зависит от соотношения времени релаксации записанной голограммы в используемом фоторефрактивном кристалле и типичного времени нанесения покрытия в конкретном устройстве, применяемом для напыления.

Таким образом, метод определения толщины напыляемых покрытий с использованием адаптивного голографического интерферометра на фоторефрактивном кристалле не претендует на замену традиционного метода, используемого в практике вакуумного напыления по интерференции света, отраженного от двух границ

пленки, но в ряде случаев может обеспечить большую точность измерения толщины напыляемого покрытия, а также расширить возможности традиционного метода контроля.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Ф12Р-222).

Литература

1. Петров М. П., Степанов С. И., Хоменко А. В. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. СПб., 1992. – 320 с.
2. Шандаров С. М., Шандаров В. М., Мандель А. Е., Буримов Н. И. Фоторефрактивные эффекты в электрооптических кристаллах. Томск, 2007. – 242 с.
3. Шепелевич В. В. Голография в фоторефрактивных оптически активных кристаллах. Минск, 2012. – 254 с.
4. Шепелевич В. В. Введение в когерентную оптику и голографию. Минск, 1985. – 144 с.
5. Sochava S. L., Troth R. C., Stepanov S. I. // J. Opt. Soc. Am. B. 1992. Vol. 9, N 8. P. 1521–1527.
6. Пуряев Д. Т. Методы контроля оптических асферических поверхностей. М., 1976. – 262 с.

A. V. MAKAREVICH, V. V. SHEPELEVICH, M. V. DUBINA, P. I. ROPOT, S. M. SHANDAROV

HOLOGRAPHIC INTERFEROMETER ON THE BASIS OF A PHOTOREFRACTIVE CRYSTAL FOR THE CONTROL OF THE THICKNESS CHANGE OF THE OPTICAL ELEMENT COATS

Summary

The optic scheme of the holographic interferometer realized on the basis of dynamic transmission holograms registered in a cubic photorefractive crystal $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ of (110)-cut in the absence of an external electric field applied to the crystal is developed. The possibility of using the interferometer as a measuring device capable of register small changes in the thickness of antireflection coatings, applied to optical elements, with help of the reflected or transmitted probing radiation, is shown.

**ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ, ОПУБЛИКОВАННЫХ
В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК ФОНДА
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ» В 2013 г.**

№ Стр.

ДЕНЬ БЕЛОРУССКОЙ НАУКИ

Поздравление Президента Республики Беларусь с Днем белорусской науки	1	5
Доклад Первого заместителя Премьер-министра Республики Беларусь В. И. Семашко на торжественном заседании, посвященном празднованию Дня белорусской науки, 25 января 2013 г.	1	6

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ

Указ Президента Республики Беларусь от 4 февраля 2013 г. № 59 «О коммерциализации результатов научной и научно-технической деятельности, созданных за счет государственных средств».	1	12
Положение о коммерциализации результатов научной и научно-технической деятельности, созданных за счет государственных средств.	1	15

КОНКУРСЫ БРФФИ: НОРМАТИВНАЯ БАЗА

Условия конкурса совместных научных проектов БРФФИ и Фонда развития науки при Президенте Азербайджанской Республики «БРФФИ–ФРНА-2013»	1	23
Условия конкурса совместных научных проектов БРФФИ и Вьетнамской академии наук и технологий «БРФФИ–ВАНТ-2014»	1	29
Условия конкурса совместных научных проектов БРФФИ и Национального центра научных исследований Франции «БРФФИ–НЦНИ (PICS)-2014».	1	35
Условия конкурса БРФФИ и Национального центра научных исследований Франции на проведение белорусско-французских семинаров в 2013–2014 гг.	1	41
Положение о конкурсах БРФФИ на 2013 – 2014 годы	2	104
Условия республиканского конкурса проектов фундаментальных и поисковых исследований БРФФИ «Наука-2014»	2	111
Условия конкурса на соискание грантов БРФФИ для молодых ученых «Наука М-2014»	2	116
Условия совместного тематического конкурса Министерства образования Республики Беларусь и БРФФИ «БРФФИ–Минобразования М-2014»	2	121
Условия конкурса БРФФИ на соискание грантов развития «Ученый-2014».	2	126
Условия конкурса выполняемых в контакте с зарубежными учеными проектов фундаментальных исследований БРФФИ «Наука МС-2014».	2	132
Условия конкурса совместных научных проектов БРФФИ и Российского фонда фундаментальных исследований «БРФФИ–РФИ-2014».	2	138
Условия конкурса совместных научных проектов БРФФИ и Российского гуманитарного научного фонда «БРФФИ–РГНФ-2014»	2	143
Условия совместного конкурса БРФФИ и Российского гуманитарного научного фонда на соискание грантов для молодых ученых «БРФФИ–РГНФ М-2014».	2	149

Условия совместного целевого конкурса БРФФИ и Российского гуманитарного научного фонда на выполнение проектов междисциплинарных (комплексных) исследований «К 70-летию Великой Победы (1945–2015)» «БРФФИ–РГНФ Ц-2014»	2	155
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)-2014»	2	161
Условия конкурса совместных проектов фундаментальных исследований БРФФИ и Государственного комитета по науке Министерства образования и науки Республики Армения «БРФФИ–ГКНАрм-2014».	2	167
Условия совместного тематического конкурса исследовательских проектов БРФФИ и Объединенного института ядерных исследований «БРФФИ–ОИЯИ-2014»	2	173
Условия конкурса совместных научных проектов БРФФИ и Национального исследовательского фонда Кореи «БРФФИ–НИФК-2014»	2	178
Условия конкурса совместных научных проектов БРФФИ и Научно-технологического фонда Монголии «БРФФИ–НТФМ-2014».	2	184
Условия конкурса совместных научных проектов БРФФИ и Румынской академии «БРФФИ–РА-2014».	2	190
Условия конкурса БРФФИ на соискание грантов финансовой поддержки ученых – авторов монографий для их издания на 2013–2014 годы	2	196
Условия конкурса БРФФИ на соискание грантов финансовой поддержки участия ученых в зарубежных научных мероприятиях на 2013–2014 годы.	2	198
Условия конкурса БРФФИ на соискание грантов финансовой поддержки республиканских и международных научных мероприятий на 2013–2014 годы	2	200

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ

Протокол договоренности о проведении третьего совместного трехстороннего межрегионального конкурса в приграничных областях Беларуси, России и Украины	1	43
Дополнительный договор № 1 к Соглашению о сотрудничестве между Российским гуманитарным научным фондом и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований	2	203
Дополнительный договор № 2 к Соглашению о сотрудничестве между Российским гуманитарным научным фондом и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований	2	206
Протокол № 1 к дополнительному договору № 2 к Соглашению о сотрудничестве между Российским гуманитарным научным фондом и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований	2	209
Соглашение о научном сотрудничестве между АО «Фонд науки» Республики Казахстан и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований	2	211
Протокол 10-го заседания Совместной комиссии НЦНИ и НАН Беларуси	3	5
Соглашение о сотрудничестве между Научно-технологическим фондом Монголии и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований.	4	5
Дополнительный договор № 1 к Соглашению о сотрудничестве между Научно-технологическим фондом Монголии и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований	4	8

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ФОНДА

Договор о научно-практическом сотрудничестве между Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований и Брестским областным исполнительным комитетом	1	44
---	---	----

- Орлович В. А.** О работе Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в 2012 году и о перспективах его деятельности на 2013 год (Отчетный доклад на расширенном заседании Научного совета БРФФИ, 16 апреля 2013 г.) 2 9

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

- Рупасова Ж. А., Володько И. К., Василевская Т. И., Гончарова Л. В.** Влияние погодных условий на содержание биофлавоноидов в ассимилирующих органах вечнозеленых и листопадных видов *Rhododendron* L. в вегетационный период при интродукции в Беларуси 1 46
- Такопуло Д. А., Фисенко С. П.** Броуновская диффузия и осаждение наночастиц на подложку из газового потока 1 53
- Огурцова С. Э., Беляева А. В., Дорофеенко И. С., Афонин В. Ю., Анисович М. В.** Оценка цитостатических и цитопротекторных свойств природных антиоксидантов 1 60
- Хомич С. А., Аношко Я. И., Данильченко А. О., Дикарева Ю. И.** Ключевые элементы концепции геоэкологического обеспечения туристско-рекреационного использования карьерных водоемов Беларуси 1 67
- Пицевич Г. А., Малевич А. Э., Шаблинскас В., Дорошенко И. Ю., Погорелов В. Е., Козловская Е. Н., Балевичус В.** 3d расчеты частот колебаний O–N связи в комплексе трихлоруксусной кислоты и пиридиназотоксида 1 80
- Алексеев Г. Д., Афанасев К. Г., Батурицкий М. А., Дворников О. В., Емельянчик И. Ф., Михайлов В. А., Пискун А. А., Солин А. А., Солин А. В., Токменин В. В., Чеховский В. А.** Комплект электронных устройств на базе полузаказных интегральных микросхем для регистрации импульсного видимого излучения малой интенсивности 1 88
- Жихарко Ю. Д.** (E, E)-N¹, N³-ди-R-бензилиденнафталин-1,5-диамины в синтезе производных акридино[4,3-c]акридин-1,9(2H,5H)-диона 3 7
- Коробко Е. В., Бедик Н. А., Журавский Н. А., Новикова З. А.** Исследование электро-реологических и электрофизических свойств жидкостей на основе гидратированных оксидов металлов 3 17
- Янушкевич К. И., Гуртовой В. Г., Шелег А. У., Мустафаева С. Н., Керимова Э. М.** Особенности магнитных взаимодействий в твердых растворах TlFe_{1-x}Ga_xS₂ 3 29
- Яковец Н. В., Крутько Н. П., Опанасенко О. Н.** Влияние поверхностно-активных веществ на агрегативную и кинетическую устойчивость нефтяных дисперсных систем 3 36
- Башилов А. В.** Идентификация некоторых компонентов полифенольного комплекса *Potentilla alba* L. из коллекции Центрального ботанического сада НАН Беларуси 3 46
- Гулгазрян Л. Г.** Собственные колебания двухслойных ортотропных оболочек при неполном контакте между слоями 3 51
- Белявин К. Е., Сосновский И. А., Худoley А. Л.** Индукционный нагрев в процессах центробежного нанесения покрытий 3 70
- Ластовский С. Б., Мурин Л. И., Богатырев Ю. В., Коршунов Ф. П., Гуринович В. А.** Влияние облучения быстрыми электронами при температурах 670–720 К на параметры кремниевых n⁺-p-структур 3 88
- Лукашевич М. М.** Анализ изображений кристаллограмм биологической жидкости 3 94
- Никитенко П. Г., Циблина В. М., Румянцева Ю. Н., Пилецкий К. В.** Современное состояние и перспективы межгосударственного сотрудничества Беларуси и Латвии в сфере повышения эффективности использования минерального сырья 4 29
- Пликус О. А., Островская Е. Ф., Яковец Н. В.** Влияние латексов на структурно-реологические свойства анионных битумных эмульсий 4 53
- Рупасова Ж. А., Володько И. К., Гончарова Л. В., Бубнова А. М., Решетников В. Н., Титок В. В.** Генотипическая изменчивость биохимического состава надземных органов вечнозеленых и листопадных видов *Rhododendron* L. при интродукции в Беларуси 4 61

Кузнечик О. О., Минько Д. В., Белявин К. Е., Григорьев Е. Г. Регистрация температуры микроплазменных процессов при электроимпульсном спекании порошка титана	4	72
Клубович В. В., Кулак М. М. Структурообразование тугоплавких соединений титана, получаемых методом СВС при ультразвуковых воздействиях.	4	80
Ярошевич О. И., Карabanов А. К., Конопелько М. В., Матвеев А. В., Жук И. В., Василевский Л. Л., Лукашевич Ж. А. Исследования по проблемам радона в Беларуси и других странах Европы	4	101
Макаревич А. В., Шепелевич В. В., Дубина М. В., Ропот П. И., Шандаров С. М. Голографический интерферометр на основе фоторефрактивного кристалла для контроля изменения толщины покрытий оптических элементов	4	118

ИТОГИ КОНКУРСОВ

Республиканский конкурс проектов фундаментальных и поисковых исследований БРФФИ «Наука-2013»	2	35
Конкурс на соискание грантов БРФФИ для молодых ученых «Наука М-2013».	2	46
Конкурс выполняемых в контакте с зарубежными учеными проектов фундаментальных исследований БРФФИ «Наука МС-2013»	2	62
Конкурс БРФФИ на соискание грантов развития «Ученый-2013»	2	67
Конкурс совместных научных проектов БРФФИ и Российского гуманитарного научного фонда «БРФФИ–РГНФ-2013».	2	68
Совместный двусторонний межрегиональный конкурс 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)-2013»	2	72
Конкурс совместных научных проектов БРФФИ и Государственного фонда фундаментальных исследований Украины «БРФФИ–ГФФИУ-2013»	2	73
Совместный трехсторонний межрегиональный конкурс в приграничных областях Беларуси, России и Украины на проведение фундаментальных исследований по актуальным межрегиональным научным проблемам природопользования и экологии «БРФФИ–РФФИ–ГФФИУ-2013»	2	86
Совместный тематический конкурс исследовательских проектов БРФФИ и Объединенного института ядерных исследований «БРФФИ–ОИЯИ-2013».	2	88
Конкурс совместных проектов фундаментальных исследований Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Академии наук Молдовы «БРФФИ–АНМ-2013»	2	90
Конкурс совместных научных проектов БРФФИ и Научно-технологического фонда Монголии «БРФФИ–НТФМ-2013»	2	93
Перечень международных научно-технических проектов «ГКНТ–Литва».	2	94
Перечень международных научно-технических проектов «ГКНТ–Корея».	2	98
Перечень международных научно-технических проектов «ГКНТ–Индия»	2	100
Перечень научных трудов, изданных при финансовой поддержке БРФФИ в 2012 г.	2	102
Конкурсы и семинары, поддержанные БРФФИ в 2012 г.	2	103
Конкурс совместных научных проектов Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Фонда развития науки при Президенте Азербайджанской Республики «БРФФИ–ФРНА-2013»	4	12
Совместный тематический конкурс фундаментальных и прикладных научных исследований Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Витебского областного исполнительного комитета «БРФФИ–Витебск-2013»	4	14

Конкурс совместных научных проектов Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Национального центра научных исследований Франции «БРФФИ–НЦНИ-2013»	4	16
Конкурс совместных проектов фундаментальных исследований «НАН Беларуси (БРФФИ)–Индонезии»	4	18

ПОДДЕРЖКА НАУКИ: МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ

Международный белорусско-французский научный семинар	4	19
--	---	----

Национальная академия наук Беларуси

ВЕСТНИК ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, № 4, 2013

на русском и белорусском языках

Редактор Т. П. Петрович

Компьютерная верстка С. Н. Костюк

Подписано в печать 24.12.2013. Выход в свет 30.12.2013. Формат 70 × 100^{1/16}. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 10,73. Уч.-изд. л. 9,2. Тираж 130 экз. Заказ 170.

Цена номера; индивидуальная подписка – 32050 руб.; ведомственная подписка – 32706 руб.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/18 от 02.08.2013. Ул. Ф. Скорины, 40, 220141, Минск.