

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

Издается с III квартала 1997 г.



№ 3 [53], 2010

**ВЕСТНИК
ФОНДА
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

Учредитель:
Белорусский
республиканский
фонд
фундаментальных
исследований

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

Издатель:
РУП «Издательский дом
«Беларуская навука»

Главный редактор

В. А. Орлович

Заместители главного редактора

Е. М. Бабосов

В. И. Недилько

Ответственный секретарь

Н. Н. Костюкович

Члены редколлегии:

В. Ф. Багинский

Н. Н. Бамбалов

А. В. Бильдюкевич

П. А. Витязь

И. В. Гайшун

М. И. Демчук

А. К. Карabanов

А. В. Кильчевский

А. В. Кухарев

П. Д. Кухарчик

А. И. Лесникович

А. А. Махнач

А. Г. Мрочек

М. И. Мушинский

П. Г. Никитенко

В. Н. Новиков

В. П. Пархоменко

Б. А. Плотников

В. И. Прокошин

В. И. Стражев

Л. М. Томильчик

Ю. С. Харин

Л. В. Хотылева

И. И. Цыркун

В. Н. Шимов

Минск, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

КОНКУРСЫ БРФФИ: НОРМАТИВНАЯ БАЗА

Условия конкурса БРФФИ на соискание грантов развития «Ученый-2011»	5
Условия конкурса совместных проектов фундаментальных исследований БРФФИ и Государственного фонда фундаментальных исследований Украины «БРФФИ–ГФФИУ-2011»	10
Условия совместного трехстороннего межрегионального конкурса в приграничных Гомельской, Брянской и Черниговской областях на проведение фундаментальных исследований по научным проблемам последствий чернобыльской катастрофы «БРФФИ–РФФИ–ГФФИУ-2011»	15
Условия конкурса выполняемых в контакте с зарубежными учеными проектов фундаментальных исследований БРФФИ «Наука МС-2011»	19
Условия совместного тематического конкурса исследовательских проектов БРФФИ и Объединенного института ядерных исследований «БРФФИ–ОИЯИ-2011»	24
Условия конкурса совместных проектов фундаментальных исследований БРФФИ и Научно-технологического фонда Монголии «БРФФИ–НТФМ-2011»	28
Условия совместного тематического конкурса БРФФИ и Российского гуманитарного научного фонда по научным проблемам древнего Полоцка «БРФФИ–РГНФ «Полоцк-2011»	33
Условия объединенного республиканского конкурса Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований «Наука (НАНБ–вузы)-2011»	38

ИТОГИ КОНКУРСОВ

Конкурс совместных проектов фундаментальных исследований Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Румынской академии «БРФФИ–РА-2010»	42
Перечень научных трудов, изданных при финансовой поддержке БРФФИ в 2009 г.	44
Перечень республиканских и международных научных мероприятий, поддержанных БРФФИ в 2009 г.	45

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Романов С. Л., Золотой С. А. Методические принципы организации системы комплексного мониторинга крупных природно-хозяйственных регионов космическими средствами ...	48
Сапегин Л. М., Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф. Радиоактивное загрязнение хозяйственно ценных видов растений природных экосистем Ветковского района Гомельской области	64
Требенок А. Н., Окаев Е. Б. Ионные жидкости со свойствами протонных кислот: методы получения и применение в органическом синтезе	72
Барун В. В., Иванов А. П., Петрук В. Г., Кватернюк С. М. Развитие оптических методов диагностики биологических тканей по рассеянному излучению. I. Спектры отражения ...	90
Домаш В. И., Иванов О. А., Даш Ц., Батсүрэн Д., Сэлэнгэ Э., Батхуу Ж., Шарпио Т. П., Забрейко С. А. Биологически активные компоненты дикорастущих видов семейства <i>Compositae</i> флоры Монголии	99
Цилибина В. М. Анализ энергоэффективности экономик Беларуси и Молдовы	108
Головченко Л. А. Токсикообразование у грибов рода <i>Botrytis</i> , паразитирующих на декоративных растениях	121
Огурцова С. Э., Афонин В. Ю., Малей Л. П. Модификация астаксантином мутагенного эффекта митомицина С и стрептонирина в клетках костного мозга мышей	128

ЮБИЛЕИ ИЗВЕСТНЫХ УЧЕНЫХ

Костюкович Н. Н. Нобелевский лауреат Дуглас Д. Ошеров: как достигается успех в науке	134
---	-----

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

Issued since the 3rd quarter of 1997



N 3 [53], 2010

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

The founder:
The Belarusian
Republican
Foundation
for Fundamental
Research

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

The publisher:
RUE «Publishing House
«Belaruskaya navuka»

**VESTNIK
OF THE FOUNDATION
FOR FUNDAMENTAL
RESEARCH**

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief
V. A. Orlovich

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

Executive Secretary
N. N. Kostyukovich

Editorial board members:

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

Minsk, 2010

CONTENTS

BRFFR COMPETITIONS: NORMATIVE BASE

Terms of the BRFFR competition «Scientist-2011» of proposals for grants for development.....	5
Terms of joint competition «BRFFR–FRSF-2011» of fundamental research projects of the BRFFR and the Fundamental Researches State Fund of Ukraine	10
Terms of the joint tripartite interregional competition «BRFFR–RFBR–FRSF–2011» in the cross-border Gomel, Bryansk and Chernigov oblasts to conduct fundamental research on scientific problems of consequences of the Chernobyl disaster	15
Terms of the BRFFR competition «Science MS-2011» of proposals for performing fundamental research projects in contacts with foreign scientists.....	19
Terms of joint thematic competition «BRFFR–JINR-2011» of research projects of the BRFFR and the Joint Institute for Nuclear Research	24
Terms of competition «BRFFR–MFST-2011» of joint fundamental research projects of the BRFFR and the Mongolian Foundation for Science and Technology	28
Terms of joint thematic competition «BRFFR–RHF «Polotsk-2011» of the BRFFR and the Russian Humanitarian Foundation on scientific problems of ancient Polotsk.....	33
Terms of the BRFFR joint republican competition «Science (NASB–HEI)-2011»	38

COMPETITIONS RESULTS

Joint competition «BRFFR–RA-2010» of fundamental research projects of the BRFFR and the Romanian Academy	42
A list of scientific works published under BRFFR financial support in 2009.....	44
A list of republican and international scientific conferences supported by BRFFR in 2009	45

SCIENTIFIC PUBLICATIONS

Romanov S. L., Zolotoy S. A. Methodological principles of the system for integrated monitoring of the major natural-economic regions of farm space vehicles.....	48
Sapegin L. M., Dajneko N. M., Timofeev S. F. Radioactive contamination of medicinal and other economically valuable plant kinds of natural ecosystems of Vetka district Gomel region bordering Bryansk region in Russia	64
Trabianok A. M., Akayeu Y. B. Ionic liquids with broensted acid properties: preparation methods and use in organic synthesis.....	72
Barun V. V., Ivanov A. P., Petruk V. G., Kvaternyuk S. M. Development of optical methods for diagnosing biological tissues by scattered light. I. Reflectance spectra.....	90
Domash V. I., Ivanov O. A., Dash Z., Batsuren D., Selenge E., Batkhoo J., Scharpio T. P., Sabreiko S. A. Biologically active components of Mongolian flora wild species of the <i>Compositae</i>	99
Tsilibina V. M. Analysis of the energy efficiency of the economies of Belarus and Moldova.....	108
Halouchanka L. A. Toxinogenesis of <i>Botrytis</i> species associated with ornamental plants.....	121
Ogurtsova S. A., Afonin V. Yu., Malei L. P. The modification of mytagen effect of mitomycin C and streptonigrin by astaxantin in bone marrow cells of mice.....	128

ANNIVERSARIES OF FAMOUS SCIENTISTS

Kostyukovich N. N. The Nobel Laureate Douglas D. Osheroff: How Advancements in Science are Made.....	134
---	-----

КОНКУРСЫ БРФФИ: НОРМАТИВНАЯ БАЗА

УТВЕРЖДЕНЫ

Решением Научного совета БРФФИ
от 29 апреля 2010 г. (протокол № 1)

УСЛОВИЯ

конкурса Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований на соискание грантов развития «Ученый-2011»

Общие принципы

1. Конкурс Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований на соискание грантов развития «Ученый-2011» объявляется для ученых, которые имеют высокий научный авторитет, подтвержденный личными публикациями в известных зарубежных рецензируемых научных журналах. Конкурс направлен на расширение возможностей зарекомендовавших себя одаренных ученых в дальнейшем развивать заявленное научное направление, в котором они добились успехов.

2. Гранты присуждаются на конкурсной основе на двухлетний срок ученым — докторам наук в возрасте до 45 лет, которые работают в организациях Республики Беларусь и подтвердили документально в ходе конкурса свою высокую научную квалификацию. В отдельных случаях могут рассматриваться заявки кандидатов наук в возрасте до 35 лет.

3. Всего выделяется 7 грантов, по 1 гранту в следующих областях фундаментальных научных исследований:

- физика, математика и информатика;
- технические науки;
- химия и науки о Земле;
- биологические науки;
- медицинские науки;
- аграрные науки;
- гуманитарные науки.

Тематика исследований должна соответствовать приоритетным направлениям научных исследований в соответствии с перечнем, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 № 585, и отвечать мировым тенденциям развития науки.

4. По результатам конкурса осуществляется целевое финансирование проектов фундаментальных исследований, прошедших отбор в экспертных советах

и секциях Научного совета Фонда на основе заключений независимых экспертов и принятых к финансированию Научным советом Фонда.

Одно и то же лицо (в качестве как руководителя, так и исполнителя) может одновременно входить в состав исполнителей не более трех исследовательских проектов, включая конкурсы 2010 г.: одного общереспубликанского («Наука», «Наука М», «Ученый»), одного целевого республиканского («БРФФИ–Брест», «БРФФИ–МСХП» и др.) и одного международного, включая конкурс «Наука МС», или одного республиканского любого вида и двух международных, включая конкурс «Наука МС». Проекты, которые заканчиваются в I квартале 2011 г., не учитываются.

При этом ученый может быть руководителем не более двух проектов, а в рамках одного вида конкурсов участвовать (в качестве как руководителя, так и исполнителя) не более чем в одном проекте.

Если при подаче заявки на конкурс 2011 г. обнаружится нарушение любого из вышеперечисленных ограничений, то эта заявка не будет допущена к конкурсу.

5. Финансирование работ по грантам развития осуществляется на основе договоров между Фондом и организациями — исполнителями проектов за счет средств республиканского бюджета. Объем гранта для ученого, выполняющего экспериментальные исследования, на 5 млн рублей больше, чем для ученого-теоретика. Эта сумма предназначается для приобретения материалов и комплектующих.

Приветствуется доленое участие в финансировании работ организаций — исполнителей проектов, а также заказчиков, заинтересованных в проведении фундаментальных исследований по конкретным научным направлениям.

Необходимым условием предоставления Фондом грантов является обязательство ученых сделать результаты исследований общественным достоянием с опубликованием их в научных изданиях с указанием о поддержке Фонда.

6. Гранты Фонда, по которым исполнители не заключили без уважительных причин договоры в течение двух месяцев со дня объявления итогов конкурса, отменяются.

Требования к соискателям грантов развития

7. Каждый соискатель гранта должен иметь:

— не менее 6 статей в авторитетных зарубежных рецензируемых научных журналах или 2 монографии, опубликованные (принятые к печати) в течение последних трех лет;

— не менее 2 приглашенных, пленарных или ключевых (keynot) докладов на крупных международных конференциях, проведенных вне пределов СНГ в течение последних трех лет.

При рассмотрении заявок учитывается:

— наличие опубликованных монографий и обзорных статей;

— наличие патентов на изобретения и поданных заявок на получение патентов;

— членство в программных комитетах крупных международных научных конференций;

- публикации статей в журналах с наиболее высоким индексом цитирования;
- наличие научных премий, почетных научных званий и наград;
- членство в международных научных обществах и организациях;
- подготовка кандидатов и докторов наук, руководство аспирантами, докторантами и соискателями ученых степеней.

При прочих равных условиях предпочтение отдается соискателям, которые проводят научные исследования в рамках государственных комплексных программ научных исследований, государственных программ фундаментальных исследований, государственных программ ориентированных фундаментальных исследований.

8. Соискателями грантов могут быть научные работники и специалисты, которые на 1 января 2011 г. не достигнут возраста, указанного в п. 2 настоящих Условий.

Соискателем гранта не может быть ученый, который получает другие именные гранты или стипендии.

Порядок представления и рассмотрения заявок на гранты

9. Заявка на конкурс вносится по установленным формам в трех отдельно скрепленных экземплярах. В обязательном порядке представляется также электронный вариант заявочных материалов, сформированных в соответствии с инструкцией по составлению электронного варианта заявки. Заявитель несет ответственность, вплоть до снятия заявки с конкурса, за соответствие электронного варианта заявки заявке на бумажном носителе.

Заявка должна содержать следующие документы:

- титульный лист заявки (форма П1У);
- ходатайство ученого (научного, научно-технического) совета организации по основному месту работы соискателя, содержащее рекомендацию о допуске заявки к конкурсу. В ходатайстве должна быть приведена краткая характеристика заявителя и его научной деятельности, планируемых исследований;
- аннотацию (форма П2У);
- обоснование проекта (форма П3У);
- научную биографию заявителя (форма П4У);
- калькуляцию сметной стоимости проекта (форма П5У) с расшифровкой статей затрат. Приобретение оборудования не финансируется. Если в процессе выполнения проекта возникнет острая необходимость в приобретении научного оборудования, решение по данному вопросу принимается бюро Научного совета Фонда по ходатайству организации-исполнителя с подробным обоснованием такой необходимости. При этом расходы на эти цели не должны превышать 10 % от плановой себестоимости проекта. При наличии организаций-соисполнителей представляется также лист согласования расходов. При представлении заявок на исследования, требующие использования дорогостоящей инфраструктуры (сложных приборов коллективного пользования и др.) и дорогостоящих образцов, добытых в рамках других программ и проектов (образцов горных пород, биологических образцов и препаратов и др.), авторам необходимо приложить письменное согласие руководителей соответствующих организаций на доступ к такой инфраструктуре и образцам;

- заверенный список публикаций ученого (форма ПБУ);
- информацию о полученных исполнителями проекта стипендиях Президента Республики Беларусь, а также поощрениях специального фонда Президента Республики Беларусь по социальной поддержке одаренных учащихся и студентов (когда, какие);
- сведения в соответствии с п. 7 настоящих Условий, подписанные заявителем и руководителем организации;
- дополнительные материалы, прилагаемые по желанию заявителя.

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

Фонд воздерживается от рекомендаций по изменению или дополнению формулировок в материалах заявок, представленных на конкурс, по существу их содержания. По принятым к финансированию проектам секции Научного совета Фонда имеют право вносить предложения по изменению названий проектов и уточнению отдельных их положений, которые обязательны к исполнению руководителями проектов на стадии подготовки договоров на выполнение НИР.

К материалам заявки прилагаются в двух экземплярах копии научных трудов, опубликованных за последние 3 года (до 10 наименований по выбору заявителя), которые скрепляются со 2-м и 3-м экземплярами заявки.

10. Экспертиза заявок, поступающих на конкурс, проводится экспертными советами и секциями Научного совета Фонда. Заявка, допущенная к участию в конкурсе, направляется на экспертизу не менее чем двум экспертам.

При рассмотрении заявок оценивается:

- соответствие целей, задач и тематики проектов приоритетным направлениям научных исследований Республики Беларусь в соответствии с перечнем, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 № 585, а также мировым тенденциям развития науки;
- наличие четко сформулированной и обоснованной идеи (гипотезы) проекта, степень ее оригинальности;
- научная значимость запланированных результатов и возможность их практической реализации:
 - в виде экспериментальных образцов, прошедших испытания в производственных условиях, опытных образцов, опытных партий или промышленных серий в различного вида производствах;
 - при выполнении заданий государственных научно-технических программ или программ Союзного государства;
 - в издании учебников и других учебных материалов в системе образования;
 - в патентах на изобретения, подтверждающих предпосылку для практической реализации, в том числе и на производстве;
 - в заключении контрактов с зарубежными организациями на выполнение разработок по результатам фундаментальных исследований и выполнении международных проектов;
 - в использовании результатов НИР в материалах государственных органов Республики Беларусь;

- соответствие программы исследования целям и задачам проекта, а также возможность достижения ожидаемых конечных результатов;
- наличие необходимой материально-технической базы;
- научная квалификация заявителя в соответствии с п. 7 настоящих Условий;
- результативность предыдущих проектов по Фонду, выполненных под руководством данного ученого.

Решение о выделении грантов принимается Научным советом Фонда.

Сроки и условия участия в конкурсе

11. Заявки на конкурс принимаются по 3 ноября 2010 г. Для иногородних дата определяется по штемпелю на почтовом отправлении.

Заявки, оформленные с отклонениями от правил или представленные после объявленного срока, не допускаются к конкурсу. Не допускаются последующие замены страниц и изменения в тексте документов.

Информация о поступлении в Фонд и регистрации заявок выдается авторам по их запросу.

12. Фонд сообщает только окончательные результаты конкурса, публикуя списки поддержанных заявок в журнале «Вестник Фонда фундаментальных исследований» и на Web-сайте Фонда, а также информируя заявителей, получивших гранты, в течение месяца после его завершения.

Апелляции на решения Научного совета и рабочих органов Фонда не принимаются и не рассматриваются. Информация о ходе рассмотрения заявок является конфиденциальной. Представленные на конкурс материалы не возвращаются.

13. Материалы направляются в адрес исполнительной дирекции Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований: 220072, г. Минск, пр. Независимости, 66, к. 101, тел. для справок: 294-92-16 (физика, математика и информатика), 284-27-22 (технические науки), 294-93-36 (химия и науки о Земле), 284-06-38 (гуманитарные науки), 294-92-17 (биологические, медицинские и аграрные науки), 294-93-35 (бухгалтерия); факс 284-08-97.

Условия конкурса и формы заявочных материалов могут быть скопированы на электронный носитель в исполнительной дирекции Фонда или с сайта Фонда <http://fond.bas-net.by> в разделе «Объявленные конкурсы».

УТВЕРЖДЕНЫ
решением Научного совета БРФФИ
от 29 апреля 2010 г. (протокол № 1)

У С Л О В И Я

конкурса совместных проектов фундаментальных исследований Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Государственного фонда фундаментальных исследований Украины «БРФФИ–ГФФИУ-2011»

Общие положения

1. Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (БРФФИ) и Государственный фонд фундаментальных исследований Украины (ГФФИУ) в соответствии с заключенным между ними Соглашением о сотрудничестве объявляют конкурс совместных проектов фундаментальных и поисковых исследований с целью консолидации усилий Фондов для финансирования актуальных научных исследований, выполняемых совместно учеными Республики Беларусь и Украины в соответствии с перечнем, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 № 585. Конкурс проводится в следующих областях фундаментальных исследований:

- физика, математика и информатика (01);
- технические науки (02);
- химия и науки о Земле (03);
- биологические, медицинские и аграрные науки (04);
- гуманитарные науки (05).

3. На конкурс принимаются научные проекты следующих видов:

3.1. исследовательские проекты, выполняемые небольшими научными коллективами белорусских и украинских ученых;

3.2. проекты организации белорусско-украинских и украинско-белорусских научных мероприятий (конференций, семинаров и т. д.) на территории Беларуси и Украины;

3.3. проекты организации совместных белорусско-украинских научных экспедиций, полевых исследований, экспериментально-лабораторных и научно-реставрационных работ.

4. Заявки на конкурс подаются одновременно в оба Фонда в соответствии с установленными в них формами, при этом белорусские ученые — в БРФФИ, украинские — в ГФФИУ. В БРФФИ принимаются заявки научных коллективов и отдельных ученых из организаций Республики Беларусь. Заявки представляются на русском или белорусском языке.

Состав участников, наименование проекта, ключевые слова, основные формулировки в обоих вариантах должны быть идентичными (конкурсы видов 3.1 и 3.3), а программа исследований — взаимно согласованной по срокам и содержанию. В программе исследований должно быть четко отражено, какие задачи выполняет белорусская сторона, а какие — украинская.

5. По результатам конкурса осуществляется целевое финансирование проектов, успешно прошедших экспертизу в обоих Фондах, при этом решение о выделении грантов стороны принимают совместно. Каждая сторона финансирует свою часть исследований.

Одно и то же лицо (в качестве как руководителя, так и исполнителя) может одновременно входить в состав исполнителей не более трех исследовательских проектов, включая конкурсы 2010 г.: одного общереспубликанского («Наука», «Наука М», «Ученый»), одного целевого республиканского («БРФФИ–Брест», «БРФФИ–МСХП» и др.) и одного международного, включая конкурс «Наука МС», или одного республиканского любого вида и двух международных, включая конкурс «Наука МС». Проекты, которые заканчиваются в 1 квартале 2011 г., не учитываются.

При этом ученый может быть руководителем не более двух проектов, а в рамках одного вида конкурсов участвовать (в качестве как руководителя, так и исполнителя) не более чем в одном проекте.

Если при подаче заявки на конкурс 2011 г. обнаружится нарушение любого из вышеперечисленных ограничений, то эта заявка не будет допущена к конкурсу.

6. Финансирование работ по совместным проектам со стороны БРФФИ осуществляется на основе договоров между Фондом и организациями — исполнителями проектов с белорусской стороны за счет средств республиканского бюджета. Приветствуется долевое участие в финансировании работ организаций — исполнителей проектов, а также заказчиков, заинтересованных в проведении фундаментальных исследований по конкретным научным направлениям. В случае необходимости организации-исполнители белорусской и украинской сторон заключают между собой соглашение о защите и использовании прав интеллектуальной собственности (типовое соглашение находится в формах заявочных материалов).

Условия финансирования украинских исполнителей проектов определяются правилами ГФФИУ. В итоговом отчете по проекту должны быть отражены в отдельной главе достижения, полученные учеными украинской стороны.

Необходимым условием предоставления грантов является обязательство ученых сделать результаты исследований общественным достоянием с опубликованием их в научных изданиях с указанием о поддержке Фондов.

7. Гранты Фондов, по которым исполнители не заключили без уважительных причин договоры в течение двух месяцев со дня объявления итогов конкурса, отменяются.

Требования к проектам, представляемым на конкурс в БРФФИ

8. На конкурс проектов вида 3.1 и 3.3 представляются научные проекты по приоритетным направлениям фундаментальных научных исследований, способные внести существенный вклад в расширение и углубление научных знаний, отличающиеся новизной в постановке и методах проведения исследований и имеющие большую научную и практическую значимость.

9. При рассмотрении проектов оцениваются:

– соответствие целей, задач и тематики проектов приоритетным направлениям фундаментальных научных исследований в соответствии с перечнем, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 № 585, а также мировым тенденциям развития науки;

– наличие четко сформулированной и обоснованной идеи (гипотезы) проекта, степень ее оригинальности;

– научная значимость запланированных результатов и возможность их практической реализации:

в виде экспериментальных образцов, прошедших испытания в производственных условиях, опытных образцов, опытных партий или промышленных серий в различного вида производствах;

при выполнении заданий государственных научно-технических программ или программ Союзного государства;

в издании учебников и других учебных материалов в системе образования;

в патентах на изобретения, подтверждающих предпосылку для практической реализации, в том числе и на производстве;

в заключении контрактов с зарубежными организациями на выполнение разработок по результатам фундаментальных исследований и выполнении международных проектов;

в использовании результатов НИР в материалах государственных органов Республики Беларусь;

– соответствие программы исследования целям и задачам проекта, а также возможность достижения ожидаемых конечных результатов;

– научная квалификация руководителя проекта и всего научного коллектива;

– наличие необходимой материально-технической базы;

– результативность предыдущих проектов по Фонду, выполненных под руководством данного ученого.

Преимущество отдается проектам, направленным на решение актуальных научных проблем по приоритетным направлениям научно-технического и социально-экономического развития Республики Беларусь, а также проектам, в состав исполнителей которых входят представители региональных научных организаций и/или отраслевых НИИ и КБ.

Руководитель проекта должен иметь не менее трех статей в авторитетных научных журналах и/или патентов или монографию по научному направлению проекта, опубликованных в течение последних трех лет.

10. Срок выполнения проекта вида 3.1, как правило, не должен превышать двух лет, а проекта вида 3.3 — одного года.

Дублирование плановой тематики не допускается.

Если в процессе конкурса исполнители получили по заявленной теме финансирование из другого источника, то они обязаны в месячный срок поставить Фонд об этом в известность. В противном случае заявка будет снята с конкурса (при получении гранта он будет отменен), а исполнители — лишены права участвовать во всех конкурсах Фонда в течение 5 лет.

Проекты, участвовавшие в предыдущих конкурсах Фонда, к участию в конкурсе «БРФФИ–ГФФИУ-2011» не допускаются.

11. Заявка на конкурс вносится по установленным формам в трех отдельно скрепленных экземплярах. В обязательном порядке представляется также электронный вариант заявочных материалов, сформированных в соответствии с инструкцией по составлению электронного варианта заявки. Заявитель несет ответственность, вплоть до снятия проекта с конкурса, за соответствие электронного варианта заявки заявке на бумажном носителе.

Материалы заявки должны включать:

- титульный лист заявки (форма П1К);
- аннотацию (форма П2К);
- обоснование проекта (форма П3К), в котором обязательно приводится аргументация целесообразности проведения совместных исследований с указанием возможностей, которые могут быть предоставлены украинским партнером белорусской стороне (использование оборудования, реактивов, материалов, научной литературы, освоение методик и др.), а также приводится план работы партнера;

- научные биографии руководителей проекта (форма П4К);

- калькуляцию сметной стоимости проекта с белорусской стороны (форма П5К) с расшифровкой статей затрат, при этом количество штатных единиц не должно превышать пяти. Приобретение оборудования не финансируется. Если в процессе выполнения проекта возникнет острая необходимость в приобретении научного оборудования, решение по данному вопросу принимается бюро Научного совета Фонда по ходатайству организации-исполнителя с подробным обоснованием такой необходимости. При этом расходы на эти цели не должны превышать 10 % от плановой себестоимости проекта. При наличии организаций-соисполнителей с белорусской стороны представляется также лист согласования расходов, ограничение на количество штатных единиц в этом случае сохраняется;

- перечень научных трудов руководителя проекта по научному направлению проекта (до 10 наименований), опубликованных в течение последних трех лет на дату подачи заявки (форма П6К).

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

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

Фонд воздерживается от рекомендаций по изменению или дополнению формулировок в материалах заявок, представленных на конкурс, по существу их содержания. По принятым к финансированию проектам секции Научного совета Фонда имеют право вносить предложения по изменению названий проектов и уточнению отдельных их положений, которые обязательны к исполнению

руководителями проектов на стадии подготовки договоров на выполнение НИР.

К материалам заявки прилагаются в двух экземплярах копии опубликованных научных трудов по тематике проекта (до 5 наименований), которые скрепляются со 2-м и 3-м экземплярами заявки.

12. На конкурс проектов вида 3.2 представляются:

титальный лист заявки (форма П1К) и материалы в соответствии с Условиями конкурса БРФФИ на соискание грантов финансовой поддержки республиканских и международных научных мероприятий на 2010—2011 годы (если научное мероприятие проводится в Республике Беларусь);

титальный лист заявки (форма П1К) и материалы в соответствии с Условиями конкурса БРФФИ на соискание грантов финансовой поддержки участия ученых в зарубежных научных мероприятиях на 2010—2011 годы (если научное мероприятие проводится в Украине).

Сроки и условия участия в конкурсе

13. Заявки на конкурс в БРФФИ принимаются по 3 ноября 2010 года включительно. Для иногородних дата определяется по штемпелю на почтовом отправлении. Телефон для справок в ГФФИУ — +380-44-246-39-30.

К конкурсу не допускаются заявки, оформленные с отклонениями от правил или представленные после объявленного срока. Не допускаются последующие замены страниц и изменения в тексте поданного проекта.

Информация о поступлении в Фонд и регистрации заявок выдается авторам по их запросу.

14. Фонд сообщает только окончательные результаты конкурса, информируя руководителей проектов, получивших гранты, в течение месяца после его завершения и публикуя списки поддержанных проектов в журнале «Вестник Фонда фундаментальных исследований» и на Web-сайте Фонда.

Апелляции на решения Научного совета и рабочих органов Фонда не принимаются и не рассматриваются. Информация о ходе рассмотрения заявок, включая рецензии на них, является конфиденциальной.

Представленные на конкурс материалы не возвращаются.

15. Материалы направляются в адрес исполнительной дирекции Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований: 220072, г. Минск, пр. Независимости, 66, к. 101, тел. для справок: 294-92-16 (физика, математика и информатика), 284-27-22 (технические науки), 294-93-36 (химия и науки о Земле), 294-92-17 (биологические, медицинские и аграрные науки), 284-06-38 (гуманитарные науки), 294-93-35 (бухгалтерия); факс 284-08-97.

Условия конкурса и формы заявочных материалов могут быть скопированы на электронный носитель в исполнительной дирекции Фонда или с сайта Фонда <http://fond.bas-net.by> в разделе «Объявленные конкурсы».

УТВЕРЖДЕНЫ
решением Научного совета БРФФИ
от 29 апреля 2010 г. (протокол № 1)

УСЛОВИЯ

совместного трехстороннего межрегионального конкурса в приграничных Гомельской, Брянской и Черниговской областях на проведение фундаментальных исследований по научным проблемам последствий чернобыльской катастрофы «БРФФИ–РФФИ–ГФФИУ-2011»

Общие положения

1. Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (БРФФИ), Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) и Государственный фонд фундаментальных исследований Украины (ГФФИУ) в соответствии с Меморандумом о взаимодействии по вопросам проведения совместных трехсторонних региональных конкурсов приграничных областей объявляют совместный трехсторонний межрегиональный конкурс в приграничных Гомельской, Брянской и Черниговской областях на проведение фундаментальных исследований по научным проблемам последствий чернобыльской катастрофы.

2. На конкурс принимаются научные проекты фундаментальных исследований, выполняемые научными коллективами белорусских, российских и украинских ученых.

3. Заявки на конкурс подаются одновременно в фонды трех стран в соответствии с установленными в них формами, при этом белорусские ученые — в БРФФИ, российские — в РФФИ, украинские — в ГФФИУ. В БРФФИ принимаются заявки научных коллективов и отдельных ученых из организаций Республики Беларусь. Заявки представляются на русском или белорусском языке.

Наименование проекта, состав участников, ключевые слова, основные формулировки во всех вариантах должны быть идентичными, а программа исследований — взаимно согласованной по срокам и содержанию. В программе исследований должно быть четко отражено, какие задачи выполняет белорусская сторона, какие — российская и какие — украинская.

4. По результатам конкурса осуществляется целевое финансирование проектов, успешно прошедших экспертизу во всех фондах, при этом решение о выделении грантов стороны принимают совместно. Каждая сторона финансирует свою часть исследований.

Одно и то же лицо (в качестве как руководителя, так и исполнителя) может одновременно входить в состав исполнителей не более трех исследовательских проектов, включая конкурсы 2010 г.: одного общереспубликанского («Наука», «Наука М», «Ученый»), одного целевого республиканского («БРФФИ–Брест», «БРФФИ–МСХП» и др.) и одного международного, включая конкурс «Наука МС», или одного республиканского любого вида и двух международных, включая конкурс «Наука МС». Проекты, которые заканчиваются в 1 квартале 2011 г., не учитываются.

При этом ученый может быть руководителем не более двух проектов, а в рамках одного вида конкурсов участвовать (в качестве как руководителя, так и исполнителя) не более чем в одном проекте.

Если при подаче заявки на конкурс 2011 г. обнаружится нарушение любого из вышеперечисленных ограничений, то эта заявка не будет допущена к конкурсу.

5. Финансирование работ по совместным проектам со стороны БРФФИ осуществляется на основе договоров между БРФФИ и организациями — исполнителями проектов с белорусской стороны за счет средств республиканского бюджета. Приветствуется доленое участие организаций-исполнителей в финансировании работ, а также заказчиков, заинтересованных в проведении фундаментальных исследований по конкретным научным направлениям. В случае необходимости организации-исполнители белорусской, российской и украинской сторон заключают между собой соглашение о защите и использовании прав интеллектуальной собственности (типовое соглашение находится в формах заявочных материалов).

Условия финансирования российских и украинских исполнителей проектов определяются положениями и правилами РФФИ и ГФФИУ.

В итоговом отчете по проекту должны быть отражены в отдельной главе достижения, полученные учеными российской и украинской сторон.

Необходимым условием предоставления грантов является обязательство ученых сделать результаты исследований общественным достоянием с опубликованием их в научных изданиях с указанием о поддержке фондов.

6. Гранты фондов, по которым исполнители не заключили без уважительных причин договоры в течение двух месяцев со дня объявления итогов конкурса, отменяются.

Требования к проектам, представляемым на конкурс в БРФФИ

7. На конкурс представляются научные проекты по приоритетным направлениям фундаментальных научных исследований Республики Беларусь, способные внести существенный вклад в расширение и углубление научных знаний, отличающиеся новизной в постановке и методах проведения исследований и имеющие большую научную и практическую значимость.

8. При рассмотрении проектов оцениваются:

— соответствие целей, задач и тематики проектов приоритетным направлениям фундаментальных научных исследований в соответствии с перечнем, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 № 585, а также мировым тенденциям развития науки;

— наличие четко сформулированной и обоснованной идеи (гипотезы) проекта, степень ее оригинальности;

— научная значимость запланированных результатов и возможность их практической реализации:

в виде экспериментальных образцов, прошедших испытания в производственных условиях, опытных образцов, опытных партий или промышленных серий в различного вида производствах;

при выполнении заданий государственных научно-технических программ или программ Союзного государства;

в издании учебников и других учебных материалов в системе образования;

в патентах на изобретения, подтверждающих предпосылку для практической реализации, в том числе и на производстве;

в заключении контрактов с зарубежными организациями на выполнение разработок по результатам фундаментальных исследований и выполнении международных проектов;

в использовании результатов НИР в материалах государственных органов Республики Беларусь;

– соответствие программы исследования целям и задачам проекта, а также возможность достижения ожидаемых конечных результатов;

– научная квалификация руководителя проекта и всего научного коллектива;

– наличие необходимой материально-технической базы;

– результативность предыдущих проектов по Фонду, выполненных под руководством данного ученого.

Преимущество отдается проектам, направленным на решение актуальных научных проблем по приоритетным направлениям научно-технического и социально-экономического развития Республики Беларусь, а также проектам, в состав исполнителей которых входят представители региональных научных организаций и/или отраслевых НИИ и КБ.

Руководитель проекта должен иметь не менее трех статей в авторитетных научных журналах и/или патентов или монографию по научному направлению проекта, опубликованных в течение последних трех лет.

9. Срок выполнения проекта, как правило, не должен превышать двух лет. Дублирование плановой тематики не допускается.

Если в процессе конкурса исполнители получили по заявленной теме финансирование из другого источника, то они обязаны в недельный срок поставить Фонд об этом в известность. В противном случае заявка будет снята с конкурса (при получении гранта он будет отменен), а исполнители — лишены права участвовать во всех конкурсах Фонда в течение 5 лет.

Проекты, участвовавшие в предыдущих конкурсах Фонда, к участию в конкурсе «БРФФИ–РФФИ–ГФФИУ-2011» не допускаются.

10. Заявка на конкурс вносится по установленным формам в трех отдельно скрепленных экземплярах. В обязательном порядке представляется также электронный вариант заявочных материалов, сформированных в соответствии с инструкцией по составлению электронного варианта заявки. Заявитель несет ответственность, вплоть до снятия проекта с конкурса, за соответствие электронного варианта заявки заявке на бумажном носителе.

Материалы заявки должны включать:

– титульный лист заявки (форма П1БРУ);

– аннотацию (форма П2БРУ);

– обоснование проекта (форма П3БРУ), в котором обязательно приводится аргументация целесообразности проведения совместных исследований с указанием возможностей, которые могут быть предоставлены российским

и украинским партнерами белорусской стороне (использование оборудования, реактивов, материалов, научной литературы, освоение методик и др.), а также приводятся планы работы партнеров;

- научные биографии руководителей проекта (форма П4БРУ);
- калькуляцию сметной стоимости проекта с белорусской стороны (форма П5БРУ) с расшифровкой статей затрат, при этом количество штатных единиц не должно превышать пяти. Приобретение оборудования не финансируется. Если в процессе выполнения проекта возникнет острая необходимость в приобретении научного оборудования, решение по данному вопросу принимается бюро Научного совета Фонда по ходатайству организации-исполнителя с подробным обоснованием такой необходимости. При этом расходы на эти цели не должны превышать 10 % от плановой себестоимости проекта. При наличии организаций-соисполнителей с белорусской стороны представляется также лист согласования расходов, ограничение на количество штатных единиц в этом случае сохраняется;

- перечень научных трудов руководителя проекта с белорусской стороны по научному направлению проекта (до 10 наименований), опубликованных в течение последних трех лет на дату подачи заявки (форма П6БРУ).

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

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

Фонд воздерживается от рекомендаций по изменению или дополнению формулировок в материалах заявок, представленных на конкурс, по существу их содержания. По принятым к финансированию проектам секции Научного совета Фонда имеют право вносить предложения по изменению названий проектов и уточнению отдельных их положений, которые обязательны к исполнению руководителями проектов на стадии подготовки договоров на выполнение НИР.

К материалам заявки прилагаются в двух экземплярах копии опубликованных научных трудов по тематике проекта (до 5 наименований), которые скрепляются со 2-м и 3-м экземплярами заявки.

Сроки и условия участия в конкурсе

11. Заявки на конкурс в БРФФИ принимаются по 3 ноября 2010 года включительно. Для иногородних дата определяется по штемпелю на почтовом отправлении.

К конкурсу не принимаются заявки, оформленные с отклонениями от правил или представленные после объявленного срока. Не допускаются последующие замены страниц и изменения в тексте поданного проекта.

Информация о поступлении в Фонд и регистрации заявок выдается авторам по их запросу.

12. Фонд сообщает только окончательные результаты конкурса, информируя руководителей проектов, получивших гранты, в течение месяца после его завершения и публикуя списки поддержанных проектов в журнале «Вестник Фонда фундаментальных исследований» и на Web-сайте Фонда.

Апелляции на решения Научного совета и рабочих органов Фонда не принимаются и не рассматриваются. Информация о ходе рассмотрения заявок, включая рецензии на них, является конфиденциальной.

Представленные на конкурс материалы не возвращаются.

13. Материалы направляются в адрес исполнительной дирекции Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований: 220072, г. Минск, пр. Независимости, 66, к. 101, тел. для справок: 294-92-16 (физика, математика и информатика), 284-27-22 (технические науки), 294-93-36 (химия и науки о Земле), 294-92-17 (биологические, медицинские и аграрные науки), 284-06-38 (гуманитарные науки), 294-93-35 (бухгалтерия); факс 284-08-97.

Условия конкурса и формы заявочных материалов могут быть скопированы на электронный носитель в исполнительной дирекции Фонда или с сайта Фонда <http://fond.bas-net.by> в разделе «Объявленные конкурсы».

УТВЕРЖДЕНЫ

решением Научного совета БРФФИ
от 29 апреля 2010 г. (протокол № 1)

УСЛОВИЯ

конкурса выполняемых в контакте с зарубежными учеными проектов фундаментальных исследований Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований «Наука МС-2011»

Общие положения

1. Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (далее — Фонд) объявляет конкурс проектов фундаментальных исследований «Наука МС-2011», проводимых в контакте с зарубежными учеными. Целью конкурса является финансовая поддержка творческих научных коллективов и отдельных ученых, занимающихся решением актуальных проблем по приоритетным направлениям фундаментальных научных исследований в соответствии с перечнем, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 № 585.

Финансированию подлежат проекты, выполняемые в контакте с учеными из стран, имеющих с Республикой Беларусь соглашения (межправительственные, межведомственные и др.), которые предусматривают такой вид сотрудничества. Проекты с учеными из России, Украины, Монголии, Молдовы, Вьетнама,

Азербайджана, Франции, Румынии подаются на совместные конкурсы с Российским фондом фундаментальных исследований, Российским гуманитарным научным фондом, Государственным фондом фундаментальных исследований Украины, Научно-технологическим фондом Монголии, Академией наук Молдовы, Вьетнамской академией наук и технологий, Фондом развития науки Азербайджана, Национальным центром научных исследований Франции, Румынской академией и в конкурсе «Наука МС» не участвуют.

2. Конкурс «Наука МС-2011» проводится в следующих областях фундаментальных исследований:

- физика, математика и информатика (01);
- технические науки (02);
- химия и науки о Земле (03);
- биологические, медицинские и аграрные науки (04);
- гуманитарные науки (05).

3. На конкурс принимаются заявки научных коллективов и отдельных ученых из организаций Республики Беларусь на выполнение проектов, проводимых в контакте с зарубежными учеными по взаимно согласованным программам. Заявки представляются на русском или белорусском языке.

В обязательном порядке прилагается официальное письмо от организации, где работает зарубежный партнер (форма письма прилагается). В программе исследований должно быть четко отражено, какие задачи выполняет белорусская сторона, а какие — зарубежная.

Конкурсный отбор проектов осуществляется в установленном порядке.

4. По результатам конкурса осуществляется целевое финансирование проектов. Каждая сторона финансирует свою часть исследований.

Одно и то же лицо (в качестве как руководителя, так и исполнителя) может одновременно входить в состав исполнителей не более трех исследовательских проектов, включая конкурсы 2010 г.: одного общереспубликанского («Наука», «Наука М», «Ученый»), одного целевого республиканского («БРФФИ–Брест», «БРФФИ–МСХП» и др.) и одного международного, включая конкурс «Наука МС», или одного республиканского любого вида и двух международных, включая конкурс «Наука МС». Проекты, которые заканчиваются в I квартале 2011 г., не учитываются.

При этом ученый может быть руководителем не более двух проектов, а в рамках одного вида конкурсов участвовать (в качестве как руководителя, так и исполнителя) не более чем в одном проекте.

Если при подаче заявки на конкурс 2011 г. обнаружится нарушение любого из вышеперечисленных ограничений, то эта заявка не будет допущена к конкурсу.

5. Финансирование работ по совместным проектам со стороны БРФФИ осуществляется на основе договоров между Фондом и организациями — исполнителями проектов с белорусской стороны за счет средств республиканского бюджета. Приветствуется долевое участие в финансировании работ организаций — исполнителей проектов, а также заказчиков, заинтересованных в проведении фундаментальных исследований по конкретным научным направлениям. В случае необходимости организации-исполнители белорусской

и зарубежной сторон заключают между собой соглашение о защите и использовании прав интеллектуальной собственности (типовое соглашение находится в формах заявочных материалов).

В итоговом отчете по проекту должны быть отражены в отдельной главе достижения, полученные учеными зарубежной стороны.

Необходимым условием предоставления грантов является обязательство ученых сделать результаты исследований общественным достоянием с опубликованием их в научных изданиях и с указанием о поддержке Фонда.

6. Гранты Фонда, по которым исполнители не заключили без уважительных причин договоры в течение двух месяцев со дня объявления итогов конкурса, отменяются.

Требования к проектам, представляемым на конкурс

7. На конкурс представляются проекты по приоритетным направлениям фундаментальных научных исследований, способные внести существенный вклад в расширение и углубление научных знаний, отличающиеся новизной в постановке и методах проведения исследований и имеющие большую научную и практическую значимость.

8. При рассмотрении проектов оцениваются:

- актуальность тематики;
- соответствие целей, задач и тематики проектов приоритетным направлениям фундаментальных научных исследований согласно перечню, утвержденному постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 № 585, а также мировым тенденциям развития науки;
- наличие четко сформулированной и обоснованной идеи (гипотезы) проекта, степень ее оригинальности;
- научная значимость запланированных результатов и возможность их практической реализации:
 - в виде экспериментальных образцов, прошедших испытания в производственных условиях, опытных образцов, опытных партий или промышленных серий в различного вида производствах;
 - при выполнении заданий государственных научно-технических программ или программ Союзного государства;
 - в издании учебников и других учебных материалов в системе образования;
 - в патентах на изобретения, подтверждающих предпосылку для практической реализации, в том числе и на производстве;
 - в заключении контрактов с зарубежными организациями на выполнение разработок по результатам фундаментальных исследований и выполнении международных проектов;
 - в использовании результатов НИР в материалах государственных органов Республики Беларусь;
- соответствие программы исследования целям и задачам проекта, а также возможность достижения запланированных конечных результатов;
- научная квалификация руководителя проекта и всего научного коллектива;
- наличие необходимой материально-технической базы;

– результативность предыдущих проектов по Фонду, выполненных под руководством данного ученого.

Преимущество отдается проектам, направленным на решение актуальных научных проблем по приоритетным направлениям научно-технического и социально-экономического развития Республики Беларусь, а также проектам, в состав исполнителей которых входят представители региональных организаций и/или отраслевых НИИ и КБ.

Руководитель проекта должен иметь не менее трех статей в авторитетных научных журналах и/или патентов или монографию по научному направлению проекта, опубликованных в течение последних трех лет.

9. Срок выполнения проекта, как правило, не должен превышать двух лет. Дублирование плановой тематики не допускается.

Если в процессе конкурса исполнители получили по заявленной теме финансирование из другого источника, то они обязаны в месячный срок поставить Фонд об этом в известность. В противном случае заявка будет снята с конкурса (в случае получения гранта он будет отменен), а исполнители лишены права участвовать во всех конкурсах Фонда в течение 5 лет.

Проекты, участвовавшие в предыдущих конкурсах Фонда, к участию в конкурсе «Наука МС-2011» не допускаются.

10. Заявка на конкурс вносится по установленным формам в трех отдельно скрепленных экземплярах. В обязательном порядке представляется также электронный вариант заявочных материалов, сформированных в соответствии с инструкцией по составлению электронного варианта заявки. Заявитель несет ответственность, вплоть до снятия проекта с конкурса, за соответствие электронного варианта заявки заявке на бумажном носителе.

Материалы заявки должны включать:

– титульный лист заявки (форма П1МС);

– аннотацию (форма П2МС);

– обоснование проекта (форма П3МС), в котором обязательно приводится аргументация целесообразности проведения совместных исследований с указанием возможностей, которые могут быть предоставлены зарубежным партнером белорусской стороне (использование оборудования, освоение методик, совместно проводимые эксперименты, финансирование командировок, приобретение материалов, реактивов, научной литературы и др.); приводится план работы партнера;

– научную биографию руководителя проекта с белорусской стороны (форма П4МС);

– калькуляцию сметной стоимости проекта с белорусской стороны (форма П5МС) с обоснованием статей затрат, при этом количество штатных единиц не должно превышать пяти. Приобретение оборудования не финансируется. Если в процессе выполнения проекта возникнет острая необходимость в приобретении научного оборудования, решение по данному вопросу принимается бюро Научного совета Фонда по ходатайству организации-исполнителя с подробным обоснованием такой необходимости. При этом расходы на эти цели не должны превышать 10 % от плановой себестоимости проекта. При наличии организаций-соисполнителей представляется также лист согласования

расходов, ограничение на количество штатных единиц в этом случае сохраняется;

– перечень научных трудов руководителя проекта по научному направлению проекта (до 10 наименований), опубликованных в течение последних трех лет на дату подачи заявки (форма П6МС).

– официальное письмо на английском языке от организации, где работает зарубежный партнер, и его перевод на русский язык (форма П7МС).

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

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

Фонд воздерживается от рекомендаций по изменению или дополнению формулировок в материалах заявок, представленных на конкурс, по существу их содержания. По принятым к финансированию проектам секции Научного совета Фонда имеют право вносить предложения по изменению названий проектов и уточнению отдельных их положений, которые обязательны к исполнению руководителями проектов на стадии подготовки договоров на выполнение НИР.

К материалам заявки прилагаются в двух экземплярах копии опубликованных научных трудов по тематике проекта (до 5 наименований), которые скрепляются со 2-м и 3-м экземплярами заявки.

Сроки и условия участия в конкурсе

11. Заявки на конкурс в БРФФИ принимаются по 3 ноября 2010 года включительно. Для иногородних дата определяется по штемпелю на почтовом отправлении.

К конкурсу не допускаются заявки, оформленные с отклонениями от правил или представленные после объявленного срока. Не допускаются последующие замены страниц и изменения в тексте поданного проекта.

Информация о поступлении в Фонд и регистрации заявок выдается авторам по их запросу.

12. Фонд сообщает только окончательные результаты конкурса, информируя руководителей проектов, получивших гранты, в течение месяца после его завершения и публикуя списки поддержанных проектов в журнале «Вестник Фонда фундаментальных исследований» и на Web-сайте Фонда.

Апелляции на решения Научного совета и рабочих органов Фонда не принимаются и не рассматриваются. Информация о ходе рассмотрения заявок, включая рецензии на них, является конфиденциальной.

Представленные на конкурс материалы не возвращаются.

13. Материалы направляются в адрес исполнительной дирекции Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований: 220072, г. Минск,

пр. Независимости, 66, к. 101, тел. для справок: 294-92-16 (физика, математика и информатика), 284-27-22 (технические науки), 294-93-36 (химия и науки о Земле), 294-92-17 (биологические, медицинские и аграрные науки, отдел зарубежных связей), 284-06-38 (гуманитарные науки), 294-93-35 (бухгалтерия); факс 284-08-97.

Условия конкурса и формы заявочных материалов могут быть скопированы на электронный носитель в исполнительной дирекции Фонда или с сайта Фонда <http://fond.bas-net.by> в разделе «Объявленные конкурсы».

УТВЕРЖДЕНЫ

решением Научного совета БРФФИ
от 29 апреля 2010 г. (протокол № 1)

УСЛОВИЯ

совместного тематического конкурса исследовательских проектов Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Объединенного института ядерных исследований «БРФФИ–ОИЯИ-2011»

Общие положения

1. Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (БРФФИ) и Объединенный институт ядерных исследований в г. Дубна (ОИЯИ) в соответствии с заключенным между ними Меморандумом о взаимодействии объявляют совместный тематический конкурс исследовательских проектов «БРФФИ–ОИЯИ-2011».

2. Конкурс проводится по следующим научным направлениям:

- физика микромира,
- физика атомного ядра,
- физика элементарных частиц,
- теоретическая физика,
- изучение физики конденсированного состояния ядерно-физическими методами.

3. Заявки на конкурс подаются одновременно в БРФФИ и ОИЯИ в соответствии с установленными в них формами, при этом белорусские ученые — в БРФФИ, дубненские — в ОИЯИ.

В БРФФИ принимаются заявки научных коллективов и отдельных ученых из организаций Республики Беларусь на выполнение совместно с дубненскими учеными проектов фундаментальных исследований по взаимно согласованным программам, при этом в программе исследований должно быть четко отражено, какие задачи выполняет белорусская сторона, а какие — дубненская. Состав участников, наименование проекта, ключевые слова в обоих вариантах должны быть идентичными. Число участников с каждой стороны не должно превышать 5 человек, при этом в составе каждого коллектива

должно быть не менее одного молодого ученого в возрасте до 35 лет на 1 января 2011 г.

Заявки представляются на русском или белорусском языке.

Одно и то же лицо (в качестве как руководителя, так и исполнителя) может одновременно входить в состав исполнителей не более трех исследовательских проектов, включая конкурсы 2010 г.: одного общереспубликанского («Наука», «Наука М», «Ученый»), одного целевого республиканского («БРФФИ–Брест», «БРФФИ–МСХП» и др.) и одного международного, включая конкурс «Наука МС», или одного республиканского любого вида и двух международных, включая конкурс «Наука МС». Проекты, которые заканчиваются в I квартале 2011 г., не учитываются.

При этом ученый может быть руководителем не более двух проектов, а в рамках одного вида конкурсов участвовать (в качестве как руководителя, так и исполнителя) не более чем в одном проекте.

Если при подаче заявки на конкурс 2011 г. обнаружится нарушение любого из вышеперечисленных ограничений, то эта заявка не будет допущена к конкурсу.

4. По результатам конкурса осуществляется целевое финансирование проектов, прошедших отбор в обеих организациях, при этом каждая сторона финансирует свою часть проекта. Финансирование работ белорусских ученых осуществляется на основе договоров между Фондом и организациями — исполнителями проектов за счет средств республиканского бюджета. В случае необходимости организации-исполнители белорусской и дубненской сторон заключают между собой соглашение о защите и использовании прав интеллектуальной собственности (типовое соглашение находится в формах заявочных материалов).

Приветствуется доленое участие в финансировании работ организаций — исполнителей проектов, а также заказчиков, заинтересованных в проведении фундаментальных исследований по конкретным научным направлениям.

Условия финансирования исполнителей проектов из ОИЯИ определяются правилами дубненской стороны.

5. Необходимым условием предоставления грантов является обязательство ученых сделать результаты исследований общественным достоянием с опубликованием их в научных изданиях с указанием о поддержке БРФФИ и ОИЯИ.

В итоговом отчете по проекту должны быть отражены в отдельной главе результаты, полученные учеными дубненской стороны.

6. Гранты, по которым исполнители не заключили без уважительных причин договоры в течение двух месяцев со дня утверждения итогов конкурса, отменяются.

Требования к проектам, представляемым на конкурс в БРФФИ

7. На конкурс представляются проекты по приоритетным направлениям фундаментальных исследований, способные внести существенный вклад в расширение и углубление научных знаний, отличающиеся новизной в постановке и методах проведения исследований и имеющие большую научную и практическую значимость.

8. При рассмотрении проектов оцениваются:
- актуальность тематики;
 - соответствие целей, задач и тематики проектов приоритетным направлениям фундаментальных научных исследований согласно перечню, утвержденному постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 № 585, а также мировым тенденциям развития науки;
 - наличие четко сформулированной и обоснованной идеи (гипотезы) проекта, степень ее оригинальности;
 - научная значимость запланированных результатов и возможность их практической реализации:
 - в виде экспериментальных образцов, прошедших испытания в производственных условиях, опытных образцов, опытных партий или промышленных серий в различного вида производствах;
 - при выполнении заданий государственных научно-технических программ или программ Союзного государства;
 - в издании учебников и других учебных материалов в системе образования;
 - в патентах на изобретения, подтверждающих предпосылку для практической реализации, в том числе и на производстве;
 - в заключении контрактов с зарубежными организациями на выполнение разработок по результатам фундаментальных исследований и выполнении международных проектов;
 - в использовании результатов НИР в материалах государственных органов Республики Беларусь;
 - соответствие программы исследования целям и задачам проекта, а также возможность достижения запланированных конечных результатов;
 - научная квалификация руководителя проекта и всего научного коллектива;
 - наличие необходимой материально-технической базы;
 - результативность предыдущих проектов по Фонду, выполненных под руководством данного ученого.

Преимущество отдается проектам, направленным на решение актуальных научных проблем по приоритетным направлениям научно-технического развития Республики Беларусь, а также проектам, в состав исполнителей которых входят представители региональных организаций и/или отраслевых НИИ и КБ.

Руководитель проекта должен иметь не менее трех статей в авторитетных научных журналах и/или патентов или монографию по научному направлению проекта, опубликованных в течение последних трех лет.

9. Срок выполнения проекта, как правило, не должен превышать двух лет. Дублирование плановой тематики не допускается.

Если в процессе конкурса исполнители получили по заявленной теме финансирование из другого источника, то они обязаны в месячный срок поставить Фонд об этом в известность. В противном случае заявка будет снята с конкурса (в случае получения гранта он будет отменен), а исполнители лишены права участвовать во всех конкурсах Фонда в течение 5 лет.

Проекты, участвовавшие в предыдущих конкурсах Фонда, к участию в конкурсе «БРФФИ–ОИЯИ-2011» не допускаются.

10. Заявка на конкурс вносится по установленным формам в трех отдельно скрепленных экземплярах. В обязательном порядке представляется также электронный вариант заявочных материалов, сформированных в соответствии с инструкцией по составлению электронного варианта заявки. Заявитель несет ответственность, вплоть до снятия проекта с конкурса, за соответствие электронного варианта заявки заявке на бумажном носителе.

Материалы заявки должны включать:

- титульный лист заявки (форма П1Д);
- аннотацию (форма П2Д);
- обоснование проекта (форма П3Д), в котором обязательно приводится аргументация целесообразности проведения совместных исследований с указанием возможностей, которые могут быть предоставлены дубненским партнером белорусской стороне (использование оборудования, реактивов, материалов, научной литературы, освоение методик и др.), а также приводится план работы партнера;
- научные биографии руководителей проекта (форма П4Д);
- калькуляцию сметной стоимости проекта с белорусской стороны (форма П5Д) с расшифровкой статей затрат, при этом количество штатных единиц не должно превышать пяти с каждой стороны. Приобретение оборудования не финансируется. Если в процессе выполнения проекта возникнет острая необходимость в приобретении научного оборудования, решение по данному вопросу принимается бюро Научного совета Фонда по ходатайству организации-исполнителя с подробным обоснованием такой необходимости. При этом расходы на эти цели не должны превышать 10 % от плановой себестоимости проекта. При наличии организаций-соисполнителей с белорусской стороны представляется также лист согласования расходов, ограничение на количество штатных единиц в этом случае сохраняется;
- перечень научных трудов руководителя проекта по научному направлению проекта (до 10 наименований), опубликованных в течение последних трех лет на дату подачи заявки (форма П6Д).

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

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

Фонд воздерживается от рекомендаций по изменению или дополнению формулировок в материалах заявок, представленных на конкурс, по существу их содержания. По принятым к финансированию проектам секции Научного совета Фонда имеют право вносить предложения по изменению названий проектов и уточнению отдельных их положений, которые обязательны к исполнению руководителями проектов на стадии подготовки договоров на выполнение НИР.

К материалам заявки прилагаются в двух экземплярах копии опубликованных научных трудов по тематике проекта (до 5 наименований), которые скрепляются со 2-м и 3-м экземплярами заявки.

Сроки и условия участия в конкурсе

11. Заявки на конкурс в БРФФИ и ОИЯИ представляются по 1 декабря 2010 года включительно. Для иногородних дата определяется по штемпелю на почтовом отправлении.

Заявки, оформленные с отклонениями от правил или представленные после объявленного срока, к конкурсу не допускаются. Не допускаются последующие замены страниц и изменения в тексте поданного проекта.

Информация о поступлении и регистрации заявок выдается авторам по их запросу.

12. Фонд сообщает только окончательные результаты конкурса, информируя руководителей проектов в течение месяца после его завершения и публикуя списки поддержанных проектов в журнале «Вестник Фонда фундаментальных исследований» и на сайте Фонда.

Апелляции на решения советов и рабочих органов БРФФИ и ОИЯИ не принимаются и не рассматриваются. Информация о ходе рассмотрения заявок, включая рецензии на них, является конфиденциальной.

Представленные на конкурс материалы не возвращаются.

13. Материалы белорусских ученых на конкурс направляются в исполнительную дирекцию Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований по адресу: 220072, г. Минск, пр. Независимости, 66, к. 101, телефоны для справок: 294-92-16 (физика, математика и информатика), 294-92-17 (отдел зарубежных связей), 294-92-15 (бухгалтерия); факс 284-08-97.

Условия конкурсов и формы заявочных материалов могут быть скопированы на электронный носитель в исполнительной дирекции Фонда или с сайта Фонда <http://fond.bas-net.by> в разделе «Объявленные конкурсы».

УТВЕРЖДЕНЫ

решением Научного совета БРФФИ
от 29 апреля 2010 г. (протокол № 1)

УСЛОВИЯ

**конкурса совместных проектов фундаментальных исследований
Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований
и Научно-технологического фонда Монголии «БРФФИ–НТФМ-2011»**

Общие положения

1. Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (БРФФИ) и Научно-технологический фонд Монголии (НТФМ) в соответствии с заключенным между ними Соглашением о сотрудничестве объявляют кон-

курс совместных проектов фундаментальных и поисковых исследований с целью консолидации усилий Фондов для финансирования актуальных научных исследований, выполняемых совместно учеными Республики Беларусь и Монголии в соответствии с перечнем приоритетных направлений, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 № 585.

2. Конкурс проводится в следующих областях фундаментальных исследований:

- физика, математика и информатика (01);
- технические науки (02);
- химия и науки о Земле (03);
- биологические, медицинские и аграрные науки (04);
- гуманитарные науки (05).

3. На конкурс принимаются научные проекты следующих видов:

3.1. исследовательские проекты, выполняемые небольшими научными коллективами белорусских и монгольских ученых;

3.2. проекты организации белорусско-монгольских и монгольско-белорусских научных мероприятий (конференций, семинаров и т. д.) на территории Республики Беларусь и Монголии;

3.3. проекты организации совместных белорусско-монгольских научных экспедиций, полевых исследований, экспериментально-лабораторных и научно-реставрационных работ.

4. Заявки на конкурс подаются одновременно в оба Фонда в соответствии с установленными в них формами, при этом белорусскими учеными — в БРФФИ, монгольскими — в НТФМ.

Состав участников, наименование проекта, ключевые слова, основные формулировки в обоих вариантах должны быть идентичными, а программа исследований — взаимно согласованной по срокам и содержанию. В программе исследований должно быть четко отражено, какие задачи выполняет белорусская сторона, а какие — монгольская.

В БРФФИ принимаются заявки белорусских ученых из организаций Республики Беларусь. Заявки представляются на русском или белорусском языке.

5. По результатам конкурса осуществляется целевое финансирование проектов, прошедших отбор в обоих Фондах, при этом каждая сторона финансирует свою часть исследований.

Одно и то же лицо (в качестве как руководителя, так и исполнителя) может одновременно входить в состав исполнителей не более трех исследовательских проектов, включая конкурсы 2010 г.: одного общереспубликанского («Наука», «Наука М», «Ученый»), одного целевого республиканского («БРФФИ–Брест», «БРФФИ–МСХП» и др.) и одного международного, включая конкурс «Наука МС», или одного республиканского любого вида и двух международных, включая конкурс «Наука МС». Проекты, которые заканчиваются в I квартале 2011 г., не учитываются.

При этом ученый может быть руководителем не более двух проектов, а в рамках одного вида конкурсов участвовать (в качестве как руководителя, так и исполнителя) не более чем в одном проекте.

Если при подаче заявки на конкурс 2011 г. обнаружится нарушение любого из вышеперечисленных ограничений, то эта заявка не будет допущена к конкурсу.

6. Финансирование работ по совместным проектам со стороны БРФФИ осуществляется на основе договоров между Фондом и организациями — исполнителями проектов с белорусской стороны за счет средств республиканского бюджета. Приветствуется доленое участие в финансировании работ организаций — исполнителей проектов, а также заказчиков, заинтересованных в проведении фундаментальных исследований по конкретным научным направлениям. В случае необходимости организации-исполнители белорусской и монгольской сторон заключают между собой соглашение о защите и использовании прав интеллектуальной собственности (типовое соглашение находится в заявочных формах).

Условия финансирования монгольских исполнителей проектов определяются правилами НТФМ. В итоговом отчете по проекту должны быть отражены в отдельной главе достижения, полученные учеными монгольской стороны.

Необходимым условием предоставления грантов является обязательство ученых сделать результаты исследований общественным достоянием с опубликованием их в научных изданиях с указанием о поддержке Фондов.

7. Гранты Фондов, по которым исполнители не заключили без уважительных причин договоры в течение двух месяцев со дня объявления итогов конкурса, отменяются.

Требования к проектам, представляемым на конкурс в БРФФИ

8. На конкурс проектов вида 3.1 и 3.3 представляются научные проекты по приоритетным направлениям фундаментальных научных исследований, способные внести существенный вклад в расширение и углубление научных знаний, отличающиеся новизной в постановке и методах проведения исследований и имеющие большую научную и практическую значимость.

9. При рассмотрении проектов оцениваются:

- актуальность тематики;
- соответствие целей, задач и тематики проектов приоритетным направлениям фундаментальных научных исследований в соответствии с перечнем, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 № 585, а также мировым тенденциям развития науки;
- наличие четко сформулированной и обоснованной идеи (гипотезы) проекта, степень ее оригинальности;
- научная значимость запланированных результатов и возможность их практической реализации:

в виде экспериментальных образцов, прошедших испытания в производственных условиях, опытных образцов, опытных партий или промышленных серий в различного вида производствах;

при выполнении заданий государственных научно-технических программ или программ Союзного государства;

в издании учебников и других учебных материалов в системе образования;
в патентах на изобретения, подтверждающих предпосылку для практической реализации, в том числе и на производстве;

в заключении контрактов с зарубежными организациями на выполнение разработок по результатам фундаментальных исследований и выполнении международных проектов;

в использовании результатов НИР в материалах государственных органов Республики Беларусь;

– соответствие программы исследования целям и задачам проекта, а также возможность достижения ожидаемых конечных результатов;

– научная квалификация руководителя проекта и всего научного коллектива;

– наличие необходимой материально-технической базы;

– результативность предыдущих проектов по Фонду, выполненных под руководством данного ученого.

Преимущество отдается проектам, направленным на решение актуальных научных проблем по приоритетным направлениям научно-технического и социально-экономического развития Республики Беларусь, а также проектам, в состав исполнителей которых входят представители региональных научных организаций и/или отраслевых НИИ и КБ.

Руководитель проекта должен иметь не менее трех статей в авторитетных научных журналах и/или патентов или монографию по научному направлению проекта, опубликованных в течение последних трех лет.

10. Срок выполнения проекта вида 3.1, как правило, не должен превышать двух лет, а проекта вида 3.3 — одного года.

Дублирование плановой тематики не допускается.

Если в процессе конкурса исполнители получили по заявленной теме финансирование из другого источника, то они обязаны в месячный срок поставить Фонд об этом в известность. В противном случае заявка будет снята с конкурса (при получении гранта он будет отменен), а исполнители лишены права участвовать во всех конкурсах Фонда в течение 5 лет.

Проекты, участвовавшие в предыдущих конкурсах Фонда, к участию в конкурсе «БРФФИ–НТФМ-2011» не допускаются.

11. Заявка на конкурс вносится по установленным формам в трех отдельно скрепленных экземплярах. В обязательном порядке представляется также электронный вариант заявочных материалов, сформированных в соответствии с инструкцией по составлению электронного варианта заявки. Заявитель несет ответственность, вплоть до снятия проекта с конкурса, за соответствие электронного варианта заявки заявке на бумажном носителе.

Материалы заявки должны включать:

– титульный лист заявки (форма П1Мн);

– аннотацию (форма П2Мн);

– обоснование проекта (форма П3Мн), в котором обязательно приводится аргументация целесообразности проведения совместных исследований с указанием возможностей, которые могут быть предоставлены монгольским партнером белорусской стороне (использование оборудования, реактивов, материалов,

научной литературы, освоение методик и др.), а также приводится план работы партнера;

- научные биографии руководителей проекта (форма П4Мн);
- калькуляцию сметной стоимости проекта с белорусской стороны (форма П5Мн) с расшифровкой статей затрат, при этом количество штатных единиц не должно превышать пяти. Приобретение оборудования не финансируется. Если в процессе выполнения проекта возникнет острая необходимость в приобретении научного оборудования, решение по данному вопросу принимается бюро Научного совета Фонда по ходатайству организации-исполнителя с подробным обоснованием такой необходимости. При этом расходы на эти цели не должны превышать 10 % от плановой себестоимости проекта. При наличии организаций-соисполнителей с белорусской стороны представляется также лист согласования расходов, ограничение на количество штатных единиц в этом случае сохраняется;
- перечень научных трудов руководителя проекта по научному направлению проекта (до 10 наименований), опубликованных в течение последних трех лет на дату подачи заявки (форма П6Мн).

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

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

Фонд воздерживается от рекомендаций по изменению или дополнению формулировок в материалах заявок, представленных на конкурс, по существу их содержания. По принятым к финансированию проектам секции Научного совета Фонда имеют право вносить предложения по изменению названий проектов и уточнению отдельных их положений, которые обязательны к исполнению руководителями проектов на стадии подготовки договоров на выполнение НИР.

К материалам заявки прилагаются в двух экземплярах копии опубликованных научных трудов по тематике проекта (до 5 наименований), которые скрепляются со 2-м и 3-м экземплярами заявки.

12. На конкурс проектов вида 3.2 представляются:

титальный лист заявки (форма П1Мн) и материалы в соответствии с Условиями конкурса БРФФИ на соискание грантов финансовой поддержки республиканских и международных научных мероприятий на 2010—2011 годы (если научное мероприятие проводится в Республике Беларусь);

титальный лист заявки (форма П1Мн) и материалы в соответствии с Условиями конкурса БРФФИ на соискание грантов финансовой поддержки участия ученых в зарубежных научных мероприятиях на 2010—2011 годы (если научное мероприятие проводится в Монголии).

Сроки и условия участия в конкурсе

13. Заявки на конкурс в БРФФИ принимаются по 1 декабря 2010 года включительно. Для иногородних дата определяется по штемпелю на почтовом отправлении.

К конкурсу не допускаются заявки, оформленные с отклонениями от правил или представленные после объявленного срока. Не допускаются последующие замены страниц и изменения в тексте поданного проекта.

Информация о поступлении в Фонд и регистрации заявок выдается авторам по их запросу.

14. Фонд сообщает только окончательные результаты конкурса, информируя руководителей проектов, получивших гранты, в течение месяца после его завершения и публикуя списки поддержанных проектов в журнале «Вестник Фонда фундаментальных исследований» и на Web-сайте Фонда.

Апелляции на решения Научного совета и рабочих органов Фонда не принимаются и не рассматриваются. Информация о ходе рассмотрения заявок, включая рецензии на них, является конфиденциальной.

Представленные на конкурс материалы не возвращаются.

15. Материалы направляются в адрес исполнительной дирекции Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований: 220072, г. Минск, пр. Независимости, 66, к. 101, тел. для справок: 294-92-16 (физика, математика и информатика), 284-27-22 (технические науки), 294-93-36 (химия и науки о Земле), 294-92-17 (биологические, медицинские и аграрные науки; отдел зарубежных связей), 284-06-38 (гуманитарные науки), 294-93-35 (бухгалтерия); факс 284-08-97.

Условия конкурса и формы заявочных материалов могут быть скопированы на электронный носитель в исполнительной дирекции Фонда или с сайта Фонда <http://fond.bas-net.by> в разделе «Объявленные конкурсы».

УТВЕРЖДЕНЫ

решением бюро Научного совета БРФФИ
от 3 сентября 2010 г. (протокол № 10)

УСЛОВИЯ

**совместного тематического конкурса Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Российского гуманитарного научного фонда по научным проблемам древнего Полоцка
«БРФФИ–РГНФ «Полоцк-2011»**

Общие положения

1. Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (далее – БРФФИ) и Российский гуманитарный научный фонд (далее – РГНФ) в соответствии с заключенным между ними Соглашением о сотрудничестве объявляют совместный тематический конкурс проектов фундаментальных исследований «БРФФИ–РГНФ «Полоцк-2011» с целью консолидации усилий

Фондов для финансирования актуальных научных исследований, выполняемых совместно учеными Республики Беларусь и Российской Федерации по проблемам древнего Полоцка.

2. Конкурс проводится по следующим научным направлениям:

- история Полоцка и Полоцкого княжества;
- развитие политических, экономических и культурных связей государственных образований Древней Руси с Полоцким княжеством;
- археологические исследования на Полоцких землях;
- культура и письменность Полоцкой земли;
- применение новейших естественнонаучных методов в исторических, археологических, искусствоведческих исследованиях.

3. На конкурс принимаются исследовательские проекты, выполняемые научными коллективами белорусских и российских ученых.

4. Заявки на конкурс подаются одновременно в оба Фонда в соответствии с установленными в них формами, при этом белорусские ученые — в БРФФИ, российские — в РГНФ.

В БРФФИ принимаются заявки научных коллективов и отдельных ученых из организаций Республики Беларусь. Заявки представляются на русском или белорусском языке.

Состав участников, наименование проекта, ключевые слова, основные формулировки в обоих вариантах должны быть идентичными, а программа исследований — взаимно согласованной по срокам и содержанию. В программе исследований должно быть четко отражено, какие задачи выполняет белорусская сторона, а какие — российская.

Конкурсный отбор проектов осуществляется в установленном порядке.

Одно и то же лицо (в качестве как руководителя, так и исполнителя) может одновременно входить в состав исполнителей не более трех исследовательских проектов, включая конкурсы 2010 г.: одного общереспубликанского («Наука», «Наука М», «Ученый»), одного целевого республиканского («Наука (НАНБ–вузы)», «БРФФИ–Брест», «БРФФИ–МСХП» и др.) и одного международного, включая конкурс «Наука МС», или одного республиканского любого вида и двух международных, включая конкурс «Наука МС». Проекты, которые заканчиваются в 1 квартале 2011 г., не учитываются.

При этом ученый может быть руководителем не более двух проектов, а в рамках одного вида конкурсов участвовать (в качестве как руководителя, так и исполнителя) не более чем в одном проекте.

Если при подаче заявки на конкурс 2011 г. обнаружится нарушение любого из вышеперечисленных ограничений, то эта заявка не будет допущена к конкурсу.

5. Каждая сторона финансирует свою часть проекта. Финансирование работ белорусских ученых осуществляется на основе договоров между Фондом и организациями — исполнителями проектов за счет средств республиканского бюджета. В случае необходимости организации-исполнители белорусской и российской сторон заключают между собой соглашение о защите и использовании прав интеллектуальной собственности (типовое соглашение находится в формах заявочных материалов).

Приветствуется доленое участие в финансировании работ организаций – исполнителей проектов, а также заказчиков, заинтересованных в проведении фундаментальных исследований по указанным выше научным направлениям.

Условия финансирования российских исполнителей проектов определяются правилами РГНФ.

6. Необходимым условием предоставления грантов является обязательство ученых сделать результаты исследований общественным достоянием с опубликованием их в научных изданиях с указанием о поддержке Фондов. В итоговом отчете по проекту должны быть отражены в отдельной главе результаты, полученные учеными российской стороны.

7. Гранты Фондов, по которым исполнители не заключили без уважительных причин договоры в течение двух месяцев со дня утверждения итогов конкурса, отменяются.

Требования к проектам, представляемым на конкурс в БРФФИ

8. На конкурс представляются проекты фундаментальных исследований по указанным п. 2 научным направлениям, способные внести существенный вклад в расширение и углубление научных знаний, отличающиеся новизной в постановке и методах проведения исследований и имеющие большую научную и практическую значимость.

9. При рассмотрении проектов оцениваются:

- актуальность тематики;
- соответствие целей, задач и тематики проектов приоритетным направлениям научных исследований в области гуманитарных наук согласно Перечню, утвержденному постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 № 585, а также мировым тенденциям развития науки;
- наличие четко сформулированной и обоснованной идеи (гипотезы) проекта, степень ее оригинальности;
- научная значимость запланированных результатов и возможность их практической реализации:
 - при выполнении заданий государственных научно-технических программ или программ Союзного государства;
 - в издании учебников и других учебных материалов в системе образования;
 - в патентах на изобретения, подтверждающих предпосылку для практической реализации, в том числе и на производстве;
 - в заключении контрактов с зарубежными организациями на выполнение разработок по результатам фундаментальных исследований и выполнении международных проектов;
 - в использовании результатов НИР в материалах государственных органов Республики Беларусь;
- соответствие программы исследования целям и задачам проекта, а также возможность достижения запланированных конечных результатов;
- научная квалификация руководителя проекта и всего научного коллектива;
- наличие необходимой материально-технической базы;
- результативность предыдущих проектов по Фонду, выполненных под руководством данного ученого.

Преимущество отдается проектам, направленным на решение актуальных научных проблем по приоритетным направлениям социально-экономического развития Республики Беларусь, а также проектам, в состав исполнителей которых входят представители региональных организаций и/или отраслевых НИИ.

Руководитель проекта должен иметь не менее трех статей в авторитетных научных журналах и/или патентов или монографию по научному направлению проекта, опубликованных в течение последних трех лет.

10. Срок выполнения проекта, как правило, не должен превышать двух лет. Дублирование плановой тематики не допускается.

Если в процессе конкурса исполнители получили по заявленной теме финансирование из другого источника, то они обязаны в месячный срок поставить Фонд об этом в известность. В противном случае заявка будет снята с конкурса (в случае получения гранта он будет отменен), а исполнители лишены права участвовать во всех конкурсах Фонда в течение 5 лет.

Проекты, участвовавшие в предыдущих конкурсах Фонда, к участию в конкурсе «БРФФИ–РГНФ «Полоцк-2011» не допускаются.

11. Заявка на конкурс вносится по установленным формам в трех отдельно скрепленных экземплярах. В обязательном порядке представляется также электронный вариант заявочных материалов, сформированных в соответствии с инструкцией по составлению электронного варианта заявки. Заявитель несет ответственность, вплоть до снятия проекта с конкурса, за соответствие электронного варианта заявки заявке на бумажном носителе.

Материалы заявки должны включать:

- титульный лист заявки (форма П1РПл);
- аннотацию (форма П2РПл);
- обоснование проекта (форма П3РПл), в котором обязательно приводится аргументация целесообразности проведения совместных исследований с указанием возможностей, которые могут быть предоставлены российским партнером белорусской стороне (использование оборудования, научной литературы и др.), а также приводится план работы партнера;
- научные биографии руководителей проекта (форма П4РПл);
- калькуляцию сметной стоимости проекта с белорусской стороны (форма П5РПл) с расшифровкой статей затрат, при этом количество штатных единиц не должно превышать пяти. Приобретение оборудования не финансируется. Если в процессе выполнения проекта возникнет острая необходимость в приобретении научного оборудования, решение по данному вопросу принимается бюро Научного совета Фонда по ходатайству организации-исполнителя с подробным обоснованием такой необходимости. При этом расходы на эти цели не должны превышать 10 % от плановой себестоимости проекта. При наличии организаций-соисполнителей с белорусской стороны представляется также лист согласования расходов, ограничение на количество штатных единиц в этом случае сохраняется;

– перечень научных трудов руководителя проекта по научному направлению проекта (до 10 наименований), опубликованных в течение последних трех лет на дату подачи заявки (форма П6РПл).

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

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

Фонд воздерживается от рекомендаций по изменению или дополнению формулировок в материалах заявок, представленных на конкурс, по существу их содержания. По принятым к финансированию проектам секции Научного совета Фонда имеют право вносить предложения по изменению названий проектов и уточнению отдельных их положений, которые обязательны к исполнению руководителями проектов на стадии подготовки договоров на выполнение НИР.

К материалам заявки прилагаются в двух экземплярах копии опубликованных научных трудов по тематике проекта (до 5 наименований), которые скрепляются со 2-м и 3-м экземплярами заявки.

Сроки и условия участия в конкурсе

12. Заявки на конкурс в БРФФИ представляются по 3 ноября 2010 г. Для иногородних дата определяется по штемпелю на почтовом отправлении. Телефон для справок в РГНФ 8-10-7-495-683-58-50 (отдел региональных и международных конкурсов РГНФ).

К конкурсу не допускаются заявки, оформленные с отклонениями от правил или представленные после объявленного срока. Не допускаются последующие замены страниц и изменения в тексте поданного проекта.

Информация о поступлении в Фонд и регистрации заявок выдается авторам по их запросу.

14. Фонд сообщает только окончательные результаты конкурса, информируя руководителей проектов в течение месяца после его завершения и публикуя списки поддержанных проектов в журнале «Вестник Фонда фундаментальных исследований» и на сайте Фонда.

Апелляции на решения советов и рабочих органов Фондов не принимаются и не рассматриваются. Информация о ходе рассмотрения заявок, включая рецензии на них, является конфиденциальной.

Представленные на конкурс материалы не возвращаются.

15. Материалы белорусских ученых на конкурс направляются в исполнительную дирекцию Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований по адресу: 220072, г. Минск, пр. Независимости, 66, к. 101, телефоны для справок: 284-06-38 (секция гуманитарных наук), 294-92-17 (отдел зарубежных связей), 294-93-35 (бухгалтерия); факс 284-08-97.

Условия конкурса и формы заявочных материалов могут быть скопированы на электронный носитель в исполнительной дирекции Фонда или с сайта Фонда <http://fond.bas-net.by> в разделе «Объявленные конкурсы».

УТВЕРЖДЕНЫ
решением бюро Научного совета БРФФИ
от 3 сентября 2010 г. (протокол № 10)

УСЛОВИЯ

объединенного республиканского конкурса Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований «Наука (НАНБ–вузы)-2011»

Общие положения

1. С целью обеспечения условий для дальнейшей интеграции науки и образования, стимулирования подготовки научных кадров высшей квалификации для высших учебных заведений, вовлечения ученых вузов в научно-исследовательскую деятельность Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (далее — Фонд) объявляет объединенный республиканский конкурс совместных научных проектов, выполняемых учеными НАН Беларуси и высших учебных заведений страны «Наука (НАНБ–вузы)-2011». Конкурс направлен на решение актуальных проблем по приоритетным направлениям фундаментальных научных исследований в соответствии с перечнем, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 № 585.

2. Конкурс «Наука (НАНБ–вузы)-2011» проводится в следующих областях фундаментальных исследований:

- физика, математика и информатика (01);
- технические науки (02);
- химия и науки о Земле (03);
- биологические, медицинские и аграрные науки (04);
- гуманитарные науки (05).

3. На конкурс принимаются только совместные заявки научных коллективов из НАН Беларуси и высших учебных заведений Республики Беларусь, в число исполнителей каждой стороны должно входить не менее двух человек.

4. По результатам конкурса осуществляется целевое финансирование проектов фундаментальных и поисковых исследований, прошедших отбор в экспертных советах и секциях Научного совета Фонда на основе заключений независимых экспертов и принятых к финансированию Научным советом Фонда.

Одно и то же лицо (в качестве как руководителя, так и исполнителя) может одновременно входить в состав исполнителей не более трех исследовательских проектов, включая конкурсы 2010 г.: одного общереспубликанского («Наука», «Наука М», «Ученый»), одного целевого республиканского («Наука (НАНБ–вузы)», «БРФФИ–Брест», «БРФФИ–МСХП» и др.) и одного международного, включая конкурс «Наука МС», или одного республиканского любого вида и двух международных, включая конкурс «Наука МС». Проекты, которые заканчиваются в 1 квартале 2011 г., не учитываются.

При этом ученый может быть руководителем не более двух проектов, а в рамках одного вида конкурсов участвовать (в качестве как руководителя, так и исполнителя) не более чем в одном проекте.

Если при подаче заявки на конкурс 2011 г. обнаружится нарушение любого из вышеперечисленных ограничений, то эта заявка не будет допущена к конкурсу.

5. Финансирование работ по проектам осуществляется на основе договоров между Фондом и организациями — исполнителями проектов за счет средств республиканского бюджета. Приветствуется доленое участие в финансировании работ организаций — исполнителей проектов, а также заказчиков, заинтересованных в проведении фундаментальных исследований по конкретным научным направлениям.

Необходимым условием предоставления Фондом грантов является обязательство ученых сделать результаты исследований общественным достоянием с опубликованием их в научных изданиях с указанием о поддержке Фонда.

6. Гранты Фонда, по которым исполнители не заключили без уважительных причин договоры в течение двух месяцев со дня объявления итогов конкурса, отменяются.

Требования к проектам, представляемым на конкурс

7. На конкурс представляются проекты по приоритетным направлениям фундаментальных научных исследований, способные внести существенный вклад в расширение и углубление научных знаний, отличающиеся новизной в постановке и методах проведения исследований и имеющие большую научную и практическую значимость.

8. При рассмотрении проектов оценивается:

- актуальность тематики;
- соответствие целей, задач и тематики проектов приоритетным направлениям фундаментальных научных исследований в соответствии с перечнем, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 № 585, а также мировым тенденциям развития науки;
- наличие четко сформулированной и обоснованной идеи (гипотезы) проекта, степень ее оригинальности;
- научная значимость запланированных результатов и возможность их практической реализации:
 - в виде экспериментальных образцов, прошедших испытания в производственных условиях, опытных образцов, опытных партий или промышленных серий в различного вида производствах;
 - при выполнении заданий государственных научно-технических программ или программ Союзного государства;
 - в издании учебников и других учебных материалов в системе образования;
 - в патентах на изобретения, подтверждающих предпосылку для практической реализации, в том числе и на производстве;
 - в заключении контрактов с зарубежными организациями на выполнение разработок по результатам фундаментальных исследований и выполнении международных проектов;
 - в использовании результатов НИР в материалах государственных органов Республики Беларусь;

- соответствие программы исследования целям и задачам проекта, а также возможность достижения ожидаемых конечных результатов;
- научная квалификация руководителя проекта и всего научного коллектива;
- наличие необходимой материально-технической базы;
- результативность предыдущих проектов по Фонду, выполненных под руководством данного ученого.

Преимущество отдается проектам, направленным на решение актуальных научных проблем по приоритетным направлениям научно-технического и социально-экономического развития Республики Беларусь, а также проектам, в состав исполнителей которых входят представители региональных научных организаций и высших учебных заведений.

Руководитель проекта должен иметь не менее трех статей в авторитетных научных журналах и/или патентов или монографию по научному направлению проекта, опубликованных в течение последних трех лет.

9. Срок выполнения проекта, как правило, не должен превышать двух лет. Дублирование плановой тематики не допускается.

Если в процессе конкурса исполнители получили по заявленной теме финансирование из другого источника, то они обязаны в месячный срок поставить Фонд об этом в известность. В противном случае заявка будет снята с конкурса (в случае получения гранта, он будет отменен), а исполнители лишены права участвовать во всех конкурсах Фонда в течение 5 лет.

Проекты, участвовавшие в предыдущих конкурсах Фонда, к участию в конкурсе «Наука (НАНБ–вузы)-2011» не допускаются.

10. Заявка на конкурс вносится по установленным формам в трех отдельно скрепленных экземплярах. В обязательном порядке представляется также электронный вариант заявочных материалов, сформированных в соответствии с инструкцией по составлению электронного варианта заявки. Заявитель несет ответственность, вплоть до снятия проекта с конкурса, за соответствие электронного варианта заявки заявке на бумажном носителе.

Материалы заявки должны включать:

- титульный лист заявки (форма П1об). Если заявка подается из НАН Беларуси, то в число организаций-соисполнителей обязательно должен входить вуз; если заявка подается из вуза, то в число организаций-соисполнителей обязательно должна входить организация НАН Беларуси;

- аннотацию (форма П2об);

- обоснование проекта (форма П3об);

- научную биографию руководителя проекта (форма П4об);

- калькуляцию сметной стоимости проекта (форма П5об) с расшифровкой статей затрат, при этом количество штатных единиц не должно превышать шести. Приобретение оборудования не финансируется. Если в процессе выполнения проекта возникнет острая необходимость в приобретении научного оборудования, решение по данному вопросу принимается бюро Научного совета Фонда по ходатайству организации-исполнителя с подробным обоснованием такой необходимости. При этом расходы на эти цели не должны превышать 10 % от плановой себестоимости проекта. Представляется также лист согласования расходов между организацией-заявителем и организацией — соисполнителем проекта;

– перечень научных трудов руководителя проекта по научному направлению проекта (до 10 наименований), опубликованных в течение последних трех лет на дату подачи заявки (форма Пбоб).

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

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

Фонд воздерживается от рекомендаций по изменению или дополнению формулировок в материалах заявок, представленных на конкурс, по существу их содержания. По принятым к финансированию проектам секции Научного совета Фонда имеют право вносить предложения по изменению названий проектов и уточнению отдельных их положений, которые обязательны к исполнению руководителями проектов на стадии подготовки договоров на выполнение НИР.

К материалам заявки прилагаются в двух экземплярах копии опубликованных научных трудов по тематике проекта (до 5 наименований), которые скрепляются со 2-м и 3-м экземплярами заявки.

Сроки и условия участия в конкурсе

11. Заявки на конкурс представляются по 22 ноября 2010 г. Для иногородних дата определяется по штемпелю на почтовом отправлении.

Заявки, оформленные с отклонениями от правил или представленные после объявленного срока, к конкурсу не допускаются. Не допускаются последующие замены страниц и изменения в тексте поданного проекта.

Информация о поступлении в Фонд и регистрации заявок выдается авторам по их запросу.

12. Фонд сообщает только окончательные результаты конкурса, информируя руководителей проектов, получивших гранты, в течение месяца после его завершения и публикуя списки поддержанных проектов в журнале «Вестник Фонда фундаментальных исследований» и на Web-сайте Фонда.

Апелляции на решения Научного совета и рабочих органов Фонда не принимаются и не рассматриваются. Информация о ходе рассмотрения заявок, включая рецензии на них, является конфиденциальной.

Представленные на конкурс материалы не возвращаются.

13. Материалы направляются в адрес исполнительной дирекции Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований: 220072, г. Минск, пр. Независимости, 66, к. 101, тел. для справок: 294-92-16 (физика, математика и информатика), 284-27-22 (технические науки), 294-93-36 (химия и науки о Земле), 294-92-17 (биологические, медицинские и аграрные науки), 284-06-38 (гуманитарные науки), 294-93-35 (бухгалтерия); факс 284-08-97.

Условия конкурса и формы заявочных материалов могут быть скопированы на электронный носитель в исполнительной дирекции Фонда или с сайта Фонда <http://fond.bas-net.by> в разделе «Объявленные конкурсы».

ИТОГИ КОНКУРСОВ

КОНКУРС СОВМЕСТНЫХ ПРОЕКТОВ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЛОРУССКОГО РЕСПУБЛИКАНСКОГО ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И РУМЫНСКОЙ АКАДЕМИИ «БРФФИ–РА-2010»

В ноябре 2009 г. Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований (БРФФИ) и Румынской академией (РА) в соответствии с заключенным между ними Соглашением о сотрудничестве был объявлен первый конкурс совместных проектов фундаментальных исследований «БРФФИ–РА-2010» с целью консолидации усилий обеих организаций для финансирования актуальных научных исследований, выполняемых совместно учеными Республики Беларусь и Румынии. По результатам независимой экспертизы принято совместное решение о финансировании 10 проектов. Ниже публикуется перечень финансируемых совместных научных 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 румынской стороны. Срок выполнения проектов установлен с 01.07.2010 по 30.06.2012. В каждом из разделов перечня проекты перечислены в алфавитном порядке по фамилии руководителя.

Секция биологических, медицинских и аграрных наук

1. ДЕРУНКОВ А. В. *Проект* Б10РА-003
Модели распространения околотовных жуков стафилинид в Восточной Европе (в направлении юг—север) — пример Румынии и Беларуси.
Исполнитель: Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам, «Grigore Antipa» Национальный музей естествознания.
2. КОЗЛОВСКАЯ З. А. *Проект* Б10РА-011
Селекция косточковых культур на устойчивость к болезням.
Исполнитель: Институт плодоводства НАН Беларуси, Институт плодоводства Питешты.
3. МИХАЙЛОВА Р. В. *Проект* Б10РА-006
Этанольный стресс: влияние на продукцию грибной каталазы и каталитические свойства фермента.
Исполнитель: Институт микробиологии НАН Беларуси, Университет Бухареста.

Секция гуманитарных наук

4. ГУРКО А. В. *Проект Г10РА-008*
Особенности развития этноконфессиональной структуры в Беларуси и Румынии во второй половине XX — начале XXI в.
Исполнитель: Институт искусствоведения, этнографии и фольклора им. К. Крапивы НАН Беларуси, Институт этнологии и фольклористики им. К. Браилою Румынской академии.
5. ПОТАЕВ Г. А. *Проект Г10РА-010*
Белорусско-румынский туризм: перспективы развития в контексте трансевропейских туристических коридоров.
Исполнитель: Институт искусствоведения, этнографии и фольклора им. К. Крапивы НАН Беларуси, Институт географии Румынской академии.
6. ТИКОВЕНКО А. Г. *Проект Г10РА-009*
Совершенствование применения международных стандартов в области прав человека в процессе отправления правосудия.
Исполнитель: Белорусский государственный экономический университет, Институт правовых исследований Румынской академии.
7. ТИТАРЕНКО Л. Г. *Проект Г10РА-004*
Экологически ориентированный образ жизни населения как составляющая высокого качества жизни: Беларусь и Румыния.
Исполнитель: Белорусский государственный университет, Институт исследований качества жизни Румынской академии.

Секция физики, математики и информатики

8. ГАЛЬМАК А. М. *Проект Ф10РА-002*
Полиадические группы матриц и отображений, симметрические полилинейные формы и их приложения.
Исполнитель: Могилевский государственный университет продовольствия, Бухарестский политехнический университет.
9. ЗАРЕЦКАЯ Е. П. *Проект Ф10РА-005*
Получение и исследование тонких пленок ZnO для оптоэлектронных устройств.
Исполнитель: Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Институт физической химии Румынской академии.
10. ЯНУШКЕВИЧ К. И. *Проект Ф10РА-001*
Получение и физико-химические свойства тонких пленок Zn–Ni–P.
Исполнитель: Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Институт физической химии Румынской академии.

**ПЕРЕЧЕНЬ НАУЧНЫХ ТРУДОВ, ИЗДАННЫХ
ПРИ ФИНАНСОВОЙ ПОДДЕРЖКЕ БРФФИ В 2009 г.**

1. **Титов Л. П.** Вирусология. Терминологический словарь. — Минск: Минсктиппроект, 2009. — 448 с.
2. **Томашевский К. Л.** Очерки трудового права. История, философия, проблемы систем и источников. — Минск: Изд. центр БГУ, 2009. — 335 с.
3. **Зайцев В. В.** Развитие открытых акционерных обществ, созданных в ходе приватизации: адаптационный аспект (на материалах Гомельской области). — Минск: Право и экономика, 2009. — 185 с.
4. **Сурмач М. Ю.** Поведение молодежи: от демографических угроз к национальной безопасности. — Минск: Право и экономика, 2009. — 266 с.
5. **Валодзіна Т. В.** Цела чалавека: слова, міф, рытуал. — Мінск: Тэхналогія, 2009. — 423 с.
6. **Широканов Д. И., Урсул А. Д., Буслова М. К., Русанду И. К., Червинский А. С.** Высокие технологии в структуре устойчивого развития: проблема соответствия ноосферным ценностям. — Минск: Право и экономика, 2009. — 201 с.
7. **Янушкевич К. И.** Твердые растворы монокристаллических металлов. — Минск: Вараксин А. Н., 2009. — 256 с.
8. **Яромский В. Н.** Очистка сточных вод пищевых и перерабатывающих предприятий. — Минск: Изд. центр БГУ, 2009. — 171 с.

ПЕРЕЧЕНЬ РЕСПУБЛИКАНСКИХ И МЕЖДУНАРОДНЫХ НАУЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ, ПОДДЕРЖАННЫХ БРФФИ В 2009 г.

1. VII Международная научно-практическая конференция «Технологии оценки учебных достижений учащихся и студентов (ТехноОбраз 2009)» (Гродно, 17–18 марта), Гродненский государственный университет им. Я. Купалы.
2. Международная конференция «Актуальные проблемы анализа» (Гродно, 7–10 апреля), Гродненский государственный университет им. Я. Купалы.
3. VII Международная конференция «Медико-социальная экология личности: состояние и перспективы» (Минск, 10–11 апреля), Белорусский государственный университет.
4. V Международная научная конференция «Русский язык: система и функционирование» (Минск, 5–6 мая), Белорусский государственный университет.
5. X Международная конференция «Распознавание образов и обработка информации (PRIP-2009)» (Минск, 19–21 мая), Белорусский государственный университет.
6. XVI Международный семинар «Нелинейные явления в сложных системах NPCС'2009» (Минск, 19–22 мая), Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси.
7. Международная научная конференция «Сахаровские чтения: экологические проблемы XXI века» (Минск, 21–22 мая), Международный государственный экологический университет им. А. Д. Сахарова.
8. V Международная научная конференция «Системный анализ и прогнозирование экономики» (Минск, 21–23 мая), Белорусский государственный аграрный технический университет.
9. Международный научный симпозиум «Перспективные материалы и технологии» (Витебск, 25–29 мая), Институт технической акустики НАН Беларуси.
10. XIII Международная научная конференция по обыкновенным дифференциальным уравнениям (Еругинские чтения – 2009) (Пинск, 26–29 мая), Институт математики НАН Беларуси.
11. Международная конференция по нанoeлектронике и нанотехнологиям NANOMEETING–2009 (Минск, 26–29 мая), Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники.
12. VII Белорусско-Российский семинар «Полупроводниковые лазеры и системы на их основе» (Минск, 1–5 июня), Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси.
13. XVII Международный симпозиум «Наноструктуры: физика и технология» (Минск, 22–26 июня), Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси.

14. Международная конференция «Атомная энергия в XXI веке» (Минск, 23–26 июня), Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси.

15. X Международная школа-семинар «Актуальные проблемы физики микромира» (Гомель, 15–26 июля), Национальный научно-учебный центр физики частиц и высоких энергий БГУ.

16. XXXIX Международный симпозиум по многочастичной динамике (ICMD–09) (Гомель, 4–9 сентября), Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси.

17. Международная научно-практическая конференция «Эрозионные и русловые процессы на равнинных территориях» (Минск, 14 сентября), Белорусский государственный университет.

18. VIII Международная научная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом (ВИТТ–2009)» (Минск, 23–25 сентября), Белорусский государственный университет.

19. Международная научная конференция «Гістарыяграфія і крыніцы па гісторыі гарадоў і працэсаў урбанізацыі ў Беларусі» (Гродно, 25–26 сентября), Гродненский государственный университет им. Я. Купалы.

20. VI Международная научная конференция «Физика плазмы и плазменные технологии (ФППТ–6)» (Минск, 28 сентября – 2 октября), Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси.

21. III Международный конгресс историков Беларуси «Историческая наука на переломе эпох: диалог со временем (к 80-летию Института истории НАН Беларуси)» (Минск, 15–16 октября), Институт истории НАН Беларуси.

22. IV Международная конференция «Актуальные проблемы физики твердого тела–2009» (Минск, 20–23 октября), Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению.

23. Международная научно-практическая конференция «Учение В. И. Вернадского о ноосфере и антикризисное социально-экономическое развитие Беларуси» (Минск, 22–23 октября), Институт экономики НАН Беларуси.

24. Международная научная конференция «Философия и рациональность в культуре глобализирующегося мира» (Минск, 22–23 октября), Белорусский государственный университет.

25. Международная научная конференция «Современные проблемы лексикографии» (Гродно, 22–25 октября), Гродненский государственный университет им. Я. Купалы.

26. VIII Международная научно-техническая конференция «Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии» (Гродно, 29–30 октября), Научно-исследовательский центр проблем ресурсосбережения НАН Беларуси.

27. Международная научная конференция «Информационно-образовательные и воспитательные стратегии современного общества: национальный и глобальный контекст» (Минск, 12–13 ноября), Институт философии НАН Беларуси.

28. Международная научно-практическая конференция «I Белорусский инновационный форум» (Минск, 17—18 ноября), Инновационная ассоциация «Академтехнопарк».

29. Международный молодежный форум «Вода, изменение климата и здоровье человека» (Минск, 25—26 ноября), Белорусский государственный университет.

30. Международная научно-практическая конференция «Социальное знание и белорусское общество» (Минск, 3—4 декабря), Институт социологии НАН Беларуси.

*Раздел подготовлен главным специалистом отдела зарубежных связей
и информационного обеспечения
Н. Н. Половинко*

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

УДК 629.783 528.9

С. Л. РОМАНОВ, С. А. ЗОЛОТОЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА КРУПНЫХ ПРИРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫХ РЕГИОНОВ КОСМИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ

УП «Геоинформационные системы» Национальной академии наук Беларуси

(Поступила в редакцию 01.07.2010)

Проанализированы теоретические и технические возможности создания работоспособной системы комплексного космического мониторинга крупных природно-хозяйственных регионов. Рассмотрено современное состояние изученности проблемы, определены основные задачи и способы их решения. Сформулированы основные требования к качеству узлов и параметров создаваемой системы. Определена последовательность операций по созданию АПК, а также описан циклический алгоритм осуществления автоматизированной мониторинговой процедуры, включающий способ обработки космической информации, ее анализ и представление полученных результатов.

Введение. Решение крупномасштабных экологических проблем в первую очередь предполагает контроль текущей ситуации, оценку и прогноз возникающих изменений. При этом отслеживание прямых и обратных связей между деятельностью общества и изменением качества среды будет абсолютно невозможно без проведения масштабных мониторинговых работ. Идеальным решением такой задачи явилось бы создание системы комплексного мониторинга, которая смогла бы одновременно отслеживать максимально широкий спектр изменений, происходящих во всех компонентах окружающей среды. Потребность в такой информации со стороны как контролирующих, так и управляющих организаций любого государства огромна и несомненна, однако парадокс сложившейся ситуации состоит в том, что проблема ее получения нигде в мире практического решения не получила. При этом еще один парадокс состоит в том, что и в методическом, и в теоретическом плане эта проблема не является ни новой, ни принципиально сложной. Напротив — она успешно решалась и решается на протяжении, во всяком случае, последних 150 лет.

Состояние изученности. Сложность формулировки понятия «мониторинг» связана с принадлежностью его как к сфере науки, так и к сфере практики. Он может рассматриваться и как способ исследования реальности, и как способ обеспечения средств управления качественной оперативной информацией. Его статус закреплен законодательно, а методологический аппарат достаточно глубоко проработан, созданы адекватные поставленным задачам средства измерения и отлаженная система реализации.

Цель мониторинга — объективная оценка состояния контролируемого объекта, фиксация происходящих с ним изменений, выявление причин и прогноз развития ситуации, используемые как основа для выработки управляющих или корректирующих воздействий.

Несмотря на очевидную физическую громоздкость системы гидрометеослужбы, которая, существуя во всех без исключения странах, представляет собой крупное учреждение, насчитывающее в штате десятки тысяч сотрудников, ее принципиальная схема достаточно проста и состоит всего из двух взаимосвязанных компонентов — обширной службы сбора информации и относительно компактной службы ее обработки. Обе службы последовательно осуществляют цикл, состоящий из 7 стандартных операций, укладываемых в следующую блок-схему [1] (рис. 1.)

Результатом выполнения цикла является последовательное решение трех основных задач:

- создание пространственно распределенной базы измерительных данных об актуальном состоянии отдельных объектов или явлений;

- характеристика актуального состояния контролируемой территории;

- выявление тенденции и составление прогноза развития складывающейся обстановки [1].

Структура данного цикла не зависит от качества объекта наблюдения и практически однотипна применительно к мониторингу погоды, гидрологической обстановки, состояния растительности и т. д. Задача регионального комплексного мониторинга не представляет собой исключения и теоретически могла бы быть решена в рамках вышеприведенной схемы. Однако ее специфика состоит в том, что такая процедура требует сбора и обработки настолько больших массивов разнородной информации, что ее циклическое выполнение становится технически невозможным.

В философии такое состояние проблемы, при котором вновь возникающие задачи не находят удовлетворительного решения в рамках любого из существующих подходов, называется системной парадигмой, или пределом актуальной парадигмы, что целиком применимо и к характеру решаемой задачи.

Изменение ситуации стало возможным с появлением цифровых космических снимков и широким распространением мощных аппаратно-программных средств их обработки, поскольку открывало возможность практически одномоментного превращения растрового снимка в многомерную матрицу, содержащую тысячи и даже миллионы статистически достоверных определений [2—5]. Это позволяло не только упростить решение главной задачи мониторинга — обеспечить оперативный сбор больших объемов однотипной измерительной информации, но и открывало путь к автоматизации всего цикла мониторинговых

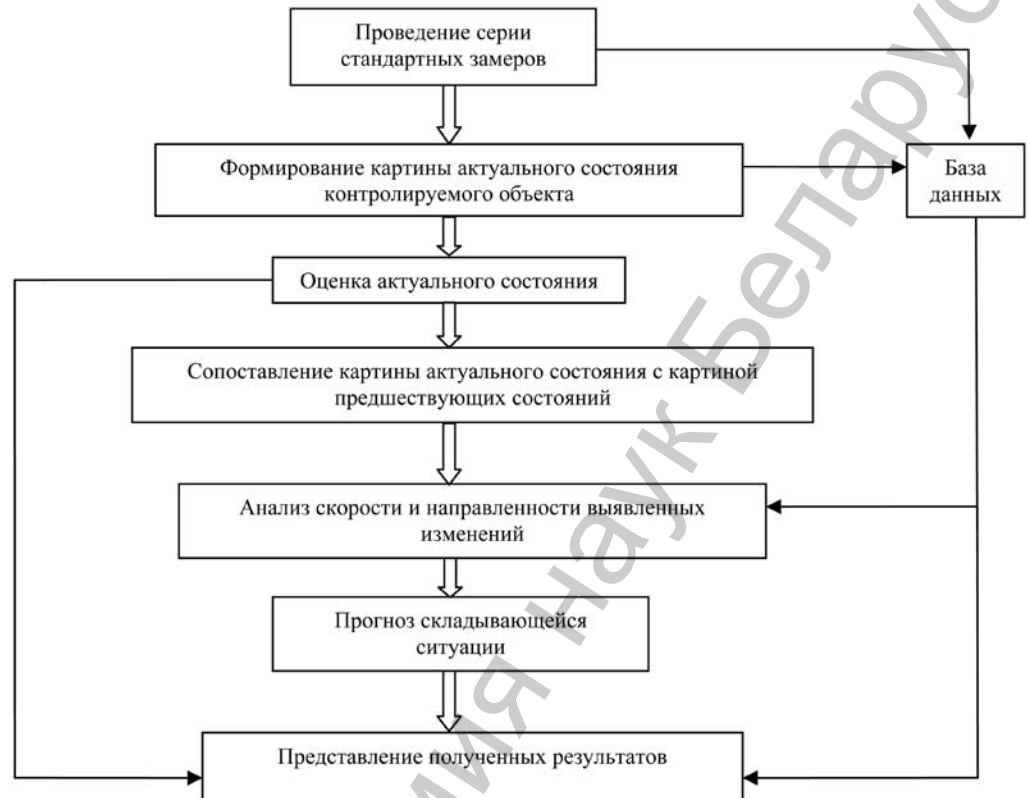


Рис. 1. Принципиальная схема функционирования системы классического мониторинга

операций [6—8]. При этом в плане организации открывалась перспектива уже не совершенствования существующей системы, а создания качественно новой службы контроля, базирующейся на значительном количестве специализированных систем слежения с многократно улучшенными характеристиками и резко возросшим числом функций контроля.

Использование космических снимков почти на порядок повысило надежность и детальность метеорологических прогнозов, решило проблему контроля состояния сельхозугодий, пожароопасности лесов, отслеживания половодий и т. д. [9—12]. Однако задача комплексного мониторинга природной среды решена не была. В данном случае причина была не технической, а состояла в отсутствии специализированной методической процедуры, которая могла бы описать принцип функционирования специализированной программно-аппаратной системы, получающей на входе космические снимки и выдающей на выходе гарантированное решение тех же трех базовых задач классического мониторинга.

Предпосылки к созданию методики комплексного космического мониторинга.

Из вышесказанного следует, что процедура комплексного космического мониторинга предполагает решение стандартной задачи классического мониторинга, но новыми средствами и на новом технологическом уровне. Такая си-

стема должна циклически осуществлять те же операции по сбору и обработке актуальной информации, однако делать это в автоматическом режиме и на базе новейших средств космического зондирования и вычислительной техники. В предельно общем виде блок-схема такой системы должна состоять из трех функционально обособленных компонентов и имеет следующий вид [13; 14] (рис. 2).

Особенность приведенной схемы состоит в том, что в ней только блок окончательной обработки является специализированным компонентом структуры, тогда как орбитальный и антенно-приемный блоки вполне могут существовать обособлено, будучи конструктивно ориентированными на решение значительно более широкого класса задач. Создание специализированных систем мониторинга не обязательно влечет за собой создание специализированных космических аппаратов и наземных средств работы с ними, так как задача обеспечения бесперебойной поставки информации может быть решена и путем организации надежного канала связи либо со станцией приема, либо с постоянно пополняемой базой данных в сети Интернет [1; 6; 9; 15].

Несмотря на то что в данном случае речь действительно идет не более чем об автоматизации стандартной процедуры сбора и обработки результатов повторяющихся наблюдений, выполнение практически всех штатных операций связано с использованием принципиально новых не только методических, но и теоретических подходов. При этом основным качественно новым элементом системы являлся именно алгоритм комплексной оценки состояния крупной, пространственно дифференцированной территории уровня крупного заповедника, промышленного района или административной единицы, реализация которого обеспечила бы фиксацию любых значимых изменений, прослеживаемых применительно ко всем объектам, составляющим его природную среду.

Сложность задачи состоит в том, что, во-первых, оперативному контролю подлежат абсолютно вся территория региона без «белых пятен» и, во-вторых, в том, что постоянно отслеживаться должно состояние не какого-то определенного объекта или группы однотипных объектов, а все наблюдаемое их разнообразие, независимо от размеров, качественных особенностей или принадлежности к определенной группе.

Отличительной особенностью такого мониторинга является его комплексный характер, предполагающий отслеживание не физических параметров каждого из наблюдаемых объектов, а только фиксацию изменений их структуры, скорости трансформации качественных характеристик, специфики существующих взаимосвязей и т. д.

Таким образом, интерес представляют именно изменения, произошедшие с каждым или в каждом из этих объектов в течение одного или нескольких циклов наблюдения. Отсюда следует важный вывод о том, что в основе разрабатываемой методики может и должна



Рис. 2. Блок-схема системы космического мониторинга

лежать не повторяющаяся операция распознавания, оконтуривания и измерения параметров контролируемых объектов, что, как правило, сложно и трудоемко, а более простая операция отслеживания различий, фиксируемых в результате сопоставления актуального космического изображения с неким перманентно трансформируемым эталоном. В этом случае выявленные различия могут интерпретироваться как количественные характеристики нормальных (эволюционных) или аномальных процессов, происходящих в пределах заданного региона. А так как контроль трансформации природной среды и составляет суть решаемой задачи, цикл мониторинга можно в общих чертах представить в виде следующей последовательности операций.

1. Получение и предобработка актуального изображения.
2. Сравнительное сопоставление его с эталонным изображением.
3. Выявление различий и оценка значимости выявленных изменений.
4. Идентификация и параметризация процессов, обусловивших появление значимых изменений.
5. Выявление опасных событий и общая оценка актуального состояния природной среды контролируемого региона.
6. Ретроспективное сопоставление изменений, зафиксированных для последовательного ряда предшествующих снимков.
7. Прогнозная оценка основных тенденций трансформации объектов на территории региона.
8. Текущая коррекция эталонного изображения.

Данная последовательность операций может быть отображена в виде следующей структурной схемы (рис. 3).

Несмотря на то что приведенная блок-схема имеет значительное внешнее сходство со схемой классического мониторинга (рис. 1), ее основу составляют уже совсем другие операции, ориентированные на работу в автоматическом режиме и с несвойственным классическому мониторингу набором объектов.

Создание работоспособной методики на основе выше приведенной схемы представляет собой техническую и, следовательно, заведомо решаемую проблему, но это совсем не означает, что для ее решения, во-первых, существуют необходимые аппаратные предпосылки, а, во-вторых, вовсе не предполагает отсутствия проблемных вопросов, способных кардинально менять не только требования, предъявляемые к качеству отдельных блоков системы, но и ее внутреннюю структуру [10; 16].

К таким проблемным вопросам относится, во-первых, проблема создания эталонного изображения, способного комплексно характеризовать структуру основных компонентов природной среды данного региона, и, во-вторых, проблема установления однозначной связи между фиксируемыми различиями сопоставляемых космических изображений и реальными процессами трансформации природной среды.

Процедура создания эталона сравнения, по отношению к которому планируется осуществлять фиксацию изменений, несомненно, представляет собой самостоятельную проблему, решение которой требует добротного теоретического и методического обоснования. Это прежде всего относится к выбору способа пространственной дифференциации объекта исследования, от чего



Рис. 3. Принципиальная схема функционирования системы комплексного космического мониторинга

впоследствии будут зависеть и параметры осуществляемого мониторинга, включающие его востребованность, масштаб, уровень точности, детальности и т. д. Решение этой задачи можно осуществить несколькими путями, но первоначально необходимо сформулировать минимальные требования к набору репрезентативных объектов, состояние которых технически возможно контролировать из космоса. Эти требования состоят в следующем.

1. Совокупная информация о состоянии отдельных объектов должна давать полное представление как о состоянии любого участка территории, так и о состоянии природной среды контролируемого региона в целом.
2. Общее разнообразие и число контролируемых объектов и процессов должно отвечать требованиям разумной достаточности.
3. Все контролируемые объекты должны быть оптически контрастными, в силу чего должны легко и однозначно идентифицироваться по принадлежности к конкретному классу.
4. Все контролируемые объекты должны обладать достаточной пространственно-временной стабильностью.
5. Объекты наблюдения должны быть пространственно соразмерны параметрам детальности задействованной космической съемки.
6. Объекты наблюдения не должны взаимно перекрываться либо являться структурными компонентами друг друга.
7. На определенное число классов (без «белых пятен») должна дифференцироваться абсолютно вся контролируемая территория.

Принимая во внимание все вышесказанное, а также тот факт, что объектом комплексного мониторинга является совокупность абсолютно всех компонентов

природной среды, находящихся под воздействием внешних и внутренних факторов, имеющих как естественный, так и антропогенный генезис, данный объект по определению относится к категории сложных и в терминах современной физической географии определяется как ландшафтно-территориальный комплекс.

Ландшафт как объект дистанционного зондирования. Понятие «ландшафт» трактуется как иерархический природно-территориальный комплекс, обладающий однозначным качественным единством и имеющий выраженные пространственные границы [17; 18]. Хотя в целом ландшафтная сфера характеризуется весьма сложной иерархической структурой (геологический фундамент, почвы, растительный покров и др.), на интересующем нас таксономическом уровне всю совокупность наблюдаемых природных обстановок можно свести к сравнительно небольшому числу типов ландшафтных урочищ. Речь идет об объектах, которые, с одной стороны, обладают сходным комплексом качественных характеристик, а с другой — чрезвычайно удобны для изучения как раз средствами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Очевидными преимуществами этих крупных таксонов ландшафта, к которым относятся леса, болота, сельскохозяйственные и селитебные урочища всех без исключения типов являются, во-первых, высокая степень изученности (в том числе и картографическими средствами), во-вторых, их всеобщность, позволяющая дифференцировать на качественно различные выделы абсолютно всю изучаемую территорию, и, в-третьих, их выраженная физиогномистическая узнаваемость [19].

Дополнительным преимуществом такого объекта является размерность выделяемых объектов, позволяющая использовать для их наблюдения широкий спектр технических средств контроля и позволяющая легко переходить от полученных ландшафтных характеристик к ресурсно-хозяйственным. И хотя очевидно, что с повышением детальности до уровня, например, рода ландшафтов возможен существенный рост информативности, необходимо считаться с тем, что при этом факториально возрастет и число контролируемых объектов, требования, предъявляемые к параметрам программного обеспечения и возможностям задействованной техники. Кроме того, конструктивные особенности существующих на данный момент космических аппаратов не позволят часто и одновременно покрывать крупный регион качественной детальной съемкой, что резко снизит не только обзорность, но и оперативность выполняемой процедуры мониторинга [5; 11]. Таким образом, выбор карты ландшафтных урочищ в качестве базового объекта комплексного мониторинга не только удовлетворяет всем вышеприведенным требованиям, но и обеспечивает близкое к оптимальному соотношение аппаратных возможностей космической съемки с возможностями автоматической обработки информации [2; 13; 14].

Применительно к возможностям специализированного программного обеспечения в качестве эталона сравнения предполагается использовать гибридное (растрово-векторное) изображение земной поверхности, дифференцированное в соответствии с конфигурацией отображенных ландшафтных урочищ (лесов, болот, сельхозугодий, селитьбы и т. д.). Такая дифференциация долж-

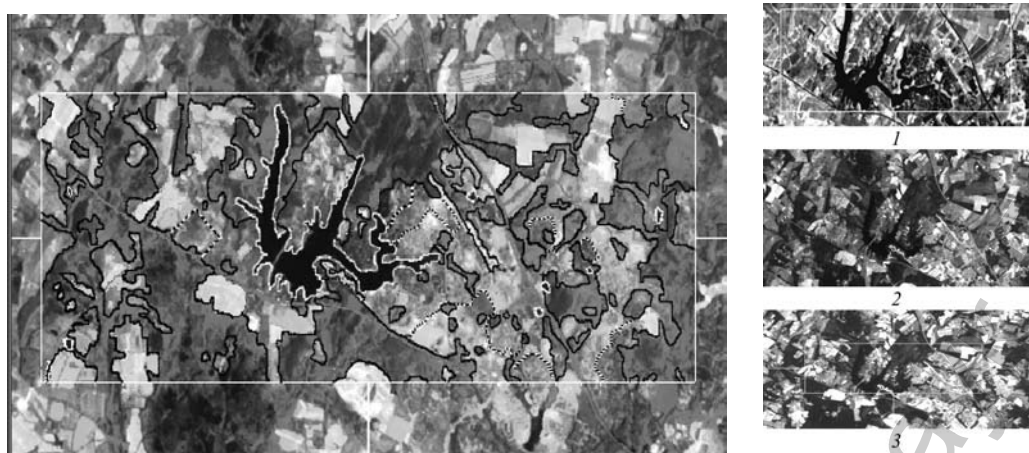


Рис. 4. Пример создания гибридного изображения путем векторной прорисовки границ ландшафтных урочищ на растровом космическом изображении. Сплошной белой линией выделены водные поверхности, сплошной черной линией лесные массивы разного типа и возраста, пунктиром выделены селитебные территории, остальную площадь занимают главным образом сельскохозяйугодья. Пояснения к содержанию спектроразональных изображений 1, 2, 3 в тексте

на быть выполнена с максимально возможной тщательностью и на основе детальных картографических и съемочных материалов.

На рис. 4 отображен пример такого рода дифференциации, полученный применительно к изображению, синтезированному на основе трех спектроразональных снимков, сделанных в красном (1), зеленом (2) и ближнем инфракрасном (3) диапазонах [15].

Существенным дополнительным плюсом данного подхода, позволяющего использовать в качестве эталона сравнения именно растровое космическое изображение, является возможность его доукомплектования любым многослойным векторным покрытием, что в перспективе дает возможность присвоения контролируемым объектам самых разных атрибутивных характеристик, которые в свою очередь могут быть отслежены на уровне каждого пикселя задействованного снимка.

Теоретически, в качестве эталонной основы контролируемой территории, возможно и применение карты землепользования, однако, по отношению к ландшафтной карте, она обладает излишней детализацией и нуждается в обязательном ежегодном уточнении, что, впрочем, не отменяет желательности использования отдельных блоков содержащейся в ней информации.

Решение задачи выбора объекта контроля позволило одновременно определиться и с выбором масштаба контролируемых объектов, что в свою очередь позволило упростить решение задачи определения числа типов процессов, подлежащих контролю посредством выявления различий на актуальном и эталонном снимках. Исходя из вышеописанных предпосылок, мониторингу подлежат:

- изменения конфигурации границ любого из контролируемых объектов;
- исчезновения существовавших или появление новых объектов;

изменения качественных характеристик любого из контролируемых объектов;

аномальные изменения скорости протекания любого из контролируемых процессов.

Такой подход продуктивен хотя бы потому, что получаемая таким образом информация дает возможность относительно легко устанавливать связь между наблюдаемым изменением конфигурации и реальными процессами, протекающими в окружающей среде, что в свою очередь гарантирует решение следующих групп задач:

контроль структурной целостности региона, включая изменения конфигурации, исчезновение и появление новых объектов;

контроль деятельности предприятий и организаций, эксплуатирующих природные, в том числе и сельскохозяйственные ресурсы региона;

отслеживание специфики протекания трансформации любого из контролируемых объектов как в штатном, так и в аварийном режиме;

определение параметров и масштабов катастрофических явлений или стихийных бедствий;

своевременное предотвращение или минимизация экологического ущерба;

инвентаризация природных ресурсов;

определение общего состояния и тенденции изменения природной среды;

оценка эффективности проводимых природоохранных мероприятий и т. д.

Алгоритмизация процедуры комплексного космического мониторинга. Приведенный анализ подходов к решению проблемы позволяет не только констатировать принципиальную возможность создания системы комплексного космического мониторинга, но и сделать заключение о том, что путем дистанционного отслеживания процессов трансформации ландшафтной структуры контролируемого региона можно теоретически корректно алгоритмизировать всю процедуру космического мониторинга, представив ее в виде последовательности элементарных операций [20].

Рассматриваемая методическая процедура ориентирована на использование возможностей существующих съемочных систем низкого и среднего разрешения, относящихся к категории ресурсных космических аппаратов [8; 10; 21]. Поэтому процесс съемки, равно как и процесс приема и предподготовки изображений, по условию является методически не подконтрольным, а собственно мониторинговая процедура обработки информации представляет собой последовательный процесс компьютерного препарирования цифровой графической информации, который подразделяется на три этапа: предварительной, первичной и собственно целевой обработки.

На первом этапе, непосредственно после приема изображения и сопутствующей телеметрии, производятся стандартные операции по оценке ее принципиальной пригодности, преобразованию данных в удобные для последующей обработки форматы, сглаживающей коррекции изображений, синтезу полихроматических или многомерных изображений и т. д.

На втором этапе проводится географическая привязка координат углов полученного изображения с наложением сетки координат и границ контролируемого региона. После чего с учетом параметров эталона и данных телемет-

рии корректируется масштаб и картографическая проекция, уровень разрешения полученного актуального изображения, совмещаются контрольные (реперные) точки сопоставляемых изображений, оценивается величина невязки и осуществляется операция по последовательной ортотрансформации актуального изображения до приемлемого уровня сходимости с эталоном.

Третий этап включает собственно тематическую обработку снимка, которая представляет собой процедуру проверки нулевой гипотезы о соответствии параметров актуального изображения аналогичным параметрам предварительно выверенного эталона.

Процедура сравнения актуального снимка с эталоном может осуществляться либо попиксельно, либо одним из методов кластерного анализа, например, методом «скользящего окна», но обязательно с учетом конфигурации границ ландшафтных урочищ и специфики сезонного изменения оптических свойств объектов. В случае подтверждения гипотезы делается заключение о неизменности, в случае опровержения пиксель помечается как трансформированный. По завершении этой операции проводится процедура «очистки от шума», в ходе которой различия, зафиксированные для отдельных пикселей или предельно малых групп пикселей, будут уничтожены как несущественные. Результат представляется как цифровая карта выявленных несоответствий — достоверно зафиксированных различий между эталоном и полученным актуальным изображением контролируемой территории.

Следующая последовательность операций должна иметь целью распознавание характера выявленных различий и выполняться циклически, применительно только к тем участкам или территориям, которые предварительно уже были распознаны как трансформированные. Поскольку ситуации, в ходе которых на территории региона могут возникать протяженные уникальные объекты, в свою очередь тоже уникальны, данную процедуру логично построить по принципу последовательной проверки соответствия оптических характеристик, выявленных «зон трансформации» параметрам урочищ, уже присутствующих на эталонном снимке. Для этого каждой из выявленных зон несоответствия присваивается статус индивидуального объекта, применительно к которому проводится операция по определению характера выявленной трансформации. Для чего предлагается осуществление следующей последовательности операций:

- проверка внутренней однородности каждого из трансформированных объектов;

- разделение сложных объектов на качественно однородные выделы;

- определение типологической принадлежности трансформированных выделов;

- идентификация типа и зафиксированных трансформаций;

- логическая верификация достоверности обнаруженных трансформаций.

Выполнение этих операций предполагает следующую последовательность действий. Сначала по ряду критериев (размерность, конфигурация, яркостно-цветовая контрастность) проверяется внутренняя однородность всех выявленных зон трансформации. В ходе такой проверки сначала отфильтровываются качественно однородные выделы, а объекты не прошедшие такой проверки

дифференцируются на соответствующее число условно однородных частей. Заканчиваться процесс должен проведением векторных границ и присвоением каждой отфильтрованной части статуса нового площадного объекта.

Следующая многоступенчатая распознавательная процедура должна осуществляться применительно ко всем трансформированным объектам и имеет целью определение их ландшафтной принадлежности путем оценки уровня соответствия набора его индивидуальных параметров параметрам того или иного эталонного изображения, каталог которых должен присутствовать в базе данных применительно к каждому из контролируемых типов ландшафтных урочищ данного региона. А поскольку вероятность того, что выявленные изменения оптических характеристик являются простым следствием сезонных изменений, проверку данной гипотезы логично осуществить в первую очередь. Таким образом, контроль соответствия сначала следует произвести применительно к серии одновременных эталонов, соответствующих типу порождающего урочища, а поскольку тождество сопоставляемых объектов может быть проверено по довольно большому числу критериев, решение о его констатации должно приниматься либо в случае полного совпадения всех этих критериев, либо при достижении приемлемого уровня сходства, зафиксированного путем виртуального голосования. При этом, учитывая характер временной динамики выявленных изменений, в обязательном порядке должны фиксироваться нештатные, т. е. не соответствующие сезону изменения оптических характеристик каждого выдела.

В случае принятия решений о распознавании и идентификации трансформированных выделов, они помечаются особым цветом и снабжаются соответствующим атрибутом. Применительно к объектам, для которых проверка не подтвердила гипотезы о сезонном характере выявленных изменений, проводится следующий цикл поиска, в ходе которого проверяется гипотеза о замещении одних типов урочищ другими. При проверке этой гипотезы используется набор эталонов, характеризующих участки действительно типичные для каждого типа урочищ, такие как мелколиственные и хвойные леса различного возраста, пастбищные и пахотные сельхозугодья, выгари, вырубки и т. д. Первоначально каждая из нераспознанных зон трансформации по серии критериев проверяется на соответствие этим эталонным участкам, и в случае достоверного выявления сходства, опять же особым цветом фиксируется, как относящаяся к определенной группе вновь образованных урочищ. При этом следует разделять два типа выявляемых в данном случае процессов: процесс экспансии (когда речь идет о расширении границ существующего урочища обусловленного, например, наступлением леса на пастбище) и процесс инверсии (при котором один объект возникает в результате окончательного или временного уничтожения другого, например, вырубка леса, заполнение водохранилища, нашествие насекомых-вредителей, зарастание пустошей и т. д.).

Результатом выполнения этого цикла операций может стать значительное число вариантов распознавания, поэтому по окончании его должна быть проведена процедура логической верификации путем проверки достоверности выявленных изменений с отсевом явно запрещенных вариантов. Например, выгарь ни при каких обстоятельствах не может позиционироваться на поверхности воды, лес не может одновременно покрыть селитебную территорию, а болото не может находиться на водораздельных участках рельефа и т. д.

Поскольку и после выполнения всего цикла распознавательных операций вероятность обнаружения нераспознанных зон все равно остается достаточно высокой, хотя бы из-за наличия специфических проявлений сезонной изменчивости в переходных зонах между ландшафтами разного типа, например, лес—болото или луг—болото, то применительно к оставшимся объектам целесообразно повторить первичную процедуру проверки попиксельного соответствия, используя в качестве эталона ретроспективные снимки предшествующих лет. Обнаруживаемые соответствия фиксируются как особенности проявления сезонной изменчивости, а применительно к оставшимся контурам проводится процедура качественной фильтрации, в ходе которой качественные и количественные параметры нераспознанных объектов проверяются на соответствие диапазону изменчивости показателей, присущих исследуемому объекту.

Оставшаяся выборка нераспознанных объектов далее проверяется на соответствие объектам мнимой природы, т. е. объектам, чье существование обусловлено специфическими условиями съемки или дефектами изображения (сбойные строки, тени от облаков, блики на водной поверхности) [3].

Оставшиеся полигоны интерпретируются как объекты естественного генезиса, для которых не удалось обнаружить эталонированного аналога.

Хотя окончательное заключение по результатам дешифрирования объектов, относящихся к последней нераспознанной части выборки, должен сделать квалифицированный эксперт, завершить это все же должна опять же процедура логической верификации.

Все выше описанные операции обработки технически и программно реализуемы, хотя бы потому, что их аналоги уже присутствуют в виде готовых опций в таких программных средствах обработки космических изображений, как, например, ERDAS или ArcINFO [1; 3; 21; 22].

Полной гарантии того, что в результате осуществления всего комплекса распознавательных процедур будут обнаружены и распознаны все 100 % выявленных изменений нет и не может быть. Для этого существует, во всяком случае, 4 объективные причины:

наличие специфических помех и мнимых объектов, существование которых может быть обусловлено особым состоянием атмосферы, спецификой снимаемых объектов или положением светила на момент съемки (дымка, блики или специфические температурные аномалии);

специфические формы антропогенной деятельности, связанные со значительным изменением внешнего вида объектов, например, известкование крупных севооборотных контуров, посевы редких сельхозкультур, крупные строительные или военные мероприятия и т. д.;

способность значительной части объектов резко и нерегулярно менять оптические свойства под действием природных и антропогенно стимулируемых процессов, например, в ходе уборочных работ, цветения и пожелтения растительности, размножения водорослей, пылевых бурь и т. д.;

специфика сезонной изменчивости оптических свойств ландшафтов умеренной зоны, кардинально осложняющая решение значительной части задач мониторинга в зимнее время.

Преодоление указанных трудностей возможно двумя путями:

1. Использование возможностей ручного дешифрирования, которое в сочетании с комплектом тематических векторных карт региона и ретроснимков

высокого разрешения в большинстве случаев позволит распознать и сам объект и характер процесса, обусловившего именно такие изменения параметров объекта.

2. **Формирование и постоянное пополнение специализированного банка данных, содержащего сезонно систематизированные эталоны изображений, характерных именно для мнимых, редких и специфических явлений, имеющих место на территории данного региона.**

Поскольку оба указанных пути не являются взаимоисключающими, в рамках проектируемой методической процедуры вполне возможно использование сочетания обоих подходов. Принимая во внимание тот факт, что по мере накопления баз данных, приобретения опыта эксплуатации и роста архива эталонов точность автоматического распознавания будет неуклонно расти, можно обоснованно предположить, что значимость ручного дешифрирования со временем может стать исчезающе малой, но она вряд ли исчезнет окончательно [12; 14].

Процедура анализа и оценки выявленных изменений. Результатом выполнения следующего этапа методической процедуры, осуществление которого также может быть автоматически реализовано средствами специализированного АПК, должно стать создание оперативной карты выявленных изменений и текстовой экспликации, характеризующей актуальное состояние контролируемой территории. Для этого на топооснову или гибридный векторно-растровый снимок (комплект ретроснимков) наносятся все изменения природной среды, выявленные в ходе данного цикла наблюдения. Цветом указывается их характер и генезис, после чего опять же в интерактивном режиме создается описание актуальной ситуации, характеризующее:

специфику временной трансформации основных объектов землепользования на контролируемой территории;

список объектов, претерпевших необратимые изменения в ходе данного цикла;

перечень опасных и катастрофических явлений с указанием координат или зон их распространения;

экспликацию изменения площади основных угодий по районам или хозяйствам.

Завершающей фазой цикла является процедура анализа направленности и характера выявленных трансформаций, которая должна заканчиваться составлением краткосрочных и уточнением долгосрочных прогнозов.

Данная процедура сводится к ретроспективному анализу характера наблюдаемых трансформаций. Она выполняется путем последовательного сопоставления имеющихся карт выявленных изменений и может быть реализована в полуавтоматическом режиме. Поскольку по условию контролироваться может только сравнительно небольшое количество процессов, к тому же часто обладающих фиксированной скоростью и направленностью, вся процедура анализа в большинстве случаев может быть сведена только к подтверждению факта стабильной скорости изменений, наблюдаемых применительно к каждому из фиксируемых объектов. К таким процессам относятся, например, растительные сукцессии, эффекты осушения и заболачивания, трансформации речных дельт, русловые процессы и т. п. Специфической особенностью при наличии достаточно длинного ряда наблюдений является возможность мультипликационной визуализации ре-

зультатов воздействия данного процесса, зафиксированного как на всей территории региона, так и применительно к любому из интересующих объектов. Принимая во внимание изученность процесса, особых проблем с составлением как долгосрочных, так и краткосрочных прогнозов возникать не должно.

Особую группу процессов, которые также могут контролироваться в рамках системы комплексного космического мониторинга, должны составить процессы катастрофического характера: засухи, болезни растений, наводнения, лесные и торфяные пожары, нашествия насекомых-вредителей и т. п. Несмотря на то что факт их протекания будет несомненно выявлен и идентифицирован на фоне контролируемых ландшафтных урочищ, специфика их появления и динамика пространственного распространения настолько разнообразны, что принципиальная возможность их надежного отслеживания и прогноза может быть обеспечена только при соблюдении очень жестких требований к техническим параметрам задействованной съемочной аппаратуры.

Статистическая параметризация и представление результатов. Следующим обязательным шагом в цепи проводимых мониторинговых операций может стать запросная процедура сопоставления актуально наблюдаемых показателей с данными административно-статистической отчетности, в ходе которой проверяется соответствие отчетных параметров наблюдаемым. Это могут быть площади лесов или сельхозугодий, числящихся в тех или иных хозяйствах, размеры вырубок или выгарей, территории затопления и т. п. Эти данные могут быть представлены как в виде карт, так и в виде соответствующих таблиц. Отдельной операцией является составление соответствующей сводки и дополнение ее информацией о характере наблюдаемых тенденций, прогнозируемых угроз и отклонениях от среднестатистической нормы.

Актуализация эталонного покрытия. Последней в структуре цикла мониторинга является техническая операция по актуализации эталонного снимка и векторного покрытия границ, которая представляет собой процесс внесения исправлений в существующую сетку границ угодий. Она осуществляется в соответствии с выявленными в ходе цикла достоверными изменениями необратимого характера, что, естественно, должно сопровождаться одновременной коррекцией соответствующих тематических атрибутов. После завершения этой операции модернизированный эталон позиционируется в базу данных, естественно, вместе с предшествующим эталонным изображением. На этом общий цикл мониторинга завершается.

Структура операций, осуществляемых в ходе реализации данной методической процедуры, может быть представлена в виде следующей блок-схемы, отображающей последовательность работы программных модулей с актуальным космическим изображением (рис. 5).

Описанная методическая процедура не содержит явных логических противоречий и теоретически может быть сравнительно легко представлена в виде технологической схемы, адаптированной к параметрам не только существующих космических систем ДЗЗ, но и прочих средств аппаратного и программного обеспечения, что, однако, не входит в число задач, решаемых в рамках данной публикации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Х07К-010).

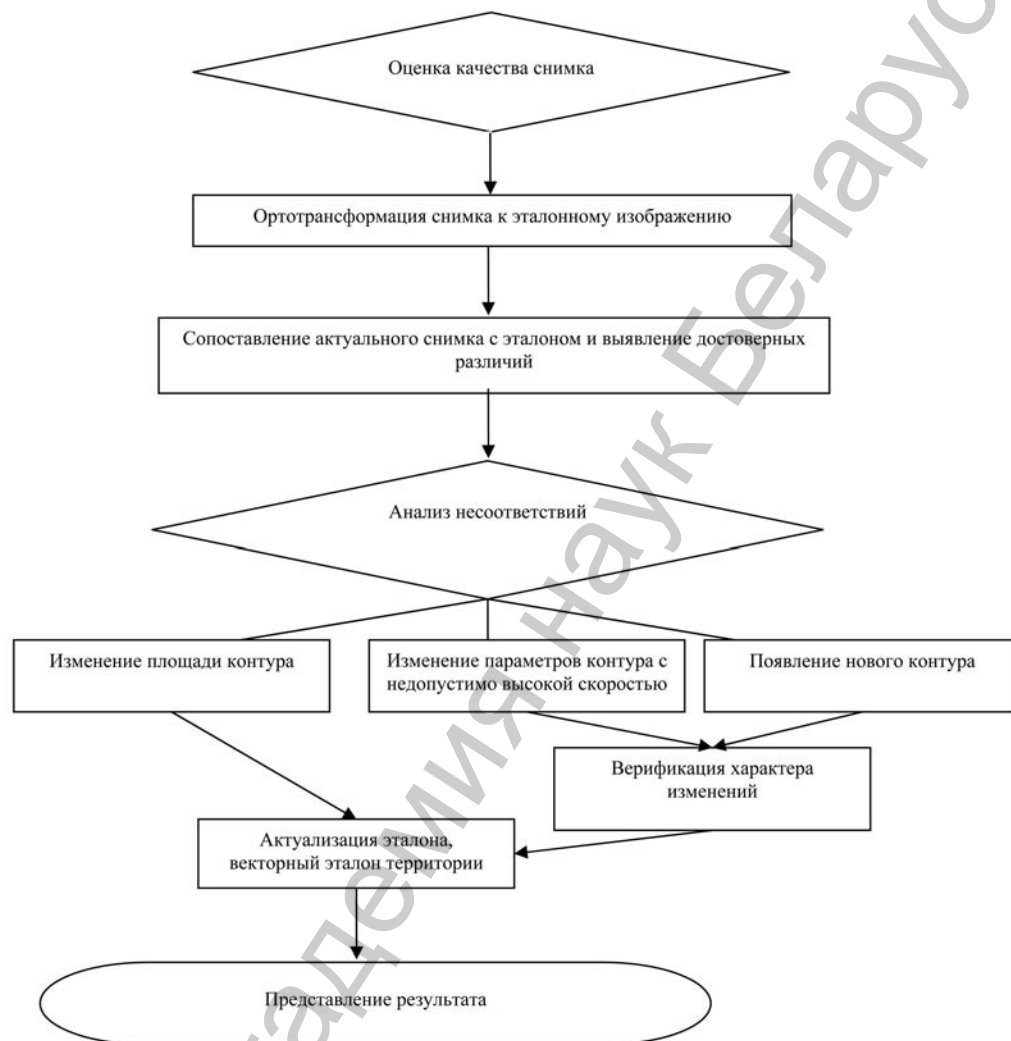


Рис. 5. Принципиальная схема последовательности операций, выполняемых в ходе осуществления процедуры комплексного космического мониторинга

Литература

1. ERDAS Field Guide 5nd Ed. ERDAS Inc., Atlanta, Georgia, 1999. — 672 p.
2. А к ч у р и н Т. М., К о ж е в н и к о в а Ю. П., Г о р б у н о в С. А., Б у б н о в М. В. Создание системы обработки данных ДЗЗ в целях мониторинга состояния территории Республики Татарстан. Казань, 2003. — 60 с.
3. С н е г и р е в В. А. // Тр. государственного научно-исследовательского центра «Природа». 1980. Вып. 4. С. 54—71.
4. К у ч е й к о А. А., Г е р ш е н з о н В. Е. // Земля и Вселенная. 2000. № 4. С. 25—30.
5. Ж у к о в Б. С., З и м а н Я. Л., Б р и с К., Л о р е н ц Е. и др. // Исследования Земли из космоса. 1998. № 3. С. 25—30.

6. Горелиц О. В., Землянов И. В., Павловский А. Е., Яготинцев В. Н. // Земля из Космоса — наиболее эффективные решения. М., 2003. С. 35—37.
7. Кравцова В. И. Космические методы изучения природной среды. М., 1992. — 136 с.
8. Чернявский Г. М. // Земля и Вселенная. 2004. № 5. С. 3—12.
9. Виноградов Б. В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. М., 1984. — 320 с.
10. Балдина Е. А., Лабутина И. А. // Материалы междунар. конф. «Земля из космоса, наиболее эффективные решения». М., 2003. — 65 с.
11. Букчин М. А., Гершензон В. Е., Захаров М. Ю. и др. // Исследования Земли из космоса. 1992. № 6. С. 85—90.
12. Ершова Т. В., Кудашев Е. Б., Мясников В. П. и др. // Информационное общество. 2001. Вып. 5. С. 38—42.
13. Гучек В. В. Белорусская космическая система дистанционного зондирования Земли — перспективы развития наземного сегмента. Минск, 2006. — 109 с.
14. Брюханов А. В., Господинов Г. В., Книжников Ю. Ф. Аэрокосмические методы в географических исследованиях. М., 1982. — 231 с.
15. Дешифрирование многозональных аэрокосмических снимков: Методика и результаты. Берлин; М., 1988. — 1982 с.
16. Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И., Тутубалина О. В. Аэрокосмические методы географических исследований. М., 2004. — 333 с.
17. Марцинкевич Г. И., Клицунова Н. К. и др. Ландшафты Белоруссии. Минск, 1989. — 234 с.
18. Космические системы ДЗЗ среднего и низкого разрешения. Серийные оперативные спутники ДЗЗ, данные которых доступны на международном рынке // Пространственные данные. 2005. № 1. С. 44—48.
19. Пермитина Л. И., Новикова Н. Н., Пахомов Л. А. и др. // Материалы конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». М., 2005. С. 78—82.
20. Лурье И. К., Косиков А. Г. Теория и практика цифровой обработки изображений. М., 2003. — 170 с.
21. Instrument Descriptions and Data Processing Overviews. Terra MODIS // Data Products Handbook. 2000. Vol. 1. P. 37—39.
22. Наставление по глобальной системе обработки данных и прогнозирования. Том I. Дополнение IV к Техническому регламенту ВМО. Глобальные аспекты. ВМО-№ 485 / Секретариат Всемирной метеорологической организации. Женева, 2005.

S. L. ROMANOV, S. A. ZOLOTY

METHODOLOGICAL PRINCIPLES OF THE SYSTEM FOR INTEGRATED MONITORING OF THE MAJOR NATURAL-ECONOMIC REGIONS OF FARM SPACE VEHICLES

Summary

The theoretical and technical feasibilities of establishing workable system of integrated space monitoring of large natural-economic regions was analyzed. The current state of problem was identified, the key challenges were posed and the means of their solutions were proposed. The basic requirements for the quality of components of control system were formulated. The sequence of operations to establish of APC was determined and the cyclic algorithm of automated monitoring procedure was described.

УДК 581.5:581.6:615.322 (476.2-37 ВЕТКА=470.333)

Л. М. САПЕГИН, Н. М. ДАЙНЕКО, С. Ф. ТИМОФЕЕВ

РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ВЕТКОВСКОГО РАЙОНА ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

(Поступила в редакцию 18.03.2010)

Из изученных в 2006 и 2009 гг. 54 видов растений на 7 объектах Ветковского района наиболее загрязненными ^{137}Cs были 34 вида (62,7 %) и 20 видов (37,3 %) отвечали нормативам РДУ/ЛТС-2004 по ^{137}Cs , равному 370 Бк/кг. В 2009 г. с четырех объектов этого же района на содержание ^{90}Sr проанализировано 9 видов растений. Содержание ^{90}Sr в них изменялось от 889,4 до 25,5 Бк/кг. Использование хозяйственных растений, произрастающих на обследованных объектах Ветковского района, возможно при обязательном радиологическом контроле.

Введение. Глобальная техногенная экологическая катастрофа XX столетия — авария на Чернобыльской АЭС в 1986 г. привела к радиоактивному загрязнению значительной территории Республики Беларусь. Наиболее пострадали от аварии районы Гомельской области, особенно Ветковский.

Классификация растений по степени аккумуляции радионуклидов из почвы и расчет средних значений коэффициента накопления (КН) изученных видов растений являются научной базой дифференцированного использования дикорастущего лекарственного сырья в условиях радиоактивного загрязнения территории.

Задачей исследования было выяснение возможности безопасного использования хозяйственно ценных видов растений в составе лесных, луговых и рудеральных экосистем на территории наиболее пострадавшего от радиоактивного загрязнения радионуклидами Ветковского района.

Объекты, программа и методика исследований. Объектами исследований были хозяйственно ценные виды растений лесных, луговых и рудеральных экосистем Ветковского района с различной плотностью радиоактивного загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Программа исследований включала изучение синтаксономии природных экосистем [1—5; 12; 13], видового состава лекарственных и других хозяйственно ценных растений [6], определение степени загрязнения растений радиону-

клидами ^{137}Cs и ^{90}Sr и коэффициента накопления радионуклидов различными видами растений.

Отбор проб и методика определения радионуклидов выполнены по существующим методикам [7—10]. Определение содержания ^{137}Cs в почвенных и растительных образцах производили на гамма-спектрометрах **Tennelec-Oxford** и **Canberra-Pakard** (США), ^{90}Sr — радиохимическим методом с радиометрическим окончанием на Canberra-2400. Оценку степени радиоактивного загрязнения лекарственных растений и возможность их безопасного использования давали путем сопоставления полученных результатов с нормативными показателями РДУ/ЛТС-2004 [11].

С этой целью в летний период 2006 г. нами выполнены полевые исследования на трех природных объектах Ветковского района.

Объект № 1 представляет собой лесную экосистему в сосняке дубняково-мшистом в 1 км северо-западнее г. Ветка, справа от дороги в санаторий «Беседь». По эколого-флористической классификации экосистема входит в состав ассоциации *Thymo serpylli — Pinetum sylvestris Bul. et Solom.* 2003 союза *Cytiso ruthenici — Pinion sylvestris Krausch* 1962, порядка *Pulsatillo — Pinetalia sylvestris Oberdorfer in Oberdorfer et al.* 1967, класса *Pulsatillo — Pinetea sylvestris Oberdorfer* 992. В этой экосистеме для радиологического анализа отобраны 9 образцов растений и 2 пробы почвы.

Объект № 2 в лесной экосистеме — сосняке дубняково-мшистом на расстоянии 1 км юго-восточнее д. Тумарин Ветковского района, слева от шоссе Ветка—Добруш. По эколого-флористической классификации лесная экосистема относится к ассоциации *Thymo serpylli — Pinetum sylvestris Bul. et Solom.* 2003 того же союза, порядка и класса, что и экосистема объекта № 1. Для радиологического анализа из лесной экосистемы этого объекта отобрано 11 образцов растений и 2 пробы почвы.

Объект № 3 расположен на юго-восточной окраине д. Юрковичи и представляет собой пустырь, примыкающий к притеррасной пойме р. Сож. На этом объекте для радиологического анализа отобрано 13 образцов растений и 2 пробы почвы.

В летний период 2009 г. проведены исследования на 4 объектах этого же района, приграничного с территорией Брянской области России.

Объект № 1 — луговая экосистема на плоской равнине левобережной центральной поймы р. Беседь напротив г. п. Светиловичи. По эколого-флористической классификации луговая экосистема входит в состав ассоциации *Deschampsietum caespitosae Horvatic* 1930 союза *Deschampsion caespitosae Horvatic* 1930, порядка *Molinietalia W. Koch* 1926, класса *Molinio-Arrhenatheiretea R. Tx. em. R. Tx.* 1937 системы синтаксонов Браун-Бланке. Из этой луговой экосистемы для радиологического анализа отобрано 9 образцов растений и 6 проб почвы.

Объект № 2 — березняк, сменяющий сосняк ракитниково-мшистый напротив автобусной остановки «Больница». Он относится к ассоциации *Thymo serpylli — Pinetum sylvestris Bul. et Solom.* 2003 союза *Cytiso ruthenici — Pinion sylvestris Krausch* 1962, порядка *Pulsatillo — Pinetalia sylvestris Oberdorfer in Oberdorfer et al.*

1967, класс *Pulsatillo — Pinetea sylvestris Oberdorfer* 1992. С этого объекта для радиологического анализа взято 9 образцов растений и 6 проб почвы.

Объект № 3 — сосняк раkitниково-мшистый в 1 км ниже д. Неглюбка, слева от дороги. Для радиологического анализа на содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr из этого объекта отобрано 12 образцов растений и 6 проб почвы.

Объект № 4 — сосняк раkitниково-мшистый в 2 км ниже по шоссе от д. Рудня Столбунская.

По эколого-флористической классификации лесные экосистемы объектов 3 и 4 также относятся к классу *Pulsatillo — Pinetea sylvestris Oberdorfer* 1992, порядку *Pulsatillo — Pinetalia sylvestris Oberdorfer in Oberdorfer* 1967, союзу *Cytiso ruthenici — Pinion sylvestris Krausch* 1962, ассоциации *Thymo serpylli — Pinetum sylvestris Bul. et Solom.* 2003.

Из лесной экосистемы объекта № 4 для радиологического анализа взято 7 образцов растений и 6 проб почв.

Результаты и их обсуждение. С трех объектов Ветковского района в 2006 г. для радиологического анализа отобрано 33 образца растений и 6 проб почвы.

Растения представлены 27 видами из 27 родов и 15 семейств. Наиболее многочисленными по количеству видов были семейства *Asteraceae* — 7 видов (25,9 %), *Rosaceae* и *Lamiaceae* — по 3 (по 11,1 %), *Liliaceae* и *Polygonaceae* — по 2 (по 7,4 %) вида. Остальные 10 семейств представлены по 1 виду (по 3,7 %). Все виды растений многолетники, из них трав — 19 (70,4 %), деревьев — 4 (27,0 %), кустарников — 3 (11,1 %) и кустарничков — 1 (3,7 %).

Результаты радиологического анализа на содержание ^{137}Cs в лекарственных растениях Ветковского района представлены в табл. 1.

Из данных табл. 1 видно, что на объекте № 1 изученные виды растений расположены по мере убывания радиоактивного загрязнения ^{137}Cs , в том числе: травы — ландыш майский, буквица лекарственная, коровяк черный; кустарники — раkitник русский, бузина красная, ежевика сизая; деревья — дуб черешчатый, рябина обыкновенная, сосна обыкновенная. Самым загрязненным среди всех видов этого объекта был ландыш майский, а наименее загрязненным — коровяк черный. Отвечали нормативам РДУ/ЛТС-2004 по ^{137}Cs , 370 Бк/кг, сосна, обыкновенная и коровяк черный.

На объекте № 2 изученные виды растений также расположены по мере убывания радиоактивного загрязнения ^{137}Cs , в том числе: травы — ландыш майский, купена душистая, чабрец обыкновенный, цмин песчаный; кустарники — черника, ежевика сизая; деревья — дуб черешчатый, рябина обыкновенная, сосна обыкновенная, береза повислая. Самым загрязненным ^{137}Cs был ландыш майский, самым чистым — цмин песчаный. Нормативам РДУ/ЛТС-2004 по ^{137}Cs , 370 Бк/кг, на этом объекте отвечали чабрец обыкновенный, береза повислая и цмин песчаный.

Изученные виды растений объекта № 3 относятся к одной жизненной форме — многолетним травам. На этом объекте самым загрязненным ^{137}Cs был девясил британский, а наименее загрязненной — таволга вязолистная. Нормативам РДУ/ЛТС-2004 по ^{137}Cs , 370 Бк/кг, удовлетворяли чистец болотный, щавель пирамидальный, цикорий обыкновенный, аир обыкновенный, крапива двудомная, пижма обыкновенная, чистотел большой, таволга вязолистная.

Т а б л и ц а 1. Аккумуляция ^{137}Cs и коэффициенты его накопления лекарственными растениями Ветковского района, дата отбора — 20.07.2006

Вид растения	Содержание ^{137}Cs в растениях, Бк/кг	КН по ^{137}Cs , Бк/кг: Бк/кг
Объект № 1.		
Сосняк дубняково-мшистый в 1 км северо-западнее г. Ветка, справа от дороги в санаторий «Беседь». Содержание ^{137}Cs в почве 10130 Бк/кг		
Ландыш майский (<i>Convallaria majalis</i>) — трава	11357	1,122
Ракитник русский (<i>Chamaecytisus ruthenicus</i>) — побеги с листьями, соцветиями	3333	0,329
Бузина красная (<i>Sambucus racemosa</i>) — ветви с листьями	1641	0,162
Буквица лекарственная (<i>Betonica officinalis</i>) — трава	1438	0,142
Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i>) — ветви с листьями	1219	0,120
Ежевика сизая (<i>Rubus caesius</i>) — побеги с листьями	1000	0,099
Рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i>) — ветви с листьями	629	0,062
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>) — побеги с хвоей	310	0,031
Коровяк черный (<i>Verbascum nigrum</i>) — трава	326	0,032
Объект № 2.		
Сосняк дубняково-мшистый в 1 км юго-восточнее д. Тумарин Ветковского района, слева от шоссе Ветка–Добруш. Содержание ^{137}Cs в почве 3799 Бк/кг		
Ландыш майский (<i>Convallaria majalis</i>) — трава	6500	1,711
Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i>) — ветви с листьями	3772	0,993
Черника (<i>Vaccinium myrtillus</i>) — побеги с листьями	3709	0,976
Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i>) — кора	1538	0,405
Рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i>) — ветви с листьями	1292	0,340
Купена душистая (<i>Polygonatum odoratum</i>) — трава	1290	0,339
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>) — побеги с хвоей	811	0,213
Ежевика лесная (<i>Rubus caesius</i>) — ветви с листьями	667	0,176
Чабрец обыкновенный (<i>Thymus serpyllum</i>) — трава	321	0,084
Береза повислая (<i>Betula pendula</i>) — ветви с листьями	232	0,061
Цмин песчаный (<i>Helichrysum arenareum</i>) — трава	183	0,048
Объект № 3.		
Юго-восточная окраина д. Юрковичи, пустырь, примыкает к пойме р. Сож. Содержание ^{137}Cs в почве 1050 Бк/кг		
Девясил британский (<i>Inula britannica</i>) — трава	3946	3,758
Горец пятнистый (<i>Polygonum maculata</i>) — трава	3408	3,246
Черёда трехраздельная (<i>Bidens tripartita</i>) — трава	2466	2,349
Лопух большой (<i>Arctium lappa</i>) — трава	442	0,421
Василек луговой (<i>Centaurea jacea</i>) — трава	412	0,392
Чистец болотный (<i>Stachys palustris</i>) — трава	370	0,352
Щавель пирамидальный (<i>Rumex thyrsoiflorus</i>) — трава	362	0,345
Цикорий обыкновенный (<i>Cichorium intybae</i>) — трава	321	0,306
Аир обыкновенный (<i>Acarus calamus</i>) — трава	302	0,288
Крапива двудомная (<i>Urtica dioica</i>) — трава	273	0,260
Пижма обыкновенная (<i>Tanacetum vulgare</i>) — трава	200	0,190
Чистотел большой (<i>Chelidonium majus</i>) — трава	167	0,159
Таволга вязолистная (<i>Filipendula ulmaria</i>) — трава	91	0,087

Таким образом, из 33 образцов растений, произрастающих на трех объектах Ветковского района, собранных и проанализированных в 2006 г., 20 образцов (60,6 %) превышали нормативы РДУ/ЛТС-2004 по ^{137}Cs , 370 Бк/кг. Остальные 13 видов (39,4 %) отвечали требованиям РДУ/ЛТС-2004.

Всего в 2009 г. с 4 объектов изучаемого района отобрано для радиологического анализа 38 образцов растений и 24 пробы почвы.

Растения представлены 27 видами из 27 родов и 20 семейств. Наибольшим числом видов представлены семейства *Rosaceae* — 4 вида (14,8 %) и *Fabaceae* — 3 (11,1 %), *Asteraceae* и *Polygonaceae* — по 2 вида (по 7,4 %). Остальные 16 семейств включают по 1 виду (по 3,7 %) каждое. Все виды растений были многолетниками. Деревья представлены 3 видами (11,1 %), кустарники и плауны — по 1 виду (по 3,7 %) каждое. Самой многочисленной была группа трав — 17 видов (62,9 %).

Результаты изучения радиоактивного загрязнения хозяйственных видов растений радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr Ветковского района по результатам исследований в 2009 г. приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2. Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr и коэффициенты их накопления лекарственными растениями Ветковского района, дата отбора — 02.07.2009

Вид растения	Содержание ^{137}Cs в растениях, Бк/кг	Содержание ^{90}Sr в растениях, Бк/кг	КН по ^{137}Cs , Бк/кг	КН по ^{90}Sr , Бк/кг		
Объект № 1.						
Лесная экосистема в сосняке дубняково-мшистом в 1 км северо-западнее г. Ветка, справа от дороги в санаторий «Беседь». Содержание ^{137}Cs в почве 1113 Бк/кг; содержание ^{90}Sr в почве 16,4 Бк/кг						
Щавель курчавый (<i>Rumex crispus</i>) — трава с соев.	7147	25,5 ± 14,8	6,42	1,55		
Горошек мышиный (<i>Vicia cracca</i>) — трава с соев.	5243		4,71			
Птармика обыкновенная (<i>Ptar mica vulgaris</i>) — трава	3039,3		2,73			
Подмаренник мягкий (<i>Galium mollugo</i>) — трава	2478		2,23			
Щучка дернистая (<i>Deschampsia cespitosa</i>) — трава с соев.	1430		1,28			
Вероника длиннолистная (<i>Veronica longifolia</i>) — трава	1377		1,24			
Василистник блестящий (<i>Thalictrum lucidum</i>) — трава с соев.	1227		1,10			
Таволга вязолистная (<i>Filipendula ulmaria</i>) — трава с соев.	510		0,46			
Вербейник обыкновенный (<i>Lysimachia vulgaris</i>) — трава	267		0,24			
Объект № 2.						
Лесная экосистема березняка на месте сосняка ракитниково-мшистого, напротив автобусной остановки «Больница». Содержание ^{137}Cs в почве 2738,0 Бк/кг; содержание ^{90}Sr в почве 28,2 Бк/кг						
Рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i>) — ветви с листьями	1120	130,0 ± 30,0	0,41	4,61		
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>) — ветви с хвоей	1120		0,41			
Плаун булавовидный (<i>Lycopodium clavatum</i>) — ветви с листьями	822		0,30			
Подмаренник мягкий (<i>Galium mollugo</i>) — трава	544		0,20			
Крушина ломкая (<i>Frangula alnus</i>) — ветви с листьями	428		0,16			
Грушанка круглолистная (<i>Pyrola rotundifolia</i>) — трава	289		0,11			
Береза повислая (<i>Betula pendula</i>) — ветви с листьями	236		0,09			
Дрок красильный (<i>Genista tinctoria</i>) — ветви с листьями	212		0,08			
Чабрец обыкновенный (<i>Thymus serpyllum</i>) — трава	159		191,6 ± 45,1		0,06	6,79
Земляника лесная (<i>Fragaria vesca</i>) — трава	90,2		224,6 ± 46,8		0,03	7,96

Окончание табл. 2

Вид растения	Содержание ¹³⁷ Cs в растениях, Бк/кг	Содержание ⁹⁰ Sr в растениях, Бк/кг	КН по ¹³⁷ Cs, Бк/кг	КН по ⁹⁰ Sr, Бк/кг		
Объект № 3.						
Лесная экосистема сосняка ракитниково-мшистого в 1 км южнее д. Неглюбка, слева от дороги. Содержание ¹³⁷ Cs в почве 1989 Бк/кг; содержание ⁹⁰ Sr в почве 33 Бк/кг						
Чистотел большой (<i>Chelidonium majus</i>) — трава	10906	335,5 ± 70,9	5,48	10,15		
Малина (<i>Rubus idaeus</i>) — побеги с листьями	2304,8		1,16			
Бородавник обыкновенный (<i>Lapsana communis</i>) — трава	2007		1,01			
Иван-чай узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i>) — трава	1846		0,93			
Зимолюбка зонтичная (<i>Chimaphila umbellata</i>) — побеги с листьями	1202		0,60			
Рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i>) — ветви с листьями	1142,3		889,4 ± 177,8		0,57	26,95
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>) — ветви с хвоей	832		0,42			
Дрок красильный (<i>Geenista tinctoria</i>) — ветви с листьями	686		0,34			
Медвежьи ушки (толокнянка) (<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>) — ветви с листьями	613		0,31			
Бузина красная (<i>Sambucus racemosa</i>) — ветви с листьями	534		0,27			
Береза повислая (<i>Betula pendula</i>) — ветви с листьями	353,8	169,1 ± 35,1	0,18	5,12		
Ракитник русский (<i>Chamaecytisus ruthenicus</i>) — ветви с листьями	20	0,01				
Объект № 4.						
Лесная экосистема сосняка ракитниково-мшистого в 2 км ниже по шоссе д. Рудня Столбунская, справа. Содержание ¹³⁷ Cs в почве 1012,0 Бк/кг; содержание ⁹⁰ Sr в почве 37,3 Бк/кг						
Бородавник обыкновенный (<i>Lapsana communis</i>) — трава	2203	274,5 ± 60,7	2,18	7,36		
Лещина (<i>Coryllus avellana</i>) — побеги с листьями	1054		1,04			
Иван-чай узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i>) — трава	757,3		0,75			
Береза повислая (<i>Betula pendula</i>) — ветви с листьями	652		0,64			
Рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i>) — побеги с листьями	574		0,57			
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>) — ветви с хвоей	337	0,33				
Крушина ломкая (<i>Frangula alnus</i>) — побеги с листьями	247,4	191,3 ± 41,4	0,25	5,13		

Из данных табл. 2 видно, что на объекте № 1 все изученные 9 видов растений являются многолетними травами. Они образуют ряд по снижению уровня радиоактивного загрязнения ¹³⁷Cs от щавеля курчавого (7147 Бк/кг) до вербейника обыкновенного (246 Бк/кг). Только вербейник обыкновенный по аккумуляции ¹³⁷Cs отвечал нормативам РДУ/ЛТС-2004.

Более разнообразен по видовому составу и жизненным формам растений объект № 2. По мере убывания радиоактивного загрязнения ¹³⁷Cs растения расположились следующим образом: многолетние травы и плаун булавовидный — плаун булавовидный, подмаренник мягкий, грушанка круглолистная, чабрец обыкновенный, земляника лесная, полукустарник дрок красильный; деревья и кустарники — рябина обыкновенная, сосна обыкновенная, крушина ломкая, береза повислая.

Наиболее загрязненной ^{137}Cs была рябина обыкновенная (1120 Бк/кг), наименее — земляника лесная (90,2 Бк/кг). Из 10 проанализированных видов растений превышали РДУ/ЛТС-2004 по ^{137}Cs 5 видов (50 %) и столько же видов растений отвечали нормативам РДУ/ЛТС-2004 по ^{137}Cs , 370 Бк/кг.

Довольно разнообразный видовой и биоморфологический состав растений на объекте № 3. По мере снижения уровня радиоактивного загрязнения ^{137}Cs растения образуют следующий ряд: многолетник чистотел большой, однолетник бородавник обыкновенный, многолетники иван-чай узколистный, зимолюбка зонтичная; кустарничек медвежьих ушки; кустарники — малина, ракитник русский; деревья — рябина обыкновенная, сосна обыкновенная, крушина ломкая, береза повислая.

Наиболее загрязненным ^{137}Cs на объекте № 3 был чистотел большой (10906 Бк/кг), а наименее — ракитник русский (20 Бк/кг). Из 12 изученных видов растений этого объекта 9 видов (75 %) превышали нормативы РДУ/ЛТС-2004 по ^{137}Cs , 370 Бк/кг. Относительно «чистыми» по содержанию ^{137}Cs были береза повислая и ракитник русский.

Также довольно разнообразен систематический и биоморфологический состав изученных видов растений объекта № 4. Из трав наиболее загрязненными были однолетник бородавник обыкновенный (2203 Бк/кг) и многолетник иван-чай узколистный (757,3 Бк/кг). Деревья и кустарники составили следующий убывающий ряд по аккумуляции ^{137}Cs : лещина обыкновенная, береза повислая, рябина обыкновенная, сосна обыкновенная, крушина ломкая.

Из 7 изученных видов растений объекта № 4 наиболее загрязненным был бородавник обыкновенный, а наименее загрязненной — крушина ломкая (247,4 Бк/кг). Не отвечали нормативам РДУ/ЛТС-2004 по ^{137}Cs , 370 Бк/кг, на этом объекте сосна обыкновенная и крушина ломкая.

Таким образом, во всех 75 проанализированных образцах растений сборов как 2006, так и 2009 г. величина коэффициента накопления радионуклида ^{137}Cs надземными частями растений многофакторна. Она зависит не только от плотности радиоактивного загрязнения почвы, но и от типа почвы, ее механического и гранулометрического состава, содержания гумуса, элементов минерального питания, pH, а также от типа растительного покрова, видового и биоморфологического состава растений.

Девять образцов растений сбора 2009 г., проанализированных на содержание ^{90}Sr , составили следующий убывающий ряд от 8894 до 25,5 Бк/кг: рябина обыкновенная, малина, иван-чай узколистный, земляника лесная, чабрец обыкновенный, крушина ломкая, береза повислая, дрок красильный, пижма обыкновенная.

Исследования показали, что и спустя более 20 лет после аварии на ЧАЭС, использование хозяйственно ценных видов растений, произрастающих на обследованных объектах Ветковского района, возможно при обязательном их радиологическом контроле.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Б09БРУ-007).

Литература

1. Александрова В. Д. Классификация растительности: Обзор принципов классификации и классификационных систем в разных геоботанических школах. Л., 1969. — 273 с.

2. Булохов А. Д., Соломещ А. И. Эколого-флористическая классификация лесов южного нечерноземья России. Брянск, 2003. — 359 с.
3. Методика полевых геоботанических исследований. М.; Л., 1938. — 215 с.
4. Миркин Б. М., Наумова Л. Г. Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций). Уфа, 1998. — 413 с.
5. Программа и методика биогеоэкологических исследований. М., 1974. — 404 с.
6. Определитель высших растений Беларуси / Под ред. В. И. Парфенова. Минск, 1999. — 472 с.
7. Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси (в связи с аварией на Чернобыльской АЭС). Минск, 1995. — 582 с.
8. Крупномасштабные агрономические и радиологические обследования почв сельскохозяйственных угодий Беларуси: метод. указания / Под ред. И. М. Богдевича. Минск, 2001.
9. Якушев Б. И., Ефремов А. Л., Матусов Г. Д., Сак М. М. // Докл. НАН Беларуси. 2004. Т. 48, № 1. С. 69—71.
10. Методика проведения гамма-спектрометрического анализа содержания радионуклидов в пробах окружающей среды и продуктах питания. Утверждена НПО «ВНИИФТРИ» 21.12.90. Дата введения 01.03.1993.
11. Республиканский допустимый уровень содержания цезия-137 в лекарственно-техническом сырье (РДУ/ЛТС-2004). Минск, 2004. — 3 с.
12. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie. Wien; New York, 1964. — 865 s.
13. Westhoff V., Maarel van der E. // Classification of plant communities. Hague, 1978. P. 278—399.

L. M. SAPEGIN, N. M. DAJNEKO, S. F. TIMOFEEV

RADIOACTIVE CONTAMINATION OF MEDICINAL AND OTHER ECONOMICALLY VALUABLE PLANT KINDS OF NATURAL ECOSYSTEMS OF VETKA DISTRICT GOMEL REGION BORDERING BRYANSK REGION IN RUSSIA

Summary

From the analyzed in 2006 and 2009 54 kinds of plants on seven objects of Vetka district 34 kinds (62.7 %) were the most contaminated with ^{137}Cs and 20 kinds (37.3 %) meet RPL/MTR (Republic Permissible Level of Medicinal Technical Raw Material) — 2004 rules on ^{137}Cs , equal 370 Bk/kg. In 2009 9 kinds of plants from 4 objects of the district have been analyzed for ^{90}Sr . ^{90}Sr contents changed from 889.4 to 25.5 Bk/kg. Species peculiarity of ^{137}Cs and ^{90}Sr accumulation in plants under various density of soil contamination with these radionuclides was established. The use of medicinal herbs growing in the studied areas is possible under compulsory radiologic control.

УДК 547:[54.145:542.913]

А. Н. ТРЕБЕНОК, Е. Б. ОКАЕВ

ИОННЫЕ ЖИДКОСТИ СО СВОЙСТВАМИ ПРОТОННЫХ КИСЛОТ: МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ В ОРГАНИЧЕСКОМ СИНТЕЗЕ

Белорусский государственный педагогический университет им. Максима Танка

(Поступила в редакцию 28.04.2010)

В обзоре обсуждаются методы синтеза протонных ионных жидкостей (ПИЖ), а также применение этих соединений в качестве «зеленых» растворителей и каталитических сред для проведения органических реакций. Показано, что в большинстве случаев, когда требуется протонный катализ, использование ПИЖ позволяет получить аналогичные или лучшие результаты, по сравнению с традиционными органическими растворителями. Отмечается также, что во многих случаях реакции в ПИЖ проходят с более высокой степенью превращения и селективностью.

Введение. Ионные жидкости (ИЖ) — сравнительно новый класс соединений, активное изучение которого началось примерно с 1980-х годов. Строго говоря, данный термин подразумевает соединения, имеющие ионное строение и при комнатной температуре находящиеся в жидком состоянии. Однако в литературе это понятие часто трактуется расширительно, и к ИЖ причисляют ионные соединения с температурой плавления до 100 °С. Такие вещества уже зарекомендовали себя как перспективные во многих отношениях среды. Одним из главных направлений их использования является лабораторный и промышленный органический синтез, где они нашли широкое применение в качестве высокополярных растворителей и катализаторов [1].

Интерес к ним был обусловлен главным образом нарастающей актуальностью «экологизации» химического производства и химической науки. Возникшее в связи с этим новое научное направление — «зеленая» химия — ставит своей основной целью поиск экологически благоприятных способов решения химических проблем как научных, так и производственных [2]. Одной из приоритетных задач в рамках этой цели является создание растворителей для промышленного синтеза, альтернативных традиционным. К идеальному растворителю предъявляются такие требования, как низкая токсичность, нелетучесть и негорючесть, термическая и химическая устойчивость, экономически оправданная стоимость. Крайне желательна также возможность

многократного использования такого растворителя без значительных затрат на регенерацию. ИЖ удовлетворяют многим из этих требований [3].

В последние годы опубликовано довольно много монографий и обзоров (например, [1–8]), в которых обобщена информация о физико-химических свойствах, методах синтеза и применении ИЖ. К настоящему времени больше всего изучены ИЖ с химически инертными катионами и анионами и в какой-то степени также ИЖ, обладающие свойствами кислот Льюиса. Исследование ИЖ, содержащих реакционноспособные ионы, началось сравнительно недавно. Одним из приоритетных направлений в этом поиске является изучение ИЖ, обладающих свойствами протонных кислот [9–10]. За такими соединениями закрепилось название «кислотных по Брэнстеду ионных жидкостей» (BAILs — Bronsted acidic ionic liquids). В данном обзоре для краткости и удобства они называются протонными ионными жидкостями (ПИЖ). Увеличение числа публикаций по данной тематике в последнее десятилетие демонстрирует устойчивое возрастание интереса к этим соединениям. Такая тенденция имеет несколько объективных причин. Так, протонные кислоты являются катализаторами большого количества химических реакций, и разумно предположить, что ПИЖ будут обладать аналогичными каталитическими свойствами. При этом их кислотность можно легко варьировать за счет комбинирования анионов и катионов, а также путем использования композиций ИЖ с различной кислотностью. Кроме того, ПИЖ, в отличие от, скажем, хлоралюминатных и родственных им ионных жидкостей (обладающих свойствами кислот Льюиса), не склонны к гидролизу. Хотя они в большинстве своем весьма гидрофильны, а во многих случаях и гигроскопичны, их обезвоживание и регенерация из водных растворов, как правило, не представляют большой технической проблемы. С экологической точки зрения ПИЖ также зачастую оказываются предпочтительными, так как не содержат в своем составе галогенов. Это снижает риск загрязнения окружающей среды органическими галогенпроизводными, что особенно важно при промышленном применении.

Данная работа посвящена анализу и обобщению литературных данных о методах получения, реакционной способности и применении ПИЖ в органическом синтезе. При этом в число ПИЖ включены только те соединения, в которых кислотный атом водорода входит в состав катиона либо аниона, а также смеси на основе таких соединений. Хотя смеси молекулярных протонных кислот с химически индифферентными ИЖ обладают свойствами, во многом сходными с ПИЖ, они исключены из рассмотрения, так как круг изучаемых объектов и без них оказывается весьма обширным.

Классификация протонных ионных жидкостей и используемые сокращения.

Ионные жидкости, как правило, состоят из объемного органического катиона (обычно содержащего четвертичный атом азота) и аниона, который может быть как органическим, так и неорганическим по природе. Для целей данного обзора удобнее всего классифицировать ПИЖ по локализации кислотного протона. С этой точки зрения их можно разделить на следующие группы:

1. ПИЖ, кислотные по аниону. Эти соединения представляют собой кислые соли, такие как гидросульфаты, дигидрофосфаты и т. д.;

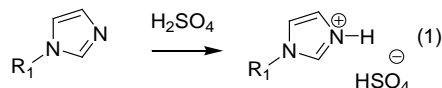
2. ПИЖ, кислотные по катиону. В этом случае возможны следующие случаи:
- а) катион содержит $-\text{COOH}$, $-\text{SO}_3\text{H}$, PO_3H_2 и другие протондонорные группы;
 - б) катион содержит атом водорода в составе аммонийного фрагмента, т. е. связь N^+-H ;
 - в) катион содержит одновременно оба названных фрагмента;
3. ПИЖ, кислотные и по катиону и по аниону, т. е. сочетающие в своем составе анион из п. 1 и катион из п. 2.
4. Системы, обладающие свойствами кислот Льюиса и Брэнстеда одновременно. Таковы, например, ИЖ, содержащие катион типа 2а и комплексный анион, проявляющий кислотность по Льюису, такой как $[\text{AlCl}_4]^-$ или $[\text{FeCl}_4]^-$. Рассмотрение специфических свойств этого последнего класса также выходит за рамки данного обзора.

В настоящей работе для удобства используется ряд сокращенных обозначений для катионов ПИЖ, обычно соответствующих обозначениям в оригинальных авторских публикациях, за исключением случаев, когда один и тот же катион обозначен в разных статьях по-разному. Далее приводится список этих сокращений и их расшифровка:

2-MPyH: 2-метилпиридиний	isoBQu: 1-бутилизохинолиний
BBSIm: 1-бутил-3-(4-сульфобутил)-имидазолий	MBSIm: 1-метил-3-(4-сульфобутил)-имидазолий
BMIm: 1-бутил-3-метилимидазолий	MPSIm: 1-метил-3-(3-сульфопропил)-имидазолий
BPSIm: 1-бутил-3-(3-сульфопропил)-имидазолий	NMP: 1-метил-2-оксопирролидиний
BPy: 1-бутилпиридиний	PMIm: 1-метил-3-пропилимидазолий
BSPy: 1-(4-сульфобутил)-пиридиний	PSEBIm: 1-бутил-3-(3-сульфопропил)-бензимидазолий
CMIm: 3-карбоксиметил-1-метилимидазолий	PSPy: 1-(4-сульфопропил)-пиридиний
ESMIm: 1-метил-3-(2-сульфоэтил)-имидазолий	TBPSA: трибутил-3-сульфопропиламмоний
HBIm: 1-бутилимидазолий	TEBSA: триэтил-4-сульфобутиламмоний
HEEMIm: 1-[2-(2-гидроксиэтокси)этил]-3-метилимидазолий	TEPSA: триэтил-3-сульфопропиламмоний
HEIm: 1-этилимидазолий	TMBSA: триметил-4-сульфобутиламмоний
HMIm: 1-метилимидазолий	TMPSA: триметил-3-сульфопропиламмоний
iPIm: 1-изо-пропилимидазолий	

Следует отметить, что до настоящего момента не выработано единой системы стандартных сокращенных наименований для катионов, входящих в состав ИЖ. Это зачастую приводит к ситуации, когда одна и та же ИЖ описана в разных работах под разными названиями (иногда различаются не только сокращения, но и полные названия), что затрудняет систематизацию и анализ литературных данных.

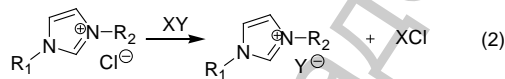
Получение протонных ионных жидкостей. Наиболее простым путем, видимо, могут быть получены ПИЖ, относящиеся к группе 2б, т. е. содержащие анион многоосновной кислоты и аммонийный (но не четвертичный) анион. Такие вещества получают прямым взаимодействием многоосновной кислоты и органического основания:



В качестве основания при этом обычно используют имидазол и его производные [11–14], а также алифатические амины различной степени замещения [15; 16], а в качестве кислот — серную, фосфорную и другие многоосновные кислоты. При всем разнообразии исходных структур и их возможных сочетаний, набор ПИЖ, которые могут быть получены данным способом, в действительности довольно ограничен, поскольку далеко не все подобные соли имеют достаточно низкую (до 100 °С) температуру плавления.

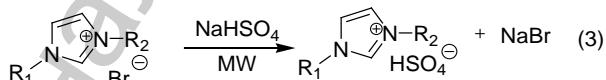
Что касается конкретной методики реализации этой схемы, то описанные в литературе препаративные процедуры предусматривают возможность проведения реакции как в присутствии растворителя (которым часто является вода), так и без него. В некоторых случаях желательно использование инертной атмосферы ввиду легкой окисляемости аминов (особенно при повышении температуры, которое в данном случае практически неизбежно из-за экзотермического характера реакции).

Еще одна группа методов получения ПИЖ основана на реакциях обмена анионов:

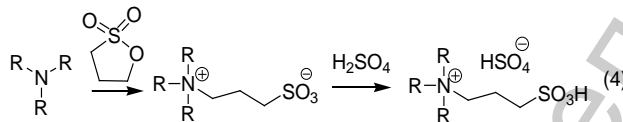


X=H⁺, K⁺, Na⁺, NH₄⁺, Y=анионы кислых солей.

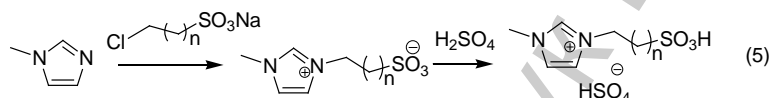
Исходными веществами в данном случае являются четвертичные аммониевые соли галогеноводородных кислот (главным образом хлориды), в частности, соли имидазолия [17], пиридиния [18], бензимидазолия [19]. Замещение галогенид-иона на анионы кислых солей проводится путем длительного перемешивания с многоосновными неорганическими кислотами (серной, фосфорной), образующийся галогеноводород при этом удаляется нагреванием и/или вакуумированием. Другим возможным вариантом является взаимодействие тех же субстратов с кислыми солями соответствующих кислот в ацетоне [20], при этом галогенид металла выпадает в осадок ввиду его низкой растворимости. Интересная модификация этого способа предлагается в работе [21], где проведение реакции без растворителя, но под воздействием микроволнового излучения позволило сократить ее продолжительность до 20 с при выходе 92 %:



В начале 2000-х годов появились сообщения о синтезе ПИЖ, относящихся к группе 3, т. е. содержащих анион кислой соли и сульфогруппу, ковалентно связанную с боковой цепью катиона [22]. Такие ИЖ получают взаимодействием различных органических оснований с 1,3-пропансультоном (1,4-бутансультоном) [23; 24] и последующим подкислением полученных цвиттер-ионов:

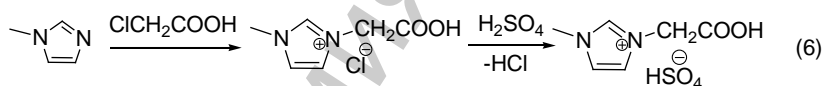


Авторами работы [25] создан альтернативный метод получения ПИЖ, содержащих сульфогруппу, на основе производных имидазола:

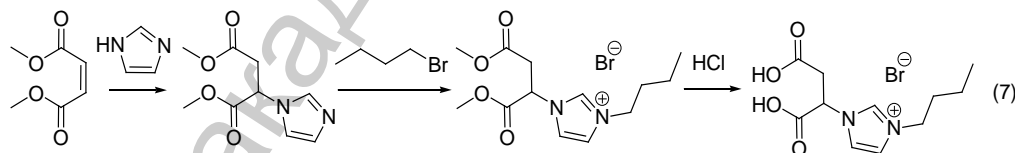


Такие ионные жидкости проявляют весьма высокую кислотность, и в настоящее время они нашли широкое применение в органическом синтезе.

Протонных ионных жидкостей, содержащих в составе катиона карбоксильную группу, на данный момент известно немного [26]. Подобные ионные жидкости получают длительным перемешиванием производных имидазола с хлорзамещенными карбоновыми кислотами [27]:



В работах [28–30] сообщается о получении протонных ионных жидкостей, содержащих в боковой цепи катиона две карбоксильные группы, для чего продукт присоединения имидазола к диметилмалеату алкилируют галогеналканом, после чего проводят кислотный гидролиз сложноэфирных групп:

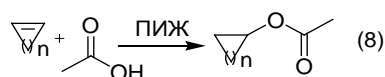


Применение протонных ионных жидкостей в органическом синтезе. Специфические свойства ПИЖ, такие как высокие кислотность, полярность и сольватирующая способность, низкая летучесть, широкий температурный диапазон существования в жидком состоянии, малая токсичность, возможность регенерации и повторного использования обуславливают возможность их применения в органическом синтезе в качестве катализаторов и (или) растворителей (соразтворителей).

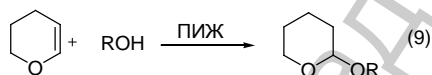
На сегодняшний момент в литературе имеются сведения об использовании ПИЖ в реакциях самых различных классов. В настоящем обзоре принята попытка систематизировать эти данные.

I. Реакции присоединения по кратной связи углерод–углерод. Как показано в [31], присоединение первичных и вторичных аминов к электронодефицитным алкенам, содержащим одну или две акцепторные группы при двойной связи, в присутствии сильнокислотной ПИЖ приводит к соответствующим аддуктам с выходом 92–99 %.

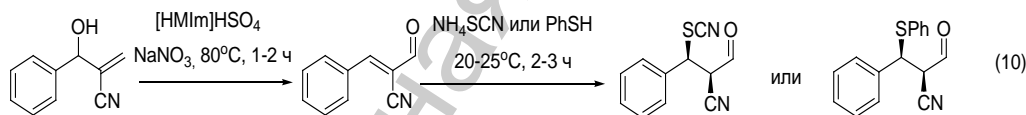
В работе [14] изучена реакция присоединения уксусной кислоты к циклическим олефинам (8) в присутствии ПИЖ [2-МРyН]Tfa, [2-МРyН]OTf, [2-МРyН]CH₃SO₃. Установлено, что [2-МРyН]OTf проявил высокую каталитическую активность (селективность и конверсия достигли 99–100 %), [2-МРyН]CH₃SO₃ — низкую, а [2-МРyН]Tfa оказался неактивен. Таким образом, эффективность ПИЖ в данном случае, как и следовало ожидать, усиливается с увеличением ее кислотности. Высокая каталитическая активность имидазольных SO₃H-функциональных ПИЖ в реакциях присоединения алифатических кислот к олефинам показана также в работе [32].



В работах [33; 34] описано получение тетрагидропиранильных производных спиртов с использованием ПИЖ (9). Лучшие результаты получены с [BMIm]HSO₄ и [BMIm]H₂PO₄ (выход 94–96 % при 30 мин перемешивания при комнатной температуре), [HMIm]Tfa и [(CH₂)₄SO₃HMIm]OTf каталитической активности не проявили. Высокая активность [BMIm]H₂PO₄ в данном примере несколько неожиданна, так как дигидрофосфат-анион является довольно слабой кислотой.



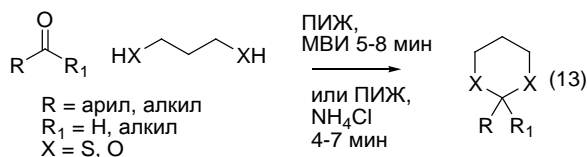
В работе [35] обсуждается использование [HMIm]HSO₄ для сопряженного присоединения серосодержащих нуклеофилов к продуктам окисления соединений, полученных по реакции Бейлиса–Хиллмана. Ценной особенностью этой последовательности реакций является возможность ее проведения в режиме *one-pot*, без замены растворителя.



II. Реакции электрофильного замещения в ароматическом ядре.

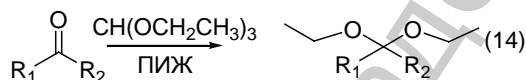
Нитрование. В работах [36; 37] ПИЖ ([BSPy]HSO₄, [BSPy]OTf, [BSPy]pTsa, [TBPSA]HSO₄, [TEBSA]HSO₄, [TEPSA]HSO₄, [TMBSA]HSO₄, [TMPSA]HSO₄) использовались для нитрования ароматических субстратов по различным методикам. Так, в [36] ароматические субстраты нитровались смесью оксида азота (IV) с кислородом с применением кислотных катализаторов и без них,

вого нагрева. Кроме того, показана высокая каталитическая активность $[\text{BMIm}]\text{HSO}_4$ в реакциях перетиоацетализации и снятия защиты под воздействием микроволнового облучения. В [45] изучен аналогичный процесс оксотиоацетализации карбонильных соединений с использованием другой ПИЖ (синтезированной из триэтилендиамина и 1,4-бутансультона, с последующим подкислением полученного бис-цвиттер-иона серной кислотой). Выход продуктов составил 85,8–99,1 %.

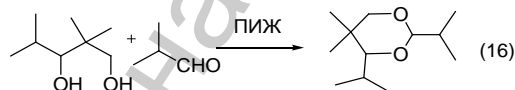
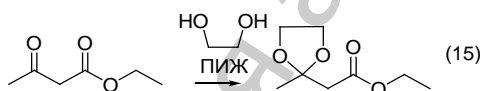


В работе [46] сообщается об иммобилизации кислотных ионных жидкостей путем сополимеризации со стиролом и об использовании полученных реагентов в реакциях образования ацеталей.

Получение диметилацеталей карбонильных соединений под действием метанола в условиях катализа ПИЖ ($[\text{TMPSA}]\text{HSO}_4$, $[\text{HMIm}]\text{BF}_4$) рассматривается в [47; 48]. Продукт легко отделялся декантацией с выходом 77–99 % при 100 %-ной селективности. Защита карбонильных групп триэтоксиметаном с использованием каталитических количеств ряда ПИЖ ($[\text{HMIm}]\text{BF}_4$, $[\text{HMIm}]\text{CF}_3\text{SO}_3$, $[\text{HMIm}]\text{PhSO}_3$, $[\text{HMIm}]\text{CF}_3\text{CO}_2$) описана в работе [49]. Наибольшую активность проявил $[\text{HMIm}]\text{BF}_4$ (выход 84–93 %), меньшую $[\text{HMIm}]\text{CF}_3\text{SO}_3$ и $[\text{HMIm}]\text{PhSO}_3$. В случае $[\text{HMIm}]\text{CF}_3\text{CO}_2$ продукт реакции получить не удалось, что связано, очевидно, с меньшей кислотностью данной ПИЖ.



При получении диоксолановых производных ацетоуксусного эфира [50] и изомасляного альдегида [51] $[\text{HMIm}]\text{BF}_4$ оказался более эффективным катализатором, чем серная кислота.

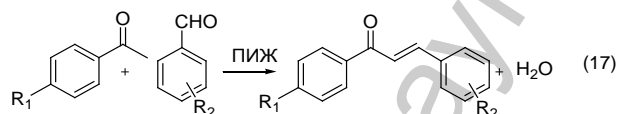


В работе [11] показано, что реакция синтеза 1,1-диацетатов из альдегидов при комнатной температуре в присутствии $[\text{HMIm}]\text{HSO}_4$ протекает эффективнее без растворителя, что выражается в значительном сокращении времени реакции и увеличении выхода продуктов (до 96 %).

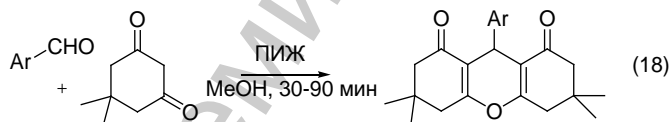
Таким образом, применение сильнокислотных ПИЖ для защиты карбонильной группы представляется целесообразным, в первую очередь, из-за

возможности проведения реакций в более мягких условиях, а в ряде случаев и сокращения времени реакции, особенно при микроволновой активации.

Конденсация Кляйзена–Шмидта. Ряд ПИЖ использовались в реакциях получения халконов по реакции [52]. Наиболее эффективным оказалось применение $[\text{TMPSA}]\text{HSO}_4$. Увеличение ее доли с 5 до 30 ммоль% привело к сокращению времени протекания реакции с 8 до 1,2 ч. Выход достигает 90–95 %. В работе [53] изучена зависимость аналогичного процесса от ряда факторов (природа ПИЖ, температура, количество катализатора). Лучшие результаты получены с кислотной и по аниону, и по катиону ПИЖ $[\text{BBSIm}]\text{HSO}_4$. В работе [54] проведено сравнение эффективности $[\text{BMIm}]\text{HSO}_4$ в реакциях конденсации ароматических альдегидов с циклогексаноном и ацетофенонами, что выражается в высоких выходах, значительном сокращении времени протекания реакции, а также более мягкими условиями по сравнению с применением других катализаторов.

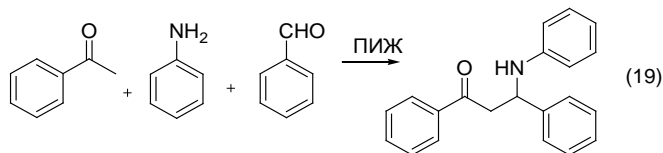


Конденсация Кнёвенагеля. В работе [55], посвященной конденсации альдегидов с димедоном под действием ультразвука, сравнивалась каталитическая активность ПИЖ $[\text{NBIm}]\text{BF}_4$ и *para*-толуолсульфоокислоты. Хотя при использовании ИЖ выход увеличивается, для завершения реакции требуется больше времени:



В аналогичной реакции в работах [56] изучалось влияние аниона ПИЖ на протекание процесса. Установлено, что из четырех ионных жидкостей ($[\text{HMIm}]\text{ClO}_4$, $[\text{HMIm}]\text{HSO}_4$, $[\text{HMIm}]\text{BF}_4$, $[\text{HMIm}]\text{CF}_3\text{COO}$) последняя, имеющая наименьшую кислотность, проявляет тем не менее наибольшую каталитическую активность. Экспериментальная ошибка в данном случае представляется маловероятной, так как высокая каталитическая активность этой ПИЖ в реакции Кнёвенагеля подтверждается также данными работы [81]. Авторы не дают никакого объяснения этому необычному факту, хотя он косвенно противоречит данным других публикаций, в частности [49].

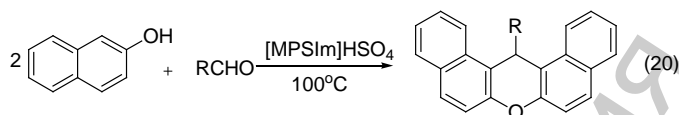
Реакция Манниха. В работе [57] при использовании ПИЖ $[(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{P}(\text{CH}_2)_4\text{SO}_3\text{H}]\text{PTSA}$ были получены β -аминокарбонильные соединения по реакции Манниха с выходом 70–96,7 %.



Авторы работы [58] использовали в качестве катализатора в реакции Манниха композицию неокислотной ИЖ с гидрокарбонатом калия. Хотя гидрокарбонат-анион является очень слабым донором протона, тем не менее, вероятно, в данном случае имеет место специфический кислотный катализ. В [59] показано, что эффективность ПИЖ [TMBSA]HSO₄ в полярных растворителях выше, чем у некоторых других катализаторов реакции Манниха, таких как *para*-толуолсульфоокислота или I₂ в этаноле.

Реакции конденсации карбонильных соединений с фенолами и нафтолами.

В работе [60] сообщается о применении протонных ионных жидкостей в качестве катализаторов в реакции конденсации β-нафтола с бензальдегидом. При использовании каталитических количеств [MPSIm]HSO₄ реакция заканчивается за 6 мин с выходом 93 %, что значительно эффективнее применения [MPSIm]H₂PO₄ (120 мин и 76 %) и [MPSIm]BF₄ (30 мин и 86 %). Использование ИЖ неокислотной природы [BMIm]BF₄ потребовало 10-часового нагревания, и выход реакции составил лишь 20 %. Без катализаторов заметных количеств продукта не было обнаружено даже через 10 ч.



В [21] установлено, что микроволновой синтез кумаринов при катализе [BMIm][HSO₄] протекает с хорошим выходом (65—96 %). Данный метод имеет преимущества по сравнению с катализом серной кислотой, прежде всего сокращение времени реакции и уменьшение количества побочных продуктов.



IV. Реакции карбоновых кислот и их функциональных производных.

Ацилирование аминов. В работе [61] описано применение [HMIm]BF₄ для *tert*-бутилкарбонатной защиты аминогруппы. Было отмечено, что катализ данной ПИЖ позволяет эффективно вводить защитную группу не только по высоконуклеофильному атому азота алифатических аминов, но и по аминогруппе, связанной с содержащим акцепторный заместитель ароматическим кольцом.

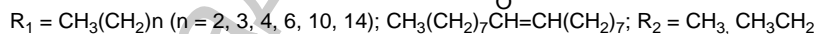
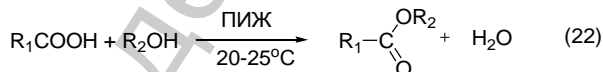
Реакция этерификации. Самой популярной по количеству опубликованных материалов, в которых изучается влияние ПИЖ на ход процесса, является реакция этерификации. Вероятно, это в первую очередь обусловлено очевидными преимуществами применения ПИЖ, такими как низкая растворимость сложных эфиров в ионной жидкости, что способствует смещению равновесия реакции и значительно упрощает процесс обработки реакционной смеси.

Несколько работ посвящено получению такого промышленно важного продукта, как этилацетат. Так, в [23] сообщается о высокой каталитической

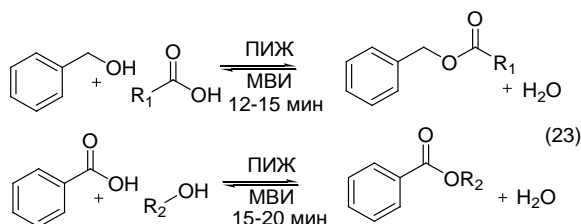
активности ряда ПИЖ, содержащих сульфогруппу в боковой цепи, при этерификации уксусной кислоты этанолом. Выход эфира составил 89,1 % и более, что значительно выше выхода при использовании серной кислоты (60,3 %). Использование $[(C_6H_5)_3P(CH_2)_3SO_3H]OTs$ при синтезе этилацетата описано в [63]. Интересно, что в изначально безводной среде выход этилацетата составляет 62 %, а при добавлении к реакционной смеси некоторого количества воды выход неизменно возрастает до 71–84 %. Авторы не предлагают какой-либо интерпретации этого факта. С нашей точки зрения, одним из вероятных объяснений является смещение равновесия в сторону продуктов за счет снижения растворимости этилацетата в смеси воды и ИЖ, в том числе и ввиду значительной ионной силы образовавшегося раствора.

Влияние строения катионов и анионов, входящих в состав ПИЖ, на эффективность этерификации, изучалось в [15], на примере реакции уксусной кислоты с октанолом-1. В качестве катализатора использовались кислые и средние соли простейших аминов, такие как $[Et_3NH]HSO_4$, $[Et_3NH]H_2PO_4$, $[Et_3NH]BF_4$ и др. Наилучшие результаты получены с $[EtNH_3]HSO_4$ (выход эфира 94 %), имеющим самый маленький катион и наибольшую кислотность аниона. В работе [42] сравнивалась эффективность различных ПИЖ в синтезе этилбензоата. Лучший выход также получен при использовании ПИЖ с наибольшей кислотностью — $[PSPy]BF_4$ и $[PSPy]HSO_4$ (84 и 91,5 % соответственно), по сравнению с менее кислыми $[PSPy]pTSA$ и $[PSPy]H_2PO_4$.

Четко выраженное влияние кислотности ПИЖ на эффективность катализа стимулировало целенаправленный дизайн и синтез ионных жидкостей с повышенной кислотностью. Так, авторы работы [17] проводили этерификацию ряда субстратов при комнатной температуре в присутствии гидросульфатов 1-метил-3-(4-сульфобензил)-имидазолия и 1-(4-сульфобензил)-пиридиния. Выход сложных эфиров составил 85–99 %, продукты легко выделялись из реакционной смеси, ПИЖ использовались многократно без потери активности.



В работе [18] сообщают о высокой каталитической активности новых ПИЖ с объемными катионами при проведении синтеза без растворителя в условиях микроволнового облучения в реакторе MAS-1. Выход эфиров составил 77–98,5 %, что сравнимо с используемой в промышленности серной кислотой. В работе [20] показана эффективность $[HMIm]BF_4$ при этерификации бензилового спирта уксусной кислотой. Выход эфира составил 91 %.



В работе [27] сообщается об успешном использовании ПИЖ, содержащих в катионе карбоксильные группы, для этерификации монохлоруксусной кислоты изопропиловым спиртом.

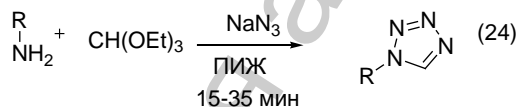
Имеется ряд успешных примеров этерификации дикарбоновых кислот в среде ПИЖ. Так, высокий выход сложных эфиров получен в работах [25; 62; 64]. При этом в случае [MPSIm][HSO₄] и [PSPy][HSO₄] (в количестве 5 % от общей массы реакционной смеси) степень превращения в диэфир достигала 98–99 %, что сравнимо с эффектом использования серной кислоты. Ионные жидкости использовались повторно в 8 циклах без какой-либо заметной потери активности. Следует, однако, отметить, что вопрос о возможности селективного получения моноэфиров дикарбоновых кислот в среде ПИЖ остается практически неисследованным.

Другие методы синтеза сложных эфиров. Ацелирование спиртов, фенолов, гидроксиэфиров уксусным ангидридом изучено в работе [65]. Катализ [TMBSA]HSO₄ приводит к образованию целевых продуктов в мягких условиях с высокой степенью превращения и селективностью (95–100 %). Отмечено, что в отсутствие катализатора реакция не протекает. В работах [66; 12] описываются хорошие результаты использования различных ПИЖ при гидратации α-пинена, этерификации α-терпинеола уксусным ангидридом и α-пинена хлоруксусной кислотой.

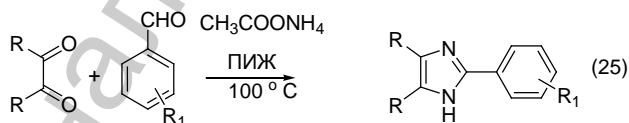
Синтез сложных эфиров алкоголизом ацетонитрила обсуждается в работе [67]. Лучшие результаты были получены при использовании в качестве катализатора и среды [HSO₃-PMIm]HSO₄ (выход 76–85 %). Выход значительно снижался при использовании [HSO₃-PMIm]BF₄ и [HSO₃-PMIm]H₂PO₄, а в присутствии [BMIm]HSO₄ и [BMIm]H₂PO₄ (т. е. не несущих в катионе сульфогруппу) реакция вообще не протекала, авторы связывают этот факт с недостаточно высокой кислотностью этой ИЖ.

V. Синтез гетероциклических соединений.

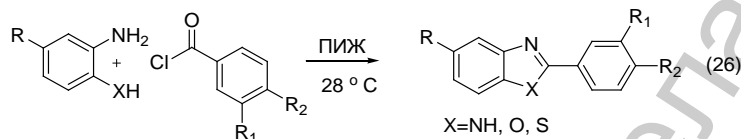
Пятичленные гетероциклы. В работе [68] при использовании [NBIm]BF₄ в качестве растворителя с выходом 83–95 % получены тетразолы, при этом реакция завершалась за 15–35 мин.



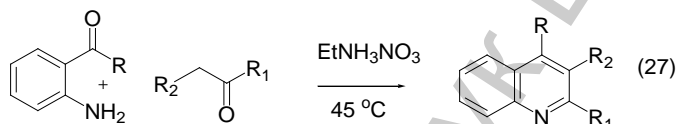
В работе [69] получены замещенные имидазолы с выходом 84–95 %. Показана лучшая каталитическая активность протонных ионных жидкостей ([NBIm]ClO₄, [NBIm]Br, [NBIm]Cl, [NBIm]BF₄) по сравнению с ИЖ некислотного характера. Высокие выходы получены в аналогичной работе [70] при использовании в качестве катализатора другой ПИЖ – [HMIm]HSO₄.



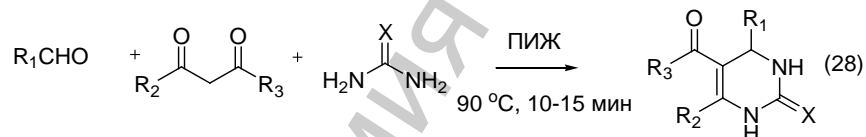
В работе [71] показано, что в присутствии $[\text{NBIm}]\text{BF}_4$ синтез гетероциклов (бензоксазолов, бензтиазолов и 2-арилбензимидазолов) идет с высоким выходом (79–96 %). При использовании в качестве катализатора других ПИЖ для проведения данных реакций требуется значительно больше времени (до 5,3 ч).



Шестичленные гетероциклы. Синтез хинолинов по реакции Фридландера [72] в присутствии EtNH_3NO_3 протекает с выходом до 95 %:



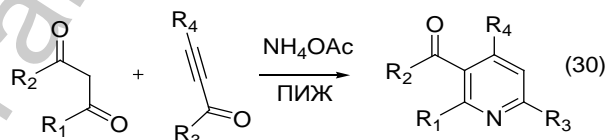
В работах [73; 74] показано, что ПИЖ ($[\text{TMPSA}]\text{HSO}_4$, $[\text{TEPSA}]\text{HSO}_4$, $[\text{TBPSA}]\text{HSO}_4$, $[\text{CMIm}]\text{HSO}_4$) являются более эффективными катализаторами в реакции Биджинелли по сравнению с серной кислотой (выход составил более 90 %, по сравнению с 43 % для H_2SO_4 в тех же условиях).



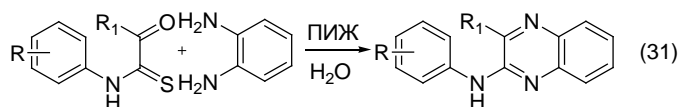
Синтез 3,5,6-тризамещенных 1,2,4-триазинов [75] при использовании $[\text{NBIm}]\text{BF}_4$ идет с выходом 52–91 %:



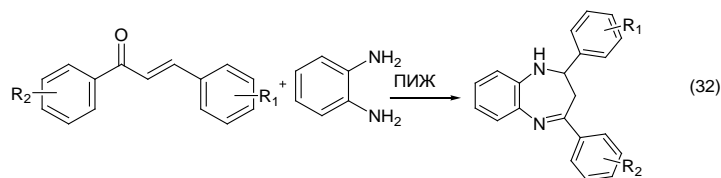
Выход замещенных пиридинов [76] при комнатной температуре составил 80–94 %:



В работе [77] установлено, что синтез производных хиноксалина протекает с высоким выходом в воде и других полярных растворителях:



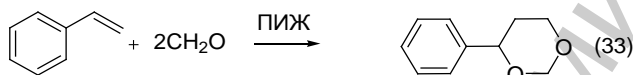
Гетероциклы большого размера. В [78] описан синтез 1,5-бензодиазепинов с выходом до 95 % при использовании таких растворителей, как [BPy]HSO₄, [HMIm]BF₄, [HMIm]PhSO₃, [HMIm]CF₃COO, [HMIm]ClO₄, [iso-BQu]HSO₄.



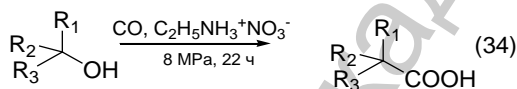
К сожалению, в литературе не описано примеров синтеза макроциклических соединений в среде ПИЖ. Изучение таких реакций, с нашей точки зрения, может представлять несомненный интерес из-за возможности темплатирования промежуточных продуктов с участием аниона ПИЖ, что могло бы в некоторых случаях способствовать существенному повышению выхода макроцикла.

VI. Реакции наращивания углеродной цепи.

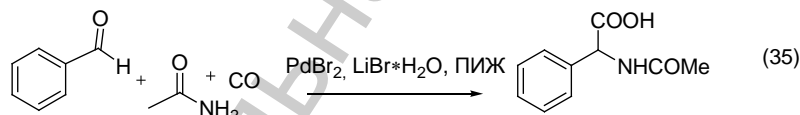
Реакция Принса. В работе [30] установлено, что в реакции Принса наибольшую активность проявили ИЖ, кислотные только по аниону: [NMP]HSO₄, [BMIM]HSO₄, [BMIM]H₂PO₄.



Карбонилирование и родственные реакции. В работе [79] показана перспективность использования ПИЖ ([HSO₃-PMIm]OTf, [HSO₃-BMIm]OTf) в карбонилировании по Коху (выход продуктов до 55,8 %).

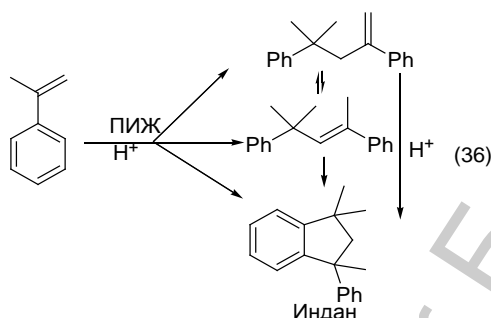


Авторы работы [80] использовали ПИЖ [BMIm]HSO₄ и [BMIm]OTf в качестве «сокатализатора» солям Li⁺ и Pd²⁺ в реакции амидокарбонилирования. Применение [BMIm]OTf в качестве кислотного «сокатализатора» приводит к продуктам реакции с 58 %-ным выходом, что сравнимо с применяемой в промышленности в аналогичной системе концентрированной серной кислотой (59,5 %). Активность гидросульфата оказалась ниже из-за анионных эффектов.



Олиго- и полимеризация. Димеризация α-метилстирола без растворителя в присутствии [HMIm]BF₄ рассматривается в работе [81]. Установлено, что при 60 °С 2,4-дифенил-4-метилпент-1-ен образуется с 93 %-ной селективностью

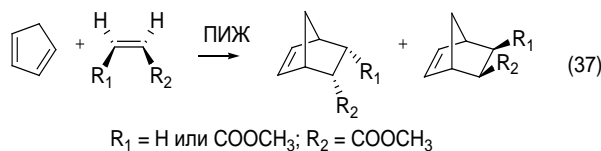
и степенью превращения 92 %, в то время как при увеличении температуры до 170 °С со 100 %-ной селективностью происходит его изомеризация в производное индана.



В работе [82] описывается применение ПИЖ в качестве катализатора олигомеризации олефинов. Отмечено, что в большинстве случаев основными продуктами реакции являются димер и тример, выход же тетрамера колеблется в пределах 0–11 %. Кроме того, в случае алкенов с неразветвленным углеродным скелетом и концевой двойной связью образуется значительное количество продуктов изомеризации.

В [83] изучалась радикальная полимеризация метилметакрилата в слабокислотных ПИЖ, содержащих различные карбоксилат-анионы (ацетат, пропионат, бутират). Отмечено, что скорость реакции снижается с увеличением длины углеродной цепи карбоновой кислоты. Сообщалось также [84] об использовании $[\text{HEIm}]\text{CF}_3\text{COO}^-$ в процессе электрополимеризации анилина. Полученный в ПИЖ полианилин обладает рядом преимуществ (лучшей устойчивостью к окислению надмуравьиной кислотой, более гладкой и однородной структурой), по сравнению с полученным по стандартным методикам.

Реакция Дильса–Альдера. В работе [85] показано, что при взаимодействии циклопентадиена с метилакрилатом и метилвинилкетонем в этиламмонийнитрате соотношение *эндо*- и *экзо*-продуктов (6,7 : 1) совпадает с получаемым в таких полярных растворителях, как метанол и формамид, и выше, чем в бензоле и этаноле. Установлено также, что добавление неорганических солей приводит к дальнейшему увеличению стереоселективности. В [86] показано, что использование слабокислотных ПИЖ в качестве растворителя в реакции Дильса–Альдера дает возможность проводить циклоприсоединение при комнатной температуре, при этом выход продуктов составляет 90–97 %. Авторы объясняют повышение реакционной способности активацией диенофила за счет специфической сольватации катионом ПИЖ.



Заключение. Таким образом, в большинстве случаев при использовании ПИЖ в реакциях, требующих кислотного катализа, полученные результаты сопоставимы с наилучшими результатами, полученными в «традиционных» растворителях, или превосходят их. Сказанное дает основание предполагать, что в скором времени ПИЖ прочно займут место в арсенале рабочих инструментов лабораторного, а в некоторых случаях и промышленного малотоннажного органического синтеза. В связи с этим хотелось бы остановиться на некоторых ограничениях, связанных с использованием этих соединений.

Весьма существенным фактором, сдерживающим более широкомасштабное применение «классических» ионных жидкостей в качестве растворителей для органического синтеза, по сей день является их достаточно высокая стоимость. В монографии [8], опубликованной в 2002 г., предполагалось, что в ближайшем будущем цена этих соединений снизится до 25–50 евро за 1 кг при крупнотоннажном производстве. К сожалению, на данный момент этот прогноз все еще далек от исполнения, хотя цена ИЖ постепенно приближается к стоимости традиционных органических растворителей. Так, по данным каталога компании Aldrich, стоимость хлорида 1-бутил-3-метилимидазолия (95 % чистоты), являющегося основным синтетическим предшественником большинства ИЖ, в 2008 г. составляла 237,6 евро за 1 кг, в то время как диэтилового эфира (98 %-ной чистоты) — 41,7 евро за 1 л.

В то же время отмечалось [8], что из известных ионных жидкостей наименьшей стоимостью (в среднем 80–120 евро за 1 кг) обладают ИЖ, содержащие катионы тетраалкил- и особенно триалкиламмония, а также хлорид, нитрат или ацетат в качестве аниона. Как уже отмечалось ранее, многие ПИЖ синтезируются из соответствующего амина и кислоты простым смешением реагентов, и для их выделения и очистки не требуются трудоемкие процедуры. Поэтому с экономической точки зрения такие ПИЖ имеют значительное преимущество перед другими ионными жидкостями.

Одним из способов дополнительного снижения себестоимости процессов с участием ПИЖ является их повторное использование после регенерации. Как правило, последняя заключается в извлечении продуктов синтеза подходящим органическим растворителем (или просто отделении неполярной органической фазы от слоя ионной жидкости), после чего ионную жидкость очищают от примесей воды и других летучих веществ нагреванием в вакууме. По данным большинства исследований, каталитическая активность ПИЖ остается на прежнем уровне, по крайней мере, после 4–5 таких циклов регенерации. Данный способ прост и технологичен, но вместе с тем достаточно энергоемок, что при синтезе в крупных масштабах может существенно повлиять на себестоимость процесса. Видимо, при массовом использовании ПИЖ в производственной или лабораторной практике в каждом конкретном случае придется делать выбор в пользу регенерации растворителя либо его утилизации на основании экономических критериев, с учетом как стоимости растворителя, так и энергозатрат, связанных с регенерацией. Не последнюю роль может сыграть также фактор дополнительных затрат рабочего времени, необходимого для восстановления рабочих свойств ионной жидкости.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (проект X09M-115).

Литература

1. Olivier-Bourbigou H., Magna L. // *J. Mol. Catal. A: Chemical*. 2002. Vol. 182—183. P. 419—437.
2. Кустов Л. М., Белецкая И. П. // *Рос. хим. журн.* 2004. XLVIII, № 6. С. 3—12.
3. Welton T. // *Chem. Rev.* 1999. Vol. 99. P. 2071—2083.
4. Dongbin Zhao et al. // *Catalysis Today*. 2002. Vol. 74. P. 157—189.
5. Giernoth R. // *Top Curr. Chem.* 2007. Vol. 276. P. 1—23.
6. Бородкин Г. И., Шубин В. Г. // *Журн. орган. химии*. 2006. Т. 42, вып. 12. С. 1761—1783.
7. Earle M. J., Seddon K. R. // *Pure Appl. Chem.* 2000. Vol. 72, N 7. P. 1391—1398.
8. *Ionic Liquids in Synthesis* / Eds. P. Wasserscheid, T. Welton. Weinheim, 2002.
9. Johnson K. E., Pagni R. M., Bartmess J. // *Monatshefte für Chemie*. 2007. Vol. 138. P. 1077—1101.
10. Chowdhury S., Mohan R. S., Scott J. L. // *Tetrahedron*. 2007. Vol. 63. P. 2363—2389.
11. Hajipour A. R., Khazdooz L., Ruoho A. E. // *Catalysis Communications*. 2008. Vol. 9. P. 89—96.
12. Shi-Wei Liu et al. // *J. of Molecular Catalysis A: Chemical*. 2008. Vol. 279. P. 177—181.
13. Keim W., Korth W., Wasserscheid P. WO 016,902 A1, March 30, 2000.
14. Duan Z. et al. // *J. of Molecular Catalysis A: Chemical*. 2006. Vol. 250. P. 163—168.
15. Ganeshpure P. A., George G., Das J. // *J. of Molecular Catalysis A: Chemical*. 2008. Vol. 279. P. 182—186.
16. Wang C. et al. // *Green Chem.* 2006. Vol. 8(7). P. 603—607.
17. Li X., Eli W. // *J. of Molecular Catalysis A: Chemical*. 2008. Vol. 279. P. 159—164.
18. Li X., Eli W., Li G. // *Catalysis Communications*. 2008. Vol. 9. P. 2264—2268.
19. Wang Y., Jiang D., Dai L. // *Catalysis Communications*. 2008. Vol. 9. P. 2475—2480.
20. Joseph T., Sahoo S., Halligudi S. B. // *J. of Molecular Catalysis A: Chemical*. 2005. Vol. 234. P. 107—110.
21. Singh V. et al. // *Catalysis Communications*. 2005. Vol. 6. P. 57—60.
22. Cole A. C. et al. // *J. Am. Chem. Soc.* 2002. Vol. 124(21). P. 5962—5963.
23. Gui J. et al. // *Catal. Commun.* 2004. Vol. 5. P. 473—477.
24. Gui J. et al. // *J. of Molecular Catalysis A: Chemical*. 2005. Vol. 225. P. 27—31.
25. Fraga-Dubreuil J. et al. // *Catalysis Communications*. 2002. Vol. 3. P. 185—190.
26. Fei Z. et al. // *Chem. Eur. J.* 2004. Vol. 10. P. 4886—4893.
27. Liu D. et al. // *Synthetic Communications*. 2007. Vol. 37. P. 759—765.
28. Li X. H., Geng W. G., Wang L. F. 200510032669. X, 2005.
29. Geng W. G., Li X. H., Wang L. F. // *Acta Phys.-Chim. Sin.* 2006. Vol. 22. P. 230.
30. Wang W. et al. // *Catalysis Communications*. 2008. Vol. 9. P. 337—341.
31. Liang X. et al. // *Catalysis Communications*. 2008. Vol. 10. P. 281—284.
32. Gu Y., Shi F., Deng Y. // *J. of Molecular Catalysis A: Chemical*. 2004. Vol. 212. P. 71—75.
33. Duan Z., Gu Y., Deng Y. // *Synthetic Communications*. 2005. Vol. 35. P. 1939—1945.
34. Darvatar N. B. et al. // *Synthetic Communications*. 2006. Vol. 36. P. 3043—3051.
35. Yadav L. D. S., Srivastava V. P., Patel R. // *Tetrahedron Letters*. 2008. Vol. 49. P. 3142—3146.
36. Cheng G. // *Catalysis Communications*. 2008. Vol. 10. P. 201—204.
37. Fang D. et al. // *Applied Catalysis A: General*. 2008. Vol. 345. P. 158—163.
38. Qiao K., Hagiwara H., Yokoyama C. // *J. of Molecular Catalysis A: Chemical*. 2006. Vol. 246. P. 65—69.
39. Bao Q. et al. // *Catalysis Communications*. 2008. Vol. 9. P. 1383—1388.
40. Li X. et al. // *Catalysis Communications*. 2008. Vol. 9. P. 1—7.
41. Shen H.-Y. et al. // *J. of Molecular Catalysis A: Chemical*. 2004. Vol. 212. P. 301—308.
42. Xing H. et al. // *J. of Molecular Catalysis A: Chemical*. 2007. Vol. 264. P. 53—59.
43. Xing H. et al. // *Synthetic Communications*. 2006. Vol. 36. P. 2433—2439.
44. Gupta N. et al. // *Catalysis Communications*. 2007. Vol. 8. P. 1323—1328.
45. Liang X. et al. // *Catal. Lett.* 2008. Vol. 125. P. 396—400.
46. Sugimura R. et al. // *Catalysis Communications*. 2007. Vol. 8. P. 770—772.
47. Dong F. et al. // *Catalysis Communications*. 2007. Vol. 8. P. 1463—1466.
48. Wu H. - H. et al. // *Tetrahedron Letters*. 2004. Vol. 45. P. 4963—4965.
49. Du Y., Tian F. // *Synthetic Communications*. 2005. Vol. 35. P. 2703—2708.

50. Wang Y. Y. et al. // Chinese Chemical Letters. 2007. Vol. 18. P. 24–26.
51. Wang W. J. et al. // Chinese Science Bulletin. 2008. Vol. 53, N 17. P. 2612–2616.
52. Dong F. et al. // Catalysis Communications. 2008. Vol. 9. P. 1924–1927.
53. Shen J. et al. // J. of Molecular Catalysis A: Chemical. 2008. Vol. 280. P. 24–28.
54. Liu B. et al. // Chem. Res. Chinese U. 2007. Vol. 23(5). P. 549–553.
55. Venkatesan K. et al. // Ultrasonics Sonochemistry. 2008. Vol. 15. P. 548–553.
56. Dabiri M., Baghbanzadeh M., Arzroomchilar E. // Catalysis Communications. 2008. Vol. 9. P. 939–942.
57. Sahoo S., Joseph T., Halligudi S. B. // J. of Molecular Catalysis A: Chemical. 2006. Vol. 244. P. 179–182.
58. Zlotin S. G. et al. // Russian Chemical Bulletin, International Edition. 2007. Vol. 56, N 8. P. 1487–1494.
59. Dong F. et al. // Catalysis Letters. 2007. Vol. 116, N 1–2. P. 76–80.
60. Gong K. et al. // Dyes and Pigments. 2009. Vol. 80. P. 30–33.
61. Sunitha S. et al. // Tetrahedron Letters. 2008. Vol. 49. P. 2527–2532.
62. Xie C. et al. // J. of Hazardous Materials. 2008. Vol. 151. P. 847–850.
63. Forbes D. C., Weaver K. J. // J. of Molecular Catalysis A: Chemical. 2004. Vol. 214. P. 129–132.
64. Li H. et al. // Catalysis Communications. 2007. Vol. 8. P. 1759–1762.
65. Wang W. J. et al. // Catal. Lett. 2008. Vol. 121. P. 77–80.
66. Liu S. et al. // Catalysis Communications. 2008. Vol. 9. P. 1634–1638.
67. Jiang D. et al. // Chinese Chemical Letters. 2008. Vol. 19. P. 889–892.
68. Potewar T. M. et al. // Tetrahedron Letters. 2007. Vol. 48. P. 1721–1724.
69. Siddiqui S. A. et al. // Tetrahedron. 2005. Vol. 61. P. 3539–3546.
70. Khosropour A. R. // Can. J. Chem. 2008. Vol. 86. P. 264–269.
71. Nadaf R. N. et al. // J. of Molecular Catalysis A: Chemical. 2004. Vol. 214. P. 155–160.
72. Zhou T., Lin J.-L., Chen Z.-C. // Letters in Organic Chemistry. 2008. Vol. 5. P. 47–50.
73. Dong F. et al. // J. of Molecular Catalysis A: Chemical. 2007. Vol. 274. P. 208–211.
74. Zheng R. et al. // Synthetic Communications. 2006. Vol. 36. P. 1503–1513.
75. Potewar T. M. et al. // Synthetic Communications. 2007. Vol. 37. P. 261–269.
76. Karthikeyan G., Perumal P. T. // Can. J. Chem. 2005. Vol. 83. P. 1746–1751.
77. Dong F. // Catalysis Communications. 2008. Vol. 9. P. 317–320.
78. Du Y., Tian F., Zhao W. // Synthetic Communications. 2006. Vol. 36. P. 1661–1669.
79. Qiao K., Yokoyama C. // Catalysis Communications. 2006. Vol. 7. P. 450–453.
80. Zhao Q. L., Wang L. L. // Chinese Chemical Letters. 2008. Vol. 19. P. 1175–1178.
81. Wang H. et al. // Tetrahedron. 2006. Vol. 62. P. 3985–3988.
82. Gu Y., Shi F., Deng Y. // Catalysis Communications. 2003. Vol. 4. P. 597–601.
83. Lai G. Q. et al. // Chinese Chemical Letters. 2007. Vol. 18. P. 601–604.
84. Li M. C. et al. // Electrochemistry Communications. 2005. Vol. 7. P. 209–212.
85. Jaeger D. A., Tucker C. E. // Tetrahedron Letters. 1989. Vol. 30, N 14. P. 1785–1788.
86. Janus E. et al. // Tetrahedron Letters. 2006. Vol. 47. P. 4079–4083.

A. M. TRABIANOK, Y. B. AKAYEU

**IONIC LIQUIDS WITH BROENSTED ACID PROPERTIES:
PREPARATION METHODS AND USE IN ORGANIC SYNTHESIS**

Summary

Methods for synthesis of Broensted acid ionic liquids (BAILs) have been summarized. Applications of the title compounds as «green» solvents and catalytic media for organic reactions, has been reviewed. It has been concluded that, in most cases when proton catalysis is required, use of BAILs leads to similar or better results, as compared to conventional organic solvents. It has been noted that, on many occasions, reactions in BAILs show improved conversion and selectivity.

УДК 535.36

В. В. БАРУН¹, А. П. ИВАНОВ¹, В. Г. ПЕТРУК², С. М. КВАТЕРНЮК²**РАЗВИТИЕ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ
БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ ПО РАССЕЯННОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ.
I. СПЕКТРЫ ОТРАЖЕНИЯ**¹Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси²Винницкий национальный технический университет

(Поступила в редакцию 17.06.2010)

Предложено решение обратной задачи восстановления структурных и биофизических параметров кожи по спектру отраженного излучения. Представленная методика основана на модели спектральных характеристик ткани и инженерных методах решения уравнения переноса. Искомыми параметрами являются объемные концентрации меланина и капилляров, толщина эпидермиса, средний диаметр капилляров и степень оксигенации крови. С целью оптимизации алгоритма по длинам волн и выработки экспериментальной схемы диагностики, исследована чувствительность спектра отражения к искомым параметрам. Построен алгоритм их последовательного восстановления. Проанализированы перспективы дальнейшего развития полученных результатов, например, для оценки глубины проникновения света в биоткани, расчета дозы облучения при светотерапии, прогноза теплового режима внутренних органов человека по измерениям температуры на поверхности кожи.

Введение. Спектральные методы прочно вошли в практику определения компонентного состава, структурных и оптических характеристик различных сред. Однако применение этих методов для неинвазивной диагностики биологических тканей не столь широко, несмотря на очевидные преимущества по сравнению с другими известными способами, например, безболезненность светового воздействия, оперативность получения информации, отсутствие дорогостоящих реактивов и расходных материалов. В полной мере воспользоваться указанными и другими достоинствами оптической диагностики к настоящему времени не удается. Причина заключается в том, что известные и стандартные спектроскопические методики измерения и обработки данных применимы лишь для прозрачных или слабо рассеивающих свет сред. Биологические ткани, как хорошо известно, являются сильно мутными объектами, и уже для геометрически тонкой среды реализуются условия многократного рассеяния света. Это существенно затрудняет выделение полезной информа-

ции из измеряемого оптического сигнала и требует создания специальных алгоритмов и компьютерных программ для решения обратной задачи. Обычно оптическими средствами определяют лишь отдельные параметры тканей [1]. В данной работе предложена комплексная методика восстановления объемных концентраций меланина f и кровеносных сосудов (капилляров) C_V , толщины эпидермиса d , степени оксигенации крови S и среднего диаметра капилляров D по измерениям коэффициента диффузного отражения света (КДО) кожей.

1. Структура и состав кожи. Кожа человека достаточно полно исследована в отношении ее состава, структуры [1–3] и оптических свойств [1; 3–5]. Обычно используют слоистую модель кожи, свойства которой изменяются вдоль одной координаты — глубины z . Модель включает три основных слоя [1; 3; 5] — роговой, эпидермис и дерму. Их толщина варьируется в пределах 0,01–0,02, 0,04–0,15 и 1–4 мм соответственно. Все три слоя образованы «обескровленной» тканью или тканью-основой (по модели [5]). Она содержит краситель меланин в эпидермисе и хаотически распределенные капилляры в дерме. В коже имеется также вода, но для оценки КДО R в видимой и ближней ИК областях спектра ее поглощением, из-за малости, будем пренебрегать.

Зафиксируем толщину (0,02 мм) рогового слоя. (Как показали расчеты, он играет незначительную роль в отражении света кожей из-за небольшой оптической толщины.) Характеристики двух других слоев варьируются и являются предметом диагностики. Меланин определяет цвет кожи. Его концентрация f (объем меланина в единице объема эпидермиса) варьируется от единиц процента для людей со светлой кожей до нескольких десятков процентов для африканцев [5]. Концентрация капилляров C_V обычно составляет несколько процентов. Их диаметр D изменяется от единиц до десятков мкм. Кровь рассматриваем как смесь окси-НвО₂ и деоксигемоглобина Нв с переменной степенью оксигенации S (отношение объема оксигемоглобина к объему всего гемоглобина).

2. Аналитическое описание спектрального коэффициента диффузного отражения света кожей. Рассмотрим формирование световых полей внутри биоткани и вне ее. Пусть кожа освещена направленным пучком. Распространение света можно схематично представить следующим образом. Сначала поверхность кожи отражает некоторую долю падающего потока с коэффициентом отражения r . Вследствие малости оптических толщин верхних двух слоев и сильной вытянутости «вперед» их индикатрис рассеяния, проходящий через поверхность кожи свет падает на три последовательных ее слоя как направленный пучок. Затем при рассеянии или отражении излучение становится практически диффузным. Имеют место многократные переотражения между слоями. В конце концов, некоторый световой поток выходит с поверхности. Отношение полного вышедшего потока к падающему есть КДО R кожи. Рассмотренная схема предполагает, что спектральные значения $R(\lambda)$ зависят от коэффициентов пропускания и отражения направленного и диффузного света роговым слоем и эпидермисом, а также от коэффициента отражения направленного и диффузного света дермой. Поскольку роговой слой и эпидермис имеют достаточно малые оптические толщины, для описания распространения в них направленного излучения использовано малоугловое приближение [7] теории переноса, а диффузного — асимптотическое приближение [7; 8]. Дерма в оптическом плане является

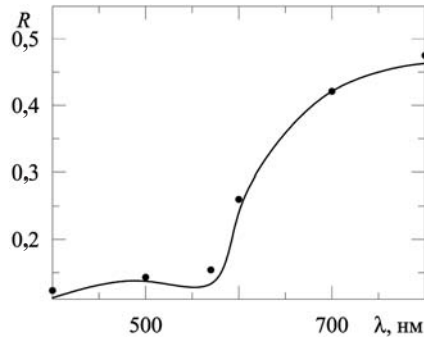


Рис. 1. Сравнение спектров КДО, рассчитанных по аналитической (кривая) и численной (символы) методикам при $C_V = 0,04$, $f = 0,08$, $d = 100$ мкм, $D = 5$ мкм и $S = 0,75$

полубесконечной рассеивающей и поглощающей средой. Световые поля, отраженные этим слоем, рассчитываем в асимптотическом приближении.

Подробно методика вычислений спектров КДО представлена в работах [6; 9; 10]. Поэтому ниже ее приводить не будем. Подчеркнем, что методика является аналитической и не требует сложных компьютерных алгоритмов и программ для расчетов. Для ее проверки результаты были сопоставлены с вычислениями по коду SCIATRAN 3.0, разработанному применительно к исследованию световых полей в атмосфере [11] (рис. 1). Сравнение показывает, что имеет место приемлемое согласие аналитической и численной методик. Отметим, что искомые пара-

метры кожи в явном виде входят в измеряемую величину $R(\lambda)$, и поэтому дальнейшее решение обратной задачи сводится просто к поиску корней соответствующих трансцендентных уравнений. Необходимо лишь построить такой алгоритм, который давал бы однозначное решение, оптимизированное с точки зрения вычислений.

3. Алгоритм восстановления структурных и биофизических параметров кожи. Первым этапом решения поставленной обратной задачи было исследование чувствительности спектрального КДО к искомым параметрам кожи. В качестве тестового образца был выбран кожный покров с $f = 0,04$, $C_V = 0,02$, $d = 100$ мкм, $D = 5$ или 40 мкм и $S = 0,75$. Исходя из этих значений, были найдены все оптические характеристики слоев кожи, описывающие перенос излучения. Далее вычислялся спектр КДО. Расчеты показали, что предлагаемая ниже процедура оптимизации слабо зависит от конкретных значений указанных параметров, когда они, естественно, находятся в пределах, типичных для реальной кожи.

Оказалось [12], что значения КДО при $\lambda \geq 500$ нм зависят лишь от произведения $f \cdot d$ и слабо чувствительны к каждому из этих сомножителей по отдельности. Выбирая две изосбестические длины волн в указанном интервале (на которых показатели поглощения HbO_2 и Hb одинаковы), можно построить систему двух уравнений с двумя неизвестными $f \cdot d$ и C_V . Решая ее, найдем указанные параметры. Для восстановления D и f (а, следовательно, и d) при известных $f \cdot d$ и C_V используем КДО на двух изосбестических λ в синей области. Здесь также получаем систему двух уравнений с двумя

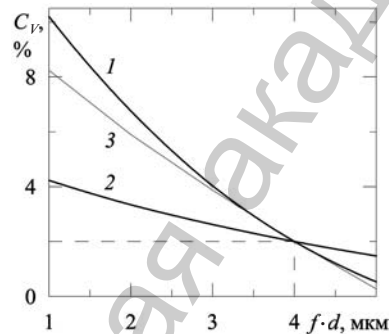


Рис. 2. Графическое решение двух трансцендентных уравнений относительно C_V и $f \cdot d$ по известным значениям КДО кожи при $\lambda = 500$ (кривая 1), 570 (2) и 800 нм (3), $D = 5$ мкм

неизвестными. После ее решения остается один неизвестный параметр — S , который теперь можно найти по одному спектральному значению КДО. Конкретные длины волн были выбраны на основе расчетов спектров $R(\lambda)$ при вариации искомым параметров в пределах, характерных для кожи человека.

Рассмотренная выше схема позволила предложить следующий алгоритм восстановления структурных и биофизических параметров кожи:

по значениям R на длинах волн $\lambda = 500$ и 570 нм находим C_V и $f \cdot d$;

по R на длинах волн $\lambda = 400$ и 450 нм при известных C_V и $f \cdot d$ находим f и D ;

по R на длине волны $\lambda = 600$ нм при известных C_V, f, d и D находим S .

Рис. 2 и 3 иллюстрируют первые два этапа восстановления искомым параметров. Использовано графическое решение трансцендентных уравнений. Каждая кривая дает пары значений параметров, соответствующих рассчитанному значению КДО на заданной длине волны. Отметим, что чувствительность КДО к параметрам кожи на рис. 2 и 3 определяется углом пересечения приведенных кривых. Использование $\lambda = 500$ и 570 нм для определения C_V и $f \cdot d$ (рис. 2) дает максимальную чувствительность. Однако длину волны 500 нм можно, если требуется, заменить на 800 нм (кривая 3), практически не проигрывая в чувствительности. С другой стороны, из рис. 3 видно, что сплошные кривые 1 и 2 для малого диаметра $D = 5$ мкм почти совпадают, и восстановить D мелких сосудов из измерений КДО не удастся. При увеличении диаметра угол пересечения соответствующих кривых (штриховые на рис. 3) и, следовательно, чувствительность КДО к D растут.

Сначала рассмотрим спектральную чувствительность КДО $\eta(\lambda) = dR(\lambda)/dS$ тестового образца к значениям S . Ее можно просто рассчитать вследствие аналитического характера формул для $R(\lambda)$. Соответствующую зависимость дает кривая 1 на рис. 4. Максимум чувствительности, как видно, приходится на λ около 600 нм. Для длин волн, короче 500 нм (на рис. 4 не показаны), чувствительность очень малая из-за экранирования сосудов эпидермисом с сильно поглощающим

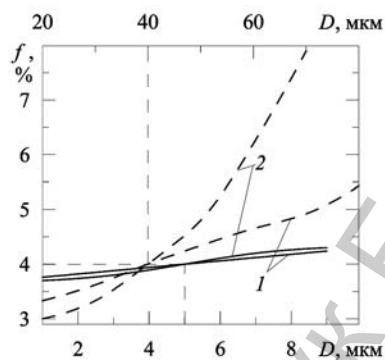


Рис. 3. Графическое решение двух трансцендентных уравнений относительно f и D по известным значениям КДО кожи при $\lambda = 400$ (кривые 1) и 450 нм (2), $D = 5$ (сплошные кривые, нижняя шкала абсцисс) и 40 мкм (штриховые, верхняя шкала абсцисс)

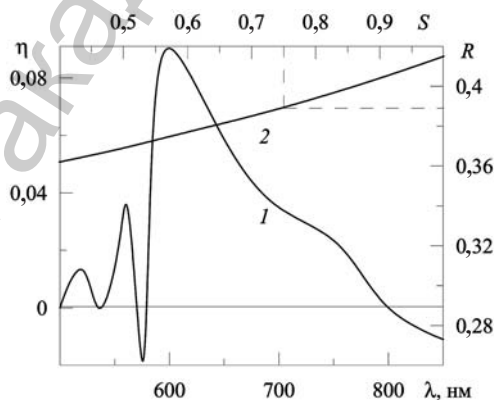


Рис. 4. Спектральная чувствительность (кривая 1, левая шкала ординат, нижняя шкала абсцисс) КДО тестового образца кожи к степени оксигенации крови и КДО кожи (2, правая шкала ординат) как функция S (верхняя шкала абсцисс) на длине волны 600 нм

меланином и высокого поглощения самой дермы. Нули чувствительности соответствуют изосбестическим точкам спектров поглощения гемоглобинов. Отметим, что чувствительность измерения КДО к S , в общем, низкая (даже в максимуме). При экспериментальной абсолютной ошибке 1 % в R возможно, в самом лучшем случае, различить приращения S только порядка 10 %. Видимо, для восстановления степени оксигенации крови из оптических экспериментов следует использовать другой подход, например, измерение отраженного потока с пространственным разрешением [13]. Очевидно, что здесь чувствительность будет выше из-за большего «эффективного» оптического пути, проходящего светом через гемоглобинсодержащую дерму.

Выбирая на последнем этапе $\lambda = 600$ нм, был рассчитан КДО кожи как функция S (кривая 2 на рис. 4) при известных значениях C_V , d , f и D . Этим завершается моделирование задачи диагностики структурных и биофизических параметров кожи.

Отметим, что на рис. 2–4 горизонтальными и вертикальными штриховыми прямыми указаны координаты точек пересечения соответствующих кривых. Естественно, что теоретически они совпадают со значениями параметров, характерными для тестового образца кожи. Аналитические решения для КДО как функции искомых параметров позволяют просто оценить влияние экспериментальных ошибок на точность восстановления путем нахождения соответствующих производных от КДО. Такие данные приведены в работе [12].

4. Экспериментальная часть. Представляло интерес экспериментально проверить предложенную методику. Были измерены спектры КДО большого пальца четырех добровольцев. В экспериментах использовался спектрофотометр с приставкой в виде интегрирующей сферы. Результаты приведены на рис. 5, а. Из этих графиков были взяты значения КДО при $\lambda = 400, 450, 500, 570$ и 600 нм для каждого добровольца и обработаны по рассмотренной выше методике. Средний диаметр капилляров был исключен из процедуры восстановления из-за невысокой точности измерений КДО. Иными словами, полагалось, что значения D малы и не сказываются на R . В таблице приведены значения C_V , fd , f , d и S , а также две длины волны (400 или 450 нм), использованные для определения f (а, следовательно, и d). Степень оксигенации кро-

Структурные и биофизические параметры кожи четырех добровольцев, восстановленные по измеренным спектрам КДО

Доброволец	C_V , %	fd , мкм	f , %	d , мкм	S
1	2,1	4,4	4,8 (400 нм)	92	0,91 (400 нм)
			3,2 (450 нм)	135	0,94 (450 нм)
2	2,8	3,3	5,7 (400 нм)	58	0,63 (400 нм)
			8,2 (450 нм)	40	0,63 (450 нм)
3	1,7	4	3,8 (400 нм)	105	0,94 (400 нм)
			2,8 (450 нм)	143	0,94 (450 нм)
4	2,6	3,75	4,8 (400 нм)	78	0,86 (400 нм)
			4,0 (450 нм)	94	0,87 (450 нм)

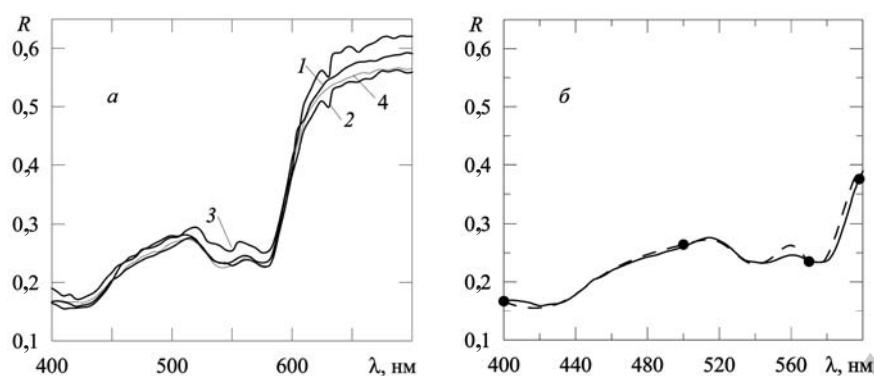


Рис. 5. Измеренные спектры КДО четырех добровольцев (а); измеренный (сплошная кривая) и восстановленный (штриховая) спектр КДО для добровольца 1 (б); • — значения R и λ , используемые при восстановлении

ви находили по КДО на 600 нм с привлечением данных по f и d , восстановленных на предыдущем этапе по КДО на длинах волн 400 или 450 нм. Поэтому в таблице даны два значения S .

На рис. 5, а видно, что четыре спектра не содержат каких-то особенностей, присущих конкретному добровольцу, и близки друг к другу. Тем не менее, восстановленные параметры различны и имеют разумные значения, характерные для нормальной светлой кожи. Видимо, сравнительно большие изменения концентрации меланина f и толщины эпидермиса d , имеющие место при восстановлении этих параметров по КДО на длине волны 400 или 450 нм, связаны с предположением о малом диаметре капилляров. Тем не менее, даже в таком «плохом» случае оценки f и d часто приемлемы для практики. Несколько неожиданны данные по восстановленной степени оксигенации крови. Полученные значения S разумны и практически не зависят от длины волны, использованной для определения f . К сожалению, независимые способы проверки восстановленных параметров, например, биохимические медицинские процедуры, были на данном этапе недоступны.

Интересно по значениям параметров, восстановленным на четырех λ , вновь вычислить полные спектры КДО в интервале 400—600 нм, использованном для измерений, т. е. вернуться к исходным экспериментальным зависимостям $R(\lambda)$. Результаты такого расчета показаны на рис. 5, б для добровольца 1 (кривая 1 на рис. 5, а). Как видно, исходный и восстановленный спектры близки. Для кривых 2—4 рис. 5, а имеет место такое же согласие. Это косвенно свидетельствует об устойчивости предложенного алгоритма к ошибкам измерений.

5. Перспективы дальнейшего развития и практического использования полученных результатов. Взаимодействие излучения с любыми средами и закономерности распространения света в них определяются оптическими и геометрическими характеристиками среды. Поэтому знание таких характеристик или возможность их измерения важно для описания световых полей, формируемых при облучении среды. Применительно к биологическим тканям имеется

ряд особенностей определения искомых характеристик. Учитывая многообразие тканей, их сильную изменчивость и подверженность влиянию большого числа факторов, априорно можно указать лишь примерный диапазон вариации их параметров. Измерение же последних связано, как правило, с приготовлением специальных образцов или проб, т. е. с нарушением исходной структуры, функционального состояния и болезненным хирургическим вмешательством. В этом смысле актуальность разработки неинвазивных методик определения структурных и биофизических характеристик в условиях *in vivo* не вызывает сомнения. Именно один из таких путей оптического детектирования параметров кожи предложен в данной работе.

Определение глубины проникновения излучения в ткань при светотерапии. Информация о глубине z_0 проникновения света в ткань важна для низкоинтенсивной лазерной терапии и лазерной гипертермии. Она позволяет оценить дозу внешнего излучения, требуемую для доставки заданной световой энергии (или мощности) к внутренним участкам. Указанная доза во многом определяет терапевтический эффект лечебной процедуры или степень нагрева (прирост температуры) среды, так как z_0 определяет глубину, на которой плотность излучения уменьшается в 10 (или в $e = 2,7$) раз. Исследование спектров z_0 при задании типичных интервалов изменения параметров кожи показало, что значения глубины варьируются примерно в 2 раза [9]. Много это или мало? Для ряда случаев и оценочных выводов такие изменения z_0 часто приемлемы. Однако несложно подсчитать, что перепад глубины проникновения (по основанию 10) в 2 раза соответствует изменению дозы облучения внутренних участков ткани приблизительно на 2 порядка. Предложенная методика определения структурных и биофизических параметров кожи позволяет существенно уточнить дозу облучения на основе реальных параметров, восстановленных по спектральному КДО. Так, при экспериментальных уровнях ошибок погрешность оценки искомой дозы снижается до 1,5–2 раз, что уже позволяет врачу-практику оперировать количественными данными, а не только анализировать тенденции. Кроме того, в [9] предложен способ оценки глубины проникновения света в биоткань по номограммам, построенным в координатах КДО — z_0 при фиксированных λ . Разработанная методика открывает пути исключения субъективизма оценки врачом специфических оптических свойств кожи пациента и повышения эффективности лазерной терапии за счет выбора оптимальных, индивидуализированных режимов облучения. Для их экспериментальной проверки и реализации требуется создание макета лабораторной установки, позволяющей воплотить на практике разработанные методики диагностики.

Восстановление температуры внутренних участков ткани по измерениям на поверхности. В последнее время в медицинскую практику широко внедряется использование тепловизионных изображений [14]. Их применяют для диагностики внутренних органов (например, заболеваний щитовидной железы), при контроле хода операций на сердечно-сосудистой системе, для оценки режима лазерной гипертермии ткани. Изображения формирует специальная камера, работающая в среднем ИК диапазоне (примерно 4–6 мкм) [14]. Однако эта камера после соответствующей калибровки измеряет температуру толь-

ко поверхности ткани или некоторой эффективной приповерхностной области. Врачу же важно знать температуру внутреннего участка среды. Предложенная методика неинвазивного определения структурных и биофизических параметров кожного покрова позволяет выполнить требуемые оценки. Именно указанные параметры во многом задают световой режим внутри среды при внешнем облучении (например, при лазерной гипертермии) или условия распространения излучения от внутреннего нагретого органа, подлежащего диагностике, до поверхности ткани и до детектора теплового излучения. Рис. 6 иллюстрирует, как по известным (модельным или найденным по предложенной здесь методике) оптическим и структурным параметрам биоткани можно прогнозировать температуру поверхности кожи. Здесь кривые дают экспериментальные данные кинетики нагрева кожи [15] при внешнем облучении лазерным пучком на длине волны 633 нм, а символы — результаты расчета по двух- или однослойной модели [6]. Для вычислений температуры использована разработанная ранее аналитическая методика решения уравнения теплопроводности [16]. Таким образом, определив структурные и биофизические параметры кожи по предложенному алгоритму, можно восстановить глубинный профиль нагрева ткани. Оценки показывают, что таким путем можно «проникнуть» вглубь ткани примерно на 5–10 мм в зависимости от длины волны облучения. Поступая аналогично при измерении температуры поверхности кожи в случае нагретого (или охлажденного) внутреннего органа, т. е. сочетая экспериментальное определение параметров кожи с тепловизионным экспериментом, открывается принципиальная возможность восстановления температуры обследуемого органа. Однако это предмет будущих исследований.

Заключение. В работе на основе теоретического моделирования переноса излучения в биотканях построен алгоритм восстановления структурных и биофизических параметров кожи, определяющих световые поля внутри и вне среды. В среде MathCAD 2000 разработана программа решения обратной задачи диагностики на персональном компьютере. Аналитический характер методики расчета световых полей в среде не требует использования громоздких и сложных компьютерных кодов для практической реализации алгоритма. Показано, что восстанавливаемые параметры имеют разумные значения, типичные для светлой нормальной кожи [1–6]. Предложенная методика может быть полезной для биологов и медиков, занимающихся исследованиями, диагностикой и практическим лечением кожного покрова человека и его патологий.

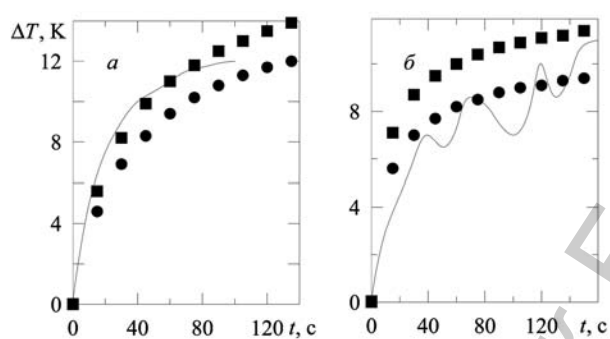


Рис. 6. Кинетика роста температуры поверхности кожи в центре светового пятна при облучении лазерным пучком диаметром 5 мм и мощностью 1,1 Вт (а), 1 мм и 0,4 Вт (б); сплошные кривые — эксперимент; ■ и ● — расчет по двух- и однослойной модели кожи [6]

Восстановленные параметры кожи можно использовать для определения глубины проникновения света в ткань и оценки требуемой дозы облучения при светотерапии и лазерной гипертермии. Развитый подход позволяет наметить пути решения практически важных теплофизических задач, а именно — оценку температурного режима внутренних органов человека на основе измерений температуры на поверхности кожи.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований по договорам № Ф05К-025 и № Ф09ГКНТ-004.

Литература

1. Тучин В. В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. Саратов, 1998. — 383 с.
2. Меглинский И. В., Матчер С. Д. // Опт. спектр. 2001. Т. 91, № 4. С. 692—697.
3. Van Gemert M. J. C., Jacques S. L., Steenborgh H. J. C. M., Star W. M. // IEEE Trans. Biomed. Eng. 1989. Vol. 46, N 12. P. 1146—1154.
4. Prah S. A. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://omlc.ogi.edu/spectra/hemoglobin/index.html>.
5. Jacques S. L. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://omlc.ogi.edu/news/jan98/skinoptics.html>.
6. Барун В. В., Иванов А. П. // Опт. спектр. 2006. Т. 100, № 1. С. 149—157.
7. Зега Э. П., Иванов А. П., Кацев И. Л. Перенос изображения в рассеивающей среде. Минск, 1985. — 327 с.
8. Розенберг Г. В. // Спектроскопия рассеивающих сред / Ред. Б. И. Степанов. Минск, 1963. С. 5—36.
9. Барун В. В., Иванов А. П., Волоотовская А. В., Улащик В. С. // ЖПС. 2007. Т. 74, № 3. С. 387—394.
10. Барун В. В., Иванов А. П. // Квант. электр. 2010. Т. 40, № 4. С. 371—376.
11. Kokhanovskiy A. A., Gramstedt K., von Hoeninge-Wuene W., Burrows J. P. // IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens. Letters. 2007. Vol. 4. P. 293—296.
12. Иванов А. П., Барун В. В. // Опт. спектр. 2008. Т. 104, № 2. С. 344—351.
13. Stratoniukov A. A., Loshchenov V. V. // J. Biomed. Opt. 2001. Vol. 6. P. 457—467.
14. Гончаров Н. Г., Алехин А. И., Ляпунов С. И. и др. // Здоровоохранение и мед. техника. 2005. № 10. С. 36—38.
15. Кулешова Д. В., Лощенов В. Б., Шевчик С. А. и др. // Альманах клин. медицины. 2006. Т. XII. С. 25—28.
16. Барун В. В., Иванов А. П. // Квант. электр. 2010. Т. 34, № 11. С. 1069—1076.

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

DEVELOPMENT OF OPTICAL METHODS FOR DIAGNOSING BIOLOGICAL TISSUES BY SCATTERED LIGHT. I. REFLECTANCE SPECTRA

Summary

The solution to the inverse problem on retrieving structural and biophysical skin parameters by the reflected light spectrum is proposed. The procedure is based on the model of spectral tissue properties and engineering methods for solving the radiative transfer equation. The desired parameters are melanin and blood vessel volume fractions, epidermis thickness, mean capillary diameter, and blood oxygenation degree. The sensitivity of the spectra to the desired parameters has been investigated to optimize the algorithm by wavelengths and to construct an experimental diagnostic scheme. The algorithm for successive retrieval of the above parameters is constructed. The prospects of further development of the obtained results, for example, to estimate light penetration depth in biotissues, to calculate irradiation dose at light therapy, to predict a thermal regime of internal organs of a person by measuring temperature of skin surface are analyzed.

УДК 582.998:577.15/19(517.3)

В. И. ДОМАШ¹, О. А. ИВАНОВ¹, Ц. ДАШ², Д. БАТСУРЭН³,
Э. СЭЛЭНГЭ², Ж. БАТХУУ², Т. П. ШАРПИО¹, С. А. ЗАБРЕЙКО¹

БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ДИКORAСТУЩИХ ВИДОВ СЕМЕЙСТВА *COMPOSITAE* ФЛОРЫ МОНГОЛИИ

¹Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси

²Монгольский государственный университет

³Институт химии и химической технологии Академии наук Монголии

(Поступила в редакцию 17.06.2010)

Проведен скрининг активности биологически активных белков-ингибиторов протеиназ и антиоксидантной активности представителей семейства *Compositae* дикорастущей флоры Монголии. Выявлены растения, в листьях которых впервые обнаружена довольно высокая по сравнению с запаасающими органами активность ингибиторов трипсина, антиоксидантная и антитромбическая активность. Перспективные растения могут быть использованы в качестве источников сырья для получения медицинских препаратов.

Введение. Дикорастущие виды растений являются богатым источником биологически активных веществ, которые широко используются в медицине. Монголия, занимающая площадь в 1 565 тыс. км² в самом центре Азиатского материка, до последнего времени оставалась почти единственным регионом с природой, слабо измененной антропогенными (в том числе техногенными) воздействиями. В то же время Монголия включает почти все природные ландшафты умеренного пояса Азии. Здесь встречаются как тундры и тайга, так и степи и пустыни. Протянувшись на 2 400 км с востока на запад и почти на 1 200 км с севера на юг, Монголия включает около 500 типов и подтипов разнообразных экосистем, многие из которых уникальны. Флора высших растений Монголии насчитывает, по последним данным, более 3 000 видов. В Монголии в настоящее время организовано систематическое исследование в области химии природных физиологически активных веществ. Так, из 22 видов лекарственных растений, применяемых в монгольской народной и тибетской медицине, выделено 111 природных соединений. Работа главным образом связана с выделением алкалоидов из растений для использования в медицине. На основании результатов исследований выявлена тенденция, что химические соединения накапливаются в растениях, произрастающих в Монголии сравнительно в более окисленной (гидроксильированной) форме в отличие от других

регионов [1]. Представляло интерес исследовать содержание в растениях флоры Монголии биологически активных белков-ингибиторов протеолитических ферментов.

Ингибиторы протеиназ составляют многочисленную и довольно разнообразную по свойствам группу растительных белков. Известно [2; 3], что существует несколько механизмов регуляции протеолитических ферментов. Один из таких регуляторных механизмов реализуется через специфические белки, действующие как ингибиторы протеолитических ферментов. Отличительной чертой этих белков является способность образовывать с ферментами обратимо связываемые комплексы, характеризующиеся низкими значениями констант диссоциации, лежащими в интервале 10^{-10} – 10^{-14} М.

Кроме того, ингибиторы могут выступать как составная часть системы устойчивости растений к биотическим факторам внешней среды, в том числе инфекциям. Ингибиторы ферментов имеют фундаментальное значение для фармакологии и токсикологии. Известно, что ингибиторы протеиназ животного происхождения широко используются в медицинской практике для лечения заболеваний, связанных с повышением активности протеиназ (диабета, кариеса), в хирургии. Имеются и первые сведения об использовании в этих целях ингибиторов протеиназ растительного происхождения [4].

Имеющиеся сведения относительно белковых ингибиторов касаются главным образом культурных растений стран СНГ. Сведения же относительно ингибиторов протеиназ дикорастущих видов растений очень фрагментарны. Так, эти белки обнаружены и охарактеризованы у представителей семейства *Fabacea* (Бобовые), *Poacea* (Злаки), *Solanacea* (Пасленовые) [5; 6]. Сведения же относительно присутствия ингибиторов протеиназ у различных представителей семейства *Compositae* (Сложноцветные) начали появляться совсем недавно [7]. В работах А. Конарева [8; 9] было показано присутствие ингибиторов сериновых протеиназ типа Баумана–Бирк, картофельного ингибитора I в семенах большого числа представителей семейства *Compositae*.

В связи с отсутствием сведений о белках-ингибиторах протеиназ флоры Монголии представляло интерес изучение их активности в сравнении с некоторыми представителями флоры Беларуси.

Цель работы — изучение активности ингибиторов протеиназ в различных органах дикорастущих видов растений семейства *Compositae* флоры Монголии.

Материалы и методы исследования. Объектами исследования служили представители различных видов растений семейства *Compositae*, произрастающих в Монголии. Для сравнения анализировали и некоторые виды растений флоры Беларуси.

Активность ингибиторов трипсина определяли по методу Гофмана и Вайсбля [10]. Метод основывается на способности трипсина расщеплять синтетический субстрат БАПА (N α -бензоил-DL-аргинин- π -нитроанилид) с образованием из последнего окрашенного в желтый цвет π -нитроанилина, имеющего максимум поглощения при длине волны 405 нм.

Активность ингибиторов α -химотрипсина и субтилизина оценивали с использованием белкового субстрата азоказеина по методу [11] с изменениями. Метод основан на способности этих протеиназ гидролизовать белки по пеп-

Значение IC_{50} рассчитывали по графику, где ось абсцисс соответствовала концентрации метанольного экстракта в исследуемом растительном экстракте, а ось ординат — проценту антиоксидантной активности. Значение IC_{50} соответствовало концентрации метанольного экстракта в исследуемом образце, при котором наблюдалось 50 %-ное элиминирование свободных радикалов DPPH.

Концентрацию белка определяли на различных этапах работы с исследуемыми растворами по методу Брэдфорд [17].

Все опыты проводились в трехкратной аналитической повторности. Приводилось среднее значение \pm стандартное отклонение.

В работе использовали компьютерные программы Stadia, Excel и др.

Результаты и их обсуждение. Анализ активности ингибиторов протеиназ в листьях исследованных видов растений Монголии представлен в табл. 1. Как видно из данных табл. 1, исследованные виды растений семейства *Compositae* различаются по активности ингибиторов протеиназ в листьях. Основное содержание составляют ингибиторы трипсина. Так, уровень их активности варьирует от 1,15 (бодяк полевой) до 355,3 ИЕ (образец № 65). Поражает активность ингибиторов трипсина в листьях образца № 65, которая превышает их содержание в семенах сои, самой богатой этими белками культуре. Вы-

Т а б л и ц а 1. Активность ингибиторов протеиназ в листьях растений семейства *Compositae*

Вид растений	Активность ингибиторов трипсина, ИЕ/г возд. сух. массы	Активность ингибиторов химотрипсина, ИЕ/г возд. сух. массы	Активность ингибиторов субтилизина, ИЕ/г возд. сух. массы
<i>Artemisia dracunculus</i> L. (полынь экстрагон)	10,87 \pm 0,02	1,42 \pm 0,04	3,28 \pm 0,16
<i>Artemisia cynorhiza</i> Ldb. (полынь мощнокорневая)	7,93 \pm 0,13	1,91 \pm 0,02	1,08 \pm 0,08
<i>Artemisia commutate</i> Bess. (полынь замещающая)	4,15 \pm 0,09	1,62 \pm 0,03	0
<i>Artemisia monostachya</i> Vge. ex Maxim (полынь одноколосая)	6,25 \pm 0,06	1,60 \pm 0,03	1,45 \pm 0,09
<i>Aster alpinus</i> L. (астра альпийская)	37,53 \pm 0,61	1,01 \pm 0,01	1,00 \pm 0,01
<i>Centaurea pulchella</i> Ldb. (василек)	4,78 \pm 0,07	0	0
<i>Cirsium arvense</i> L. Scop. (бодяк полевой)	1,15 \pm 0,03	0	0
<i>Heteropappus altaicus</i> Wild. (гетораппус алтайский)	26,96 \pm 1,10	5,94 \pm 0,81	—
<i>Leontopodium campestre</i> Ldh. (эдельвейс степной)	139,08 \pm 8,59	10,08 \pm 1,22	3,82 \pm 0,52
<i>Saussurea amara</i> (L.) DC (сосюрея горькая)	20,52 \pm 0,88	—	—
<i>Saussurea salicifolia</i> (L.) DC (сосюрея иволистная)	58,95 \pm 1,24	6,11 \pm 0,24	2,97 \pm 0,06
<i>Scorzonera radiata</i> Fisch (козелец лучистый)	3,38 \pm 0,03	3,19 \pm 0,07	1,51 \pm 0,03
Образец № 65	355,3 \pm 22,9	3,60 \pm 0,09	0

сокое содержание ингибиторов трипсина отмечено и в листьях эдельвейса степного и сосюреи иволистной.

Активность ингибиторов химотрипсина и субтилизина сравнительно невысокая.

Согласно имеющимся сведениям [3], у культурных видов растений основное содержание ингибиторов протеиназ сосредоточено в семенах и других запасающих органах. Исследования дикорастущих видов растений Монголии показали, что значительное содержание ингибиторов трипсина может присутствовать и в листьях, причем их активность превосходит запасающие органы. Примером этого могут служить растения образца № 65, у которого колоссальное количество ингибиторов в листьях, а в семенах и корнях совсем незначительное (1,98 и 4,51 ИЕ соответственно), табл. 2.

Т а б л и ц а 2. Активность ингибиторов протеиназ в запасающих органах дикорастущих видов растений флоры Монголии

Вид растений	Исследованная часть	Активность ингибиторов трипсина, ИЕ/г возд. сух. массы	Активность ингибиторов химотрипсина, ИЕ/г возд. сух. массы
<i>Achillea asiatica</i> Serg.	корневище	7,74 ± 0,13	2,69 ± 0,09
<i>Artemisia commutate</i> Bess.	семена	7,32 ± 0,21	1,28 ± 0,06
	корневище	3,02 ± 0,08	0,96 ± 0,05
<i>Artemisia monostachya</i> Bge. ex Maxim	семена	5,35 ± 0,29	2,15 ± 0,07
	корневище	2,39 ± 0,17	2,48 ± 0,01
<i>Artemisia pycnorhiza</i> Ldb.	семена	5,69 ± 0,11	1,63 ± 0,04
	корневище	3,16 ± 0,06	1,73 ± 0,04
<i>Centaurea pulchella</i> Ldb.	семена	1,01 ± 0,02	0
	корни	5,87 ± 0,14	0
Образец № 65	семена	1,98 ± 0,02	—
	корни	4,51 ± 0,04	—

Как видно из данных табл. 2, и другие виды растений имеют невысокое содержание этих белков в запасающих органах. Представляло интерес изучение и антиоксидантной активности листьев дикорастущих видов растений (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Антиоксидантная активность листьев дикорастущих видов семейства *Compositae* флоры Монголии

Вид растений	Антиоксидантная активность		
	Концентрация белка, мкг/мл	% ингибирования	IC ₅₀ , мкг/мл
<i>Artemisia dracunculus</i> L. (полынь эстрагон)	200	33,3	> 200
	100	16,7	
	50	7,1	
	25	3,6	
<i>Artemisia pycnorhiza</i> Ldb. (полынь мощнокорневая)	200	89,33 ± 0,4	106 ± 0,53
	100	53,97 ± 1,88	
	50	26,83 ± 2,22	
	25	12,9 ± 2,1	
<i>Artemisia commutate</i> Bess. (полынь замещающая)	200	86,03 ± 1,81	116,47 ± 1,33
	100	42,33 ± 0,6	
	50	22,43 ± 1,05	
	25	11,43 ± 0,72	

Окончание табл. 3

Вид растений	Антиоксидантная активность		
	Концентрация белка, мкг/мл	% ингибирования	IC ₅₀ , мкг/мл
<i>Artemisia monostachya</i> Bge. ex Maxim (полынь одноколосая)	200	83,17 ± 1,33	115,83 ± 0,87
	100	47,47 ± 1,78	
	50	24,7 ± 0	
	25	13,93 ± 1,46	
<i>Aster alpinus</i> L. (астра альпийская)	200	58,5 ± 0,3	168,92 ± 0,99
	100	29,9 ± 0,75	
	50	17,37 ± 0,46	
	25	8,3 ± 0,17	
<i>Centaurea pulchella</i> Ldb. (василек)	200	72,17 ± 2,51	127,57 ± 1,98
	100	45,3 ± 11,4	
	50	18,1 ± 0,82	
	25	9,07 ± 0,67	
<i>Cirsium arvense</i> L. Scop. (бодяк полевой)	200	54,8 ± 0,85	181,82 ± 0,94
	100	28 ± 0,85	
	50	14 ± 0,42	
	25	6,55 ± 0,78	
<i>Heteropappus altaicus</i> Wild. (геторапапус алтайский)	200	73,59 ± 2,45	135,79 ± 2,83
	100	37,7 ± 1,83	
	50	17,9 ± 1,2	
	25	8,46 ± 1,32	
<i>Leontopodium campestre</i> Ldh. (эдельвейс степной)	200	34,5	> 200
	100	17,3	
	50	9,5	
	25	17,2	
<i>Saussurea amara</i> (L.) DC (сосюрея горькая)	200	5,7	> 200
	100	3,4	
	50	0	
	25	–	
<i>Scorzonera radiata</i> Fisch (козелец лучистый)	200	32,7	> 200
	100	19	
	50	10,7	
	25	8,3	
Образец № 65	200	25,3	> 200
	100	9,8	
	50	3,4	
	25	0,6	
Рутин (позитивный контроль)	40	90,1 ± 1,1	22,66 ± 0,29
	20	41,06 ± 0,08	
	10	20,74 ± 0,5	
	5	8,9 ± 0,9	

Как видно из данных табл. 3, для 7 из 12 исследованных растительных экстрактов IC₅₀ наблюдалось при концентрации метанольного экстракта в растворе менее 200 мкг/мл. Наиболее активными метанольными экстрактами являлись *Artemisia pycnorhiza* (106 ± 0,53 мкг/мл), *Artemisia commutate* (116,47 ± 1,33 мкг/мл), *Artemisia monostachya* (115,83 ± 0,87 мкг/мл), *Centaurea pulchella* (127,57 ± 1,98 мкг/мл), *Heteropappus altaicus* (135,79 ± 2,83 мкг/мл).

В табл. 4 для сравнения представлены данные о содержании ингибиторов протеиназ у дикорастущих видов флоры Беларуси, произрастающих в почвенно-климатических условиях, отличных от Монголии.

Т а б л и ц а 4. Активность ингибиторов протеиназ в различных органах дикорастущих растений флоры Беларуси

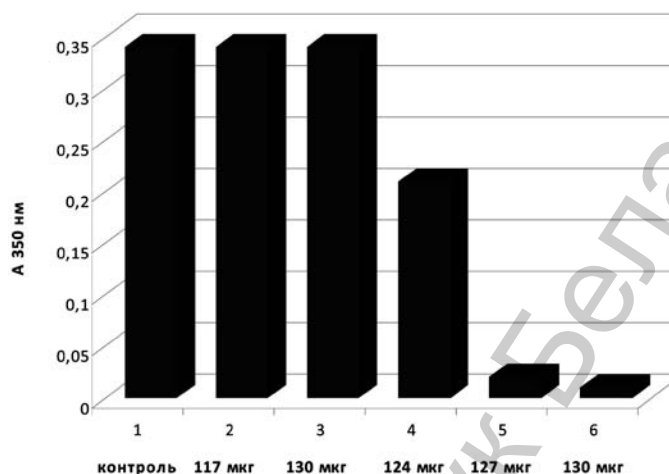
Вид растений		Активность ингибиторов трипсина, ИЕ/г возд. сух. массы	Активность ингибиторов химотрипсина, ИЕ/г возд. сух. массы
<i>Achillea millefolium</i> (тысячелистник обыкновенный)	листья	12,76 ± 0,24	2,78 ± 0,09
	корневище	22,69 ± 0,83	3,20 ± 0,03
<i>Artemisia absinthium</i> (полынь горькая)	листья	6,53 ± 0,42	1,68 ± 0,03
	корневище	8,42 ± 0,23	1,85 ± 0,03
<i>Artemisia campestris</i> (полынь равнинная)	листья	6,80 ± 0,21	—
	корневище	5,28 ± 0,20	1,96 ± 0,02
<i>Artemisia vulgaris</i> (полынь обыкновенная)	листья	6,06 ± 0,35	1,19 ± 0,09
	корневище	15,34 ± 0,11	2,79 ± 0,08
<i>Artemisia dracunculus</i> (полынь экстрагон)	листья	14,35 ± 2,65	—
	корневище	15,34 ± 0,11	2,79 ± 0,08
<i>Cirsium arvense</i> (бодяк полевой)	листья	1,55 ± 0,047	1,80 ± 0,03

Как видно из данных табл. 4, представленные виды в пределах родов *Artemisia* и *Cirsium* из флоры Беларуси и Монголии обладают подобными уровнями трипсинингибирующей активности. При сравнении между собой экстрактов листьев растений *Artemisia dracunculus*, произрастающих на территории Беларуси и Монголии, а также экстрактов листьев *Cirsium arvense* с этих же территорий отмечено отсутствие различий в уровне активности по отношению к трипсину.

Результаты анализа показали, что некоторые виды растений сем. *Compositae* флоры Монголии и Беларуси имели схожий уровень накопления ингибиторов протеиназ. Как видно из приведенных данных, активность ингибиторов трипсина в листьях растений может быть на уровне запасающих органов или превышать их. Возможно, это связано с длительностью произрастания дикорастущих растений на одном месте и необходимостью преодоления различных стрессовых факторов. Ингибиторы протеолитических ферментов, как показали наши исследования [18], обладают антиоксидантными и антистрессовыми свойствами. Большой интерес представляло и изучение антитромбической активности белков листьев растений, различных по содержанию ингибиторов трипсина.

Результаты исследований некоторых видов растений представлены на рисунке. Как видно, антитромбической активностью обладают не все исследованные виды растений флоры Монголии. Так, в листьях бодяка полевого, имеющего незначительное количество ингибиторов трипсина, антитромбическая активность находится на уровне контроля. Экстракты сосюреи иволистной и астры альпийской имеют также ингибиторную активность по отношению к тромбину на уровне контроля, хотя активность ингибиторов трипсина у них выше. Но наибольшая активность по отношению к тромбину обнаружена у эдельвейса и образца № 65.

Данные виды растений заслуживают определенного внимания и более детального исследования.



Антитромбическая активность листьев растений флоры Монголии: 1 — контроль; 2 — *Cirsium arvense*; 3 — *Saussurea salicifolia*; 4 — *Aster alpinus*; 5 — *Leontopodium campestre*; 6 — Образец № 65

Заключение. Таким образом, результаты исследований позволили установить разнообразие уровня активности ингибиторов протеиназ среди представителей семейства *Compositae* дикорастущей флоры Монголии. Полученные новые данные расширяют представления о локализации ингибиторов протеиназ в различных органах растений. Они показывают, что кроме основного накопления ингибиторов в запасующих органах, они могут присутствовать в большом количестве и в листьях, что является объектом изучения их функциональной роли. Результаты исследований позволили установить высокую антиоксидантную активность многих образцов, выявить новые источники растений дикорастущей флоры, ингибирующие активность не только трипсина, химотрипсина, субтилизина, но и тромбина, что может быть использовано в медицине.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ и Монгольского научно-технологического фонда Монголии (грант Б09МН-005).

Литература

1. Б а т с у р э н Д. Химическое изучение физиологически активных лекарственных растений, произрастающих в Монголии: дисс. ... д-ра хим. наук / Ин-т биоорг. химии им. А. С. Садыкова. Ташкент, 1992.
2. М о с о л о в В. В., В а л у е в а Т. А. Растительные белковые ингибиторы протеолитических ферментов / Под ред. В. Л. Кретовича. М., 1993. — 204 с.
3. М о с о л о в В. В., В а л у е в а Т. А. // Прикл. биохимия и микробиол. 2001. Т. 37, № 2. С. 131—140.
4. Д о м а ш В. И., Ш а р п и о Т. П., З а б р е й к о С. А. // Весці НАН Беларусі. Сер. мед. навук. 2008. № 1. С. 58—63.
5. М а с е d o M. R. et al. // Phytochemistry. 2007. Vol. 68. P. 1104—1111.
6. К у т м а r G. N. M., Н о u t z R. L., К n o u l e s N. R. // Plant physiology. 1999. Vol. 119. P. 89—99.
7. В h a t N. S., P r a s a d D. T., P u t t a r a n g a p p a K. // Proceedings of 14th International Sunflower Conference, Beijing-Shenyng, 12—20 June 1996. Beijing-Shenyng, 1996. P. 523—532.
8. К о n a r e v A. V., G r i f f i n J., К o n e c h n a y a G. Y., S h e w r y P. R. // Phytochemistry. 2004. Vol. 65. P. 3003—3020.

9. Конарев А. В., Анисимова И. Н., Гаврилова В. А. et al. // *Phytochemistry*. 2002. Vol. 59. P. 279—291.
10. Гофман Ю. Я., Вайсблай И. М. // *Прикладная биохимия и микробиология*. 1975. Т. 11, № 5. С. 777—783.
11. Tomarelli R. M. // *J. Lab. Clin. Med.* 1949. Vol. 34. P. 428—433.
12. Landis W. J., Wangh D. F. // *Arch. Biochem. And Biophys.* 1975. Vol. 34. P. 428—433.
13. Oscar M. Mosquera, Yaned M. Correa, Diana C. Buitrago, Jaime Nino // *Mem Inst Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro*. 2007. Vol. 102, N 5. P. 631—634
14. Venabadji S. H., Wen R., Zheng J. - B. et al. // *Acta Pharmacol Sin.* 2004. Vol. 25. P. 666—671.
15. Tsutomu Hatano, Harumi Kagawa, Taeko Yasuhara, Takuo Okuda // *Chem. Pharm. Bull.* 1988. Vol. 36, N 6. P. 2090—2097.
16. Luciana L. Mensor, Fabio Menezes, Gilda G. Leita o et al. // *Phytother. Res.* 2001. Vol. 15. P. 127—130.
17. Bradford M. M. // *Anal. Biochem.* 1976. Vol. 72. P. 248—254.
18. Дунаевский Я. Е., Цыбина Т. А., Белякова Г. А. и др. // *Прикл. биохимия и микробиол.* 2005. Т. 41. С. 392—396.

V. I. DOMASH, O. A. IVANOV, Z. DASH, D. BATSUREN, E. SELENGE,
J. BATKHUU, T. P. SCHARPIO, S. A. SABREIKO

**BIOLOGICALLY ACTIVE COMPONENTS OF MONGOLIAN FLORA WILD SPECIES
OF THE *COMPOSITAE***

Summary

It was carried out screening of biologically active proteinase inhibitors and antioxidant activity among representatives of Mongolian flora wild species of the *Compositae*. For the first time it was shown that leaf of some species have higher level antitrypsin, antioxidant and antithrombin activity in comparison with storage organs. Perspective species perhaps to use as sources of raw materials for production of medical drug.

УДК 330.101.541–027.236:005.52 (476+78)

В. М. ЦИЛИБИНА

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКОНОМИК БЕЛАРУСИ И МОЛДОВЫ

Институт экономики НАН Беларуси

(Поступила в редакцию 02.07.2010)

Беларусь и Молдова являются странами — партнерами во внешнеэкономической сфере. Их объединяют общие проблемы повышения энергоэффективности экономики. Энергоэффективность характеризуется такими показателями, как энергоемкость валового внутреннего продукта, потребление электроэнергии на душу населения, удельные и абсолютные выбросы вредных веществ от сжигания и переработки топливно-энергетических ресурсов. В статье анализируется динамика изменения этих показателей в сравнении с некоторыми странами мира. Показано, что несмотря на положительную динамику показателей эффективности использования энерго-ресурсов, Беларусь и Молдова отстают от экономически развитых стран.

Молдова и Беларусь традиционно являются торговыми партнерами. Молдова как внешнеэкономический партнер Беларуси занимает по объему товарооборота среди стран СНГ четвертое место, после России, Украины и Казахстана, пятнадцатое место — среди всех торговых партнеров Беларуси по экспорту. Оба государства характеризуются ограниченными запасами минеральных ресурсов (в первую очередь — относящихся к стратегическим), не достаточными для удовлетворения экономик обеих стран; как следствие — и Беларусь и Молдова зависимы от импортных поставок минерального сырья и вынуждены находиться в состоянии постоянного поиска внешних рынков сбыта производимой товарной продукции. Мировой финансово-экономический кризис в 2009 г. оказал негативное влияние на динамику двусторонних торгово-экономических отношений. По статистическим данным Республики Беларусь, товарооборот по итогам 2009 г. составил 255 млн долл. США, что на 23,6 % ниже показателя в 2008 г. Экономика Беларуси и Молдовы имеют как сходные, так и отличительные черты. Как и многие страны мира, Беларусь и Молдова не имеют возможности обеспечить свои потребности собственными энергоресурсами, поэтому импортируют топливно-энергетические ресурсы (ТЭР), причем преимущественно из одной страны — России [1–4].

Беларусь импортирует примерно 85 % топливно-энергетических ресурсов. Экономика Молдовы также полностью зависит от импортируемых энергетиче-

ческих ресурсов: импорт ТЭР составляет 90 % от всех потребляемых энергоресурсов. В этих условиях одной из важнейших проблем, стоящих перед экономиками Беларуси и Молдовы, является эффективное использование ТЭР [5—12].

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. Эффективное использование ТЭР является ключевым элементом экономики каждой страны, так как оказывает существенное влияние на конкурентоспособность продукции, устойчивость, стабильность и уязвимость экономики, а также и на экологию. Более того, повышение энергоэффективности приводит к усилению национальной экономики посредством уменьшения импорта ископаемого топлива. Одновременно повышается энерговооруженность домашнего хозяйства, создаются новые рабочие места и привлекаются инвестиции в энергетику. В то же время неэффективное использование топливно-энергетических ресурсов приводит к значительным потерям в экономике, ухудшает экологическую обстановку на местном, региональном и глобальном уровнях.

В связи с этим уместно привести цитату из известной книги: «Эффективность можно без сомнения назвать стратегией, которая не заставит нас сожалеть о ее выборе. Если многие страны и компании во всем мире сделают ее первоочередной задачей, она даст значительный выигрыш во времени. Но сама по себе она не решает стоящих перед нами проблем. Если продолжится неконтролируемый рост и наиболее выгодные возможности эффективного использования ресурсов будут в конце концов исчерпаны, наступит день, когда некоторые из экологических и социальных катаклизмов, которых мы опасаемся, обрушатся на нас. Рано или поздно нам не обойтись без установления цивилизованных пределов для роста. Сюда входят прекращение роста народонаселения и потребления материальных ресурсов» [13]. По мнению авторов [13], если использовать электроэнергию, воду, топливо, материалы, плодородные земли и т. п. более эффективно, часто без дополнительных затрат и даже с выгодой, то можно жить в два раза лучше и в то же время тратить в два раза меньше ресурсов, что необходимо для устойчивого развития человечества в будущем.

Энергоемкость ВВП характеризует эффективность использования ТЭР при производстве единицы валового внутреннего продукта, энергопотребление на душу населения — уровень социализации общества, выбросы вредных веществ — уровень антропогенной нагрузки.

Энергоемкость ВВП определяется как отношение валового объема используемых ТЭР к объему ВВП и может быть выражена в различных единицах измерения. Традиционно при межстрановых сопоставлениях энергоемкость ВВП выражается 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 устранения инфляционных влияний ВВП представляют в ценах базового года, например, в ценах 2000 г. Причины, влияющие на энергоемкость ВВП, могут быть различными:

начальные стартовые условия развития экономик различных стран; степень «рыночности» стран; степень развитости инфраструктуры; структура ВВП — соотношение доли товаров и услуг; эффективность социально-экономической и экологической политики государства в энергосбережении, цены на энергоносители; доля теневой экономики; технологическая база; географическое положение; климатические условия и др.

После энергетического кризиса 1970-х годов во многих странах мира резко усилилась тенденция к снижению энергоемкости валового внутреннего продукта. В то же время по данным [14] Международного энергетического агентства (МЭА) за 36 лет (с 1971 по 2007 гг.) потребление ТЭР в мире возросло в 2,2 раза (рис. 1). В расчете на душу населения потребление ТЭР в мире за этот же период возросло в 1,24 раза (с 1472 кг н. э. в 1971 г. до 1 820 кг н. э. в 2007 г.). Согласно прогнозам МЭА, к 2030 г. потребление ТЭР в мире увеличится: по оптимистическому сценарию до 14 361 млн т н. э., по пессимистическому сценарию — до 17 014 млн т н. э.

В Беларуси валовое потребление ТЭР снизилось с 1990 по 2007 г. с 42,3 млн т н. э. до 28 млн т н. э., в Молдове соответственно — с 9,9 до 3,3 млн т н. э. Тенденции удельного потребления ТЭР на душу населения за период 1990—2007 гг. в Молдове, Беларуси и в среднем по миру (рис. 1, 2) показывают, что среднее значение потребления ТЭР на человека в мире с 1990 по 2007 г. увеличилось на 9 %, в то время как в Беларуси на каждого жителя в 2007 г. в среднем приходилось 2,9 т н. э., что на 30 % меньше, чем в 1990 г.,

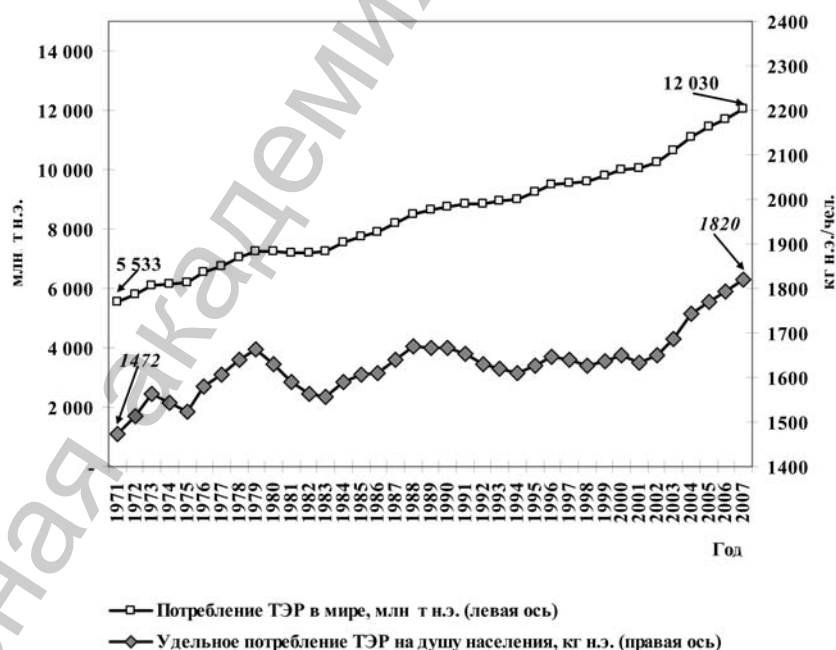


Рис. 1. Тенденции роста валового потребления ТЭР и удельного потребления ТЭР в мире за период 1971—2007 гг. (Источник: Собственная разработка по данным МЭА)

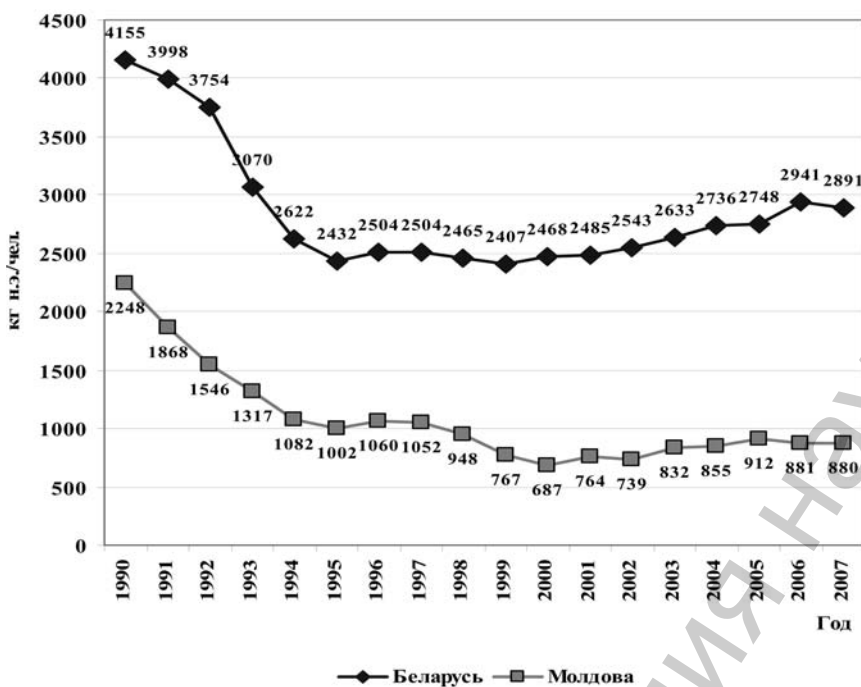


Рис. 2. Тенденции удельного потребления ТЭР на душу населения за период 1990—2007 гг. в Молдове, Беларуси (Источник: Собственная разработка по данным МЭА, Национального статистического комитета Республики Беларусь, Национального бюро статистики Республики Молдова)

а в Молдове снижение по сравнению с 1990 г. составило в 2007 г. 61 % (0,88 т н. э. на человека).

Однако несмотря на то что потребление ТЭР имеет тенденцию к снижению, энергоёмкость ВВП в Беларуси и Молдове все еще остается существенно более высокой, превосходя уровни высокоразвитых стран в несколько раз (рис. 3, таблица).

Энергоёмкость ВВП различных стран мира в 2007 г. (в ценах 2000 г.)

Страна	Энергоёмкость ВВП, кг н. э./долл. США в 2007 г.	
	ВВП в долл. США по валютному курсу в ценах 2000 г.	ВВП в долл. США по ППС в ценах 2000 г.
Страны СНГ		
Армения	0,65	0,17
Азербайджан	0,71	0,19
Беларусь	1,29	0,34
Грузия	0,62	0,20
Казахстан	1,84	0,52
Кыргызстан	1,58	0,29
Молдова	1,71	0,39
Россия	1,65	0,42

Окончание таблицы

Страна	Энергоемкость ВВП, кг н. э./долл. США в 2007 г.	
	ВВП в долл. США по валютному курсу в ценах 2000 г.	ВВП в долл. США по ППС в ценах 2000 г.
Таджикистан	2,21	0,49
Туркменистан	2,55	0,47
Узбекистан	2,31	0,86
Украина	2,63	0,41
Прибалтийские страны		
Латвия	0,32	0,13
Литва	0,47	0,18
Эстония	0,58	0,26
Страны «Большой семерки»		
Великобритания	0,12	0,12
Германия	0,16	0,14
Италия	0,15	0,11
Канада	0,31	0,26
США	0,20	0,20
Франция	0,18	0,15
Япония	0,10	0,14
Другие страны		
Австрия	0,15	0,12
Бельгия	0,21	0,18
Болгария	1,10	0,28
Венгрия	0,43	0,16
Дания	0,11	0,11
Китай	0,82	0,20
Норвегия	0,14	0,14
Польша	0,43	0,18
Румыния	0,7	0,19
Турция	0,27	0,12
Финляндия	0,24	0,22
Швеция	0,17	0,17
Весь мир	0,30	0,20

Примечание: источник — собственная разработка по данным МЭА.

Анализ динамики изменения показателя энергоемкости ВВП (рис. 4) мира, Беларуси, Молдовы (а для сравнения — Финляндии, которая по погодноклиматическим условиям близка к Беларуси) показывает, что в целом наблюдается общая тенденция к снижению энергоемкости. Энергоемкость ВВП Молдовы в 1,4 выше этого показателя в Беларуси, в то же время энергоемкость ВВП Беларуси в 1,5 раза выше, чем в Финляндии. Заметим, что в данном сопоставлении ВВП представлен в долл. США по ППС. При сопоставле-

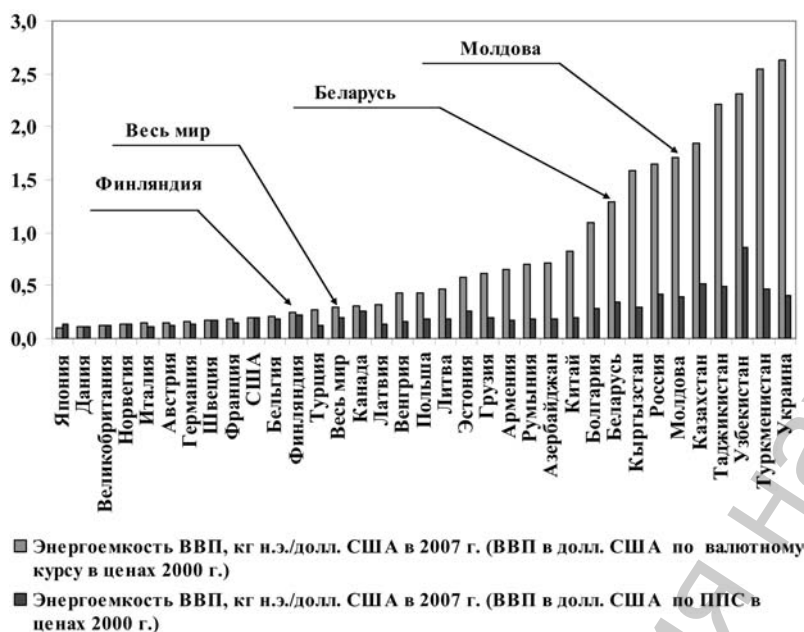


Рис. 3. Энергоемкость ВВП некоторых стран мира в 2007 г. (Источник: Собственная разработка по данным МЭА)

нии энергоемкости ВВП этих стран в случае, когда ВВП представлен в долл. США по валютному курсу, соотношения другие: энергоемкость ВВП Молдовы в 1,7 раза выше, чем в Беларуси, а энергоемкость Беларуси в 5,3 раза больше, чем в Финляндии.

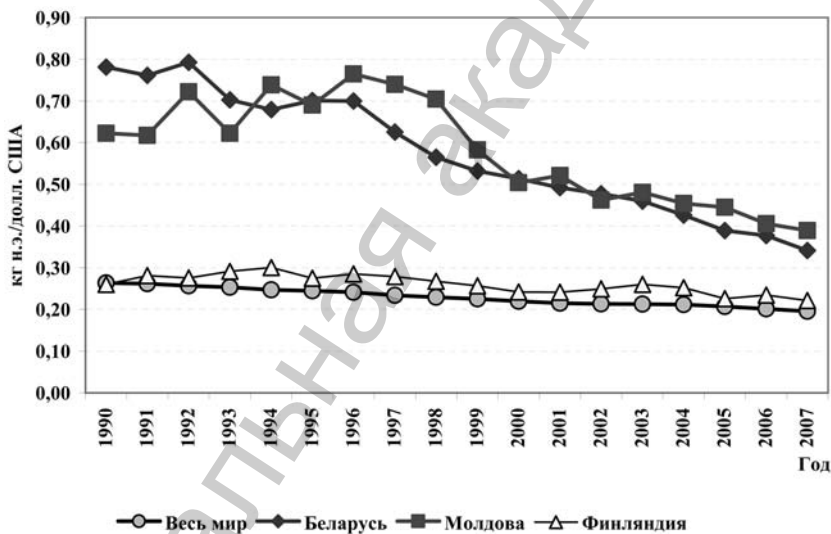


Рис. 4. Динамика изменения энергоемкости ВВП мира, Беларуси, Молдовы и Финляндии (ВВП в долларах США по ППС в ценах 2000 г.) (Источник: Собственная разработка по данным МЭА)

Исследования показывают, что энергоёмкость ВВП в большей степени зависит от величины ВВП, чем от потребления энергии: так, общемировой ВВП в долларовом представлении по ППС вырос с 1971 по 2007 г. в 3,51 раза, в то время как потребление ТЭР увеличилось в 2,17 раза, и энергоёмкость ВВП снизилась в 1,6 раз. В Финляндии за этот же период ВВП увеличился в 2,8 раза, в то время как потребление ТЭР увеличилось в 2 раза, и энергоёмкость ВВП снизилась в 1,4 раза. По данным [15], в Беларуси ВВП на душу населения составляет 10 841 долл. США; в Молдове — 2 551 долл. США; в Финляндии — 34 526 долл. США, т. е. ВВП на душу населения в Финляндии более чем в три раза больше, чем в Беларуси и в 13,5 раз выше, чем в Молдове.

В структуре ВВП Молдовы наблюдается устойчивая тенденция к уменьшению доли производства товаров с одновременным увеличением доли производства услуг (рис. 5), что, безусловно, положительно влияет на снижение энергоёмкости ВВП.

Структура производства ВВП Беларуси за период 1990—2009 гг. претерпела не столь значительные по сравнению с Молдовой изменения (рис. 6).

Положительная тенденция к снижению энергоёмкости ВВП Республики Беларусь, наблюдаемая в последние годы, объясняется эффективностью социально-экономической и экологической политики государства, направленной на устойчивый путь развития страны. Только за последние годы принят ряд директивных, программных и законодательных документов в сфере

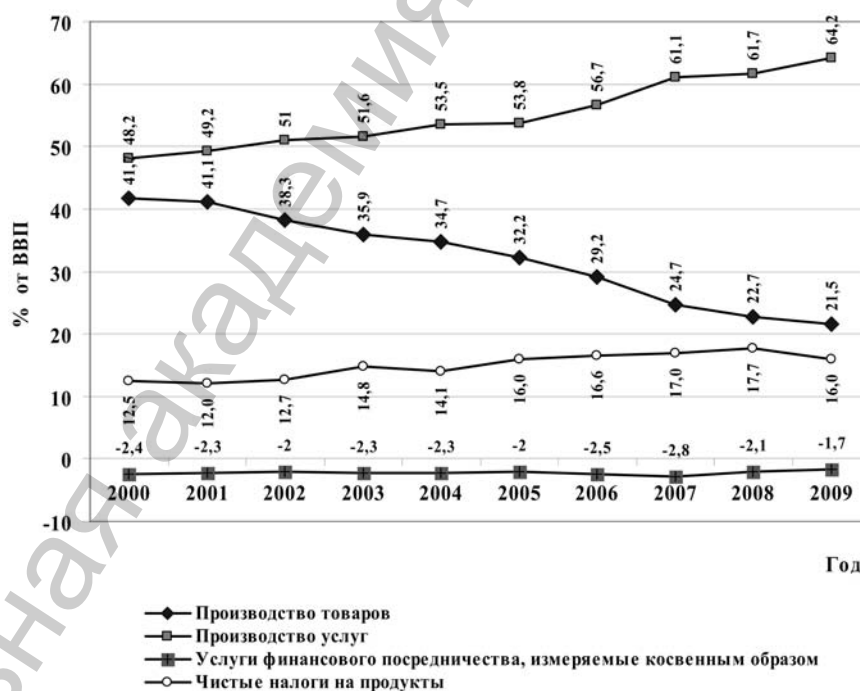


Рис. 5. Динамика изменения структуры ВВП Молдовы за период 2000—2009 гг. (Источник: Собственная разработка по данным Национального бюро статистики Республики Молдова)

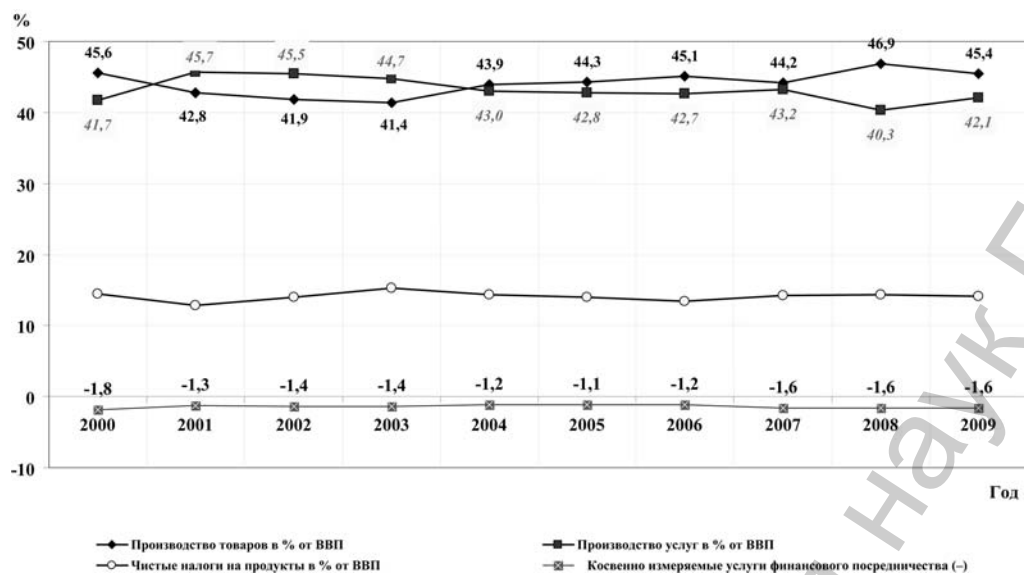


Рис. 6. Динамика изменения структуры ВВП Беларуси за период 2000—2009 гг. (Источник: Собственная разработка по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь)

энергосбережения и энергоэффективности, имеющих инновационную направленность, в том числе Директива Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 «Экономия и бережливость — главные факторы экономической безопасности государства». Этот документ регламентирует основные направления укрепления экономической безопасности государства, а также создания целостной системы экономии материальных ресурсов в целях повышения конкурентоспособности экономики и повышения эффективности использования всех видов топлива, энергии, сырья, материалов и оборудования во всех сферах производства и в жилищно-коммунальном хозяйстве.

Анализ зависимости уровня экономического развития и энергоёмкости ВВП некоторых стран мира позволил выявить следующую закономерность: как правило, чем ниже энергоёмкость ВВП, тем выше уровень экономического развития этих стран. Однако низкая энергоёмкость не всегда свидетельствует о высоком уровне развития страны, например, Габон, Ботсвана, Конго, имея низкую энергоёмкость ВВП занимают соответственно 103, 125, 176 ранги в рейтинге индекса развития человеческого потенциала (ИРЧП) [15]. В то же время страны с высокой энергоёмкостью и высоким уровнем развития человеческого потенциала имеют схожие черты — их экономика ориентирована на производство сырьевых товаров, или они сами являются крупными поставщиками на мировой рынок энергетических ресурсов, или в структуре ВВП этих стран преобладают энергоёмкие производства. Так, Беларусь занимает 68 позицию в рейтинге стран по ИРЧП и входит в число стран с высоким уровнем развития человеческого потенциала; Молдова — на 117 месте (средний уровень развития человеческого потенциала), Финляндия занимает 12 строку, входя в число стран с очень высоким уровнем развития человеческого потенциала.

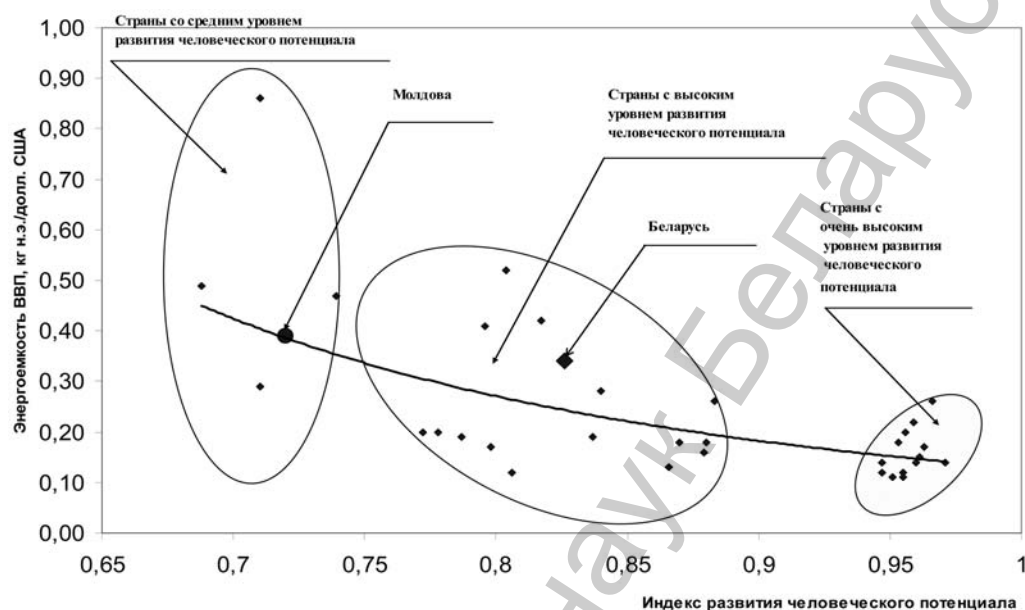


Рис. 7. Соотношение энергоемкости ВВП и уровня экономического развития (Источник: Собственная разработка по данным [14; 15])

Рис. 7 демонстрирует взаимосвязь энергоемкости ВВП и индекса развития человеческого потенциала. Анализ зависимости уровня экономического развития и энергоемкости ВВП по ППС некоторых стран мира позволил выявить следующую закономерность: чем ниже энергоемкость ВВП, тем выше уровень экономического развития этих стран.

Выявлена еще одна закономерность: для экономически развитых стран характерна высокая степень удельного потребления электроэнергии (рис. 8), что в определенной степени отражает благосостояние и уровень жизни людей.

Так, в Беларуси в среднем на одного человека в год приходится около 3,3 тыс. кВт·ч электроэнергии, в Молдове — 1,2 тыс. кВт·ч электроэнергии, в то время как для Финляндии этот показатель составляет 17,2 тыс. кВт·ч.

Одновременно со стремительным ростом производства и потребления ТЭР увеличивается объем выбросов вредных веществ. Из рис. 9 видно, что средние значения удельных объемов выбросов углекислого газа на душу населения в целом по миру колеблются в диапазоне от 3,8 до 4,38 т на человека. В Беларуси за этот период антропогенная нагрузка снизилась в 1,76 раз (с 11,4 до 6,46 т/чел.); в Молдове — в 3,5 раза.

Анализ структуры удельных выбросов вредных веществ на душу населения по секторам экономики показал (рис. 10), что в целом по миру 37,7 % от общего объема выбросов углекислого газа образуется при производстве тепловой и электрической энергии, в Беларуси и Молдове соответственно — 40,3 и 47,7 %. Доля выбросов в промышленности и строительстве составляет от общего объема выбросов углекислого газа: в мире — 19,7 %, в Беларуси — 21,5 %, в Молдове — 7,9 %. Достаточно велик объем выбросов CO_2 на транс-

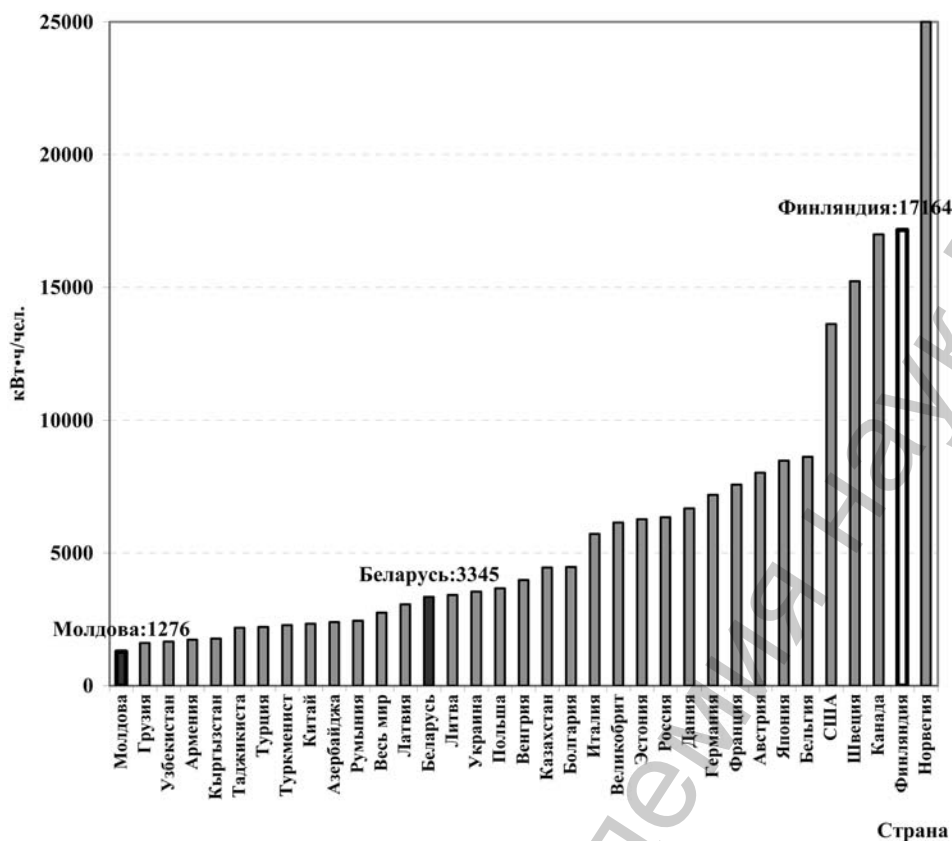


Рис. 8. Удельное потребление электроэнергии на душу населения в некоторых странах мира (Источник: Собственная разработка по данным МЭА)

порте: в целом по миру — 22,9 %, в том числе железнодорожный транспорт — 16,7 %; в Беларуси — 9,8 и 6,8 %; в Молдове — 14,3 и 11,4 %.

В [5] приведены рекомендации МЭА по повышению эффективности использования ТЭР, при этом рекомендация считается обоснованной, если соответствует строгому набору критериев, т. е. если:

- она способна привести к экономии большого количества энергии при низких затратах и с существенными экономическими преимуществами для потребителей;

- она направлена на преодоление существующих недостатков или барьеров рынка, позволяя потребителям принимать обоснованные решения и получать полную выгоду от своих инвестиций;

- она помогает устранить значительные пробелы в существующих политических мерах;

- относительно нее существует некий консенсус о том, что согласованные на международном уровне действия сократят расходы правительств, производителей и потребителей.

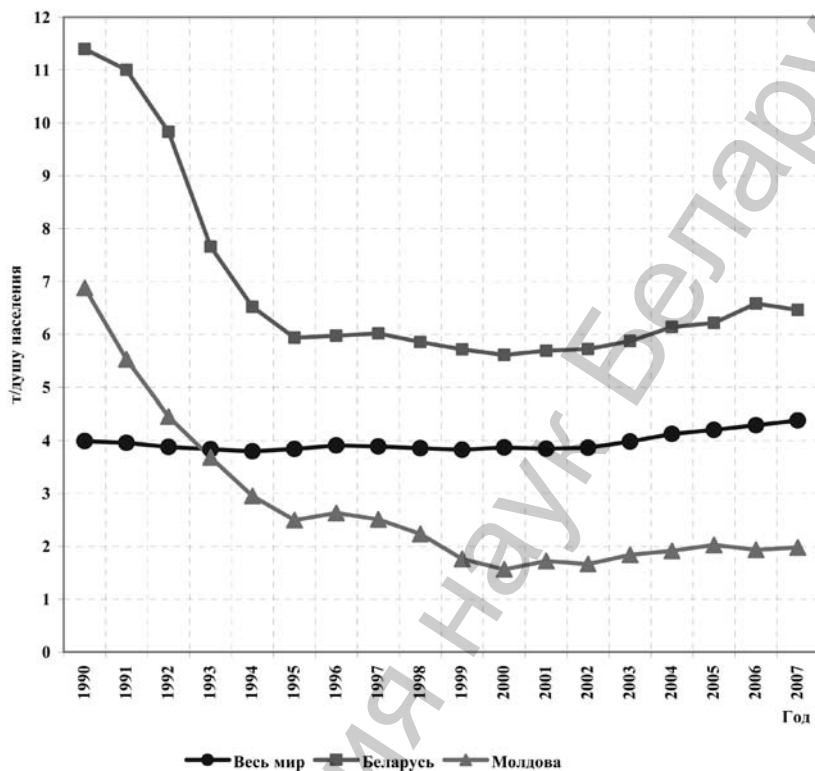


Рис. 9. Тенденции удельных выбросов углекислого газа на душу населения за период 1990—2007 гг. в Молдове, Беларуси и в мире (Источник: Собственная разработка по данным МЭА)

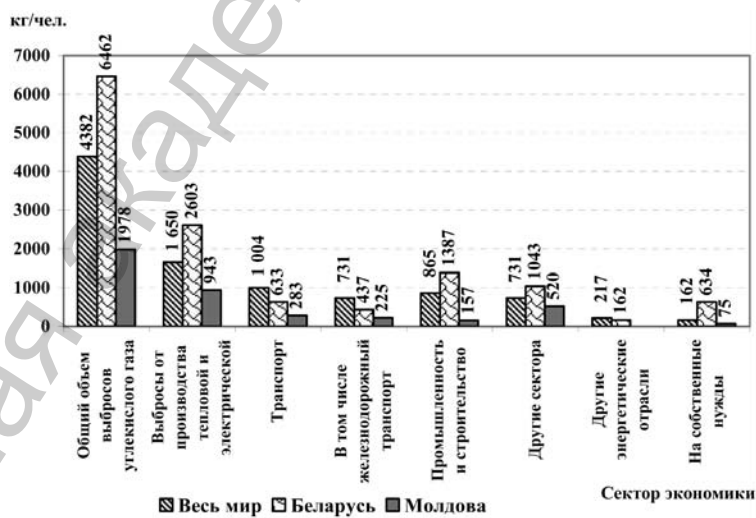


Рис. 10. Структура удельных выбросов вредных веществ на душу населения по секторам экономики в мире, Беларуси и Молдове в 2007 г. (Источник: Собственная разработка по данным МЭА)

Выводы. Сочетание трех показателей: энергоемкость ВВП, электропотребление на душу населения, удельные выбросы вредных веществ — объективно отражает состояние энергоэффективности национальных экономик. Высокоразвитые государства отличает низкая энергоемкость ВВП, высокий уровень электропотребления на душу населения, низкий уровень удельных выбросов вредных веществ.

В условиях мирового финансово-экономического кризиса проблемы эффективного использования топливно-энергетических ресурсов обостряются, особенно для стран, не обладающих собственными энергоресурсами. Несмотря на положительную динамику показателей эффективности использования ТЭР, Беларусь и Молдова пока отстают от стран с очень высоким уровнем экономического развития.

Энергоемкость ВВП Беларуси в 2007 г. превышала уровень этих стран в 5—7 раз при расчете ВВП в долл. США по валютному курсу, а при расчете по ППС — в 1,5—2,5 раза; Молдовы — соответственно выше, чем в Беларуси — на 32,6 % по валютному курсу и на 14,7 % — по ППС.

Потребление электроэнергии на душу населения в 2007 г. составило 3 345 кВт·ч/чел. в Беларуси и 1 276 кВт·ч/чел. в Молдове, в то время как в развитых странах оно находится в пределах 6 142 кВт·ч/чел. (Великобритания), 7 573 кВт·ч/чел. (Франция) и 17 164 кВт·ч/чел. в Финляндии.

Выбросы углекислого газа на 1 т ТЭР в Беларуси в 2007 г. составили 2,24 т/т, в Молдове — 2,25 т/т, что меньше, чем в развитых странах на 7—10 %.

Потребление ТЭР на душу населения в 2007 г. составило в Беларуси 2,89 т н. э./чел., в Молдове — 0,88 т н. э./чел. (в развитых странах — от 3 в Италии до 4,15 т н. э./чел. во Франции). Вместе с тем ВВП по ППС (в ценах 2000 г.) на душу населения в 2007 г. составил в Беларуси 8 664,9 долл. США, в Молдове 2 263,9 долл. США против среднего значения в развитых странах 31 500 долл. США.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Г08Млд-29).

Литература

1. Статистический ежегодник / М-во статистики и анализа Респ. Беларусь. 1999—2009 гг.
2. Социально-экономическое развитие Республики Молдова в 2008 году, 2010 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.statistica.md/index.php?l=ru>. — Дата доступа: 19.02.2010.
3. Социально-экономическое развитие Республики Молдова в 2009 году, 2010 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.statistica.md/index.php?l=ru>. — Дата доступа: 19.02.2010.
4. Внешняя торговля стран Содружества независимых государств в 2008 году // Статистический справочник предварительных итогов / Статкомитет. — М., 2009. — 166 с.
5. Политика энергоэффективности. Рекомендации // Международное энергетическое агентство, 2010 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: iea.org/Textbase/nppdf/free/2009/EE_recommendations_russian.pdf.
6. Никитенко П. Г., Кулаков Г. Т., Цилибина В. М., Червинский Е. А. // Учение В. И. Вернадского о ноосфере и антикризисное социально-экономическое развитие Беларуси: Сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., 22—23 окт. 2009 г., Минск / Ин-т экономики НАН Беларуси. Минск, 2010. С. 513—518.
7. Никитенко П. Г., Кулаков Г. Т., Цилибина В. М. Энергоэффективность как ключевой момент энергетической безопасности Республики Беларусь // Вестн. Фонда фундаментальных исследований. 2008. № 4. С. 20—28.

8. Кулаков Г. Т., Цилибина В. М. // Проблемы и перспективы инновационного развития экономики в контексте преодоления мирового финансового кризиса: Материалы 14 международного науч.-практ. конф. по инновационной деятельности, 14–19 сент. 2009 г., г. Алушта / Нац. акад. наук Украины. Киев; Симферополь; Алушта, 2009. С. 318–322.

9. Никитенко П. Г., Кулаков Г. Т., Цилибина В. М. Методологические подходы к оценке уровня энергетической безопасности Республики Беларусь // Наука и инновации. 2006. № 5. С. 25–31.

10. Никитенко П. Г., Кулаков Г. Т., Цилибина В. М. // Учение В. И. Вернадского о ноосфере и антикризисное социально-экономическое развитие Беларуси. С. 592–597.

11. Цилибина В. М. // Учение В. И. Вернадского о ноосфере и антикризисное социально-экономическое развитие Беларуси. С. 685–689.

12. Никитенко П. Г., Кулаков Г. Т., Цилибина В. М. Внешнеэкономическое сотрудничество Беларуси и Молдовы: состояние, проблемы, перспективы / Ин-т экономики НАН Беларуси. Минск, 2009. — 48 с.

13. Вайцеккер Э., Ловинс Э., Ловинс Л. Фактор четыре. Затрат — половина, отдача — двойная. Новый доклад Римскому клубу / Пер. А. П. Заварницына и В. Д. Новикова; под ред. Г. А. Месяца. М., 2000. — 400 с.

14. Key world energy statistics, IEA, 2006–2009 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.iea.org>. — Дата доступа: 07.10.2009.

15. Доклад о развитии человека 2009. Преодоление барьеров: человеческая мобильность и развитие / Пер с англ.; ПРООН. М., 2009. — 232 с.

V. M. TSILIBINA

ANALYSIS OF THE ENERGY EFFICIENCY OF THE ECONOMIES OF BELARUS AND MOLDOVA

Summary

Belarus and Moldova are the partner countries in the field of foreign economic activity. They are united by the general problems of energy efficiency of the economy. Energy efficiency is characterized by indicators of GDP power capacity, energy consumption per capita, specific and absolute emissions of harmful substances from burning and processing of fuel and energy resources. In article dynamics change of these indicators in comparison with some countries is analyzed. It is shown that despite positive dynamics of efficiency indicators of power resources utilization Belarus and Moldova lag behind industrially developed countries.

УДК 635.9:632.2

Л. А. ГОЛОВЧЕНКО

**ТОКСИНООБРАЗОВАНИЕ У ГРИБОВ РОДА *BOTRYTIS*,
ПАРАЗИТИРУЮЩИХ НА ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЯХ**

Центральный ботанический сад НАН Беларуси

(Поступила в редакцию 16.02.2010)

Изучена фитотоксическая активность возбудителей серой гнили декоративных растений *B. cinerea*, *B. paeoniae*, *B. tulipae*, *B. elliptica*. Установлено, что культуральные жидкости специализированных видов *B. paeoniae*, *B. tulipae* и *B. elliptica* оказывают более мягкое действие на тест-объект, чем токсичные метаболиты полифага *B. cinerea*. Токсичные метаболиты полифага *B. cinerea* сильнее угнетают рост стебля, культуральные жидкости специализированных видов *B. paeoniae*, *B. tulipae* и *B. elliptica* сильнее подавляют рост корней.

Введение. Патогенные грибы рода *Botrytis* P. Micheli ex Pers. являются возбудителями серой гнили, которая сильно повреждает декоративные растения открытого и защищенного грунта, приводит к снижению их декоративности, продуктивности, качества и выхода цветочной продукции [1]. Среди видов рода *Botrytis* на декоративных культурах доминирует полифаг *B. cinerea* Pers.: Fr. Выявлены также специализированные виды: *B. tulipae* (Lib.) Lind., *B. paeoniae* Oudem., *B. elliptica* (Berk.) Cooke, *B. gladiolorum* Timmerm., *B. hyacinthi* Westend et Beuma, *B. convoluta* Whetzel et Drayton, *B. narcissicola* Kleb. и др. [1; 2]. Грибы рода *Botrytis* относятся к группе некротрофов, которые для собственного роста и развития убивают и разрушают клетки растения своими токсичными выделениями и ферментами [3–5]. Установлено, что полифаг *B. cinerea* вырабатывает целый ряд токсичных веществ: полисахариды, лактоны, сесквитерпены, белки [1; 3–7]. При паразитической специализации патогенов рода *Botrytis* происходит уменьшение токсичности патогена в отношении растения-хозяина и редукция экзоферментного аппарата [8]. Культуральные жидкости специализированных видов *B. allii*, *B. tulipae*, *B. paeoniae* и сапротрофа *B. carnea* обладают более мягким токсическим действием на *Paramecium caudatum*, чем *B. cinerea* [5]. Существует мнение, что у полифага *B. cinerea* эволюция идет в направлении сужения специализации [9]. Для этого вида характерен полиморфизм по способности синтезировать токсичные метаболиты [5; 10–13]. Разная степень проявления токсичности может служить признаком вида, находящимся на определенном этапе эволюции паразитической специализации [5].

Цель работы — оценка токсигенности видов *B. cinerea*, *B. paeoniae*, *B. tulipae* и *B. elliptica*, выделенных из пораженных серой гнилью декоративных растений открытого и защищенного грунта.

Материалы и методы исследований. В работу были включены 31 изолят *B. cinerea*, 12 изолятов *B. paeoniae*, 12 изолятов *B. tulipae* и 7 изолятов *B. elliptica*. Специализированные виды выделяли из пораженных серой гнилью растений пиона, тюльпана и лилии коллекционных фондов Центрального ботанического сада НАН Беларуси. Изоляты *B. cinerea* выделяли из растений бархатцев, бегонии клубневой, бегонии всегдацветущей, герберы, гиацинта, нарцисса, пеларгонии зональной и ампельной, рододендрона, розы, сальвии, стрелитции, тюльпана, фиалки, фуксии, хосты, цикламена, произрастающих в открытом и защищенном грунте цветочных хозяйств Беларуси и Центрального ботанического сада.

Для определения фитотоксичности культур фитопатогенов использовали метод биопробы на семенах растений (кресс-салат). Культуры грибов выращивали на агаризованной среде Чапека, на 5-й день сверлом вырезали диски мицелия диаметром 6 мм и пересаживали их в колбы объемом 250 мл на жидкую среду Чапека. Предварительно провели эксперимент по установлению влияния сроков культивирования гриба на накопление токсинов в культуральной жидкости. Для этого выращивали смесь изолятов *B. cinerea* на жидкой среде Чапека 10 и 20 дней, после чего культуральную жидкость отделяли от мицелия фильтрованием. Семена замачивали в фильтрате культуральной жидкости и стерильной среде Чапека (контроль) на 24 ч, затем раскладывали на увлажненную водопроводной водой фильтровальную бумагу в чашки Петри и проращивали в термостате в течение 6 дней при постоянной температуре (24 °С). Наличие в культуральной жидкости токсинов определяли по ростовым эффектам: всхожести семян, длине корней и стебельков. Установили, что токсигенная активность 10-суточной культуральной жидкости статистически достоверно превышала таковую 20-суточной культуры. Поэтому дальнейшую работу проводили с 10-суточными культуральными жидкостями моноспоровых изолятов *B. cinerea*, *B. paeoniae*, *B. tulipae* и *B. elliptica*. На основании влияния культуральной жидкости на изучаемый показатель выявляли токсичные культуры, вызывающие снижение всхожести семян или угнетение роста проростков не менее чем на 30 % по сравнению с контролем [14].

Оценку влияния культуральной жидкости на ростовые процессы кресс-салата проводили методом однофакторного дисперсионного анализа, оценку значимости различий между средними осуществляли с помощью критерия наименьшей существенной разницы с использованием программы STATISTICA 6.0 (StatSoft, Inc. 2001).

Результаты и их обсуждение. Анализ данных по исследованию воздействия культуральных жидкостей 31 изолята *B. cinerea* на ростовые процессы семян кресс-салата (табл. 1) показал, что токсичные метаболиты 58,1 % изолятов вызвали статистически достоверное снижение всхожести семян (на 7,1—38,4 %). Наиболее сильное ингибирующее действие на этот показатель оказали культуральные жидкости 6,5 % изолятов (Вс6 и Вс51) (снижали всхожесть на 38,4 и 35,7 % соответственно). Токсичные метаболиты 41,9 % изолятов вызвали статистически незначимые изменения (снижение-повышение) всхожести.

Т а б л и ц а 1. Влияние культуральной жидкости изолятов *V. cinerea* на ростовые процессы семян кресс-салата

Вариант	Всхожесть		Длина корня		Длина стебля	
	%	% к контролю	см	% к контролю	см	% к контролю
Vc1	88,0 ± 1,5	98,1	2,89 ± 0,19*	41,5	3,43 ± 0,15*	82,9
Vc2	83,7 ± 1,9	93,3	5,44 ± 0,19*	78,0	3,94 ± 0,09	95,2
Vc3	84,3 ± 0,9	94,0	3,43 ± 0,20*	49,2	2,09 ± 0,07*	50,5
Vc4	86,0 ± 1,0	95,9	5,98 ± 0,19*	85,8	2,79 ± 0,06*	67,4
Vc5	76,7 ± 2,0*	85,5	6,26 ± 0,26*	89,8	3,86 ± 0,09	93,2
Vc6	55,3 ± 0,9*	61,6	5,66 ± 0,39*	81,2	3,20 ± 0,13*	77,3
Vc7	83,3 ± 1,8*	92,9	6,44 ± 0,19	92,4	2,85 ± 0,06*	68,8
Vc8	77,3 ± 1,2*	86,2	6,55 ± 0,23	94,0	3,07 ± 0,08*	74,1
Vc9	82,3 ± 1,2*	91,8	6,67 ± 0,23	95,7	3,02 ± 0,07*	72,9
Vc10	79,3 ± 1,2*	88,4	6,50 ± 0,19	93,3	2,96 ± 0,09*	71,5
Vc11	84,0 ± 1,2	93,6	6,24 ± 0,24*	89,6	2,73 ± 0,10*	65,9
Vc12	78,7 ± 2,4*	87,7	5,66 ± 0,21*	81,2	3,39 ± 0,08*	81,9
Vc13	85,7 ± 0,3	95,5	5,68 ± 0,19*	81,5	3,58 ± 0,07*	86,5
Vc14	76,0 ± 4,6*	84,7	6,63 ± 0,22	95,1	2,98 ± 0,09*	71,8
Vc15	77,3 ± 2,7*	86,2	5,81 ± 0,23*	83,4	2,98 ± 0,09*	71,8
Vc16	74,0 ± 3,8*	82,5	6,31 ± 0,21*	90,5	3,49 ± 0,09*	84,3
Vc17	84,0 ± 2,3	93,6	6,22 ± 0,20*	89,2	2,98 ± 0,07*	72,0
Vc18	65,3 ± 3,5*	72,8	7,21 ± 0,24	103,4	2,89 ± 0,09*	69,8
Vc19	77,3 ± 5,3*	86,2	6,92 ± 0,19	99,3	2,72 ± 0,08*	65,7
Vc20	89,3 ± 0,9	99,6	4,99 ± 0,13*	71,6	3,62 ± 0,07*	87,4
Vc21	83,3 ± 1,8*	92,9	6,19 ± 0,16*	88,8	3,53 ± 0,07*	85,3
Vc22	88,0 ± 1,5	98,1	6,01 ± 0,20*	86,2	3,77 ± 0,08	91,1
Vc23	75,7 ± 0,9*	84,4	5,57 ± 0,21*	79,9	3,55 ± 0,09*	85,7
Vc24	82,7 ± 1,8*	92,2	5,01 ± 0,16*	71,9	3,34 ± 0,09*	80,7
Vc25	72,7 ± 1,4*	81,0	6,43 ± 0,27	92,3	2,82 ± 0,08*	68,1
Vc26	90,0 ± 2,3	100,3	6,01 ± 0,19*	86,2	3,72 ± 0,07*	89,9
Vc27	92,0 ± 1,0	102,6	5,94 ± 0,18*	85,2	3,40 ± 0,07*	82,1
Vc28	91,7 ± 0,9	102,2	6,31 ± 0,25*	90,5	3,64 ± 0,10*	87,9
Vc29	95,3 ± 0,9	106,3	5,26 ± 0,20*	75,5	3,15 ± 0,08*	76,1
Vc51	57,7 ± 2,4*	64,3	5,10 ± 0,28*	73,2	2,67 ± 0,09*	64,5
Vc52	76,7 ± 1,8*	85,5	6,74 ± 0,23	96,7	3,67 ± 0,07*	88,6
Контроль	89,7 ± 2,8	100,0	6,97 ± 0,21	100,0	4,14 ± 0,14	100,0
HCP ₀₅	6,3		0,60		0,38	

П р и м е ч а н и е: * – варианты, по которым различия с контролем статистически достоверны с вероятностью 95 %.

Токсичные метаболиты 71,0 % изолятов вызывали статистически достоверное снижение длины корня (на 9,5—58,5 %). Наиболее сильное ингибирующее действие на этот показатель оказали культуральные жидкости 6,5 % изолятов (Vc1 и Vc3) (снижали длину корня на 58,5 и 50,8 % соответственно). В остальных вариантах изменения длины корня статистически незначимы.

Токсичные метаболиты 90,3 % изолятов *B. cinerea* вызывали статистически достоверное снижение длины стебелька. Наиболее сильное ингибирующее действие на рост стебля оказали культуральные жидкости 25,8 % изолятов (Bc3, Bc4, Bc7, Bc11, Bc18, Bc19, Bc25, Bc51) — они снижали его длину более чем на 30 % по сравнению с контролем.

Таким образом, 10-суточные культуральные жидкости изолятов *B. cinerea* проявляли неодинаковую фитотоксическую активность по отношению к показателям «всхожесть», «длина корня», «длина стебля»: наиболее чувствительна к токсинам оказалась надземная часть проростка. Изоляты *B. cinerea* различались между собой по степени токсигенного действия, что говорит о неоднородности вида по способности образовывать токсичные метаболиты. К наиболее токсигенным изолятам можно отнести Bc1, Bc3, Bc6, Bc7, Bc10, Bc11, Bc14, Bc15, Bc24, Bc25, Bc51. Полученные нами результаты согласуются с данными других авторов о полиморфности *B. cinerea* по способности образовывать токсичные метаболиты [5; 10–13].

Изучение фитотоксической активности культуральной жидкости 12 изолятов *B. raepinae* показало, что токсичные метаболиты 41,7 % изолятов вызывали статистически достоверное снижение всхожести семян (на 5,7–38,4 %), 50,0 % изолятов — увеличение всхожести (на 5,2–13,8 %). Культуральная жидкость изолята Bp6 вызывала снижение всхожести, однако различия с контролем статистически незначимы (табл. 2).

Т а б л и ц а 2. Влияние культуральной жидкости изолятов *B. raepinae* на ростовые процессы семян кресс-салата

Вариант	Всхожесть		Длина корня		Длина стебля	
	%	% к контролю	см	% к контролю	см	% к контролю
Bp3	77,3 ± 0,7*	94,3	7,07 ± 0,24	100,7	2,84 ± 0,08	95,3
Bp5	70,7 ± 0,7*	86,2	6,73 ± 0,29	95,9	3,55 ± 0,09*	119,1
Bp6	81,3 ± 0,3	99,1	5,22 ± 0,18*	74,4	3,53 ± 0,10*	118,5
Bp7	74,7 ± 0,3*	91,1	6,08 ± 0,30*	86,6	3,61 ± 0,10*	121,1
Bp8	65,3 ± 0,9*	79,6	6,93 ± 0,37	98,7	1,45 ± 0,07*	48,7
Bp9	90,7 ± 0,9*	110,6	6,50 ± 0,27	92,6	3,41 ± 0,08*	114,4
Bp10	64,0 ± 0,6*	78,0	7,79 ± 0,27*	111,0	3,88 ± 0,16*	130,2
Bp11	92,7 ± 1,9*	113,0	5,50 ± 0,19*	78,3	3,42 ± 0,11*	114,8
Bp15	87,0 ± 1,5*	106,1	6,94 ± 0,22	98,9	3,12 ± 0,08	104,7
Bp16	86,3 ± 0,9*	105,2	4,16 ± 0,12*	59,3	2,94 ± 0,07	98,7
Bp17	89,3 ± 1,2*	108,9	4,96 ± 0,17*	70,7	2,41 ± 0,07*	80,9
Bp18	93,3 ± 0,9*	113,8	5,03 ± 0,15*	71,7	2,51 ± 0,06*	84,2
Контроль	82,0 ± 0,6	100,0	7,02 ± 0,20	100,0	2,98 ± 0,07	100,0
НСР ₀₅	2,8		0,64		0,40	

П р и м е ч а н и е: * — варианты, по которым различия с контролем статистически достоверны с вероятностью 95 %.

Токсичные метаболиты 50,0 % изолятов *B. raepinae* вызывали статистически достоверное снижение длины корня (на 13,4–40,7 %), 8,3 % изолятов (Bp10) — увеличение его длины (на 11,0 %). Наиболее сильное ингибирующее действие оказали культуральные жидкости 25,0 % изолятов (Bp16, Bp17, Bp18):

они снижали прирост корня на 40,7, 29,3 и 28,3 % соответственно. В остальных вариантах изменения длины корня статистически незначимы.

Токсичные метаболиты 25,0 % изолятов *B. paeoniae* вызывали статистически достоверное снижение длины стебелька (на 15,8—51,3 %), 50,0 % изолятов — увеличение его длины (на 14,4—30,2 %). Наиболее сильное ингибирующее действие на рост стебля оказала культуральная жидкость изолята Вр8, стимулирующее — изолята Вр10. В остальных вариантах изменения длины стебля статистически незначимы.

Таким образом, 10-суточные культуральные жидкости изолятов *B. paeoniae* проявляли неодинаковую фитотоксическую активность по отношению к изученным показателям: более чувствительны к токсинам оказались корень и стебель. Изоляты *B. paeoniae* различались между собой по степени токсигенного действия. Наибольшую фитотоксическую активность проявил изолят Вр8.

Анализ данных по воздействию культуральной жидкости 12 изолятов *B. tulipae* на ростовые процессы семян кресс-салата (табл. 3) показал, что токсичные метаболиты 41,7 % изолятов вызывали статистически достоверное снижение всхожести семян (на 6,5—15,7 %), культуральные жидкости всех изолятов — статистически достоверное снижение длины корня (на 14,9—26,8 %). В остальных вариантах снижение всхожести и длины корня статистически незначимы.

Т а б л и ц а 3. Влияние культуральной жидкости изолятов *B. tulipae* на ростовые процессы семян кресс-салата

Вариант	Всхожесть		Длина корня		Длина стебля	
	%	% к контролю	см	% к контролю	см	% к контролю
Bt1	68,3 ± 0,9*	84,3	5,09 ± 0,16*	78,1	3,04 ± 0,10	95,6
Bt2	78,0 ± 1,5	96,3	5,43 ± 0,11*	83,3	2,73 ± 0,06*	85,8
Bt3	79,3 ± 1,2	97,9	4,77 ± 0,13*	73,2	3,04 ± 0,10	95,6
Bt5	71,3 ± 1,9*	88,0	5,11 ± 0,16*	78,4	3,60 ± 0,11*	113,2
Bt7	75,7 ± 0,9*	93,5	5,08 ± 0,11*	77,9	2,91 ± 0,07*	91,5
Bt8	72,0 ± 1,7*	88,9	4,87 ± 0,13*	74,7	3,44 ± 0,11*	108,2
Bt9	77,7 ± 1,5	95,9	5,08 ± 0,14*	77,9	3,24 ± 0,09	101,9
Bt11	77,7 ± 0,9	95,9	5,55 ± 0,22*	85,1	3,03 ± 0,09	95,3
Bt15	79,3 ± 0,7	97,9	5,23 ± 0,13*	80,2	3,09 ± 0,08	97,2
Bt17	78,7 ± 1,9	97,2	5,0 ± 0,13*	76,7	2,78 ± 0,07*	87,4
Bt20	78,3 ± 0,9	96,7	5,10 ± 0,13*	78,2	3,13 ± 0,09	98,4
Bt25	72,3 ± 1,4*	89,2	5,46 ± 0,13*	83,7	2,85 ± 0,85*	89,6
Контроль	81,0 ± 2,6	100,0	6,52 ± 0,18	100,0	3,18 ± 0,20	100,0
НСР ₀₅	4,3		0,40		0,25	

П р и м е ч а н и е: * — варианты, по которым различия с контролем статистически достоверны с вероятностью 95 %.

Культуральная жидкость 33,3 % изолятов *B. tulipae* вызывала статистически достоверное снижение длины стебелька (на 10,7—14,2 %), 16,7 % изолятов — увеличение его длины (на 8,2 и 13,2 %). В остальных вариантах изменения длины стебля статистически незначимы.

Таким образом, 10-суточные культуральные жидкости изолятов *B. tulipae* проявляли неодинаковую фитотоксическую активность по отношению к изученным

показателям: наиболее чувствительным к токсинам оказался корень. Все изоляты оказали мягкое токсигенное действие на тест-объект: ни в одном из вариантов не отмечено снижение показателя более чем на 30 % по сравнению с контролем.

Анализ данных по воздействию культуральной жидкости 7 изолятов *B. elliptica* на ростовые процессы семян кресс-салата (табл. 4) показал, что токсичные метаболиты 28,6 % изолятов вызвали статистически достоверное повышение всхожести семян кресс-салата (на 5,5 и 7,7 %) по сравнению с контролем. Культуральные жидкости 71,4 % изолятов снижали всхожесть, однако результаты статистически незначимы.

Токсичные метаболиты 85,7 % изолятов *B. elliptica* оказывали ингибирующее влияние на рост корня: отмечено статистически достоверное снижение его длины на 13,9–26,8 % по сравнению с контролем. Культуральная жидкость изолята Be5 также ингибировала рост корня, но изменение длины статистически незначимы.

Т а б л и ц а 4. Влияние культуральной жидкости изолятов *B. elliptica* на ростовые процессы семян кресс-салата

Вариант	Всхожесть		Длина корня		Длина стебля	
	%	% к контролю	см	% к контролю	см	% к контролю
Be1	88,0 ± 1,7	96,7	5,07 ± 0,16*	74,2	2,54 ± 0,14*	75,8
Be2	89,7 ± 0,9	98,6	5,16 ± 0,11*	75,5	3,26 ± 0,09	97,3
Be3	87,7 ± 0,9	96,4	5,33 ± 0,26*	78,0	3,26 ± 0,11	97,3
Be4	90,0 ± 1,7	98,9	5,0 ± 0,2 0*	73,2	3,61 ± 0,16	107,8
Be5	96,0 ± 2,1*	105,5	6,51 ± 0,29	95,3	3,13 ± 0,13	93,4
Be6	90,3 ± 0,9	99,2	5,88 ± 0,32*	86,1	3,15 ± 0,12	94,0
Be7	98,0 ± 1,2*	107,7	5,35 ± 0,17*	78,3	3,32 ± 0,11	99,1
Контроль	91,0 ± 0,6	100,0	6,83 ± 0,20	100,0	3,35 ± 0,11	100,0
НСР ₀₅	4,0		0,58		0,34	

П р и м е ч а н и е: * – варианты, по которым различия с контролем статистически достоверны с вероятностью 95 %.

Культуральная жидкость 14,3 % изолятов *B. elliptica* (Be1) вызывала статистически достоверное снижение длины стебелька на 24,2 %. В остальных вариантах изменение длины стебля статистически незначимо.

Таким образом, 10-суточные культуральные жидкости изолятов *B. elliptica* проявляли неодинаковую фитотоксическую активность по отношению к изученным показателям: наибольшее действие токсины оказали на рост корня. Все изоляты оказали мягкое токсигенное действие на тест-объект: ни в одном из вариантов не отмечено снижение показателя более чем на 30 % по сравнению с контролем.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что в культуральных жидкостях видов *Botrytis* содержатся токсические вещества, угнетающие развитие проростков кресс-салата. Культуральные жидкости специализированных видов *B. paeoniae*, *B. tulipae* и *B. elliptica* оказали более мягкое действие на тест-объект, чем токсичные метаболиты полифага *B. cinerea*. Среди 31 изолята *B. cinerea* 25,8 % оказались токсичны по признаку «длина стебля»

и по 6,5 % изолятов — по признакам «всхожесть семян» и «длина корня». Среди 12 изолятов *B. paeoniae* только 8,3 % оказались токсичны по признакам «длина корня» и «длина стебля». Ни один из изолятов *B. tulipae* и *B. elliptica* не вызвал снижение всхожести, длины корня, стебля более чем на 30 % по сравнению с контролем. Полученные нами результаты в целом согласуются с данными А. Н. Лихачева о более мягком токсическом действии специализированных видов *Botrytis* [5], а также с положением о том, что эволюция паразитизма среди представителей рода *Botrytis* сопряжена с падением токсичности патогена в отношении растения-хозяина [8].

Стимулирующее воздействие культуральных жидкостей ряда изолятов на прорастание семян кресс-салата, возможно, связано с тем, что кроме токсинов грибы рода *Botrytis* могут синтезировать фитогормоны и ингибиторы роста, влияющие на развитие семян и участвующие в патогенезе [5; 8].

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Б08М-046).

Литература

1. Jarvis W. R. Botryotinia and Botrytis species: Taxonomy, Physiology and Pathogenicity. A guide to the Literature. Monograph N 15. Ottawa, 1977. P. 9—10, 82—86.
2. Лихачев А. Н. // Биология, систематика и экология грибов в природных экосистемах и агрофитоценозах: материалы Междунар. науч. конф. Минск, 2004. С. 148—152.
3. Rebo rdinos L. // Phytochemistry. 1996. Vol. 42, N 2. P. 383—387.
4. El ad Y., Will iamson B., Tud zynski P., Del en N. Botrytis: biology, pathology and control. Dordrecht, 2004. P. 99—118.
5. Лихачев А. Н., Пальмова Н. П., Гоголева И. А. // Микол. и фитопатол. 1998. Т. 32, вып. 6. С. 52—57.
6. Dur an - Pat ron R. // Recent Res. Dev. Phytochem. 1997. Vol. 10. P. 329—337.
7. Will iamson B. // Molecular plant pathol. 2007. Vol. 8, N 5. P. 561—580.
8. Талиева М. Н., Филимонова М. В. // Журн. общей биологии. 1992. Т. 53, № 2. С. 225—231.
9. Дьяков Ю. Т., Озерецковская О. Л., Джавахия В. Г., Багирова С. Ф. Общая и молекулярная фитопатология. М., 2001. С. 3—22.
10. Стадниченко М. А. // Актуальные проблемы изучения фито- и микобиоты: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Минск, 2004.
11. Стадниченко М. А. // Регуляция роста, развития и продуктивности растений: материалы IV Междунар. науч. конф. Минск, 2005.
12. Стадниченко М. А., Поликсенова В. Д. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2005. № 2. С. 62—65.
13. Стадниченко М. А. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2006. № 2. С. 73—77.
14. Методы экспериментальной микологии: Справ. Киев, 1982. С. 321—322.

L. A. HALOUCHANKA

TOXINOGENESIS OF *BOTRYTIS* SPECIES ASSOCIATED WITH ORNAMENTAL PLANTS

Summary

Phytotoxic activity of ornamental plants grey mould pathogens (*B. cinerea*, *B. paeoniae*, *B. tulipae*, *B. elliptica*) was investigated. Cultural liquids of specialized pathogens *B. paeoniae*, *B. tulipae* и *B. elliptica* were less toxic than *B. cinerea* cultural liquids. Stems of test plants were more susceptible for *B. cinerea* toxic metabolites, whereas roots were more susceptible for cultural liquids of specialized pathogens *B. paeoniae*, *B. tulipae* и *B. elliptica*.

УДК 575.224.085

С. Э. ОГУРЦОВА, В. Ю. АФОНИН, Л. П. МАЛЕЙ

МОДИФИКАЦИЯ АСТАКСАНТИНОМ МУТАГЕННОГО ЭФФЕКТА МИТОМИЦИНА С И СТРЕПТОНИГРИНА В КЛЕТКАХ КОСТНОГО МОЗГА МЫШЕЙ

Институт фармакологии и биохимии НАН Беларуси

(Поступила в редакцию 25.02.2010)

Приведены результаты экспериментального исследования модификации мутагенного эффекта хиноновых противоопухолевых промутагенов. Показано, что предварительное введение астаксантина снизило мутагенный эффект как митомицина С, так и стрептонирина, что нашло свое выражение в снижении частоты аберрантных клеток, нагруженности их аберрациями, отсутствии хроматидных обменов.

Введение. Метаболизм огромного числа липофильных ксенобиотиков (лекарств, канцерогенов, пищевых добавок, компонентов загрязнения окружающей среды и др.) осуществляет микросомная монооксигеназная ферментная система с широкой субстратной специфичностью, которая обеспечивается множественными формами цитохрома Р450 [1; 2]. Важным свойством многих цитохромов Р450 является их способность к увеличению активности в ответ на введение различных химических соединений, так называемых индукторов/модификаторов [3; 4]. Целенаправленная модификация уровня ферментов способствует изменению профиля мутагенных метаболитов, что в свою очередь находит выражение в усилении или снижении канцерогенного, токсического и мутагенного действия ксенобиотиков. Изменение профиля мутагенных метаболитов влияет на уровень цитогенетических нарушений (уровень аберрантных клеток, спектр аберраций хромосом, нагруженность клеток аберрациями).

В последнее время большой интерес в качестве индукторов цитохрома Р450 и ферментов детоксикации второй фазы биотрансформации ксенобиотиков вызывают природные антиоксиданты каротиноиды [5–7], в частности астаксантин. Астаксантин в наибольшей концентрации в природе содержится в гавайской микроводоросли *Haematococcus*, дрожжах *Phaffia*, в тканях различных птиц, креветок, крабов, лосося, нерки, кеты, форели [8–10]. Астаксантин является антиоксидантом и может влиять на мутагенный эффект некоторых мутагенов путями, не связанными с индукцией ферментов метаболизма ксенобиотиков. В связи с этим большой интерес вызывает сочетание модифицирующего

действия астаксантина, как индуктора ферментов второй фазы биотрансформации ксенобиотиков, играющих большую роль в обезвреживании мутагенов, а также как вещества, обладающего антиоксидантными свойствами.

Цель работы — исследование возможности модификации мутагенного действия хиноновых промутагенов митомицина С и стрептонирина в клетках костного мозга мышей астаксантином для достижения защиты наследственных структур от повреждающего действия ксенобиотиков.

Материалы и методы исследования. Эксперимент выполнен на самцах мышей линии C57BL/6J с массой тела 20—25 г. В качестве индуктора промутагенов использовали астаксантин. Астаксантин растворяли в изотоническом растворе и вводили перорально в дозе 25 мг/кг в течение пяти суток ежедневно, так как в эти сроки достигается максимальный уровень ферментов детоксикации ксенобиотиков второй фазы (альдегиддегидрогеназы, ДТ-диафоразы, глутатион-S-трансферазы, уридиндифосфатглюкуронозилтрансферазы).

В качестве промутагенов использовали митомицин С и стрептоницин. Все исследуемые вещества относятся к соединениям хинонового ряда и используются в медицинской практике как химиотерапевтические препараты при лечении онкологических заболеваний [11]. Их цитостатический и канцерогенный эффект основан на мутагенном действии. Через сутки после последней инъекции индуктора вводили промутагены, которые растворяли в изотоническом растворе. Митомицин С вводили внутривенно, стрептоницин — внутримышечно. Исследуемая доза митомицина С — 2,5 мг/кг, стрептонирина — 3,5 мг/кг.

Исследование мутагенного эффекта промутагенов проводили в костном мозге мышей. В качестве теста на мутагенность в клетках костного мозга использовали учет аберраций хромосом на стадии метафазы. Цитогенетические препараты костного мозга готовили согласно общепринятой методике [12] с предварительным введением колхицина, гипотонической обработкой KCl (0,56 %), фиксацией в смеси этанола и уксусной кислоты (1 : 3). О мутагенном эффекте промутагенов судили по проценту аберрантных клеток, спектру аберраций, среднему числу аберраций на аберрантную клетку и исследованную клетку. При анализе спектра аберраций хромосом учитывались только хорошо идентифицированные аберрации, поэтому клетки с множественной фрагментацией хромосом в этом случае исключались.

При метаболизме хиноновых промутагенов в цикле восстановления—окисления могут генерироваться реактивные радикалы кислорода, которые вызывают одно- и двунитиевые разрывы ДНК и, соответственно, способны индуцировать аберрации как хроматидного, так и хромосомного типа [13]. Так как при рутинной окраске цитогенетических препаратов невозможно отличить изохроматидные фрагменты, которые являются аберрациями хроматидного типа, от парных фрагментов, являющихся аберрациями хромосомного типа, изохроматидные и парные фрагменты объединили в одну группу.

Для анализа полученных данных применялись статистические программы Microsoft Excel (средняя арифметическая, ошибка средней арифметической, *t*-критерий Стьюдента).

Результаты и их обсуждение. Для изучения мутагенного эффекта митомицина С и стрептонирина на фоне предварительного введения астаксантина была выбрана точка фиксации 18 ч, отражающая максимальное количество мутагенных метаболитов хинонов. Эта точка фиксации выбрана нами на основании предыдущих исследований с хинонами, где максимальный выход аберрантных клеток наблюдался через 18 ч [14].

В таблице представлены данные эксперимента, из которых видно, что частота аберрантных клеток при пятикратном введении астаксантина равна $1,2 \pm 0,49$ % при $0,33 \pm 0,33$ % в контрольном варианте. Разница оказалась недостоверна. По имеющимся сведениям в литературе, астаксантин не обладает канцерогенным и мутагенным действием в краткосрочных тестах, таких как тест Эймса с использованием микросомальной фракции печени животных, тест с использованием V79 клеток китайского хомячка и др. [15; 16], что подтверждает и наш эксперимент. Поэтому при анализе полученных данных мы не учитывали вклад астаксантина в выход аберраций хромосом.

Уровень аберраций хромосом в клетках костного мозга мышей линии C57BL/6J после обработки митомицином С и стрептонирином на фоне предварительного введения астаксантина

Вариант воздействия	Число проанализированных клеток	Аберрантные клетки		Среднее число аберраций на клетку	
		число	%	на аберрантную	на исследованную
Контроль	300	1	$0,33 \pm 0,33$	1,00	0,003
Астаксантин	500	6	$1,2 \pm 0,49$	1,00	0,012
Митомицин С	500	103	$20,60 \pm 1,81^*$	1,95	0,4
Стрептонигрин	500	61	$12,2 \pm 1,47$	3,2	0,39
Астаксантин + митомицин С	500	65	$13,00 \pm 1,51^{**}$	1,23	0,16
Астаксантин + стрептонигрин	500	39	$7,8 \pm 1,20$	1,6	0,13

Примечание: * — достоверно при $P < 0,001$; ** — достоверно при $P < 0,05$.

Введение индуктора привело к статистически достоверному уменьшению выхода поврежденных хромосом после обработки митомицином С с $20,60 \pm 1,81$ до $13,00 \pm 1,51$ % ($P < 0,05$).

Подтверждением вывода об уменьшении способности хиноновых промутагенов вызывать аберрации хромосом у животных, которым предварительно вводили астаксантин служит анализ нагруженности клеток аберрациями и спектр аберраций хромосом. Анализ количества аберраций в аберрантных клетках показал, что в варианте «астаксантин + митомицин С» нагруженность клеток аберрациями уменьшилась по сравнению с вариантом «митомицин С».

Анализируя нагруженность клеток аберрациями, выявили, что введение митомицина С на фоне предварительного введения астаксантина привело к уменьшению степени повреждения генетического материала клеток костного мозга. Как видно на рис. 1 удельный вес клеток с двумя аберрациями упал с 23,30 до 10,76 %, соответственно вырос удельный вес клеток с одной аберрацией с 67,96 до 86,15 %. В отличие от варианта «митомицин С», клетки с множественными аберрациями в варианте «астаксантин + митомицин С» вообще

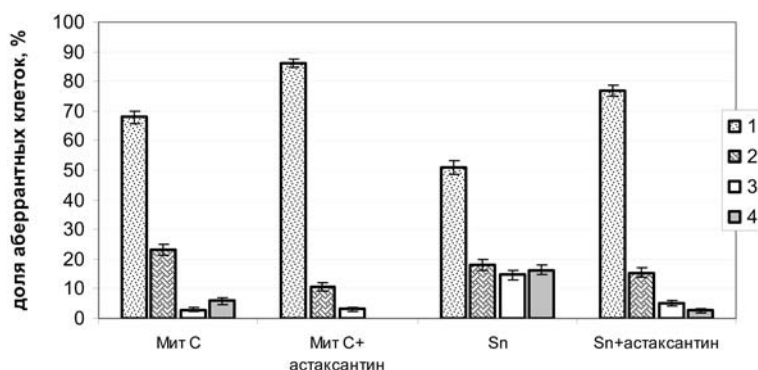


Рис. 1. Нагруженность клеток костного мозга мышей линии C57BL/6J абберациями после введения промутагенов: митомидина С (Мит С) и стрептонигрина (Sn) на фоне предварительного введения астаксантина: 1 – с одной абберацией; 2 – с двумя абберациями; 3 – с 3–10 абберациями; 4 – с множественной фрагментацией

отсутствовали. Как следствие уменьшения частоты абберантных клеток и нагруженности клеток абберациями в варианте «астаксантин + митомидин С», среднее число аббераций на исследованную клетку уменьшилось в 2 раза, а среднее число аббераций на абберантную клетку уменьшилось в 1,6 раза (таблица).

Спектр аббераций хромосом при введении одного митомидина С представлен одиночными фрагментами, группой «изохроматидные и парные» фрагменты, хроматидные обмены (рис. 2). Снижение частоты абберантных клеток в варианте с астаксантином сопровождалось уменьшением количества парных фрагментов (среди 80 проанализированных аббераций найден только один парный фрагмент), а также исчезновением из спектра аббераций хромосом хроматидных обменов, что также подтверждает вывод об уменьшении повреждения клеток костного мозга митомидином С на фоне предварительного введения астаксантина.

Как и в случае митомидина С предварительное введение астаксантина мышам вызвало снижение цитогенетического эффекта стрептонигрина. Доказательством этого является снижение уровня аббераций хромосом с $12,2 \pm 1,47$ до $7,8 \pm 1,20$ % ($P < 0,05$) (таблица). Среди абберантных клеток



Рис. 2. Спектр аббераций хромосом после введения митомидина С 2,5 мг/кг на фоне предварительного введения астаксантина: 1 – одиночные фрагменты; 2 – парные и изохроматидные фрагменты; 3 – хроматидные обмены

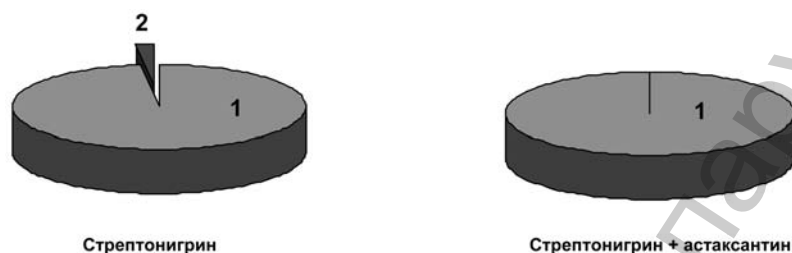


Рис. 3. Спектр aberrаций хромосом после введения стрептонирина 3,5 мг/кг на фоне предварительного введения астаксантина: 1 – одиночные фрагменты; 2 – парные и изохроматидные фрагменты; 3 – хроматидные обмены

после введения стрептонирина обнаружена очень высокая доля клеток с множественной фрагментацией (16,39 %), несмотря на относительно невысокий общий процент aberrантных клеток. Введение астаксантина привело к уменьшению доли характерных для стрептонирина клеток с множественной фрагментацией до 2,56 % ($P < 0,01$). В литературе стрептонигрин рассматривается как «quintessential redox-cycling» мутаген [17; 18], обнаруженная нами значительная доля клеток с множественной фрагментацией хромосом, характерная для большого количества реактивных радикалов кислорода, а также спектр aberrаций хромосом, представленный в основном одиночными фрагментами ($97,94 \pm 0,55$ %) и aberrациями, отнесенными в группу «изохроматидные + парные фрагменты» ($2,06 \pm 0,68$ %), подтверждают эту точку зрения (рис. 3).

Таким образом, на основании анализа уровня aberrантных клеток, спектра aberrаций хромосом и нагруженности клеток aberrациями хромосом можно заключить, что предварительное введение астаксантина снизило мутагенный эффект как митомицина С, так и стрептонирина.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Б09-043).

Литература

1. Ingelman - Sundberg M., Oscarson M., Nebert D. W. // *Can. Epid. Biom. Prev.* 2001. Vol. 10, N 12. P. 1307–1309.
2. Nebert D. W., Russell D. W. // *Lancet.* 2002. Vol. 360, N 9340. P. 1156–1162.
3. Гуляева Л. Ф., Вавилин В. А., Ляхович В. В. Ферменты биотрансформации ксенобиотиков в химическом канцерогенезе. Новосибирск, 2000. — 84 с.
4. Райс Р. Х., Гуляева Л. Ф. Биологические эффекты токсических соединений. Новосибирск, 2003. — 208 с.
5. Stahl W., Ale - Agha N., Polidori M. C. // *Biological chemistry.* 2002. Vol. 383, Iss. 3–4. P. 553–558.
6. Jewell C., Brien N. // *Br. J. Nutr.* 1997. Vol. 81. P. 235–242.
7. Higuera - Ciapara I., Felix - Valenzuela L., Goycoolea F. M. // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 2006. Vol. 46. P. 185–196.
8. Guerin M., Huntley M. E., Olaiola M. // *Trends Biotechnol.* 2003. Vol. 21. P. 210.
9. Flores - Coter L. B., Sanchez S. // *Biotechnology Letters.* 2001. Vol. 23. P. 793–797.
10. Bell J. G., McEvoy J., Webster J. L. // *J. Agric. Food Chem.* 1998. Vol. 46. P. 119–127.
11. Противоопухолевая химиотерапия / Под ред. Н. И. Переводчиковой. М., 1993. — 213 с.
12. Preston R. J., Dean B. J., Gallway S. et al. // *Mutat. Res.* 1987. Vol. 189, N 2. P. 157–165.

13. Ross D. // Drug Metab. Rev. 2004. Vol. 36, N 3—4. P. 639—654.
14. Огурцова С. Э. // Весті НАН Беларусі. Сер. біял. навук. 2003. № 3. С. 54—56.
15. Jiro T., Hiroki T., Sadama S. // J. Clin. Ther. Med. 2004. Vol. 20, N 8. P. 867—881.
16. Mitscher L. A., Telikepalli H., McGhee E., Shankel M. D. // Mut. Res. 1996. Vol. 350, N 1. P. 143—152.
17. Beall H. D., Yafei L., Siegel D. et al. // Biochem. Pharmacol. 1996. Vol. 51, N 5. P. 645—652.
18. Bolzan A. D., Bianchi M. S. // Mut. Res. 2004. Vol. 488. P. 25—37.

S. A. OGURTSOVA, V. Yu. AFONIN, L. P. MALEI

**THE MODIFICATION OF MYTAGEN EFFECT OF MITOMYCIN C AND STREPTONIGRIN
BY ASTAXANTIN IN BONE MARROW CELLS OF MICE**

Summary

The results of an experimental study of modification of mutagen effect antitumor quinone promutagens are presented. Preliminary administration of astaxantin is shown to reduce the mutagen effect both mitomycin C, and streptonigrin, that has found the expression in decrease in frequency of aberrations cells, loading their aberrations, absence chromatid exchanges.

ЮБИЛЕИ ИЗВЕСТНЫХ УЧЕНЫХ

УДК 53(091); 53(092)

Н. Н. КОСТЮКОВИЧ

НОБЕЛЕВСКИЙ ЛАУРЕАТ ДУГЛАС Д. ОШЕРОВ: КАК ДОСТИГАЕТСЯ УСПЕХ В НАУКЕ

Аппарат Национальной академии наук Беларуси

(Поступила в редакцию 07.09.2010)



Прославившийся своими афоризмами немецкий ученый Георг Лихтенберг, профессор Геттингенского университета и почетный член Петербургской Академии наук, еще в XVIII в. обнаружил, что великие открытия, когда они уже сделаны и общеизвестны, кажутся нам такими легкими! И остроумно заметил: «Странно, что только выдающиеся люди делают открытия, которые впоследствии кажутся такими простыми».

В том, что простота и легкость восприятия открытого приходят не сразу, на личном опыте убедился выдающийся американский физик-экспериментатор Дуглас Д. Ошеров, внук уроженца Могилевщины [1]. В 1972 г., будучи 26-летним аспирантом, в соавторстве с двумя старшими коллегами он направил для срочной публикации в журнал «Physical Review Letters» две кратких статьи (их называют письмами), которые через чет-

верть века принесли всем троим Нобелевскую премию по физике за открытие сверхтекучести гелия-3 – весьма редкого на Земле и самого легкого из двух стабильных изотопов этого благородного газа.

Но если первое из писем [2], содержавшее неверную (даже в названии статьи!) интерпретацию того, что ученые наблюдали в смеси жидкого и твердого ^3He , без проблем приняли к публикации, то второе, отправленное через 5 месяцев и уже правильно трактующее открытые явления как происходящие в жидкой фазе [3], было отвергнуто рецензентом. В том числе под предлогом, что изученная система «не может вести себя так, как это предполагают авторы» [4].

Пораженные таким выводом, они потратили массу времени, пытаясь опровергнуть рецензию, вдобавок уже одобренную двумя редакторами журнала. Благодаря содействию профессора Джеймса А. Крумхансла (1919–2004), ставшего вскоре главным редактором «Physical Review Letters», разумеется, в конце концов, восторжествовал, и вторая публикация самого высокого, «нобелевского», ранга также увидела свет.

Сегодня обе 3,5-страничные статьи потомка нашего соотечественника, недавно отметившего свой 65-й день рождения, включены редакторами «Physical Review» и «Physical Review Letters» в перечни научных работ, заслуживающих наибольшего внимания среди статей, опубликованных за 100 лет издания первого и за 50 лет – второго, этих самых престижных физических журналов [5; 6], и признаны открывшими новую эру в физике конденсированного состояния при сверхнизких температурах.

Белорусские корни. Семья

Дуглас Дин Ошеров родился 1 августа 1945 г. на западном побережье США в небольшом городке лесозаготовителей Эбердин, экономическом центре округа Грэйс Харбор, штат Вашингтон. Он был вторым из пяти детей Уильяма и Бесси Ошеровых – четырех сыновей и дочери.

Дуг родился и вырос в медицинской семье, причем на врачебном поприще работали не только его родители.

Родоначальником этой династии американских медиков стал уроженец Беларуси Сэмюэл Эбрахам Ошеров, дед будущего физика по отцовской линии, который родился в 1889 г. в земледельческой колонии Мартиновка в Бельковичской волости Климовичского уезда Могилевской губернии [7]. Это поселение на территории нынешнего Костюковичского района Могилевской области было небольшим. В 1847 г., через полвека после своего основания, оно насчитывало лишь 54 души коренного населения, обрабатывавших 110 десятин собственной земли [8]. В 1906 г. Сэмюэл с женой Анной, его ровесницей родом из города Почеп Мглинского уезда соседней Черниговской губернии [7], отправился на поиски счастья в далекую Америку [9], где они окончательно обосновались в штате Небраска.

В 1919 г. в Омахе, крупнейшем городе этого штата, Сэмюэл со степенью доктора медицины окончил Университет Небраска [10]. Затем преподавал гинекологию и акушерство в местной Медицинской школе Крейтон, опубликовал ряд научных работ по этой тематике [11–13]. В 1948 г. наш земляк переехал в Калифорнию, получив лицензию на право заниматься врачебной практикой. Работал в Мемориальном госпитале им. Скриппса в Ла Хойя – северо-западном районе Сан-Диего, был членом Медицинского общества округа Сан-Диего. Белорусский дед Нобелевского лауреата умер в конце декабря 1958 г. и похоронен, как и пережившая его на 10 лет жена, на кладбище Маунт Небо в городе Спокан, штат Вашингтон.

Оба сына Сэмюэла и Анны Ошеровых – Хайман и Уильям – стали преуспевающими медиками, а родившаяся в 1923 г. дочь Эстер вышла замуж за врача-радиолога.

Хайман Ричард Ошеров, родившийся в марте 1912 г. в Омахе, в 1931 г. со степенью бакалавра искусств окончил медицинский колледж Университета Небраска. В 1934 г., после получения степени доктора медицины, он в звании лейтенанта начал службу в медицинском корпусе армии США. В 1939 г. окончил базовый курс военно-медицинской школы, в 1940 г. — школы полевой медицинской службы. Каждые 3–4 года повышался в звании, закончив Вторую мировую войну в чине полковника [14]. Воевал в Корее. После выхода в июле 1955 г. в отставку работал в армейском госпитале в Кэмп-Гордоне, штат Джорджия, публиковался в научной периодике [15–17]. В конце жизни доктор Х. Ошеров специализировался на радиологии, имел врачебную практику в Клируотере, штат Флорида. Он умер в сентябре 2006 г. и похоронен на ветеранском Национальном кладбище Флориды в Бушнелле.

Уильям Ошеров, отец лауреата Нобелевской премии, родился в ноябре 1915 г. в Омахе, но вырос в деревне Эриксон в штате Небраска, куда вскоре переехала семья [18]. Как его отец и старший брат, Вилли окончил Университет Небраска. Под руководством заведующего кафедрой биохимии профессора Сергея Моргулиса (1885–1971), уроженца Подольской губернии, он изучал связь метаболизма минеральных веществ с мышечной дистрофией [19], мечтал получить ученую степень доктора философии по химии. Но на дворе стояли невеселые времена Великой депрессии, и отец убедил его, что диплом доктора медицины обеспечит более стабильную карьеру, чем докторская степень по химии [20]. Поэтому Вилли защитил за 1938 г. сразу две диссертации — на степени магистра химии [21] и доктора медицины [22].

Проходя интернатуру в Центральной больнице района Квинс в Нью-Йорке, он познакомился и в ноябре 1941 г. женился на Бесси Ондов, дочери лютеранского пастора, работавшей там медсестрой. Во время Второй мировой войны служил в звании первого лейтенанта, затем капитана медицинской службы в авиационном корпусе, базировавшемся в его родном городе. После войны семья обосновалась в Эбердине, где врачи были в дефиците. Уильяма взяли в штат больницы Грейс Харбор Коммьюнити. Здесь, а также в местной больнице Св. Иосифа он проработал вплоть до своей смерти.

Всеми уважаемый врач, занимавшийся медицинской практикой в округе на протяжении более 30 лет, отец Дуга был членом Медицинской ассоциации Грейс Харбора и Американской медицинской ассоциации. Будучи врачом общей практики, он перепрофилировался в кардиолога и организовал кардиологическую службу в округе, когда выяснилось, что такие услуги крайне необходимы местным жителям. Еще до того как стали широко доступными подобные технологии, Уильям разработал устройство для передачи записей ЭКГ по телефону, что позволило ему лучше отслеживать состояние своих пациентов. В 1972 г. доктор У. Ошеров стал членом Американского колледжа кардиологии. К сожалению, ему не довелось узнать, какой научный успех ожидает второго сына, — он скоропостижно скончался в июне 1977 г.

Мать Дуга, Бесси Энн Ошеров, родилась в марте 1919 г. в городке Джессап, штат Пенсильвания, и выросла в деревне Эмпория, штат Виргиния [18]. Ее родители — иммигранты из Словакии. Окончив школу сестринского дела при больнице Камберленд в Нью-Йорке, она стала дипломированной меди-

цинской сестрой. Как и Вилли, Бесс Ошеров многое сделала для повышения качества жизни населения округа Грейс Харбор. В Эбердине она работала волонтером YMCA, одной из крупнейших в мире христианских молодежных организаций, а также в Фонде образования и научных исследований Американской медицинской ассоциации, которая отметила ее 10-летнюю службу в здравоохранении престижными наградами. Вместе с мужем Бесс помогла организовать первую выездную донорскую акцию Красного Креста в Грейс Харборе, продолжая затем на протяжении 20 лет устраивать кампании по сдаче крови.

После того как дети выросли и покинули родной дом, Бесс хотела вернуться к работе медсестрой. Но муж убедил, что большая часть ее зарплаты, в конечном итоге, уйдет в виде налогов в карман Дяде Сэму. А потому будет куда лучше, если его дома всегда будет ждать вкусный обед [20]. В 1988 г. мать Дуга перенесла тяжелый инсульт и 8 лет была прикована к постели. Она умерла в ноябре 1996 г., через месяц после присуждения сыну Нобелевской премии [9].

Общественный фонд Грейс Харбора учредил Мемориальную стипендию Уильяма и Бесси Ошеровых. Ее могут получить местные студенты и аспиранты любого четырехгодичного колледжа или университета, хотя предпочтение отдается претендентам, решившим изучать науки или медицину.

Дуглас Ошеров женат на Филлис Лю, родившейся на Тайване. Они познакомились в 1967 г., когда Дуг поступил в аспирантуру Корнельского университета. У Фил, также бывшей аспиранткой, но в области биохимии, времени на развлечения не хватало — она была занята учебой, и их встречи не были частыми. Дуг привязался к ней, но жениться не спешил, откладывая этот шаг до получения ученой степени и возможности самостоятельно содержать семью. Но Фил заканчивала аспирантуру на два года раньше его и должна была вернуться домой, так как приехала в США по студенческой визе. Это обстоятельство стало решающим: в августе 1970 г., через две недели после того как Фил защитила докторскую диссертацию, они поженились [23]. С тех пор уже 40 лет они вместе.

Мастер-ломастер

В семье Ошеровых не стоял вопрос о том, кем станет второй сын, когда вырастет. Кем угодно, но только не медиком! Несмотря на пример старшего брата Уильяма, по семейной традиции решившего стать врачом (сегодня он вице-президент Гавайской медицинской ассоциации), Дуг ни минуты не связывал свое будущее с медициной — он и сегодня бледнеет при одном только виде крови [24]. Рано заметив у сына интерес к познанию окружающего мира, родители всячески поддерживали его в этом.

Хотя отец был с головой погружен в вопросы устройства своей медицинской карьеры на новом месте, именно он сыграл главную роль в стимулировании тяги сына к знаниям. Он также привил ему интерес к садоводству и фотографии, своим хобби, которые по сей день являются увлечениями Нобелевского лауреата: стены его кабинета увешаны фотосюжетами из научных поездок по всему миру (часть из них публиковал журнал «American Photo»),

а 19 тыс. долларов из Нобелевской премии ушло на покупку самой сложной модели профессиональной фотокамеры – «Hasselblad 205».

Уже в раннем возрасте Дуг интересовался тем, как устроены различные вещи. В 6 лет его зачаровало действие простейшего электромагнита, который смастерил отец, обмотав гвоздь проводом, соединенным с батарейкой. Возникший интерес к электромагнетизму побудил малыша разобрать паровоз от игрушечной железной дороги, сделав электромоторчик своей любимой игрушкой. С этого момента Дуг и ведет отчет своим экспериментам в науке [25; 26].

В другой раз врученный отцом старый фотоаппарат через пару часов лежал разобранным на мелкие детали, без всякой надежды быть собранным вновь. Его не отругали и за это. Наоборот, дом продолжал заполняться всевозможными развивающими игрушками, механическими и электронными конструкторами, наборами для химических и оптических опытов, коллекциями минералов и образцов камней. Был среди них и традиционный набор юного радиолюбителя.

Со временем Дугу все больше нравилось не только разбирать что-либо на части, но и собирать обратно. Вскоре после случая с фотоаппаратом кто-то из пациентов старшего Ошера передал на «исследование» его сыну старые часы и набор ювелирных отверток. Тот научился не только развинчивать, но и собирать хронометр обратно. Часы всегда тикали, хотя у «часового мастера» каждый раз оставались лишние детали!

Играя с частями старой телефонной аппаратуры, принесенными отцом из местного коммутатора фирмы «Белл-телефон», десятилетний мастер-ломастер обнаружил, что при подключении соленоида реле к электрической батарее можно получить легкий удар электротоком. Он захватил устройство в школу, где два десятка одноклассников выстроились в очередь, чтобы испытать на себе потрясающее действие этой «машины».

В школьные годы Дуг открыл для себя порох, химические реакции и высоковольтное электричество, экспериментирование с которыми таило серьезные опасности. В 12 лет пороховые «ракеты», «бомбы» и «пушки» занимали все его свободное время. Сегодня он считает, что это был самый опасный период в его жизни. Но родители не выгладели чересчур обеспокоенными и не вводили каких-либо запретов. В доме действовало соглашение: если Дуг умудрялся натворить что-то действительно серьезное, он обязан был свернуть опасный тип «экспериментаторской деятельности».

Ближе всего он оказался к серьезной угрозе для своего здоровья, когда соорудил и решил испытать в подвале дома «шахтерскую» карбидовую лампу. Он зажег ее раньше, чем из мензурки с карбидом и водой вышел весь кислород. Заметив необычный цвет пламени, Дуг инстинктивно отвернулся от аппарата, прежде чем тот взорвался. И все же, осколки стекла не только торчали в стенах помещения, но серьезно поранили лицо «конструктора», едва не лишив его глаза. Отцу, обработавшему малые и зашившему крупные раны, пришлось прочитать сыну серьезную лекцию о правилах безопасности. С молчаливого согласия сторон химические опыты в доме на этом прекратились.

Но электротехнические продолжались вовсю. Как-то им была собрана батарея конденсаторов, испытал на себе 600-вольтный разряд которой, Дуг был отброшен в другой конец комнаты. Следующее, что ему запомнилось, были горькие рыдания юного электротехника. Тем не менее, даже ответственный выпускной год в школе он завершил самостоятельной сборкой из старых деталей 100 кэВ-ного рентгеновского аппарата.

Конечно, все это не было похоже на настоящую науку. Но простые опыты и эксперименты позволили Дугу, как он сам считает, приобрести необходимые практические навыки и способствовали развитию у него отличной физической интуиции [26].

Между физикой и журналистикой

В школе Везервакс Хай Скул в Эбердине, которую Ошеров закончил в 1963 г., он числился хорошим учеником, но из всех предметов действительно успевал только по физике и химии.

Правда, успехи пришли не сразу. Хотя все годы, проведенные в начальной и средней школе, домашнее экспериментирование шло бок о бок с изучением естествознания, эти занятия воспринимались Дугом как независимые, никак не пересекающиеся. Скажем, он всегда старался выполнить домашние задания еще в школе, освобождая вечера для своих экспериментов. Не замечал он за собой и желания самостоятельно почитать что-либо по тем разделам физики и химии, с которыми была связана тематика его опытов. Ситуацию преломил два школьных учителя, о которых Нобелевский лауреат и сегодня вспоминает с благодарностью.

В 7–8 классах он начал изучать естественные науки. Преподававший эти предметы мистер Миллер имел репутацию приверженца строгой дисциплины. Ходил даже слух, что он применял телесные наказания за ее нарушение на уроках. Поэтому всю первую неделю Дуг сидел под его строгим взглядом словно окаменевший и провалил экзаменовку. Но случилось чудо: учитель подошел к Дугу и тихонько спросил, почему тот так плохо отвечал. Добавив, что уверен в его гораздо больших способностях, он поинтересовался, не может ли чем-то помочь ученику. Тут-то до школяра дошло, что мистер Миллер – вовсе не чудовище, а озабочен его учебой. В результате, в течение следующих двух лет ни один из одноклассников, ни по одному из пяти разделов естественно-научного цикла не смог превзойти Дуга ни на одной из экзаменовок [25].

Парадоксально, но он полюбил физику больше, чем химию, благодаря учителю химии. Уильям Хок уделял много времени, разъясняя старшеклассникам в школьном научном клубе, как на самом деле проводят физические исследования. В те годы в средней школе такие попытки были редкими, а Хок был единственным среди местных учителей, кто имел опыт исследовательской работы. Услышанное Дугом на занятиях клуба заметно отличалось от того, как он выполнял свои эксперименты, и произвело сильное впечатление на молодой ум.

Ему хорошо запомнился один случай. Нужно было записать свои собственные наблюдения за горящей свечой. Он хорошо знал, как и почему горит

свеча, и изложил на бумаге где-то вычитанные сведения во всех деталях. Мистер Хок, ознакомившись с ответом, вернул его Дугу со словами, что изложенное никак не может быть итогом собственных наблюдений ученика. И потребовал выполнить задание заново. Как позже отмечал Д. Ошеров, именно учитель химии, с которым он поддерживал связь на протяжении многих лет, привнес в его «безумства» метод, и этот метод – был научным [20; 24].

Более того, описанный случай заставил Дуга выработать собственную стратегию успешного выполнения лабораторных работ. Теперь он заранее прикидывал и рассчитывал, чего следовало ожидать в итоге опыта, и если что-то шло не так, никогда не было поздно вовремя исправить ситуацию. Некоторыми такой прием воспринимался как обман учителя. Но Ошеров абсолютно убежден: без твердого знания того, что следовало ожидать в экспериментах, которые привели его к открытиям в физике, он сегодня не был бы в числе лауреатов Нобелевской премии [25].

Дугу всегда хотелось сделать карьеру в области физики. Он увлекся этим предметом еще в школе, да и основные домашние эксперименты были физическими. Однако в старших классах у него появилось еще одно сильное увлечение. Став соредктором школьной газеты, он проникся восхищением властью прессы над умами людей.

Его родители не стремились влиять на выбор детьми своего будущего и были согласны на их поступление после школы в любой вуз, в который они смогут быть принятыми. Дуг подал документы сразу в два. В Стэнфордский университет, имевший высокую репутацию, где уже учился его старший брат. И в Калифорнийский технологический институт (Калтех), в который, как считалось, было труднее всего поступить.

Ошеров получил приглашения на учебу в оба вуза. Пришлось делать выбор. Если бы тогда он остановился на Стэнфорде, то, скорее всего, стал бы журналистом. Правда, здесь ему целых четыре года пришлось бы мириться с начавшимся еще в школе постоянным сравнением его успеваемости с успехами старшего брата. Поэтому он выбрал Калтех, специализирующийся в точных науках и технологиях и находящийся в Пасадене, северо-восточном пригороде Лос-Анджелеса.

Лучше быть посредственным физиком...

Первый год учебы в институте Дуг Ошеров вспоминает с ужасом [27]. С физикой все было в порядке. Но в школе ему не преподавали дифференциальное и интегральное исчисление. А здесь еженедельно были контрольные по этим предметам, причем одной из первых его отметок была «плохо». В те дни в Калтехе также практиковали прогнозирование успеваемости первокурсников на конец года, причем при 4-балльной системе оценок средний балл никогда не закладывался ниже 2,7. Узнав, чего же ждут от него, Дуг смог превзойти прогноз, но испытал шок от того, как много и тяжело для этого пришлось поработать.

На первом курсе он постановил, что не будет ничем заниматься кроме учебы, а на сон хватит 6 часов в сутки. На втором, когда с отметками стало получше, решил, что жизнь все-таки дороже, и выделил на сон еще час.

Но все равно всегда был полусонным. Спасали лекции по геологии, которые начинались в 8.00 и сопровождались длительным показом слайдов в полутемной аудитории, — он проспал их почти все. На третьем году отметки по математике стали уже высокими, а по курсу прикладной механики он получил наивысшую оценку. Тогда Дуг почувствовал, что с математикой, наконец, все в порядке, и сказал себе: «Теперь я буду спать ночью 8 часов и стану ходить на свидания». С последним сложилось не совсем удачно, зато он окончил институт с отличием.

Именно в Калтехе Дуг окончательно решил стать физиком.

Он не застал вводный курс физики, который здесь в 1961–1963 гг. для перво- и второкурсников читал Ричард Ф. Фейнман (1918–1988) [28]. Курс был экспериментальным, весьма серьезным, ориентированным на самых сообразительных и рассчитанным на активного слушателя. Он задумывался его создателями, чтобы утвердить интерес к физике у молодых энтузиастов, вчерашних выпускников средней школы. Эти лекции сына уроженца Минска произвели неизгладимое впечатление на все научно-педагогическое сообщество, на их основе был издан снискавший мировую славу трехтомник «Фейнмановские лекции по физике».

Дуг прослушал знаменитый «фейнмановский» курс физики в 1963–1965 гг., хотя самим Р. Фейнманом тогда были прочитаны только 10–15 лекций [29]. Зато их материал преподносился в такой оживленной манере, что в воздухе буквально витал адреналин. Ошеров подсчитал, что за лекцию Фейнман 43 раза перешел от одного конца доски с формулами к другому [27]. Фейнмановский стиль изложения и сама личность лектора, через год получившего Нобелевскую премию, не оставляли равнодушной аудиторию и не могли не вдохновить молодежь на занятия физикой.

Поэтому, когда в середине второго курса настало время специализации будущих бакалавров, вместе с Ошеровым на встречу с представителем физфака пришлось две трети курса — человек восемьдесят! Ошеломленный таким числом желающих, преподаватель постарался «отвадить» хоть часть из них, заявив, что в физике очень силен дух соперничества, и если вы не отличник (а Дуг им не был) — вам лучше забыть про физику. Даже если вы очень и очень яркая личность, следует быть готовым к весьма напряженной работе — ведь всегда есть тот, кто умнее вас и кто готов работать еще интенсивнее. В качестве решающего аргумента преподаватель добавил, что лично у него самые лучшие идеи рождаются только в 3 часа ночи [25].

Под воздействием услышанного Дуг выбрал специализацию по электротехнике и на следующий семестр записался на курс по транзисторам, ибо всегда хотел знать, как же они работают. Хоть лекции начинались так же рано, как и по геологии, теперь на занятиях он был внимательным. Но, к удивлению, так ничего и не узнал о принципах работы транзисторов, а только то, как их применять в электросхемах. Это сильно разочаровало. Дуг решил, что лучше быть посредственным физиком, чем разочарованным инженером, и переключился на физику [30].

Правда, сама физика пока представлялась ему бесконечным набором задач, решаемых в институте и задаваемых на дом. Его стало посещать чувство

неудовлетворенности, что света в конце этого тоннеля не видно. В момент, когда пессимизм достиг максимума, один знакомый спросил, не хочет ли Ошеров, не получавший стипендии, подработать в группе астрофизиков, которая под руководством Джерри Нейгебауера взялась за первый инфракрасный обзор звездного неба. Дуг не припоминает, согласился ли он из-за денег или интереса ради, но это занятие стало его первой в жизни оплачиваемой работой [25].

Полученный опыт неплохо подготовил студента к будущим исследованиям. Он узнал, как собирать и настраивать оборудование, как обрабатывать большие объемы данных и даже как рационально распоряжаться запасом физической выносливости. Ведь в обсерватории наблюдения велись, как правило, ночью, что требовало умения переключаться с дневного графика работы на ночной, и обратно. Приобретенные навыки оказались полезными в последующей работе в физике низких температур, где часто проводить эксперименты и ждать их результатов приходилось по 15–30 часов подряд.

Хотя Дугу понравилось участие в астрофизической программе, он заключил, что в качестве темы собственного исследования то, чем он там занимался, ему не подходит. В астрофизике не проводят эксперименты, а наблюдают за удаленными объектами, на поведение которых наблюдатель повлиять не может. К тому же, среди астрофизиков студент Ошеров – любитель мастерить своими руками – был пассивным элементом и занимался бесславным делом – служил еще одной парой глаз, следящих за лентой самописца. И хоть со временем ему стали доверять подготовку телескопа к наблюдениям и даже привлекли к созданию инфракрасных камер для слежения за центром галактики, его все же тянуло заняться чем-нибудь иным [25; 27].

Поэтому на последнем курсе института для зачета необходимого объема лабораторных работ Дуг перешел в группу низких температур. Здесь два профессора, проводившие в Калтехе творческие отпуска, пытались путем откачки испаряющегося жидкого ⁴Не из криогенной ванны достичь в криостате температуры в полградуса Кельвина. Это была непростая задача. При температурах ниже 2,17 К гелий-4 представляет собой смесь взаимопроникающих нормальной и сверхтекучей жидкостей, и из-за необычного поведения последней (так называемого эффекта фонтанирования [31]) долгое время с помощью ⁴Не в качестве хладагента достичь температур ниже 0,7 К никому не удавалось.

Профессора предложили своему помощнику собрать компрессионный манометр Мак-Леода – простой, но точный прибор для измерения очень низких давлений, который серийно не производился, а изготавливался и градуировался штучно. Дуг собрал замечательный манометр и был чрезвычайно горд этим, но... устройство не работало. Гелиевую ванну так и не охладили до 0,5 К.

Зато в ходе работы Ошеров впервые с головой окунулся в реальную исследовательскую среду, проникся живым интересом к экзотическим явлениям, происходящим в веществе при низких температурах, и испытал чувство настоящего волнения оттого, что эти явления можно изучать и что в данной области можно экспериментировать. Он решил, что этот волшебный мир заслуживает того, чтобы его исследовать. Если бы этого не случилось, неизвестно как сложилось бы его будущее [27].

Вызов абсолютному холоду

Дуг Ошеров окончил Калтех в 1967 г. со степенью бакалавра наук.

Для обучения в магистратуре он выбрал Корнельский университет, расположенный в городе Итака, в центре штата Нью-Йорк. И сделал это не только потому, что этот вуз один из крупнейших и известнейших в США, — здесь не было такого смога, как в Пасадене. Выбор оказался удачным во всех отношениях. Здесь он стал вначале учеником и помощником, а затем сотрудником солауреатов будущей Нобелевской премии Дэвида М. Ли [32] и Роберта К. Ричардсона [33].

Еще в первом семестре Ошеров попал на коллоквиум, который вел 30-летний Боб Ричардсон. Недавно защитивший диссертацию, он за год до Дуга переехал в Итаку и стал сотрудником Лаборатории физики атомов и твердого тела, которой руководил 36-летний Дэйв Ли. Боб рассказал магистрантам, как работает новый тип устройства — криостат растворения ${}^3\text{He}$ в жидком ${}^4\text{He}$. Он позволял в непрерывном режиме охлаждать сравнительно большие образцы до температуры лишь на 15 тысячных (!) градуса Кельвина выше самой низкой возможной температуры вещества — абсолютного нуля. Неудавшегося конструктора манометров эта цифра впечатлила [27].

Напомним, что открытый в 1933 г. редкий изотоп ${}^3\text{He}$, который в природном гелии составляет лишь 0,000137 %, стал доступен для научных исследований только после Второй мировой войны. При разработке американской водородной бомбы выяснилось, что он образуется в заметных количествах при бета-распаде радиоактивного трития, а в 1948 г. в Лос-Аламосской научной лаборатории его впервые удалось оживить.

Попытки обнаружить у ${}^3\text{He}$ сверхтекучесть, которую демонстрировал ${}^4\text{He}$, начались в 1959 г. после предсказания 26-летним советским физиком-теоретиком Л. П. Питаевским возможности перехода гелия-3 в сверхтекучее состояние. Они предпринимались во всем мире, но завершились неудачей, поскольку тогда даже температура перехода в сверхтекучее состояние не могла быть предсказана. К моменту поступления Ошера в магистратуру сверхтекучесть в ${}^3\text{He}$ уже не искали, а популярная байка гласила, что сама эта идея — теоретическая аберрация, не связанная с реальностью [9].

Дэйву Ли еще осенью 1955 г. посчастливилось стать первым аспирантом, который изучал свойства чистого гелия-3 [31]. От руководителя диссертации он также узнал о новом способе охлаждения тающего твердого ${}^3\text{He}$ с использованием эффекта, предсказанного советским физиком И. Я. Померанчуком (1913–1966) в 1950 г. [34]. Способ основан на том, что при температурах меньших 0,32 К энтропия твердой фазы изотопа превосходит энтропию жидкой, и если смесь жидкого и твердого гелия-3 сжимать адиабатически (без подвода тепла), она охлаждается по мере того, как жидкость превращается в твердое тело.

Казалось, все просто... Однако прошло 15 лет, прежде чем такой способ охлаждения был реализован практически: конструированию нового типа криостатов (их называли ячейками Померанчука) мешала необходимость минимизации тепловых потерь, обусловленных трением.

Впервые компрессионное охлаждение гелия-3 способом Померанчука успешно осуществил выпускник Московского физико-технического института Ю. Д. Ануфриев (1940–2000) [35]. В дипломной работе он предложил оригинальную конструкцию криостата, состоявшего из бронзовой камеры, в которую помещалась другая камера с мембранными стенками. Пространство между ними заполнялось жидким ^3He , охлаждавшимся ниже 0,32 К. Тогда во внутреннюю камеру под давлением подавался ^4He , который при своем сжатии выдавливал мембраны наружу, уменьшая объем, доступный тающему ^3He . В своих пионерских экспериментах Ануфриев не только доказал работоспособность нового способа охлаждения, но и уверенно достиг температур порядка 20 мК [36].

Правда, еще не было ясно, можно ли с помощью ячейки Померанчука достичь температур ниже, чем в криостате растворения. Тем не менее, Р. Ричардсон, прежде уверенный в том, что охлаждение способом Померанчука обречено на неудачу, ко времени упомянутого коллоквиума уже возглавлял в лаборатории разработку собственной компрессионной ячейки. Ее планировали использовать в экспериментах по поиску магнитного фазового перехода в твердом ^3He при температурах, еще более близких к абсолютному нулю.

Первая их попытка охлаждения методом Померанчука была связана с подготовкой диссертации Джеймсом Р. Сайтсом, у которого Ошеров числился в подопечных. К концу первого года магистратуры Дуга они соорудили ячейку охлаждения, которая, несмотря на ряд конструкторских недостатков, исправно работала в течение года, позволила измерить магнитную восприимчивость тающего твердого ^3He и достичь температуры около 2 мК [37].

При выполнении экспериментов Сайтса, который был женат и уже имел двух детей, Джим и Дуг работали в две смены, причем так получалось, что ночные, с 17.00 до 8.00, доставались не диссертанту, а его подопечному. Но он не роптал, наслаждаясь каждой минутой интересной работы. В итоге летом 1969 г. Джим успешно защитился, став доктором философии, а Дуг, с осени предыдущего года активно помогавший команде Р. Ричардсона в выполнении криогенных исследований, получил степень магистра физики и стал аспирантом профессора Д. Ли.

Аспирант, родившийся в рубашке

Дэйву Ли с самого начала было ясно, что Дуг – чрезвычайно многообещающий аспирант с огромным потенциалом [31]. И когда Сайтс защитился, Ошеров стал ведущим аспирантом в программе по охлаждению способом Померанчука. Все эксперименты были целиком сосредоточены на твердом гелии-3, его жидкая компонента рассматривалась лишь как агент охлаждения. Темой диссертационной работы Ошера был поиск антиферромагнетизма также в твердом ^3He .

На первом году аспирантуры Дуг приступил к модернизации криостата растворения, сделанного с Сайтсом. Выздоровливая после серьезной травмы колена, полученной после неудачной лыжной прогулки, он разработал новую ячейку Померанчука. Из-за недостатков предыдущей конструкции область минимальных температур была доступна для измерений лишь в течение 10 мин, не было возможности измерять давление ^3He напрямую, а твердый

гелий ломался между ребрами сильфонов – упругих гофрированных медно-бериллиевых оболочек, когда те сжимались. Учитывая это, Ошеров предложил сжимать гелий-3 расширяющимся сильфоном.

К началу 1971 г. новая установка охлаждения была работоспособна, и с ее применением началось изучение необычных явлений спиновой диффузии в жидком гелии-3. Дуг разрабатывал технологию охлаждения, а на год старший его аспирант Линтон Р. Корручини конструировал камеру для измерений методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Ячейка охлаждения Корручини–Ошера была проще по конструкции и работала великолепно. Эксперимент по изучению спиновых волн был успешно выполнен [38] и стал основой диссертации Корручини.

Так что с оказанием помощи в проведении чужих экспериментов и подготовке чужих диссертаций дела у Ошера обстояли неплохо. Но его все чаще посещала обеспокоенность, сможет ли он сделать что-то достойное для своей докторской диссертации? Вспоминая позже об этих страхах, в одном из интервью Дуг подчеркнул, что все достигшие успеха ученые (по крайней мере, экспериментаторы) боялись того, что никогда не смогут сделать что-либо, что в очередной раз перевернуло бы наши представления о природе. Он знал об этом из бесед с рядом очень известных ученых [30].

Однако первые ячейки охлаждения не подходили на роль инструмента первооткрывателя. Они не предназначались для изучения поведения ³He в них самих, из-за чего включали лишь минимум измерительной аппаратуры. Но вскоре оказалось возможным использовать их не только со вспомогательными целями.

Летом 1971 г. руководитель аспиранта предложил ему разобраться с результатами ученых Калифорнийского университета в Сан-Диего, которые измеряли давление плавления ³He как функцию температуры при различных значениях магнитного поля. Они сообщили о сильном падении давления и аномально большой намагниченности в твердом теле при относительно слабых магнитных полях. Используя свою аппаратуру, Дуг попробовал воспроизвести неожиданные результаты калифорнийцев и установил, что они были артефактом термометрии, а сам эффект в действительности был крайне мал, что подтвердили термодинамические расчеты.

Хотя эксперимент с таким итогом не мог стать основой диссертации, из-за малости эффекта Дуг продолжал совершенствовать технику измерений и упрямо повторял эксперимент в течение 3 месяцев. В лаборатории стали поговаривать, что он слишком долго монополично распоряжается единственным ЯМР-магнитом, и настала очередь других использовать его. Пришлось уступить. Ошеров только позже осознал, что тем самым его заставили прекратить совершенно бесперспективную работу.

В ожидании окончания экспериментов коллег Дуг решил попрактиковаться на новой аппаратуре и узнать, насколько низкой температуры он может достичь в компрессионной ячейке. Очередное усовершенствование ее конструкции и учет запросов Р. Ричардсона привели к тому, что ко дну камеры с ³He был подключен чувствительный емкостный датчик для измерения давления тающего гелия, которое однозначно зависело от температуры. Теперь оценку

температуры можно было получить из измерений давления, можно было также отслеживать давление плавления ^3He как функцию времени.

Первый эксперимент Ошеров провел в среду, 24 ноября 1971 г., накануне Дня благодарения, государственного праздника в США [39]. На ленте самописца он наблюдал, как равномерно росло давление по мере охлаждения ячейки. Внезапно, при температуре, которую Дуг оценил в 2,6 мК, скорость охлаждения уменьшилась в 2 раза. Подумав, что начался нагрев из-за пластической деформации ^3He при движении сильфонов, он прекратил компрессию. И решил возобновить эксперимент 29 ноября, охладив за четыре праздничных дня ячейку заново с помощью криостата растворения до минимально достижимых температур.

В тот судьбоносный понедельник он пришел в лабораторию около полудня, по привычке быстро съел ленч и начал компрессию. Стартовав с гораздо более низкой температуры, через 3 ч он приблизился к тому давлению, при котором в прошлый раз на кривой его зависимости от времени появился небольшой излом (позже его назвали А-переходом). Дуг не ожидал, что ситуация повторится, но вскоре опять увидел странный излом на кривой сжатия. Тщательно определив давления, при которых произошли старый и новый «сбой», он обнаружил, что их значения отличались ничтожно – не более чем на одну пятидесятитысячную!

Его сердце сжалось. Он сообразил, что вероятность пластической деформации при том же самом давлении в экспериментах с разными начальными условиями исчезающе мала. Значит, повторяющийся излом указывал на хорошо воспроизводимое явление в ячейке охлаждения. Удостоверившись в повторяемости «сбоя», Дуг нашел Боба Ричардсона. Обсудив возможную природу явления, оба согласились, что изменение наклона кривой плавления можно было бы объяснить фазовым переходом в твердой фазе.

В тот же день была впервые замечена еще одна особенность – небольшая ступенька на кривой зависимости давления от времени, которая появлялась при более низкой температуре – порядка 2 мК и получила название В-перехода.

Открытие этих двух переходов совершенно изменило направленность диссертационных исследований Дуга, а через 25 лет – и всю его жизнь, дав основание утверждать [9; 30], что, видимо, он «родился с серебряной ложкой во рту» (эквивалент нашего «родился в рубашке»). Ведь эти небольшие излом и ступеньку на графике он запросто мог проигнорировать. Другими словами о том же будет сказано в официальном пресс-релизе о присуждении Нобелевской премии за 1996 г. по физике: «Это бдительный глаз Ошерова заметил небольшие дополнительные скачки на измеренной кривой. Легко было счесть такие маленькие отклонения более или менее необъяснимым влиянием аппаратуры, но этот аспирант и его старшие коллеги убедились, что эффект был реальностью» [40].

Как и когда делаются открытия в физике

Вскоре Дуг снова завладел лабораторным ЯМР-магнитом и начал серию новых экспериментов, которые продолжались три месяца и иногда шли не совсем гладко.

Ему требовалось изучить влияние магнитного поля на А- и В-переходы и проверить, не являлись ли они артефактами емкостного датчика давления. В ячейку охлаждения был встроен отдельный ЯМР-соленоид для изучения сигнала ^3He . Датчик давления заменен изготовленным из нержавеющей стали, металлический ЯМР-термометр — с медного на платиновый, позволяющий считывать температуры меньше 2 мК. В итоге, за две минуты до полуночи 18 февраля 1972 г. (в день рождения его жены!) Дуг получил ЯМР-линию ^3He . Но через два дня университет лишился электричества, как говорили, из-за белки, закоротившей высоковольтную линию электропередачи. Работа была блокирована, установку пришлось охладить заново.

Примечательно, что хотя емкостный датчик очевидным образом измерял давление в смеси жидкого и твердого гелия-3, в те дни ни Ошерову, ни его старшим коллегам и мысли не приходило трактовать новые переходы как фазовые превращения в жидком ^3He . Именно поэтому, когда они подготовили статью о полученных результатах, поступившую в редакцию «Physical Review Letters» в первых числах февраля, она была озаглавлена «Свидетельство существования новой фазы в твердом ^3He » [2]. Все данные в статье были правильными, но такое их объяснение оказалось неверным.

Когда в начале апреля статья вышла в свет, данная в ней интерпретация открытых явлений подверглась критике со стороны ряда специалистов, которые высказали доводы в пользу того, что переходы имеют место в жидкой фазе. Дуг почувствовал, что необходимо провести решающий тест их модели, и как можно скорее! Этим он и занялся, по-прежнему делая ставку на изучение магнитных свойств новых фаз, поскольку атомы гелия-3 имеют полуцелый спин и реагируют на магнитное поле.

Ночью 20 апреля 1972 г. в ранее полученных данных его внимание привлек небольшой ЯМР-сигнал жидкости между пиками твердой фазы. Происходящее с жидким ^3He при В-переходе поразило Ошерова подобно удару молнии: в то время как сигналы твердой фазы реагировали на В-переход изменением высоты пиков лишь на 1–2 %, сигнал жидкости в этой точке почти полностью исчезал! В 2.40 ночи в его лабораторном журнале появилась запись об обнаружении фазового перехода в жидком гелии-3.

Той ночью Дуг вообще не спал. Перепроверив полученные данные, он решил поделиться с кем-нибудь хорошими новостями. Но во всем здании никого не было. Хоть это и выглядело рискованным поступком для аспиранта, выждав часок, в 4.00 утра он позвонил Ли и Ричардсону. Оба согласились, что идентификация весьма надежна, а через два часа профессор Ли перезвонил сам, чтобы узнать дополнительные подробности. (В тот день Дэйв Ли поклялся, что впредь в подобные моменты всегда будет присутствовать в лаборатории [31].)

Пока еще они продолжали считать А-переход твердофазным. Поэтому на апрельском собрании Американского физического общества, где Дэйв с Бобом организовали Дугу приглашенный доклад, тот сообщил, что их группой обнаружены переходы как в твердом, так и в жидком ^3He . Вернувшись из Вашингтона, аспирант продолжал усердно изучать свойства системы жидкого и твердого гелия-3.

Наблюдаемые в ней эффекты экспериментаторам было трудно интерпретировать. Поэтому они попытались задействовать потенциал местных теоретиков, зазвав их на пиво и попкорн и надеясь получить взамен хоть какое-то объяснение происходящего. Те пришли, съели попкорн, выпили пиво, покачали головами и удалились, ничего не объяснив. Начиная ощущать возможную значимость своих экспериментов, Ошеров снял в реальном режиме времени фильм о них (бобины с пленкой и сегодня лежат у него дома в кладовке), а также сфотографировал сам себя рядом с криостатом. Эту теперь знаменитую автофотографию он воспроизвел в своей Нобелевской лекции, подчеркнув, что измученное выражение его лица было неподдельным [39].

Где-то в начале июня в ходе эксперимента Дуг, Дэйв и Боб увидели то, что трудно было предсказать. При охлаждении смеси ниже температуры А-перехода небольшая сателлитная ЯМР-линия, напоминавшая как формой, так и по площади сигнал всей жидкости, смещалась в область все более высоких частот по сравнению с частотой бóльшего пика твердой фазы. Затем, когда кривая сжатия указывала на В-переход, эта линия исчезала. Вывод был неизбежным: А-переход также происходит в жидкости!

Так что летом 1972 г. всем троим стало совершенно ясно, что необычные явления, наблюдавшиеся на протяжении шести месяцев, однозначно связаны с жидким гелием-3. Осознавая важность нового понимания открытых переходов, они постарались исправить неверную их интерпретацию, данную в [2]. Быстро была подготовлена новая статья, поступившая в начале июля в редакцию того же журнала [3]. Наученные горьким опытом и будучи пока не в состоянии объяснить обнаруженные сдвиги частот ЯМР, авторы сосредоточились только на представлении данных эксперимента и доказательстве обнаружения новых фаз именно жидкого ^3He . Утверждений о его переходе в сверхтекучее состояние не было.

В середине июля эксперименты прекратили. Ошеров начал лихорадочно оформлять диссертацию, а его подопечный и соавтор по [3] – аспирант Вилли Галли – модифицировать ячейку Померанчука, чтобы включить в нее измеритель вязкости жидкости в виде колеблющейся струны. Цель модификации была очевидной. Именно установив необычайное уменьшение вязкости жидкого гелия-4 при охлаждении до температуры ниже 2,17 К, выдающийся советский физик П. Л. Капица (1894–1984) обнаружил его сверхтекучесть, за открытие которой был удостоен Нобелевской премии.

Но первое подтверждение сверхтекучести новооткрытых фаз гелия-3 нашли не в лаборатории Д. Ли. Менее чем через год после публикации [3] группа ученых из Технического университета Хельсинки, в которую входил и Ю. Д. Ануфриев, используя охлаждение способом Померанчука, показала, что вязкость жидкого ^3He в новых фазах уменьшается более чем на три порядка [41]. Ее определение производили как раз по колебаниям струны из сверхпроводниковой проволоки, погруженной в жидкий гелий.

Вот так было установлено, что наряду с гелием-4 в природе существует второе вещество, остающееся сверхтекучим вплоть до абсолютного нуля, – гелий-3. Поэтому уже в конце 1973 г. открытие сверхтекучести в новых фазах ^3He считалось «крупнейшим событием в физике за последние годы» [42].

А научные руководители аспиранта – виновника этого события и его солауреаты по будущей Нобелевской премии констатировали, что именно Ошеров был первым, «кто обнаружил переходы и действительно знал, что они происходят в гелии-3» [43].

Им было сделано еще одно неожиданное открытие – установлено наличие третьей сверхтекучей фазы ^3He , которая проявляла себя только при наложении внешнего магнитного поля [44; 45]. На графике зависимости давления от времени в этом случае появлялись две близко расположенные точки, и наклон кривой сжатия менялся в каждой из них. Таким образом, А-переход в магнитном поле «расщепляется» на два перехода, причем разность температур для них пропорциональна величине приложенного магнитного поля.

Начало научной карьеры

Диссертацию на степень доктора философии по физике Дуг Ошеров успешно защитил в январе 1973 г. в Корнельском университете [44]. Но к тому времени он работал уже в другом месте и другой сфере – в промышленности.

Еще весной 1971 г., на предпоследнем году его аспирантуры, Д. Ли предложил Ошерову встретиться с рекрутером из Белловских лабораторий – знаменитого исследовательского центра одной из крупнейших американских телекоммуникационных компаний AT&T, который ежегодно весной и осенью приезжал в университетский кампус. Хотя диссертация еще вовсе не была готова, а в самих лабораториях действовал мораторий на набор персонала, Дуг побеседовал с визитером о возможном своем участии в разработке «крошечных переключателей, разъемов или чего-то там еще», миллионы которых будут использоваться в продукции компании «Bell System» [46]. Предложение не было им отвергнуто, хотя не было и уверенности, что именно этим он хотел бы заняться после университета.

Осенью профессор Ли порекомендовал подыскивать будущую работу более серьезно.

Ошеров побывал у представителя компании «General Electric», который сперва скрытничал, ссылаясь на отсутствие рабочих мест, а затем рассказал о ведущихся работах по сверхпроводникам, о наличии достаточного числа вакансий и даже оставил бланк заявления о приеме на работу. Но через неделю Дуг встретился с новым рекрутером из Белловских лабораторий. Оказалось, что тот недавно сам защитил диссертацию по физике в Корнельском университете. Он с энтузиазмом отнесся к тому, чем занимался Ошеров, и выразил уверенность, что тот мог бы получить постдокторскую должность и заняться спектроскопией комбинационного рассеяния. Дуг тактично промолчал, что ничего не знает об этом предмете [23; 24].

В начале декабря, сразу после открытия необычных фазовых переходов, как по мановению волшебной палочки, пришли хорошие новости: почти двухлетний мораторий на набор персонала в Белловских лабораториях отменен, и в январе 1972 г. Дуга приглашают на интервью с работодателем.

Собеседование началось с перспектив защиты им диссертации, причем разговор временами приобретал угрожающий провалом характер. Дугу повезло, что тогда еще не было сомнений в корректности приписывания А- и В-переходов

твердому гелию-3. Энтузиазм Ошеров и поддержка со стороны некоторых участников интервью обеспечили успех. Ему предложили не должность постдока по контракту, а зачисление в штат лабораторий.

Ошеровы переехали в штат Нью-Джерси в сентябре 1972 г. Дуглас стал членом инженерно-технического персонала Белловских лабораторий в городке Мюррей Хилл, а Филлис заняла должность постдока в Принстонском университете.

Те годы были золотой эрой Белловских лабораторий. Здесь был изобретен основной элемент микроэлектроники – транзистор, были опубликованы основополагающие работы по теории информации, созданы эффективные кремниевые солнечные элементы, открыто реликтовое излучение, разработаны первые версии операционной системы UNIX и языка программирования Си. Все это стимулировало администрацию всемерно поддерживать фундаментальные научные исследования. Единственное требование руководства, предъявлявшееся к выполняемой работе, – чтобы в ней присутствовала «хорошая физика». В том смысле, что работа хотя бы в перспективе должна существенным образом изменить наши представления об окружающем мире.

В Отделе исследования твердого тела и низких температур Ошеру выделили комнату и достаточное количество денег, чтобы заполнить ее любым оборудованием, которое могло понадобиться ему для продолжения изучения новых фаз гелия, и нанять высокопрофессионального техника из Корнельского университета. Дуг знал, что потребуется по меньшей мере год, чтобы создать работоспособную лабораторию. Поэтому некоторые приборы для нее он приобрел еще до своего приезда в Мюррей Хилл.

Тем не менее, на первых порах выделенное помещение было ему недоступно. Комнату занимал один из сотрудников Бернда Т. Маттиаса (1918–1980), не желавший выезжать, пока не будет готова его новая лаборатория. Авторитет Маттиаса, крупного специалиста в области сверхпроводимости, был столь велик, что даже после его отъезда в Сан-Диего, Ошеров ничего не мог поделать с упрямым сотрудником и был вынужден просто ждать [39].

А в это время, за поразительно короткий срок – чуть больше года, прошедшего после публикации [3], было предпринято значительное число попыток теоретического и экспериментального объяснения природы А- и В-переходов, и новые результаты по низкотемпературным свойствам ³He появлялись непрерывно [47]. Продолжали такие работы Д. Ли и Р. Ричардсон, их сотрудники и аспиранты. Но Дуг был приятно удивлен, что к моменту, когда его лаборатория начала функционировать, другими были выполнены лишь немногие из запланированных им исследований.

К июлю 1973 г. в лаборатории Ошеров установили работоспособный криостат растворения, и в сентябре он уже наблюдал А-переход в новой ячейке Померанчука. Экспериментами Дуга и сверхтекучим ³He заинтересовались два местных теоретика. Филлип У. Андерсон, в 1977 г. удостоенный Нобелевской премии, а через 30 лет признанный наиболее креативным физиком мира. И Уильям Ф. Бринкман, работавший здесь с 1966 г., в то время руководивший Отделом инфракрасной физики и электроники и ставший позже вице-президентом Белловских лабораторий по научной работе. Фил Андерсон при-

ходил в лабораторию Ошерова почти еженедельно: либо просто посмотреть, что там происходит, либо подбросить Дугу какую-нибудь «сумасшедшую» идею, которых у него было множество. У них с Андерсоном сложились по-настоящему творческие, а с Бринкманом — еще и теплые дружеские отношения.

Такое тесное взаимодействие экспериментатора и высококлассных теоретиков сделало, как считает Ошеров, проведенные в новой лаборатории годы наиболее продуктивным периодом в его научной карьере. Уже в январе 1974 г. в печать поступила выполненная здесь работа [48], соавтором которой стал Вилли Бринкман. За первые пять лет были измерены многие важные характеристики сверхтекучих фаз, что помогло идентифицировать соответствующие микроскопические состояния. Только в журнале «Physical Review Letters» был опубликован десяток работ Ошерова в соавторстве со старыми и новыми коллегами — Л. Корручини, Ф. Андерсоном, У. Бринкманом, М. Кроссом и др.

Теоретикам пришлось изрядно поработать, чтобы объяснить экспериментальные результаты. Было установлено, что природа новых сверхтекучих фаз невероятно сложна, но неожиданно хорошо описывается теорией сверхпроводимости Бардина–Купера–Шриффера, предложенной в 1957 г., и ее последующими расширениями. Из-за того, что переход гелия-3 в сверхтекучее состояние является следствием образования связанных пар фермионов — атомов ^3He , подобно куперовским парам электронов в сверхпроводниках, а не бозе-эйнштейновской конденсации атомов, как это имеет место в случае гелия-4.

Где-то в году 1977-м Ошеров столкнулся с попыткой администрации заставить его заняться изучением других физических систем [26].

Он был вызван в кабинет директора Лаборатории физических исследований Джозефа А. Бартона (1914–1986). Заметив, что за последние пять лет Дугу ничего другого не делал, кроме как изучал сверхтекучесть гелия-3, тот заинтересовался, не пора ли заняться чем-нибудь другим? Бартон порекомендовал Ошерову проанализировать «физический ландшафт» в поисках чего-нибудь более интересного для исследования. Дугу было неприятно слышать такое — ведь он продолжал считать ^3He самым интересным объектом для изучения в физике конденсированного состояния, какой только можно было вообразить, и новые эксперименты постоянно подтверждали это! Правда, он хорошо осознавал и то, что работает не в академической среде, а в промышленности. И финансовая поддержка его исследований напрямую зависит от тех, кто платит ему зарплату.

К тому времени в мире уже только немногие продолжали использовать охлаждение с помощью ячеек Померанчука. Доминирующей техникой становилось адиабатическое размагничивание ядер меди, позволявшее охлаждать жидкий гелий-3 при давлении плавления до температур ниже 0,3 мК и в течение многих недель поддерживать его при температуре 1 мК. Поэтому Дугу пришлось обстоятельно поразмыслить, чем бы новым заняться с учетом его опыта, темперамента и возможностей лаборатории.

Первое, что пришло в голову, — вернуться к тематике диссертации и попытаться глубже понять природу упорядочения ядерных спинов в твердом гелии-3. Второй задачей стала проверка опубликованной незадолго до того идеи о локализации электронов в неупорядоченных одномерных системах

при температурах ниже 1 мК. Оба этих проекта почти одновременно завершились успехом, который превзошел самые смелые ожидания Дуга.

Была обнаружена логарифмическая зависимость от температуры удельного электрического сопротивления в неупорядоченных двумерных проводниках [49], существование которой в результате так называемой слабой локализации предсказала знаменитая «банда четырех» – Фил Андерсон с соавторами. Дуг не стал продолжать эту работу, так как в лаборатории был только один криостат, на котором уже велось изучение ядерного спинового упорядочения в твердом гелии-3.

Его изучение привело к открытию явления ядерного антиферромагнитного резонанса в образцах твердого ^3He с упорядоченными ядерными спинами, которые Дуг научился выращивать в магнитоупорядоченном состоянии прямо из сверхтекучей фазы [50]. Хотя независимо и почти одновременно существование таких резонансов установили в Университете Флориды, только группа Ошерова – за счет использования криостата размагничивания вместо ячейки Померанчука – смогла исследовать не поликристаллические образцы, а единичные монокристаллы гелия-3, определить из ЯМР-спектров симметрию упорядоченного состояния и правильно угадать магнитную структуру подрешетки.

В 1981 г., вскоре после завершения этих работ, Дуглас Ошеров был назначен руководителем Отдела исследования твердого тела и низких температур и занимал эту должность до 1987 г. Он провел в Белловских лабораториях первые 15 лет своей научной карьеры и оценивает имевшиеся там условия для выполнения научно-исследовательских работ как непревзойденные, благодаря сочетанию внутрифирменной поддержки фундаментальных исследований с высоким профессионализмом научного и технического персонала.

Профессор физики с высокой репутацией

Первоначально Ошеров не планировал преподавать и стать профессором, хотя иногда и выступал с лекциями перед студентами.

Однако, начиная с 1973 г., ему почти ежегодно делались неофициальные предложения перейти на работу в тот или иной вуз. На первое такое предложение Дуглас ответил отказом, заявив, что по-настоящему счастлив работать в Белловских лабораториях и собирается остаться там. На это ему заметили, что это пока, благодаря сверхтекучему гелию-3, он на гребне волны. Но если ждать слишком долго, то можно оказаться выброшенным на берег и разбиться. «В таком случае, я точно не хочу переходить в университет, чтобы потом не разочаровать их», – парировал Дуг [46].

Но когда в 1977 г. в Лаборатории физических исследований засомневались в перспективности его работ, Ошеров чуть было не принял предложение Калифорнийского университета в Беркли. Однако тот год в личном плане стал серьезным испытанием как для него, так и для жены. В марте, вместо поездки в Беркли, Дугу пришлось хоронить младшего брата, который покончил с собой. Через три месяца умер его отец. Филлис постоянно находилась у постели своей матери, которая умирала от рака. Так что в то время идея что-либо серьезно поменять в их жизни воспринималась Дугласом как сумасшествие.

Настойчивые предложения из Беркли продолжали поступать, но не находили у него положительного отклика.

Ситуацию преломила жена Дуга, которая давно распознала в муже таланты педагога, ждущего своего появления на свет, и убеждала его уйти в университет. К тому же, проработав 15 лет биохимиком в фармацевтической промышленности Нью-Джерси, она не была довольна своей работой. Супруги договорились, что Фил станет подавать заявления о приеме на работу в других местах. Когда ей пришли приглашения из двух биотехнологических компаний в Калифорнии, муж порекомендовал принять предложение «Genentech», бывшей второй в мире по величине компанией такого профиля. Дуг считал, что от подобного предложения не отказываются. Сам же начал переговоры с Калифорнийским и Стэнфордским университетами. В итоге он получил приглашения от обоих вузов, но выбрал Стэнфорд, небольшой физический факультет которого искал специалиста именно по физике низких температур. Оттуда и Филлис было легко добираться до новой работы.

В 1987 г. они переехали в Стэнфорд, где Ошеров получил должность профессора физики, которую занимает и сегодня. Ему понравились царящая на факультете атмосфера и все стороны университетской жизни, за исключением двух. Необходимости постоянно подавать заявки на финансовую поддержку своих исследований. И невозможности уделять экспериментам столько же времени, как в Белловских лабораториях, где он лично получал до 95 % всех экспериментальных данных.

Второй недостаток компенсировала возможность руководить научной работой толковых аспирантов и преподавать физику подающим надежды студентам, хотя на первых порах не все из них по достоинству оценили его старания. Как рассказал Дуг в своей «нобелевской» автобиографии, в 1988 г. один из студентов, давая оценку первому из прочитанных им курсов лекций, написал: «Ошеров является типичным примером тех болванов из промышленности, которых Стэнфордский университет принимает на работу из-за их компетентности в какой-то случайной сфере деятельности» [23].

Конечно, это было мнение единиц. На самом деле, как позже подчеркивал один из деканов факультета [51], Дуглас всегда уделяет своим студентам чрезвычайно много времени и дает им на своих занятиях большой объем сверхпрограммного материала. Кроме обязательных разделов физики для студентов разных курсов, на протяжении 4–5 лет он читал курс по технике физических измерений и измерительной аппаратуре. А затем разработал и ведет ежегодный семинарский курс «Физика фотографии».

Профессор Ошеров не считает, что у него есть какая-то особая философия или секреты обучения. Дуг любит молодежь и относится к студентам как к своим детям (у них с Филлис их нет) [27]. Ему по-настоящему нравится преподавать. Он ощущает необходимость поддерживать у студентов (по крайней мере, у лучших) постоянный интерес к предмету и считает, что преподаватель должен играть как бы роль военачальника, увлекающего за собой в атаку солдат. Ведь если профессор не в состоянии передать студентам собственные восхищение и увлеченность предметом, который преподает, они сами по себе у них не появятся. Поэтому-то одна из традиций Стэнфордского

университета – чтение лекций для первокурсников лауреатами Нобелевской премии. Уж они-то умеют увлечь молодежь!

Благодаря проявленным высоким качествам педагога и организатора, в 1993–1996 гг. и в 2001–2004 гг. Ошеров избирался деканом физического факультета, а в 1997–1999 гг. занимал должность директора бакалавриата. Уже в 1991 г. он был отмечен высшей наградой университета в области высшего образования – премией Уолтера Дж. Горса за отличное качество преподавания. За выдающийся вклад в физику и ознакомление с ее достижениями преподавателей физики Дуглас удостоен мемориальной премии Рихтмайера за 1998 г., присуждаемой Американской ассоциацией преподавателей физики. А в 2002 г. стал одним из первых восьми обладателей грантов, учрежденных анонимными донорами для поощрения преподавателей, которые вносят настоящему выдающийся вклад в развитие системы высшего образования в Стэнфордском университете.

В Стэнфорде профессор Ошеров со своими студентами и аспирантами продолжил исследование свойств сверхтекучего и твердого гелия-3. В частности, ими изучены процесс зарождения сверхтекучей фазы $^3\text{He-B}$ в более высокотемпературной фазе $^3\text{He-A}$ и различные свойства твердого ^3He , магнитоупорядоченного в двух и трех измерениях. Была реализована обширная программа исследования свойств аморфных твердых тел при сверхнизких температурах, и показано, что взаимодействие между активными дефектами в таких системах приводит к «провалу» в плотности состояний, аналогично тому, что имеет место для спиновых стекол. Но в аморфных материалах, в отличие от стекол, оказалось возможным измерить размер связанных кластеров таких дефектов.

Сегодня их исследования также сосредоточены на изучении свойств квантовых жидкостей, твердых тел и стекловидных материалов при сверхнизких температурах.

«В тот самый момент я понял, что моя жизнь изменилась»

С самого начала профессиональной карьеры научные достижения Д. Ошера высоко оценивались научным сообществом.

В 1976 г. за выдающийся вклад в физику конденсированного состояния Д. Ошеров совместно Д. Ли и Р. Ричардсоном был отмечен мемориальной премией сэра Фрэнсиса Саймона, присуждаемой Институтом физики (Великобритания), а в 1981 г. – премией Оливера Э. Бакли Американского физического общества.

В 1981 г. Дуг стал одним из первых двадцати (и первым среди физиков) стипендиатов Фонда Джона и Кэтрин Макартуров, получив 184 тыс. долларов США, не облагавшихся налогами, на поддержку своих исследований. В 1995 г. он удостоен почетного звания «Выдающийся выпускник», присуждаемого советом попечителей Калифорнийского технологического института за заслуживающие внимания достижения и успешную карьеру его выпускников.

В 1982 г. избран членом Американской академии искусств и наук, в 1987 г. – членом Национальной академии наук США, в 2000 г. – иностранным членом Корейской академии науки и технологии, в 2006 г. – заслуженным почетным

членом Института физики Сингапура. Кроме того, является членом Американского физического общества, Американской ассоциации содействия развитию науки, а с 2002 г. – почетным сенатором Гейдельбергского университета (ФРГ). Д. Ошеров удостоен званий почетного доктора наук Университета штата Огайо (2006), Технического университета Хельсинки (Финляндия, 2008) и Университета МакГилл (Канада, 2010), почетного профессора Фуданского и Чжэцзянского университетов (КНР).

Через год после присуждения ему мемориальной премии Саймона за выдающиеся работы в области экспериментальной и теоретической физики низких температур, кто-то сказал Дугласу, что номинировал его на Нобелевскую премию. В последующие годы многие ученые сообщали ему о том же, хотя по правилам Нобелевского комитета не должны были делиться такой информацией. Поэтому на протяжении почти 20 лет с наступлением очередного октября на него накатывало беспокойство. Ведь события могли развиваться только по двум сценариям – либо его жизнь вдруг перевернется с ног на голову, превратившись в восхитительный хаос, либо в очередной раз он будет «слегка» разочарован [9].

Оснований для последнего с каждым годом становилось все больше, так как количество изучавших сверхтекучесть сокращалось, и сама она не казалась таким уж важным объектом исследований, хотя обсуждались проекты использования сверхтекучего гелия-3, например, для создания высокочувствительных гироскопов. Тому же Р. Ричардсону в 1996 г. было «забавно осознавать» [34], что многие современные физики, работающие в области низких температур, запросто воспроизводят данные со знаменитой кривой «давление плавления – время» из [2] как стандартную температурную калибровку измерительной аппаратуры. Как тут не вспомнить про кажущуюся легкость великих открытий, подмеченную Г. Лихтенбергом!

Конец неопределенности положил телефонный звонок, прозвучавший среди ночи в доме Ошеровых 9 октября 1996 г. [51]. На вопрос, не Дуглас ли Ошеров у телефона, последовал ответ: «Да. Но сейчас же 2.30 утра!» Абонент извинился, объяснив, что у него очень важное сообщение. Первая мысль Дуга была о больной матери, но когда выяснилось, что звонок из Стокгольма, все стало ясно... Генеральный секретарь Шведской Королевской академии наук сообщил, что Д. Ли, Д. Ошерову и Р. Ричардсону присуждена Нобелевская премия по физике «за их открытие сверхтекучести в гелии-3» [40]. Все, что ошеломленный Дуг смог произнести в ответ, – это повторять: «О, Боже мой». В тот самый момент, стоя в пижаме у телефона, он понял, что его жизнь перевернулась, и управлять дальнейшим развитием событий будет уже не в его силах [27].

Вначале он попытался вновь заснуть, поскольку утром предстоял семинар по физике фотографии, но сон не шел... Когда-то он поклялся, что если в день, когда по расписанию у него будут занятия, он узнает о присуждении ему Нобелевской премии, то все равно проведет их. И сдержал это обещание. Правда, в этот раз рассказывал не о линзах фотообъектива, а о том, как была открыта сверхтекучесть ^3He . Думается, студентам было интересно узнать и то, что в решении о присуждении Нобелевской премии за это открытие упоминались

только две статьи [2; 3], излагавшие результаты исследований 26-летнего аспиранта Ошерова [40].

Новость из Швеции сразу сделала Дугласа центром внимания, на него обрушилась лавина звонков от журналистов со всего мира. Поэтому на утренней пресс-конференции на вопрос, каково это быть Нобелевским лауреатом, он пошутил: «Вы лишены сна и все время отвечаете на вопросы!» [51]. В тот же день несколько сотен коллег лауреата собрались на импровизированную встречу с ним, где много хороших слов в адрес Ошерова было сказано деканом физфака, президентом университета и его проректором Кондолизой Райс, будущим Государственным секретарем США.

Через неделю вместе с другими новоиспеченными лауреатами Дуг приехал в Вашингтон для участия в пресс-конференции, организованной Национальным научным фондом. Его руководству было приятно осознавать, что пять из шести лауреатов Нобелевских премий в области физики и химии в том году были американцами, и что исследования каждого из них поддерживались грантами фонда. Ученые рассказали журналистам, как финансирование фундаментальных исследований из федерального бюджета позволило им сделать свои открытия и насколько решающее значение имеет бюджетная поддержка правительством этого типа исследований для получения новых научных знаний. Тот же круг вопросов обсуждался затем на встрече лауреатов с вице-президентом США Альбертом Гором.

Позже Дуглас признавал [27], что в Белом доме его выступление длилось дольше положенного, и он часто перебивал других участников встречи, желая разъяснить главное: невозможно в принципе финансировать фундаментальные исследования, направленные только на удовлетворение конкретных потребностей общества, таких как, скажем, экологически чистая энергия. Ведь на самом деле будут выполняться научно-исследовательские работы в области физики полупроводников, материаловедения, физики поверхности, «мокрой» химии и т. д. Может быть, в ходе их кому-то повезет сделать прорыв в области, напрямую связанной с использованием солнечной энергии. Но столь же вероятно, что эти работы приведут к крупным достижениям совсем в иных сферах. Поэтому, по убеждению Нобелевского лауреата, выделяя деньги на фундаментальные исследования, нельзя требовать их расходования исключительно на решение конкретных практических проблем. Ибо если ученому не будет позволено в ходе работы следовать своей научной интуиции, множество уникальных возможностей будет упущено.

Через два месяца, 10 декабря 1996 г., в Стокгольме Дуглас Д. Ошеров и его старшие коллеги получили из рук короля Швеции Карла XVI Густава дипломы и золотые медали с изображением Альфреда Нобеля, а на следующий день – денежный эквивалент Нобелевской премии который составлял в том году 1,12 млн долларов США и был разделен между ними поровну. (Дуг уверяет, что эти деньги – лишь малое возмущение на фоне того, насколько серьезно Нобелевская премия меняет жизнь лауреата [29].)

Получив самую престижную в мире научную награду, Д. Ошеров осознал, что она не только возвысила его авторитет как ученого и открыла новые перспективы в научной и педагогической деятельности. Он стал публичной

фигурой, что ко многому обязывает. Ибо, раз уж ты удостоился Нобелевской премии, к тебе неизбежно, часто и по разным поводам будут обращаться люди, организации, государственные органы. Конечно, проще всего ответить, что их просьбы тебя не интересуют, и позволить жизни течь своим чередом, по старому руслу. Но Дуглас думает иначе.

Поработав в правительственных и общественных комиссиях, где его мнение было услышано и востребовано, являясь сегодня членом консультативного совета организации «Ученые и инженеры для Америки», ориентированной на продвижение интересов науки в правительстве США, на поддержку политиков, конгрессменов, сенаторов и кандидатов в президенты страны, понимающих значение и роль науки в современном мире, Дуглас уверен: обществу небезразлично и всегда важно знать мнение Нобелевского лауреата по самым различным поводам. Поэтому он может и должен быть глашатаем того, в чем твердо убежден или чем серьезно обеспокоен [27].

В этом плане наиболее ответственным стало назначение Д. Ошерова в 2003 г. членом комиссии по расследованию катастрофы шаттла «Колумбия», в результате которой погибли семь астронавтов. Дуглас был горд тем, что его знания опытного физика-экспериментатора сочли необходимыми и они оказались полезными для установления причин того, почему при старте космического корабля от наружного топливного бака отвалилась теплоизоляционная пена. Потратив сотню долларов на материалы и часов десять на серию несложных экспериментов, он показал, что кусок пены, наклеенный на медную пластину с отверстием, ведет себя под давлением газов совсем не так, как вытекало из технической документации НАСА.

Полученный таким простым способом вывод настолько впечатлил комиссию, что был даже составлен фальсифицированный пресс-релиз, гласящий, что декан физфака Д. Ошеров выполнил эти эксперименты прямо на кухне студенческого кафетерия. Для пушей убедительности текст сопровождала фотография Нобелевского лауреата в поварском колпаке с кухонным ножом-тесаком в руке среди дымящихся кастрюль [52]. Хотя эта история выглядит забавной, расследование аварии на «Колумбии» велось сверхсерьезно, а итоговый отчет в 6 томах, подписанный всеми 13 членами комиссии, подтвердил — беда началась с теплоизоляции.

«Кухонные» эксперименты Ошерова, а также публично высказанные им сомнения в оправданности затрат на ряд проектов НАСА получили широкий резонанс. Они также напомнили Америке, как другой потомок уроженца белорусской земли — Ричард Фейнман, участвуя в 1986 г. в работе комиссии по расследованию аналогичной катастрофы, простым погружением перед телекамерами куска синтетической резины в стакан с ледяной водой наглядно доказал, почему разгерметизировались уплотнительные кольца на шаттле «Челленджер» [28].

Все это добавило Ошерову популярности среди сограждан. И если раньше при первой встрече с кем-то он слышал: «Мне приятно с Вами...», то теперь чаще всего раздается: «Для меня большая честь...» Сам Дуглас считает, что он остался таким же, как и до присуждения Нобелевской премии, и желал бы, чтобы именно так его и воспринимали [20].

Глядите в оба и ощущайте себя исследователем!

Но одним из преимуществ статуса Нобелевского лауреата — большими возможностями для пробуждения у молодежи интереса к науке и желания сделать карьеру исследователя — профессор Ошеров пользуется сполна.

Если раньше общая протяженность маршрутов его поездок для выступлений перед студенческой, преподавательской и научной аудиторией составляла, по оценкам Дуга, порядка 48 000 км в год, то после присуждения Нобелевской премии она возросла пятикратно! С лекциями о сверхтекучести гелия-3, о магнитно-резонансной томографии, о жизни и вкладе в науку Р. Фейнмана, о расследовании катастрофы шаттла «Колумбия», о природе физических открытий и о том, как добиться успеха в науке, он выступал в переполненных аудиториях университетов и научных центров американских штатов Калифорния, Луизиана, Огайо, Сакраменто и Техас, Австралии, Германии, Гонконга, Индии, Индонезии, Канады, Китая, Колумбии, Сингапура, Тайваня, Финляндии и других стран. Высокий интерес к его выступлениям не случаен.

Скажем, лекцию «Как достигается успех в науке» Дуг обычно начинает с заявления, что по самой их сути открытия, в наибольшей степени меняющие наши представления о природе, нельзя предвидеть [53]. Ведь чем сильнее что-то отличается от известного нам, тем сложнее предсказать его существование. Как же тогда делают такие открытия, и существуют ли стратегии научного поиска, которые могут повысить вероятность совершить их? У Ошера, за свою карьеру сделавшего четыре фундаментальных открытия в физике (все они описаны выше и в [26]), есть ответы на эти вопросы, волнующие всех начинающих исследователей.

Дуглас убежден, что открытия редко делаются одиночками, и большинство из них совершаются в ходе поиска информации, не связанной с самим открытым явлением. Это не означает, что научные достижения — результат только счастливого случая. Скорее, это итог продвижения вперед научного сообщества, постановки разнообразных вопросов, разработки новых технологий для ответа на них, обмена полученными результатами и идеями со специалистами. Чтобы достичь такого прогресса, необходимо широко поддерживать научные исследования, поощрять ученых взаимодействовать друг с другом и уделять часть их времени удовлетворению собственного любопытства [53]. Ведь поиск, движимый любопытством, обязательно заведет в область, где еще не все понято.

Ясно, что каждый первооткрыватель выбирает свою стратегию поиска, которая приводит его в нужное место в нужное время. Проанализировав историю крупных достижений в области физики, химии и физиологии, с учетом своего пути к открытию, удостоенному Нобелевской премии, которое он сделал будучи еще аспирантом (такое встречается не часто), Д. Ошеров подытожил стратегии успешного научного поиска в виде следующих пяти рекомендаций.

Используйте новые технологии, взгляните на природу с новой точки зрения. Не сдавайтесь, когда дела идут плохо: неудача может побудить испробовать новый подход. Уделите немного времени занятиям чем-то иным; иссле-

дования, подталкиваемые любознательностью, могут вознаградить вас. Избегайте слишком многих обязательств: требование проведения хорошего исследования не вклеить в график работ. Наконец, посмотрев со стороны на то, что вы делаете, иногда можно получить лучшее представление о поставленной задаче; мы становимся близорукими, если уж слишком глубоко сосредоточимся на нашей работе [53].

Еще более лаконичный совет прозвучал в его лекции «Ключ к открытию» в Университете Райса (Хьюстон, штат Техас), лидере среди исследовательских университетов США по внедрению патентов в промышленность: «Глядите в оба и ощущайте себя исследователем. Ведь вы ищете новую сущность» [54].

Неиссякаемое стремление Нобелевского лауреата всемерно содействовать подготовке и воспитанию молодой научной смены недавно получило неожиданное развитие и авторитетную поддержку.

Компания «Oxford Instruments Superconductivity», мировой лидер в разработке оборудования для научных исследований в области нанотехнологий, твердого тела и физики конденсированных сред, выступила спонсором научной премии Ли–Ошерова–Ричардсона, которая присуждается ежегодно с 2005 г. Цель премии – поддержка развития карьеры молодых ученых любой национальности с докторской степенью, выполняющих исследования с использованием низких температур и (или) сильных магнитных полей в университетах и научных центрах Северной Америки. Кроме сертификата, памятного знака и денежного приза в 8 тыс. долларов США, вручаемых молодому исследователю Нобелевскими лауреатами, он получает также возможность представить результаты своей работы на любой профильной научной конференции, причем – по собственному ее выбору.

* * *

Рассказ о наиболее значимых событиях жизни и деятельности юбиляра, достигшего феноменального успеха в области физики сверхнизких температур, уместно завершить высказыванием Ошерова, которое студенты, аспиранты и молодые исследователи не раз слышали из уст своего научного наставника: «Природа похожа на женщину: если вы зададите ей вопрос, она даст вам очень неясный ответ, поэтому вы вынуждены будете задать ей еще несколько вопросов и в конечном итоге, на основе возможных интерпретаций полученных ответов, попытаться сделать вывод. В этом суть физики, и мне нравится это в ней больше всего» [30].

Нет сомнений в том, что слова о его самозабвенной увлеченности физикой, высокой профессиональной эрудиции, выдающихся научных достижениях, неустанном исследовательском и преподавательском труде неоднократно будут звучать в выступлениях известных ученых, коллег и учеников на специальном симпозиуме «От сверхтекучего ³He к стеклам: моментальные снимки состояния вещества при низких температурах», посвященном чествованию научной и педагогической деятельности профессора Дугласа Д. Ошерова и празднованию его 65-летия, который состоится в Стэнфорде 24 октября 2010 г.

Литература

1. К а с ц ю к о в и ч М. М. Ошэраф Дуглас Дзін // Беларус. энцыкл.: У 18 т. Мінск, 2000. Т. 11. С. 459.
2. O s h e r o f f D. D., R i c h a r d s o n R. C., L e e D. M. Evidence for a New Phase of Solid He³ // Phys. Rev. Lett. 1972. Vol. 28, N 14. P. 885—888.
3. O s h e r o f f D. D., G u l l y W. J., R i c h a r d s o n R. C., L e e D. M. New Magnetic Phenomena in Liquid He³ below 3 mK // Phys. Rev. Lett. 1972. Vol. 29, N 14. P. 920—923.
4. B u c h a n a n M. Physics award acclaims superfluid helium // Nature. 1996. Vol. 383, N 6601. P. 562.
5. The Physics Review: The First Hundred Years: A Selection of Seminal Papers and Commentaries / Ed. by H. Stroke. N. Y., 1995. — 1266 p.
6. Letters from the Past — A PRL Retrospective // Physical Review Letters 50th Anniversary [Electronic resource]. — The American Physical Society, 2010. — Mode of access: <http://prl.aps.org/50years/milestones>. — Date of access: 01.09.2010.
7. O s h e r o f f D. D. Личная переписка с автором (16 января 2000 г.).
8. Мартыновка II-я // Еврейская энцикл. Спб., 1911. Т. X. С. 671.
9. Douglas D. Osheroff // Hargittai I., Hargittai M. Candid Science VI: More Conversation with Famous Scientists. London, 2006. P. 711—731.
10. In Memoriam: Osheroff, Samuel A. // Calif. Med. 1959. Vol. 90, N 2. P. 179.
11. O s h e r o f f S. A. Deficient Menstruation // Nebr. State Med. J. 1935. Vol. 20, N 5. P. 292—296.
12. O s h e r o f f S. A. Transposition of Ovary into Uterine Cornu: Preliminary Report // Nebr. State Med. J. 1936. Vol. 21, N 9. P. 341—343.
13. O s h e r o f f S. A. Lithopedion // Am. J. Obst. & Gynec. 1936. Vol. 32, N 6. P. 1064—1067.
14. Osheroff, Hyman R. // Official Army Register. Washington, 1946. Vol. I. P. 523.
15. C a p t a i n T. H. M a s o n, C a p t a i n G. M. S w a i n, C o l o n e l H. R. O s h e r o f f. Bilateral Carotid-Cavernous Fistula // J. Neurosurg. 1954. Vol. 11, N 3. P. 323—326.
16. O s h e r o f f H. R., D e v l i n T. C. Fatigue fracture of the shaft of the femur; report of a case // Clin. Orthop. 1954. N 3. P. 177—178.
17. O s h e r o f f H. R. Teaching aids for instruction in radiologic study of the gastrointestinal tract // South. Med. J. 1956. Vol. 49, N 2. P. 135—137.
18. William and Bess Osheroff Memorial Scholarship // Scholarship Biographies [Electronic resource]. — Grays Harbor Community Foundation, 2009. — Mode of access: http://www.gh-cf.org/list_of_scholarships.htm. — Date of access: 01.09.2010.
19. M o r g u l i s S., O s h e r o f f W. Mineral Composition of the Muscles of Rabbits on a Diet Producing Muscle Dystrophy // J. Biol. Chem. 1938. Vol. 124, N 3. P. 767—773.
20. B u k i l i c M. Interview with Professor Osheroff // The 2009 Marshall—Warren Lecture [Electronic resource]. — University of Western Australia, 2009. — Mode of access: http://www.ias.uwa.edu.au/lectures/past/2009_lectures/douglas-osheroff. — Date of access: 01.09.2010.
21. O s h e r o f f W. Mineral metabolism of rabbits on dystrophy producing diets and the electrolyte composition of their muscles. Thesis (M. A.). University of Nebraska, 1938. — 90 p.
22. O s h e r o f f W. Myopathies. Thesis (M. D.). University of Nebraska Medical Center, 1938.
23. Douglas D. Osheroff // Nobel Lectures in Physics (1996—2000) / Ed. by G. Eksping. Singapore, 2002. P. 53—83.
24. Douglas D. Osheroff: Winner of the 1996 Nobel Prize in Physics // The Road to Scientific Success: Inspiring Life Stories of Prominent Researchers / Ed. by D. D. L. Chung. Singapore, 2006. Vol. 1. P. 129—141.
25. O s h e r o f f D. D. Puttering Around in the Basement on the Road to Stockholm // Keynote Address for the 1997 California State Science Fair. May 19, 1997 [Electronic resource]. — The California State Science Fair, 1997. — Mode of access: <http://www.usc.edu/CSSF/History/1997/Keynote.html>. — Date of access: 01.09.2010.
26. O s h e r o f f D. D. The Nature of Discovery in Physics // Amer. J. Phys. 2001. Vol. 69, N 1. P. 26—37.
27. The Guy Who Came in from the Cold // Caltech News. 1997. Vol. 31, N 2.
28. К о с т ю к о в и ч Н. Н. Нобелевский лауреат Ричард Фейнман: американский гений с белорусской родословной // Вестник Фонда фундаментальных исследований. 2002. № 3. С. 5—31.
29. O s h e r o f f D. D. Личная переписка с автором (3 сентября 2010 г.).

30. Errais E. Up Close and Personal with Douglas D. Osheroff — Nobel Prize Winner // Student Notes — SAC Newsletter. 2004. Vol. II, N 2.
31. Ли Д. М. Необычные фазы жидкого ^3He // УФН. 1997. Т. 167, № 12. С. 1307—1326.
32. David M. Lee // Nobel Lectures in Physics (1996—2000) / Ed. by G. Ekspong. Singapore, 2002. P. 7—10.
33. Robert C. Richardson // Nobel Lectures in Physics (1996—2000) / Ed. by G. Ekspong. Singapore, 2002. P. 85—90.
34. Ричардсон Р. К. Эффект Померанчука // УФН. 1997. Т. 167, № 12. С. 1340—1347.
35. Collan H. Yuri Dmitrievich Anufriev in memoriam // Arkhimedes. 2001. N 5. P. 14—15.
36. Ануфриев Ю. Д. Использование эффекта Померанчука для получения сверхнизких температур // Письма в ЖЭТФ. 1965. Т. 1, вып. 6. С. 1—7.
37. Sites J. R., Osheroff D. D., Richardson R. C., Lee D. M. Nuclear Magnetic Susceptibility of Solid He^3 Cooled by Compression from the Liquid Phase // Phys. Rev. Lett. 1969. Vol. 23, N 15. P. 836—838.
38. Corruccini L. R., Osheroff D. D., Lee D. M., Richardson R. C. Spin-wave phenomena in liquid ^3He systems // J. Low Temp. Phys. 1972. Vol. 8, N 3/4. P. 229—254.
39. Ошероф Д. Д. Сверхтекучесть в ^3He : открытие и понимание // УФН. 1997. Т. 167, № 12. С. 1327—1339.
40. Press Release: The Nobel Prize in Physics 1996. The Royal Swedish Academy of Sciences, 9 October 1996.
41. Alvesalo T. A., Anufriyev Yu. D., Collan H. K. et al. Evidence for Superfluidity in the Newly Found Phases of ^3He // Phys. Rev. Lett. 1973. Vol. 30, N 20. P. 962—965.
42. Халатников И. М. Фазовые переходы в He^3 // УФН. 1973. Т. 113, вып. 4. С. 713.
43. Ричардсон Р. К., Ли Д. М. Низкотемпературные фазы жидкого гелия-3 // Сверхтекучесть гелия-3. М., 1977. С. 26—38.
44. Osheroff D. D. Compressional Cooling and Ultralow Temperature Properties of He^3 . Thesis (Ph. D.). Cornell University, 1973. — 146 p.
45. Gully W. J., Osheroff D. D., Lawson D. T. et al. Effects of Magnetic Field on the «A» Transition in Liquid ^3He // Phys. Rev. A. 1973. Vol. 8, N 3. P. 1633—1637.
46. Douglas Osheroff — Nobel Prize Winner in Physics // Nobodies to Somebodies: How 100 Great Careers Got Started [Electronic resource]. — 2005. — Mode of access: http://www.nobodiestosomebodies.com/interviews.php?id=douglas_osheroff. — Date of access: 01.09.2010.
47. Уитли Дж. К. Экспериментальные свойства необычных фаз жидкого гелия-3 при температурах порядка милликельвина // Сверхтекучесть гелия-3. М., 1977. С. 58—92.
48. Ошероф Д. Д., Бринкман В. Ф. Продольный резонанс и доменные эффекты в фазах А и В жидкого гелия-3 // Сверхтекучесть гелия-3. М., 1977. С. 50—57.
49. Dolan G. J., Osheroff D. D. Nonmetallic Conduction in Thin Metal Films at Low Temperatures // Phys. Rev. Lett. 1979. Vol. 43, N 10. P. 721—724.
50. Кросс М., Ошерофф Д. Новые магнитные свойства гелия-3 // Физика за рубежом 1988: Серия А. М., 1988. С. 32—51.
51. Middle-of-night call signals new Nobel // News Release 10/16/96 [Electronic resource]. — Stanford University, 1996. — Mode of access: <http://news.stanford.edu/pr/96/961021osheroff.html>. — Date of access: 26.08.2010.
52. Osheroff D. The Columbia Accident Investigation: Following in Feynman's Footsteps // Stanford University Physics Department Newsletter. February 2004. P. 4—5.
53. Osheroff D. How Advancements in Science are Made // AIP Conf. Proc. 2010. Vol. 1246, N 1. P. 3.
54. Almond B. J. 'Think of yourself as an explorer,' advises laureate // [Electronic resource]. — Rice University, 2002. — Mode of access: <http://www.media.rice.edu/media/NewsBot.asp?MODE=VIEW&ID=2406&SnID=2>. — Date of access: 01.09.2010.

ВЕСТНИК ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, № 3, 2010

на русском и белорусском языках

Редактор Т. П. Петрович

Компьютерная верстка О. Л. Смольская

Подписано в печать 22.09.2010. Выход в свет 28.09.2010. Формат 70 × 100¹/₁₆. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 13,2. Уч.-изд. л. 10,8. Тираж 161 экз. Заказ 412.

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

Издатель и полиграфическое исполнение:

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