

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

Издается с III квартала 1997 г.



№ 1 [67], 2014

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

**Учредители:**  
Национальная академия  
наук Беларуси  
Белорусский  
республиканский  
фонд  
фундаментальных  
исследований

220072, г. Минск,  
пр. Независимости, 66;  
тел. 284-07-42,  
284-25-08

**Издатель:**  
РУП «Издательский дом  
«Беларуская навука»

**ВЕСТНИК  
ФОНДА  
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

*Главный редактор*  
В. А. Орлович

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

*Ответственный секретарь*  
Н. Н. Костюкович

*Члены редколлегии:*

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

Минск, 2014

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

### ДЕНЬ БЕЛОРУССКОЙ НАУКИ И 85-ЛЕТИЕ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

Поздравление Президента Республики Беларусь с Днем белорусской науки и 85-летием Национальной академии наук Беларуси . . . . .	5
Поздравление Председателя Совета Республики Национального собрания Республики Беларусь и Председателя Палаты представителей Национального собрания Республики Беларусь с Днем белорусской науки и 85-летием Национальной академии наук Беларуси	6
<b>Мясникович М. В.</b> Наука и инновации – приоритет экономической политики (выступление Премьер-министра Республики Беларусь на торжественном собрании научной общественности, посвященном 85-летию со дня основания Национальной академии наук Беларуси и Дню белорусской науки, 24 января 2014 г.) . . . . .	8
Выступление Председателя Президиума НАН Беларуси В. Г. Гусакова на торжественном собрании научной общественности, посвященном 85-летию со дня основания Национальной академии наук Беларуси и Дню белорусской науки, 24 января 2014 г. . . . .	12

### ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ АКАДЕМИЙ НАУК

Постановление от 3 декабря 2013 г. № 236 «Об основных итогах деятельности МААН в 1993–2013 гг.» . . . . .	18
Постановление от 3 декабря 2013 г. № 237 «О Научном совете по проблемам функциональных материалов электронной техники» . . . . .	23
Постановление от 3 декабря 2013 г. № 238 «О Совете ботанических садов стран СНГ при МААН» . . . . .	28
Постановление от 3 декабря 2013 г. № 239 «О создании Научного совета по проблемам биомедицины и биотехнологий при МААН» . . . . .	35
<b>Витязь П. А., Щербин В. К.</b> Вклад белорусских ученых в создание и развитие Международной ассоциации академий наук . . . . .	36

### МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ

Дополнительное соглашение № 2 к Соглашению о сотрудничестве между Российским фондом фундаментальных исследований и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований . . . . .	52
--	----

### ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ФОНДА

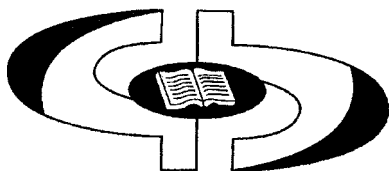
Дополнительное соглашение к условиям проведения совместного тематического конкурса фундаментальных и прикладных исследований по проблемам Брестской области «БРФФИ–Брест-2013» . . . . .	56
--	----

### НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

<b>Нестерович А. Н.</b> Роль метилирования ДНК в функционировании головного мозга . . . . .	57
<b>Пивень Н. В., Бураковский А. И., Карпенко Т. А., Тишкевич М. Н., Ястребова А. А.</b> Иммуноферментный анализ эпидермального фактора роста при онкопатологии. . . . .	71
<b>Цыганов А. Р., Томсон А. Э., Лю Вэй Донг, Чжан Цзею, Ракович В. А., Стригуцкий В. П., Соколова Т. В., Пехтерева В. С.</b> Особенности формирования торфяных месторождений в условиях умеренно-континентального и тропического климата. . . . .	78
<b>Стрекаль Н. Д.</b> Зависящая от размеров сила осцилятора нижайшего электронного перехода в CdSe/ZnS наночастицах . . . . .	87
<b>Гусакова С. В., Николаева А. А., Прокошин В. И., Шепелевич В. Г., Ярмолович В. А.</b> Микроструктура и механические свойства быстрозатвердевших фольг сплавов системы $(\text{Bi}_{91}\text{-Sb}_9)_{100-x}\text{Sn}_x$ ( $x \leq 2,4$ ) . . . . .	97

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

Issued since the 3<sup>rd</sup> quarter of 1997



N 1 [67], 2014

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

**The founder:**  
The National Academy  
of Sciences  
of Belarus  
The Belarusian  
Republican  
Foundation  
for Fundamental  
Research

220072, Minsk,  
Independence Av., 66;  
ph. 284-07-42,  
284-25-08

**The publisher:**  
RUE «Publishing House  
«Belaruskaya navuka»

**VESTNIK  
OF THE FOUNDATION  
FOR FUNDAMENTAL  
RESEARCH**

EDITORIAL BOARD:

*Editor-in-Chief*

V. A. Orlovich

*Deputy Editors-in-Chief*

P. D. Kukharchik

A. I. Lesnikovich

*Executive Secretary*

N. N. Kostyukovich

*Editorial board members:*

O. V. Aleinikova

A. I. Lokotko

A. V. Bilydukevich

A. A. Lukashanets

P. A. Vityaz

A. A. Makhnach

I. V. Gaishun

A. G. Mrochek

S. V. Gaponenko

V. I. Nedilko

M. L. German

P. G. Nikitenko

V. S. Kamyshnikov

V. I. Potkin

A. K. Karabanov

L. M. Tomilchik

A. V. Kilchevsky

A. V. Tuzikov

E. I. Kolomiets

V. S. Ulashchik

A. A. Kovalenya

Yu. S. Kharin

N. P. Krut'ko

L. V. Khotylyova

N. A. Laman

S. N. Cherenkevich

V. F. Loginov

**Minsk, 2014**

# CONTENTS

## THE DAY OF BELARUSIAN SCIENCE AND THE 85th ANNIVERSARY OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS

Congratulations by the President of the Republic of Belarus on the Day of Belarusian Science and on the 85th anniversary of the National Academy of Sciences of Belarus . . . . .	5
Congratulations by the Chairman of the Council of the Republic of the National Assembly of the Republic of Belarus and by the Chairman of the House of Representatives of the National Assembly on the Day of Belarusian Science and on the 85th anniversary of the National Academy of Sciences of Belarus . . . . .	6
<b>Myasnikovich M. V.</b> Science and innovations are the priorities of economic policy (the speech by the Prime minister of Republic of Belarus at the ceremonial meeting devoted to celebration of the 85th anniversary of National Academy of Sciences of Belarus and the Day of Belarusian Science, January 24, 2014) . . . . .	8
Speech by the Chairman of the Presidium of NAS of Belarus V.G. Gusakov at the ceremonial meeting devoted to celebration of the 85th anniversary of National Academy of Sciences of Belarus and the Day of Belarusian Science (January 24, 2014) . . . . .	12

## THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ACADEMIES OF SCIENCE ACTIVITIES

The Decision N 236 of December 3, 2013 «On the main results of IAAS activities in 1993–2013» . . . . .	18
The Decision N 237 of December 3, 2013 «On the Scientific council on problems of functional materials of electronic equipment» . . . . .	23
The Decision N 238 of December 3, 2013 «On the Council of botanical gardens of CIS countries at IAAS» . . . . .	28
The Decision N 239 of December 3, 2013 «On creation of Scientific council on problems of biomedicine and biotechnologies at IAAS» . . . . .	35
<b>Vitiaz P. A., Shcherbin V. K.</b> The contribution of Belarusian scientists to creation and development of the International Association of Academies of Sciences . . . . .	36

## INTERNATIONAL RELATIONS

Supplementary agreement N 2 to the Agreement on Cooperation between the Russian Foundation for Basic Research and the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research . . . . .	52
---	----

## THE FOUNDATION ACTIVITIES

Supplementary agreement to conditions of carrying out joint thematic competition of fundamental and applied research on problems of the Brest region «BRFFR–Brest-2013» . . . . .	56
---	----

## SCIENTIFIC PUBLICATIONS

<b>Nestsiarovich A. N.</b> The role of DNA methylation in brain functioning . . . . .	57
<b>Piven N. V., Burakovski A. I., Karpenka T. A., Tsishkevich M. N., Yastrabava H. A.</b> Enzyme immunoassay of the epidermal growth factor level in cancer pathology . . . . .	71
<b>Tsyganov A. R., Tomson A. E., Lju Vei Dong, Zhang Zeyou, Rakovich V. A., Strigutskiy V. P., Sokolova T. V., Pekhtereva V. S.</b> Particularities of peat deposits formation in the conditions of temperate continental and tropical climate . . . . .	78
<b>Strekal N. D.</b> Size-dependent oscillator strength of the lowest electronic transfer in CdSe/ZnS nanoparticles . . . . .	87
<b>Gusakova S. V., Nikolaeva A. A., Prokoshin V. I., Shepelevich V. G., Iarmolovich V. A.</b> Microstructure and mechanical properties of rapidly solidified foils of $(\text{Bi}_{91}\text{-Sb}_9)_{100-x}\text{Sn}_x$ ( $x \leq 2.4$ ) . . . . .	97

***ДЕНЬ БЕЛОРУССКОЙ НАУКИ  
И 85-ЛЕТИЕ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ***

**ПОЗДРАВЛЕНИЕ ПРЕЗИДЕНТА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
С ДНЕМ БЕЛОРУССКОЙ НАУКИ  
И 85-ЛЕТИЕМ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ**

25 января 2014 года

**Деятелям науки, работникам научно-исследовательских институтов  
и высших учебных заведений**

Дорогие друзья!

Сердечно поздравляю вас с Днем белорусской науки и 85-летием Национальной академии наук Беларуси.

Наука создает надежный интеллектуальный фундамент белорусского государства, определяет пути нашего продвижения вперед. Имена и достижения выдающихся ученых являются предметом гордости всего народа.

Ведущую роль в этой сфере играет ее флагман – Национальная академия наук, которая за годы своей истории превратилась в крупнейший исследовательский центр страны, решающий не только фундаментальные, но и прикладные проблемы, пользующийся авторитетом в мире.

Сегодня белорусской науке необходимо выйти на передовые позиции в стратегических направлениях инновационного развития, укрепить связь исследований и разработок с насущными потребностями экономики и обеспечить внедрение их результатов в практику. Уверен, что наши ученые успешно справятся с этими важными и ответственными задачами.

Желаю вам здоровья, вдохновения, успехов в научной и педагогической деятельности, счастья и благополучия.

*Александр Лукашенко*

*Источник: Официальный интернет-портал Президента Республики Беларусь*

**ПОЗДРАВЛЕНИЕ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ СОВЕТА РЕСПУБЛИКИ  
НАЦИОНАЛЬНОГО СОБРАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
И ПРЕДСЕДАТЕЛЯ ПАЛАТЫ  
ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ НАЦИОНАЛЬНОГО СОБРАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ С ДНЕМ БЕЛОРУССКОЙ НАУКИ  
И 85-ЛЕТИЕМ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ**

**Уважаемые ученые, специалисты  
и работники Национальной академии наук Беларуси!**

От имени Национального собрания Республики Беларусь поздравляем вас с 85-летним юбилеем со дня основания Национальной академии наук Беларуси.

Уникальные открытия и разработки талантливых белорусских ученых и специалистов в области естественных и гуманитарных наук получили международное признание и прославили нашу страну. На всех исторических этапах становления государства Академия наук осуществляла научно-методическое обеспечение развития отечественной экономики и культуры, служила интересам общества и идеалам гуманизма. Сегодня Национальная академия наук Беларуси – авторитетная, многопрофильная высшая государственная научная организация, которая вносит значительный вклад в развитие Республики Беларусь.



Мы высоко оцениваем активное сотрудничество Академии наук с Парламентом по совершенствованию законодательства в области научной, научно-технической и инновационной деятельности.

Пусть ваш коллектив и в дальнейшем работает с вдохновением и самоотдачей, способствуя преумножению материальных и духовных богатств нашего народа, поддержанию позитивного имиджа страны.

Крепкого вам здоровья, новых свершений и научных открытий, счастья и успехов в труде на благо Отечества!

Председатель  
Палаты представителей  
Национального собрания  
Республики Беларусь

В. П. Андрейченко

Председатель  
Совета Республики  
Национального собрания  
Республики Беларусь

А. Н. Рубинов

*М. В. МЯСНИКОВИЧ*

*Доктор экономических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси,  
Премьер-министр Республики Беларусь*

## **НАУКА И ИННОВАЦИИ – ПРИОРИТЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ\***

От имени Правительства Республики Беларусь и себя лично искренне поздравляю всю научную общественность с Днем белорусской науки и 85-летием Академии наук. Я приветствую известных ученых, зарубежных гостей, которые приехали сегодня разделить праздник с белорусскими коллегами, сделать очередной шаг на пути взаимного сотрудничества.

Я рад видеть в этом зале членов Правительства, руководство Парламента, Администрации Президента, представителей научных организаций. Это очередное свидетельство, что все мы одинаково понимаем важность и роль науки в развитии общества, экономики и культуры нашего государства.



\* Выступление на торжественном собрании научной общественности, посвященном 85-летию со дня основания Национальной академии наук Беларуси и Дню белорусской науки, 24 января 2014 г.

Посмотрите на историю нашей страны и историю Национальной академии наук Беларуси. Академия наук была создана 85 лет назад, именно тогда, когда на смену задаче выживания государства пришла задача его развития. В этот юбилей я хочу подчеркнуть, что для Беларуси цели модернизации и конкурентоспособности сегодня актуальны не меньше, чем 85 лет назад. Даже больше. Поэтому Академии наук и развитию науки в целом Глава государства и Правительство уделяют первоочередное внимание. Наука и инновации – приоритет нашей экономической политики.

Мы знаем, что на смену классическим моделям политэкономии, в основе которых товарная торговля и факторы труда и капитала, пришли модели инновационного развития и глобализации. Мировая история убедительно доказала, что для процветания государства решающую роль играют не его природные ресурсы, численность населения или накопленный капитал. Ключ к прогрессу – исследования и разработки, инновации и инвестиции в человеческий капитал. Все эти три фундаментальных фактора роста связаны с наукой. Президент нашей страны и Правительство рассчитывают, что Национальная академия наук Беларуси станет ядром активизации этих новых факторов роста нашего государства.

Для этого важно отметить ряд ключевых вопросов и задач стратегического развития науки в Беларуси.

Первое. Организация научной сферы, ее роль и место в развитии общества.

Я полагаю, что по данному вопросу мы четко определились. Академия наук – высшая научная инстанция, основа инновационной системы нашей страны. Но это не значит, что она должна «застыть» в своем структурном построении. Научно-практические центры и производственные объединения, малые инновационные компании и технопарки должны быть встроены в систему Академии, объединяя ее тысячами связей с образованием, экономикой, культурой. Мы в Правительстве приняли решение о льготном режиме создания, функционирования и развития малых инновационных компаний. Из Академии в реальную экономику должны выходить, как из инкубатора, новые бизнес-единицы, принося новаторам не только общественное признание, но и прибыль.

Я поддерживаю предложения Общего собрания Национальной академии наук Беларуси по повышению эффективности научной деятельности, увязке финансирования с ее результатами. Уверен, что вместе мы сможем их реализовать.

Второй весьма дискуссионный вопрос – соотношение фундаментальных и прикладных научных исследований. Я уверен, что Беларусь должна не только сохранить, но и развить свои преимущества в физике, математике, биологии, генетике, теплофизике, механике. Фундаментальные знания – это научный капитал. Без его прироста нет развития образования, культуры, технологий. Высокая фундаментальная наука не окупается за год или два, поэтому всегда есть соблазн сэкономить. Нет здесь большого интереса и у бизнеса. Поэтому поддержка и развитие фундаментальной науки – это задача государства.

Я полагаю, что на II съезде ученых Беларуси мы найдем оптимальный алгоритм финансирования поисковых работ. Речь будет идти не о «раздаче слонов», а о системе поддержки приоритетов в рамках существующих возможностей и стоящих задач. Сегодня у нас соотношение объемов исследований в фундаментальной и прикладной науке примерно 15 к 85. Полагаю, что для нашей страны это соотношение оптимально и снижать долю фундаментальных работ больше не следует.

Третье. Финансирование науки. От Премьер-министра, Правительства всегда ждут четкого посыла. Вы знаете мои подходы, я не раз озвучивал их в этом уважаемом зале. Это так называемые три трети:

треть – прямое бюджетное финансирование;

треть – коммерческие контракты (хозяйственные договоры), инновационные фонды;

треть – международная деятельность, гранты.

Это, полагаю, сбалансированный подход. На каждые два рубля по коммерческим контрактам и международной деятельности из республиканского бюджета будет выделяться рубль. Думаю, что это справедливо.

В дополнение к прямым бюджетным ассигнованиям в прошлом и текущем годах в Беларуси изысканы целевые ресурсы в объеме около 470 млн долларов США на инновационные проекты. Это механизм Указа Президента Республики Беларусь № 357, принятого в 2012 году, по вопросам формирования и использования инновационных фондов. Полагаю, НАН Беларуси должна смелее себя заявлять в этих проектах и предлагать прорывные идеи инновационного развития отраслей и регионов.

Современная наука – достояние мировой культуры. Она интернациональна по природе и невозможна без объединения усилий. Но объединяться всегда хотят лишь с сильными, конкурентоспособными.

Такой конкуренции, как в мире идей, нет ни на товарных, ни на финансовых рынках. Я рад, что с нами, с белорусскими учеными интересно работать партнерам по всему миру.

Исторически мы связаны с Российской академией наук тысячами нитей. Великая наука России, плеяды выдающихся ученых, многие из которых жили и работали в Беларуси. Физики Степанов, Сирота, математик Еругин, теплофизик Лыков, биофизик Конев, селекционер-генетик Турбин и многие другие сформировали современный облик белорусской науки. И конечно, наш добрый друг Жорес Иванович Алферов, которого я считаю тоже белорусом.

Мы искренне рады успехам в науке и технике Китайской Народной Республики. Вчера я вернулся из четырехдневного визита в эту Великую страну. В ходе встречи с Председателем КНР Си Цзиньпином и Премьером Госсовета Ли Кэцянгом мы немало времени посвятили вопросам науки и инноваций, сотрудничеству в фундаментальной и прикладной сферах. Договорились, что будет создан Белорусско-Китайский венчурный фонд, который дополнит наше двустороннее

взаимодействие эффективными финансовыми механизмами. Подписаны контракты и соглашения в области науки и технологий. Мы переходим к инвестиционной стадии сотрудничества и видим взаимную выгоду укрепления партнерства Беларуси и Китая в научно-технологической сфере.

Определенные надежды мы связываем также с Европейским союзом. Наука и спорт вне политики. Я надеюсь, дорогие коллеги, у себя на Родине вы будете сторонниками и проводниками идей партнерства и взаимовыгодного сотрудничества между нашими странами.

Нам есть чем гордиться и есть к чему стремиться. Беларусь имеет неплохие места в мировых рейтингах науки и инноваций. Но главное не в этом. Индекс знаний, показатели инновационности и наукоемкости лишь характеризуют инновационную систему с позиций способности генерировать, воспринимать и распространять знания. Главное – системный вопрос. Указанная цепочка должна работать, постоянно воспроизводясь на качественно новом уровне, генерировать устойчивый экономический рост. Без этого во многих вопросах развития мы обречены «сбиваться» на частности. Правительство Республики Беларусь поддержит инициативы ученых, направленные на рост эффективности национальной инновационной системы, привлечение в науку молодых, реализацию масштабных проектов.

Мы понимаем, что наука не может дать ответ на все вопросы. Более того, чем больше мы погружаемся в проблему, тем, кажется, меньше о ней знаем. Но я уверен, что огромные знания и мудрость, которыми мы располагаем, позволяют найти ответ на серьезные вызовы, стоящие сегодня перед нашими странами, а также в глобальном масштабе.

Спасибо вам, дорогие друзья, за ваши открытия, ваш взгляд в науку и вклад в дело добра и мира в Беларуси и на Земле!

С праздником вас!

**ВЫСТУПЛЕНИЕ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ ПРЕЗИДИУМА НАН БЕЛАРУСИ  
В. Г. ГУСАКОВА  
НА ТОРЖЕСТВЕННОМ СОБРАНИИ  
НАУЧНОЙ ОБЩЕСТВЕННОСТИ,  
ПОСВЯЩЕННОМ 85-ЛЕТИЮ СО ДНЯ ОСНОВАНИЯ  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ  
И ДНЮ БЕЛОРУССКОЙ НАУКИ, 24 января 2014 г.**

Уважаемые участники торжественного собрания, высокие гости!

Прежде всего, хотел бы сказать, что сегодня у Главы государства состоялось вручение дипломов докторов наук и аттестатов профессоров за наиболее эффективные и высокозначимые научные работы. В своем вступительном слове Александр Григорьевич Лукашенко подчеркнул, что минувший год стал решающим для науки страны в целом и Национальной академии наук в частности. В результате глубокого изучения возможных вариантов принято решение отказаться от радикальных мер, не рубить сплеча, а принять путь развития и совершенствования. Разработана Программа развития научной сферы. Ее реализация позволит привести всю инфраструктуру Академии наук и науки в стране в соответствие с потребностями экономики.



Глава государства говорил об усилении практической направленности фундаментальных и прикладных исследований, о совершенствовании кадровой работы в науке, повышении роли и ответственности научных руководителей и советов по защите диссертаций. Говорилось и об оценке науки по эффективности экономики и еще о многих других научных проблемах, вернее, их эффективном решении.

Это подчеркивает тот факт, что наука становится и фактически стала в стране главным государственным приоритетом, призванным создать надежное научное обеспечение развития ряда основных отраслей, а также стала решать крупнейшие научно-технические, технологические и социально-экономические проблемы.

Уважаемые коллеги!

На пленарном заседании Второй международной научной конференции «Наука – инновационному развитию общества» мною представлен системный доклад о традициях академической науки в нашей стране, о достижениях Академии наук и перспективах ее развития. Но Академия – это не просто организация со своей историей, а, прежде всего, неотъемлемый компонент научно-инновационной системы. Поэтому сегодня я хотел бы сказать о том, каким нам видится развитие всей научной сферы страны.

Должен с удовлетворением отметить, что на сегодняшний день среди ученых Беларуси сложилось общее понимание того, каковы должны быть первоочередные задачи развития научной сферы, что необходимо сделать для ее обновления и придания ей современного высококонкурентного характера. Консенсус, достигнутый по этому поводу, нашел отражение, как я уже подчеркнул, в Программе совершенствования научной сферы, одобренной Общим собранием Академии наук в декабре 2013 года.

Одно из главных положительных качеств, которыми характеризуется научная сфера Беларуси сейчас, – это отсутствие размежевания, противоборства, «перетягивания одеяла» между ее секторами: академическим, вузовским и отраслевым. Белорусская наука едина, и при этом позволяет каждому заниматься своим делом. Для всех определен свой ответственный участок работы.

Так, Национальная академия наук Беларуси – это высшая научно-экспертная организация страны, своего рода «штаб» всей научной сферы и одновременно – площадка для обсуждения и решения важнейших проблем, которые стоят перед наукой и учеными во всех областях.

Надо сказать, что особое внимание должно быть сконцентрировано на повышении качества человеческого капитала в науке и экономике, который сегодня влияет на экономический рост не меньше, чем совокупность всех других факторов развития – материальных средств и финансов, условий труда и др. Человеческий капитал для Беларуси является главным стратегическим ресурсом, обеспечивающим ее устойчивое развитие и благополучие общества.

В связи с этим важнейшей задачей вузовской науки является подготовка кадров для научной сферы и экономики, отраслевой – использование новейших научных разработок для решения производственных задач и трансфер инноваций в экономике.

Учреждения Министерства образования целенаправленно осуществляют подготовку современных профильных работников и специалистов на основе неразрывной связи образовательного процесса с научными исследованиями, предпринимательской и инновационной деятельностью на всех этапах обучения молодежи. Примерами успешного профессионального становления одаренной молодежи являются биографии молодых, но уже состоявшихся профессионалов. Следует назвать некоторых из них.

Феклистова Ирина Николаевна – заведующая научно-исследовательской лабораторией молекулярной генетики и биотехнологии биологического факультета БГУ. Кандидат биологических наук. Победитель национального отбора конкурса СНГ среди молодых ученых «Содружество дебютов». Получала стипендию Президента Республики Беларусь в числе талантливых молодых ученых.

Рудый Кирилл Валентинович – выпускник БГЭУ, помощник Президента Республики Беларусь по экономическим вопросам, в 2001 году поощрен премией спецфонда как лауреат конкурса научных работ студентов вузов. В 23 года защитил кандидатскую диссертацию, в 33 года стал доктором экономических наук.

Черепенников Михаил Борисович – заместитель проректора БГУ по учебно-воспитательным вопросам и социальной работе, директор Студенческого городка. Кандидат химических наук. Трижды (в 1998, 2000, 2001 гг.) награждался премиями специального фонда по социальной поддержке одаренных учащихся и студентов.

Соболевский Станислав Евгеньевич – доктор физико-математических наук (в 30 лет), доцент, руководитель лаборатории в Массачусетском Технологическом Институте (США), выпускник ГрГУ.

Заборовский Александр Михайлович – первый заместитель руководителя Аппарата Совета Министров Республики Беларусь – руководитель секретариата Премьер-министра Республики Беларусь, кандидат экономических наук, стипендиат специального фонда Президента Республики Беларусь по социальной поддержке одаренных учащихся и студентов.

Должен отметить, что в Программе развития научной сферы мы выделяем еще один перспективный сектор – частный. Уверен, что через поддержку негосударственного сектора, привлечение частного капитала в науку мы достигнем нового уровня государственно-частного партнерства, что будет способствовать сбалансированному развитию всех отраслей и направлений научного знания.

Говоря о современных достижениях науки в Республике Беларусь, хотелось бы выделить ряд особенно ярких научных результатов. Накануне мы уже на специальной пресс-конференции огласили десятку завершенных исследований и разработок НАН Беларуси, которые представляются нам наиболее важными.

Поэтому сегодня я хотел бы сказать несколько слов о результатах, полученных организациями вузовского и отраслевого сектора.

Существующая структура отраслевой медицинской (фармацевтической) науки позволяет не только разрабатывать, апробировать новые медицинские и фармацевтические технологии, но и оперативно внедрять их в практическое здравоохранение. Так, в УЗ «9-я городская клиническая больница г. Минска» выполнено 415 трансплантаций органов (из них 66 – печени, 307 – почки, 3 – почки и поджелудочной железы), в ГУ «РНПЦ «Кардиология» – 39.

Разработана телекоммуникационная система «Интекард 3 теле», обеспечивающая прием-передачу ЭКГ по выделенным каналам, Интернету, мобильной связи и локальным больничным сетям. В отличие от аналогов передается не только ЭКГ, но также компьютерное ЭКГ-заключение. Это открывает возможность получать высококвалифицированную помощь в удаленных регионах, где отсутствуют врачи-кардиологи и врачи функциональной диагностики, а работает только средний медицинский персонал.

Государственными научными медицинскими организациями в рамках выполнения государственной научно-технической программы «Новые технологии диагностики, лечения и профилактики» (подпрограммы «Онкология», «Хирургия», «Сердце и сосуды», «Трансплантология и регенеративная медицина», «Инфекции и микробиологические нанотехнологии»), трех отраслевых научно-технических программ («Экспертно-реабилитационные технологии», «Современные условия жизнедеятельности и здоровье», «Здоровая мать – здоровое дитя – сильное государство») в 2013 г. разработано, утверждено и внедрено в работу организаций практического здравоохранения более 250 новых методов оказания медицинской помощи (диагностики, лечения, профилактики, реабилитации и организационных форм работы учреждений здравоохранения).

Отрасль металлургии производит 20 % общего объема продукции Министерства промышленности. Модернизация производства, обновление технологической базы машиностроительного комплекса и постановка на производство новой конкурентоспособной продукции осуществлялись по всем базовым отраслевым направлениям и принятым программам развития.

Оправдала себя продуманная политика создания холдинговых структур.

К примеру, ОАО «БМЗ» – управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания» в 2013 г. поставило на производство широкий спектр марок сталей и металлопродукции, отвечающих требованиям международных и национальных стандартов стран-импортеров, в том числе металлокорда и арматуры различной конструкции, труб стальных углеродистых (109 типоразмеров), труб стальных легированных (8 типоразмеров), труб-заготовок (24 типоразмера) и др.

В ОАО «Управляющая компания холдинга «Минский моторный завод» в 2013 г. поставлены на производство 4-цилиндровые автомобильные двигатели уровня экологической безопасности Евро-4; 4- и 6-цилиндровые двигатели для внедо-

рожной техники с электронной системой топливоподачи и каталитической доочисткой выхлопных газов; 3-цилиндровые малолитражные двигатели мощностью 35 л. с. для внедорожной, коммунальной, дорожно-строительной техники.

Холдингом «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ» впервые в мире изготовлен полноприводной карьерный самосвал грузоподъемностью 450 т. ОАО «БЕЛАЗ» – управляющая компания этого холдинга за счет новых технологий обеспечивает более 30 % мирового рынка карьерных самосвалов грузоподъемностью 45, 90, 360 т.

ОАО «МАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАВТОМАЗ» сконцентрировало инновационную деятельность на создании серии машин уровня Евро-4 и выше. По направлениям пассажирской техники холдингом созданы автобусы с автоматической трансмиссией и двигателем экологического уровня Евро-5 (количество мест – 100).

ОАО «АМКОДОР» поставлены на производство многоцелевые машины нового поколения грузоподъемностью 2 т, универсальных погрузчиков, универсальных форвардеров и др.

ПО «Минский тракторный завод» создал надежные и экономичные машины, оснащенные новейшими двигателями с энергосберегающими бесступенчатыми силовыми передачами, способными агрегатироваться с широким комплексом сельскохозяйственных орудий, обеспечивающих безопасность, комфортность условий труда, а также достаточную конкурентоспособность на внешнем рынке.

ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющей компанией холдинга «ИНТЕГРАЛ» в 2013 г. разработано и освоено 59 суперновых изделий в микроэлектронике.

УП «КБТЭМ-ОМО» – единственная научная организация на постсоветском пространстве, специализирующаяся в разработке оборудования для микроэлектроники. В 2013 г. осуществлены поставки многоканального лазерного генератора изображений для Роскосмоса, установки совмещения и контактного экспонирования, оптические блоки (для поставки в Китай), установки проекционного экспонирования для изготовления печатных плат высокой плотности соединений (для поставки в Тайвань), оптического модуля широкополосного микроскопа для контроля изделий микроэлектроники (для поставки в Израиль) и др.

Следует подчеркнуть, что многие из названных здесь и других значимых работ едва ли воплотились бы в жизнь, если бы не тесная кооперация с нашими зарубежными партнерами. Международное научное сотрудничество было и остается важнейшим приоритетом НАН Беларуси и всех научных организаций страны. Наиболее продуктивным является взаимодействие с российскими учеными, и, прежде всего, с коллегами из Российской академии наук. Особенно продуктивным является сотрудничество в области физики, биохимии, математики, информатики и других дисциплин.

Вместе с тем хотелось бы отметить, что в настоящее время Национальная академия наук Беларуси осуществляет многовекторную политику международных научных связей, тесно интегрируется в глобальное научно-образовательное

пространство. Мы поддерживаем тесные отношения с научными организациями более чем семидесяти пяти стран.

Пользуясь случаем, позвольте поприветствовать от имени всех собравшихся высокие делегации Российской Федерации, Австрии, Польши, Литвы, Латвии, провинции Шаньдун Китайской Народной Республики, Украины, Азербайджана, Республики Казахстан, Армении, Туркменистана и других государств, прибывшие в нашу страну на празднование 85-летия Национальной академии наук Беларуси.

Дорогие коллеги!

Завершая свое краткое выступление, хочу еще раз подчеркнуть, что повод для нашей сегодняшней встречи – это не просто профессиональный праздник. Это день, когда мы оцениваем свои результаты и сверяем их с мировыми достижениями, определяем направления и стратегию развития всей нашей социально-экономической модели. Как не привести здесь слова Президента нашего государства Александра Григорьевича Лукашенко, сказанные им при вручении дипломов доктора наук и профессорских аттестатов научным и научно-педагогическим работникам: «Собственная наука – это неотъемлемый признак любой развитой страны. Она составляет важнейшую часть культуры народа, во многом определяет духовную и интеллектуальную атмосферу в обществе».

Позвольте еще раз поздравить вас с Днем белорусской науки и 85-летием Национальной академии наук Беларуси, пожелать творческих успехов и новых замечательных свершений!

# **ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ АКАДЕМИЙ НАУК**

**Совет Международной ассоциации академий наук**

## **ПОСТАНОВЛЕНИЕ**

3 декабря 2013 г.

№ 236

г. Киев

Об основных итогах  
деятельности МААН  
в 1993–2013 гг.

Учитывая выступление президента Международной ассоциации академий наук (МААН, Ассоциация), посвященное основным итогам деятельности МААН в 1993–2013 гг., выступления в дискуссии руководителей делегаций академий наук и организаций – ассоциированных членов МААН, результаты деятельности Ассоциации, изложенные в книге «Международной ассоциации академий наук – 20 лет», которая была роздана участникам юбилейного заседания Совета МААН, демонстрацию фильма «Летопись МААН», подготовленного студией «Наука–Видео» РАН к 20-летию создания Ассоциации, и оценки ее работы, прозвучавшие в этом фильме, Совет Международной ассоциации академий наук отмечает следующее.

С момента образования МААН в центре ее внимания постоянно находятся вопросы восстановления и углубления связей между учеными, сохранения и развития научного потенциала, и прежде всего фундаментальной науки в странах СНГ, предоставления ей эффективной поддержки и помощи, интеграции науки и образования, подготовки научных кадров, создания условий для использования научных достижений и увеличения вклада науки в социально-экономическое развитие государств – участников Содружества.

Дважды, в 1995 г. (г. Алматы) и в 2007 г. (г. Душанбе), инициативы МААН по развитию научного сотрудничества в СНГ рассматривались на заседании Совета глав государств – участников СНГ и по ним принимались решения, в реализации которых Ассоциация принимала активное участие.

По решению Совета МААН был организован безвалютный обмен научными периодикой и книжной продукцией между участниками Ассоциации, об объемах которого можно судить из следующего примера. Национальная библиотека

Украины им. В. И. Вернадского в период с 1996 по 2012 г. передала по линии МААН своим партнерам около 53 тыс. экземпляров журналов и почти 8,5 тыс. книг и, в свою очередь, получила от них около 19 тыс. экземпляров журналов и свыше 7,6 тыс. экземпляров книг.

При МААН или под ее эгидой осуществляют свою деятельность 12 научных советов, комитетов и иных общественных структур. Среди них Научный совет по новым материалам (председатель – академик НАН Украины Б. Е. Патон), Объединенный научный совет по фундаментальным географическим проблемам (председатель – академик РАН В. М. Котляков), Союз физиологических обществ стран СНГ (президент – Р. И. Сепиашвили), Международная ассоциация институтов истории стран СНГ (президент – академик РАН А. О. Чубарьян), Совет по книгоизданию (председатель – член-корреспондент РАН В. И. Васильев). Плотно функционирует под эгидой Ассоциации международный научный и общественно-политический журнал «Общество и экономика» (главный редактор – член-корреспондент РАН К. И. Микульский).

В центре внимания МААН находятся также формирование и реализация международных программ научных исследований. Так, в настоящее время выполняются следующие программы: «Астрономия в Приэльбрусье. 2010–2014 гг.», «Современные проблемы радиобиологии: наука и практика». Совместно с Евразийской ассоциацией университетов (президент – академик РАН В. А. Садовничий) подготовлена и утверждена Научно-исследовательская программа «Черное, Азовское и Каспийское моря как имитационная модель океана».

Чрезвычайно плодотворным для достижения уставных целей Ассоциации стало решение ее Совета в 1996 г. о введении в МААН института ассоциированных членов, которых на сегодня насчитывается уже 7, а именно: Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ) (с 1997 г.), Российский гуманитарный научный фонд (РГНФ) и Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) (с 1999 г.), Московский физико-технический институт (государственный университет) и Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (БРФФИ) (с 2000 г.), Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (с 2002 г.), Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (с 2009 г.). МААН активно содействует установлению и углублению взаимодействия между академиями наук и ассоциатами. Об этом, в частности, свидетельствуют договоры о сотрудничестве, заключенные РФФИ, РГНФ, БРФФИ с рядом академий наук – членов Ассоциации, проведение в их рамках совместных конкурсов проектов НИР.

МААН принимала участие в организации и проведении многих крупных международных форумов. В частности, только при финансовой поддержке ЮНЕСКО за последние 10 лет Ассоциация провела 8 международных конференций и симпозиумов.

Важным событием стало подписание в 2009 г. Меморандума о взаимопонимании между Международной ассоциацией академий наук и Межгосудар-

ственным фондом гуманитарного сотрудничества государств – участников СНГ. В его рамках уже реализован ряд актуальных проектов в области науки, образования и работы с молодежью. На дальнейшее углубление взаимодействия науки и образования направлено подписанное в 2010 г. Соглашение о сотрудничестве между Евразийской ассоциацией университетов и Международной ассоциацией академий наук. В 2010, 2011 и 2012 гг. во время проведения форумов творческой и научной интеллигенции государств – участников СНГ в их рамках состоялись совместные заседания советов обеих упомянутых ассоциаций, на которых были обсуждены актуальные вопросы взаимодействия науки и образования в обеспечении модернизации экономики стран СНГ.

Поддержка молодых ученых – важное направление деятельности МААН. В связи с этим заслуживает особого внимания программа «Мобильность молодых ученых», осуществляемая РФФИ с конца 2007 г. МААН также поддержала ежегодно проводимые с 2008 г. на базе НИЦ «Курчатовский институт», ОИЯИ, Института кристаллографии им. А. В. Шубикова РАН Высшие курсы стран СНГ для молодых ученых, аспирантов и студентов старших курсов по современным методам исследований наносистем и материалов (СИН-нано).

МААН неоднократно оказывала разноплановую поддержку многим академиям наук и научным организациям в их, зачастую непростых, взаимоотношениях с властными структурами, в решении неординарных проблем, с которыми они сталкиваются. Соответствующие обращения Ассоциации направлялись в адрес руководителей Болгарии, Грузии, Казахстана, Молдовы, России и Украины.

МААН всегда придерживалась той точки зрения, что реформирование академий наук должны и в состоянии осуществлять сами ученые, хорошо знающие имеющиеся проблемы. В связи с этим вызывает чувство глубокого сожаления та поспешность, с которой была проведена реорганизация Российской академии наук, игнорирование предложений научной общественности, которые были направлены на сохранение базовых принципов деятельности РАН. Широкомасштабные эксперименты и революции в организации науки, как правило, чреваты тяжелыми последствиями не только для науки и образования, но и для экономики в целом.

За 20 лет деятельности МААН было проведено 25 заседаний ее Совета, из которых 11 состоялись в Киеве, 4 – в Москве, 2 – в Минске, по одному – в Алматы, Алуште, Ашхабаде, Бишкеке, Дубне, Душанбе, Кишиневе и Тбилиси. Эти заседания Совета МААН проводились на базе академий наук Беларуси, Грузии, Казахстана, Кыргызстана, Молдовы, России, Таджикистана, Туркменистана и Украины; Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» и Объединенного института ядерных исследований.

МААН получила заслуженное признание в СНГ и за его пределами. Об этом свидетельствуют плодотворные с 2003 г. партнерские отношения Ассоциации с ЮНЕСКО, которая предоставила МААН консультативный статус; рассмотрение инициатив МААН на саммитах СНГ; предоставление Ассоциации в 2007 г.

статуса наблюдателя при Межпарламентской ассамблее государств – участников СНГ (МПА); поступившие в МААН в связи с ее 20-летием приветствия от Генерального директора ЮНЕСКО, Председателя Совета МПА, Председателя Исполнительного комитета – Исполнительного секретаря СНГ, президентов ряда стран СНГ, выпуск знаков почтовой оплаты.

Совет Международной ассоциации академий наук постановляет:

1. Принять к сведению выступления президента МААН академика НАН Украины Б. Е. Патона, участников юбилейного заседания Совета МААН об итогах деятельности Ассоциации в 1993–2013 гг.

2. Одобрить итоги работы МААН за прошедшие два десятилетия.

Отметить, что Ассоциации удалось в определенной степени восстановить и наладить информационные потоки между академиями наук; сформировать научные советы по ряду важнейших направлений фундаментальных исследований, сформировать регулярную плодотворную их деятельность; наладить взаимное информирование о законодательной деятельности в области науки и высшего образования; организовать совместное использование отдельных уникальных научных объектов; объединить усилия заинтересованных академий наук и организаций, входящих в МААН, в формировании и выполнении ряда международных программ научных исследований; содействовать проведению многих двусторонних и многосторонних конкурсов проектов НИР; реализовать ряд важных мероприятий по углублению взаимодействия науки и образования, поддержке научной молодежи; на постоянной основе продуктивно взаимодействовать с ЮНЕСКО.

3. Считать необходимым:

– продолжать привлекать внимание властных структур к проблемам сферы науки и ученых, предлагать конструктивные пути их решения, в частности, относительно создания в странах СНГ механизмов и условий, способствующих соединению интересов отечественного крупного бизнеса и науки, востребованности научных результатов экономикой и обществом, продолжать показывать и доказывать органам государственной власти, что для фундаментальной науки губительно быть в административном подчинении министерств, ведомств и агентств, проводить непрерывный поиск новых форм организации научных исследований и передачи завершенных разработок в практику;

– всячески содействовать установлению и развитию взаимовыгодной кооперации академий наук с организациями – ассоциированными членами МААН;

– уделять особое внимание развитию сотрудничества с Евразийской ассоциацией университетов;

– способствовать организации и разработке в СНГ концепций и совместных программ исследований, в частности, в области ядерной медицины, по созданию новых материалов для твердотельных приборов следующих поколений электронной техники и др.;

– принимать и в дальнейшем совместно с Евразийской ассоциацией университетов активное участие в проведении Форумов творческой и научной интелли-

генции государств – участников СНГ, развивать в этих целях конструктивное взаимодействие с Межгосударственным фондом гуманитарного сотрудничества государств – участников СНГ;

– более полно использовать возможности ЮНЕСКО для решения уставных задач МААН в связи с новым статусом, который Ассоциация имеет в ЮНЕСКО;

– активизировать работу по развитию института ассоциированных членов МААН, созданию при Ассоциации новых научных советов;

– осуществлять меры по повышению авторитета науки и ученых, в этих целях содействовать существенному расширению на постоянной основе связей со средствами массовой информации, привлечению к формированию позитивного общественного мнения талантливых журналистов, равнодушных к науке, и поддерживать их деятельность.

4. Считать целесообразным направить в адрес глав государств – участников СНГ, Вьетнама и Грузии книгу «Международной ассоциации академий наук – 20 лет», изданную в НАН Украины к юбилейной дате.

5. Просить руководителей академий наук и организаций, входящих в МААН, направить в месячный срок в штаб-квартиру Ассоциации (Украина, 01601, г. Киев 30, ул. Владимирская, 54) предложения по перспективным направлениям деятельности МААН и ее совершенствованию.

6. В связи с реорганизацией Российской академии наук отметить конструктивность предложения Президента Российской Федерации В. В. Путина, высказанное на встрече с президентом РАН В. Е. Фортовым и руководителем Федерального агентства научных организаций М. М. Котюковым (31 октября 2013 г., Московская область, Ново-Огарево) о введении годовичного моратория на использование имущества институтов реорганизованной РАН и при решении кадровых вопросов. Выразить надежду, что это предложение будет подкреплено необходимыми нормативно-правовыми актами.

7. Считать целесообразным опубликовать в средствах массовой информации стран, академии наук которых входят в МААН, информацию о юбилейном заседании Совета МААН, настоящее постановление (либо его основные положения).

Президент Международной  
ассоциации академий наук  
академик НАН Украины

Б. Е. Патон

**Совет Международной ассоциации академий наук**

**ПОСТАНОВЛЕНИЕ**

3 декабря 2013 г.

№ 237

г. Киев

О Научном совете  
по проблемам функциональных материалов  
электронной техники

Во исполнение постановления Совета МААН от 7 июня 2012 г. № 230 «О создании Научного совета по проблемам функциональных материалов электронной техники» Совет Международной ассоциации академий наук постановляет:

1. Утвердить состав Научного совета по проблемам функциональных материалов электронной техники при МААН (приложение 1).

2. Утвердить Положение о Научном совете по проблемам функциональных материалов электронной техники при МААН (приложение 2).

3. Просить академии наук и организации, входящие в МААН, содействовать работе Научного совета по проблемам функциональных материалов электронной техники при МААН.

Президент Международной  
ассоциации академий наук  
академик НАН Украины

Б. Е. Патон

Приложение 1  
к постановлению Совета МААН  
от 3 декабря 2013 г. № 237

**Состав Научного совета по проблемам функциональных материалов  
электронной техники при МААН**

**Руководство Научного совета**

Гуляев  
Юрий Васильевич

– директор Института радиотехники и электроники  
им. В. А. Котельникова РАН, академик РАН, Российская  
Федерация, Москва, сопредседатель Научного совета

Кузнецов  
Федор Андреевич

– советник РАН, Институт неорганической химии  
им. А. В. Николаева СО РАН, академик РАН, Российская  
Федерация, Новосибирск, сопредседатель Научного совета

- Мачулин Владимир Федорович – главный ученый секретарь НАН Украины, директор Института физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАН Украины, академик НАН Украины, Украина, Киев, сопредседатель Научного совета
- Семиноженко Владимир Петрович – председатель совета директоров Научно-технологического комплекса «Институт монокристаллов» НАН Украины, академик НАН Украины, Украина, Харьков, сопредседатель Научного совета
- Томашик Василий Николаевич – заведующий отделом Института физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАН Украины, доктор химических наук, профессор, Украина, Киев, ученый секретарь совета

#### **Члены Бюро Научного совета**

- Джафаров Таяр Джумшудович – заведующий лабораторией Института физики НАН Азербайджана, член-корреспондент НАН Азербайджана, Азербайджан, Баку
- Федотов Александр Кириллович – заведующий кафедрой Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор, Республика Беларусь, Минск
- Харченко Людмила Юлиановна – ученый секретарь Научного совета ОНИТ РАН по физико-химическим основам полупроводникового материаловедения, старший научный сотрудник, кандидат химических наук, Российская Федерация, Москва
- Толмачев Александр Владимирович – заместитель директора Института монокристаллов НАН Украины, член-корреспондент НАН Украины, Украина, Харьков

#### **Члены Научного совета**

##### *От Национальной академии наук Азербайджана*

- Абдинов Джавад Шахвалодович – заместитель директора Института физики НАН Азербайджана, член-корреспондент НАН Азербайджана, Баку
- Аждаров Гусни Халилович – заведующий лабораторией Института физики НАН Азербайджана, доктор физико-математических наук, профессор, Баку
- Алиев Максуд Исфандиярович – главный научный сотрудник Института физики НАН Азербайджана, академик НАН Азербайджана, Баку
- Аллахвердиев Керим Рагимович – заведующий лабораторией Национальной академии авиации Азербайджана, доктор физико-математических наук, профессор, Баку

- Асадов – заведующий лабораторией Института химических проблем НАН Азербайджана, доктор химических наук, профессор, Баку  
Мирсалим Мирсалимович  
Тагиев – главный научный сотрудник Института физики НАН Азербайджана, заведующий лабораторией Национальной академии авиации Азербайджана, член-корреспондент НАН Азербайджана, Баку  
Бахадур Гусейнович

*От Национальной академии наук Беларуси*

- Гапоненко – заведующий лабораторией государственного научного учреждения «Институт физики им. Б. И. Степанова Национальной академии наук Беларуси», член-корреспондент НАН Беларуси, Республика Беларусь, Минск  
Сергей Васильевич  
Яблонский – заведующий лабораторией государственного научного учреждения «Институт физики им. Б. И. Степанова Национальной академии наук Беларуси», доктор физико-математических наук, профессор, Республика Беларусь, Минск  
Геннадий Петрович

*От Республики Казахстан*

- Тыныштыкбаев – главный научный сотрудник Национального научно-технологического холдинга Парасат Физико-технического института МОН Республики Казахстан, доктор технических наук, профессор  
Курбангали Байназарович

*От Российской академии наук*

- Акчурин – заведующий кафедрой Московской академии тонкой химической технологии, доктор химических наук, профессор, Российская Федерация, Москва  
Рауф Хамзинович  
Грибов – генеральный директор ОАО «Научно-исследовательский институт особо чистых материалов», член-корреспондент РАН, Российская Федерация, Москва  
Борис Георгиевич  
Жариков – главный научный сотрудник Института общей физики им. А. М. Прохорова РАН, заведующий кафедрой Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева, доктор технических наук, профессор, Российская Федерация, Москва  
Евгений Васильевич  
Красников – генеральный директор ОАО «НИИ молекулярной электроники и завод МИКРОН», академик РАН, Российская Федерация, Москва  
Геннадий Яковлевич  
Лукичев – заместитель директора Физико-технологического института РАН, член-корреспондент РАН, Российская Федерация, Москва  
Владимир Федорович

Неизвестный Игорь Георгиевич	– советник РАН, заведующий отделом Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН, член-корреспондент РАН, Российская Федерация, Новосибирск
Никитов Сергей Аполлонович	– заместитель директора Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, член-корреспондент РАН, Российская Федерация, Москва
Орликовский Александр Александрович	– директор Физико-технологического института РАН, академик РАН, Российская Федерация, Москва
Соболев Николай Алексеевич	– главный научный сотрудник ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, доктор физико-математических наук, профессор

*От Национальной академии наук Украины*

Беляев Александр Евгеньевич	– заместитель директора Института физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАН Украины, член-корреспондент НАН Украины, Украина, Киев
Литовченко Владимир Григорьевич	– заведующий отделом Института физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАН Украины, член-корреспондент НАН Украины, Украина, Киев
Пузиков Вячеслав Михайлович	– директор Института монокристаллов НАН Украины, академик НАН Украины, Украина, Харьков
Притула Игорь Михайлович	– ученый секретарь Института монокристаллов НАН Украины, доктор физико-математических наук, Украина, Харьков

Приложение 2

к постановлению Совета МААН  
от 3 декабря 2013 г. № 237

**ПОЛОЖЕНИЕ**

**о Научном совете по проблемам функциональных материалов  
электронной техники при МААН**

1. Научный совет по проблемам функциональных материалов электронной техники является научно-консультативным органом при МААН, работающим на общественных началах и руководствующимся Уставом МААН, постановлениями и распоряжениями Совета МААН.

2. Совет выполняет следующие функции:

– проводит анализ состояния и тенденций развития науки в области материаловедения для электронной техники, участвует в организации программ сотруд-

ничества между национальными академиями наук, входящими в МААН, в этой области;

– разрабатывает прогнозы в области материаловедения, совершенствования технологии материалов и структур твердотельной техники;

– готовит рекомендации и предложения по практическому использованию результатов научных исследований в области функциональных материалов электронной техники, по подготовке кадров и участию в международных программах и проектах;

– участвует в организации и проведении национальных и международных конференций, семинаров и школ в области функционального материаловедения для электронной техники;

– ежегодно представляет отчет о проделанной работе и план работы на следующий год в Совет МААН.

3. Общее руководство деятельностью Научного совета осуществляет Совет МААН, который утверждает Положение о Научном совете, его структуру и состав по представлению сопредседателей Научного совета, утвержденных Советом МААН, но не более чем на два пятилетних срока.

4. Структура Научного совета включает бюро, состоящее из сопредседателей, ученого секретаря и членов бюро по организационной работе (по одному от каждой национальной академии наук, входящей в МААН).

5. Состав Научного совета формируется из ведущих ученых и специалистов, активно работающих в научных, учебных и производственных организациях в области материаловедения для электронной техники и рекомендованных национальными академиями наук.

6. Обновление состава Научного совета осуществляется не реже одного раза в пять лет. По решению годового собрания в его состав могут быть включены новые члены.

7. Научный совет проводит собрания и научные сессии не реже одного раза в год, которые организуются поочередно представителями национальных академий наук, входящих в Научный совет. Между годовыми собраниями и научными сессиями по мере необходимости проводятся расширенные заседания бюро Совета, инициированные одним из сопредседателей.

8. Научный совет имеет бланк и страницу в интернете.

9. Научный совет может быть расформирован или реорганизован по решению Совета МААН.

**Совет Международной ассоциации академий наук****ПОСТАНОВЛЕНИЕ**

3 декабря 2013 г.

№ 238

г. Киев

О Совете ботанических садов  
стран СНГ при МААН

Во исполнение постановления Совета МААН от 7 июня 2012 г. № 235 «О создании Совета ботанических садов стран СНГ при МААН» Совет Международной ассоциации академий наук постановляет:

1. Утвердить состав Совета ботанических садов стран СНГ при МААН (приложение 1).
2. Утвердить Положение о Совете ботанических садов стран СНГ при МААН (приложение 2).
3. Просить академии наук и организации, входящие в МААН, содействовать работе Совета ботанических садов стран СНГ.

Президент Международной  
ассоциации академий наук  
академик НАН Украины

Б. Е. Патон

Приложение 1  
к постановлению Совета МААН  
от 3 декабря 2013 г. № 238

**Состав Совета ботанических садов стран СНГ при МААН****от Азербайджана**

- Ализаде В. М. директор Института ботаники НАН Азербайджана,  
д. б. н.
- Мамедов Т. С. директор Мардакянского дендрария НАН Азербайджана,  
член-корреспондент НАН Азербайджана

**от Армении**

- Варданян Ж. А. директор Института ботаники НАН РА, член-корреспондент НАН Республики Армении
- Мавсесян Г. Г. заместитель директора Института ботаники НАН РА,  
к. б. н.

**от Беларуси**

- Решетников В. Н. Центральный ботанический сад НАН Беларуси, председатель Совета ботанических садов Беларуси, академик НАН Беларуси
- Титок В. В. директор Центрального ботанического сада НАН Беларуси, д. б. н.
- Спиридович Е. В. ученый секретарь Совета ботанических садов Беларуси, к. б. н.

**от Казахстана**

- Ситпаева Г. Т. генеральный директор Института ботаники и фитоинтродукции КН МОН РК, председатель Совета ботанических садов Казахстана, д. б. н.
- Байтулин И. О. Институт ботаники и фитоинтродукции КН МОН РК, академик
- Иманбаева А. А. генеральный директор Мангышлакского ботанического сада КН МОН РК, к. б. н.
- Данилова А. Н. Алтайский ботанический сад КН МОН РК, к. б. н.

**от Кыргызстана**

- Мусуралиев Т. С. директор Ботанического сада НАН Кыргызской Республики, к. б. н.
- Кенжебаева Н. В. ученый секретарь Ботанического сада НАН КР, к. б. н.
- Турбатова А. О. Ботанический сад НАН КР

**от Молдовы**

- Телеуцэ А. С. директор Ботанического сада АН Молдовы, к. с.-х. н.
- Колцун М. Б. заместитель директора Ботанического сада АН Молдовы, к. б. н.

**от России**

- Демидов А. С. директор Главного ботанического сада РАН (ГБС РАН), председатель Совета ботанических садов России (СБСР), д. б. н.
- Коропачинский И. Ю. Центральный Сибирский ботанический сад СО РАН, заместитель председателя СБСР СР, академик
- Горбунов Ю. Н. заместитель председателя СБСР СР, д. б. н.
- Потапова С. А. ученый секретарь Совета ботанических садов России
- Новиков В. С. директор Ботанического сада МГУ, председатель Регионального Совета Центра Европейской части России, д. б. н.
- Смирнов Ю. С. директор Ботанического сада БИН РАН, председатель Регионального Совета Северо-Запада Европейской части России, к. б. н.

- Шавнин С. А. директор Ботанического сада УрО РАН, председатель Регионального Совета Урала и Поволжья, д. б. н.
- Карпун Ю. Н. директор Субтропического ботанического сада Кубани, председатель Регионального Совета Северного Кавказа, д. б. н.
- Куприянов А. Н. директор Кузбасского ботанического сада Института экологии человека СО РАН, председатель Регионального Совета Сибири и Дальнего Востока, к. б. н.

#### **от Узбекистана**

- Тухтаев Б. Е. директор Института генофонда растительного и животного мира АН Республики Узбекистан, д. б. н.
- Аллабердиев Р. Х. заместитель директора Ботанического сада Института генофонда растительного и животного мира АН Республики Узбекистан, к. б. н.

#### **от Украины**

- Черевченко Т. М. председатель Совета ботанических садов Украины, член-корреспондент НАН Украины
- Заименко Н. В. директор Национального ботанического сада НАН Украины, д. б. н.
- Косенко И. С. директор Национального дендрологического парка «Софиевка» НАН Украины, член-корреспондент НАН Украины
- Ежов В. Н. директор Никитского ботанического сада, академик Национальной академии аграрных наук Украины

Приложение 2  
к постановлению Совета МААН  
от 3 декабря 2013 г. № 238

### **ПОЛОЖЕНИЕ**

#### **о Совете ботанических садов стран Содружества Независимых Государств при Международной ассоциации академий наук**

#### **1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

1.1. Совет ботанических садов стран Содружества Независимых Государств (далее СНГ) при Международной ассоциации академий наук (далее – МААН), именуемый в дальнейшем «Совет ботанических садов», создан постановлением Совета МААН от 7 июня 2012 г. № 235 «О создании Совета ботанических садов стран СНГ при МААН».

1.2. Совет ботанических садов является консультативным совещательным органом при МААН, действующим в соответствии с Положением о МААН и настоящим Положением.

1.3. Совет ботанических садов не является юридическим лицом и не несет ответственности по обязательствам членов Совета ботанических садов, равно как и члены Совета ботанических садов не отвечают по обязательствам Совета ботанических садов.

1.4. Совет ботанических садов проводит свою работу на принципах добровольности, самоуправления, гласности, выборности всех его органов и комиссий и подотчетности их перед Советом МААН.

## 2. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ СОВЕТА БОТАНИЧЕСКИХ САДОВ

2.1. В соответствии с постановлением Совета МААН от 7 июня 2012 г. № 235 «О создании Совета ботанических садов стран СНГ при МААН» Совет ботанических садов создан с целью развития сотрудничества ученых в области интродукции и акклиматизации растений, сохранения биологического разнообразия, создания и реконструкции ботанических садов и парков, проведения просветительской работы среди населения и привлечения общественности к природоохранной деятельности, других флористических направлений.

2.2. Основные задачи Совета ботанических садов:

– координация приоритетных направлений деятельности ботанических садов, парков, дендрариев и дендропарков (далее ботсадов и дендропарков) стран СНГ и стран, академии наук которых входят в МААН, сотрудничество с национальными, международными и межгосударственными органами и организациями, имеющими отношение к данной сфере деятельности;

– развитие научных исследований и разработка методических рекомендаций в области интродукции и акклиматизации растений, увеличение разнообразия растительных ресурсов, сохранения генофонда природной и культурной флоры;

– развитие международных научных связей с ботсадами и дендропарками, ботаническими организациями мирового сообщества, разработка совместных программ и координация деятельности;

– организация консультаций по важнейшим проблемам, разрабатываемым ботсадами и дендропарками;

– координация деятельности по охране редких, исчезающих и эндемичных видов;

– подготовка предложений по формированию сети ботсадов и дендропарков;

– составление сводного каталога коллекционных фондов ботсадов и дендропарков, каталога интродуцированных растений;

– организация совместных научных экспедиций с целью изучения флоры и планового расширения перечня растений наиболее ценных для интродукции;

– организация обмена продуктами профессиональной научной деятельности ботсадов и дендропарков, подготовка совместных информационных изданий.

2.3. Для выполнения своих задач Совет ботанических садов:

2.3.1. Создает постоянные и временные рабочие группы и комиссии по основным направлениям деятельности ботсадов и дендропарков стран СНГ и стран, академии наук которых входят в МААН, в том числе по вопросам:

– формирования приоритетных направлений деятельности ботсадов и дендропарков;

– внедрения в практику результатов наиболее крупных научных достижений в координируемых направлениях;

– формирования коллекционных фондов растений и семян ботанических садов и парков;

– проведения эколого-просветительской деятельности, обслуживания посетителей.

2.3.2. Организует справочно-информационную службу в системе ботсадов и дендропарков стран СНГ и стран, академии наук которых входят в МААН, для чего:

– создает библиографию публикуемых ботсадами и дендропарками научных трудов;

– проводит научные конференции, школы и семинары представителей ботсадов и дендропарков по наиболее актуальным в теоретическом и практическом отношении вопросам и содействует публикации материалов этих конференций;

– осуществляет пропаганду и освещает результаты деятельности ботанических садов и парков в печати, по телевидению и радио, а также с помощью других средств массовой информации;

– организует подготовку изданий сводных справочников по ботаническим садам и паркам.

2.3.3. Способствует обмену растениями и семенами, а также базами данных, информационными ресурсами и другими материалами между организациями, входящими в состав советов ботанических садов стран СНГ и стран, академии наук которых входят в МААН.

2.3.4. Способствует внедрению прогрессивных форм работы ботсадов и дендропарков, распространению профессиональных знаний, в том числе путем обмена специалистами и планами научно-исследовательских работ, повышения квалификации.

2.3.5. Иницирует:

– обращения от имени МААН в органы СНГ с предложениями, решение которых возможно только на межгосударственном уровне;

– подготовку в странах СНГ и странах, академии наук которых входят в МААН, проектов нормативных актов и документов об изменениях в природоохранном, налоговом, таможенном и других законодательствах, в частности обе-

спечивающих бесплатный/льготный ввоз и вывоз растений и семян по обмену между ботсадами и дендропарками.

2.3.6. Организует выпуск Информационного бюллетеня как органа Совета ботанических садов, обеспечивает оперативное издание материалов совещаний Совета ботанических садов; выставляет в международной сети Интернет Web-страницу о деятельности Совета ботанических садов.

### **3. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ СОВЕТА БОТАНИЧЕСКИХ САДОВ**

3.1. В состав Совета ботанических садов входят руководители советов ботанических садов стран СНГ и стран, академии наук которых входят в МААН, директора ведущих (национальных, центральных, главных) ботанических садов, парков, дендрариев и дендропарков этих стран. В состав Совета ботанических садов на правах ассоциированного члена могут входить представители ботанических садов, парков, дендрариев и дендропарков других стран, а также представители советов ботанических садов других стран. Первичный персональный состав Совета ботанических садов и Положение о нем утверждает Совет МААН. Изменения в составе Совета ботанических садов утверждаются решением Совета ботанических садов. Члены Совета ботанических садов принимают участие в его работе на общественных началах.

3.2. Основной формой работы Совета ботанических садов является заседание, которое проводится по мере необходимости, но не реже одного раза в год, на базе учреждения, согласно плану работы Совета. Руководит заседаниями Совета ботанических садов его председатель или по его поручению один из заместителей председателя.

3.3. В период между заседаниями Совета ботанических садов его деятельностью руководит Бюро Совета ботанических садов. Председатель, заместители председателя и состав Бюро Совета ботанических садов избираются из числа представителей Совета ботанических садов простым большинством голосов присутствующих на заседании сроком на 5 лет. Секретарь Совета ботанических садов утверждается Советом ботанических садов по представлению председателя Совета ботанических садов.

3.4. Совет ботанических садов работает по ежегодному плану, утвержденному на заседании Совета ботанических садов.

3.5. Организационное и материально-техническое обеспечение деятельности Совета ботанических садов осуществляется учреждением, директор которого является в данное время председателем Совета ботанических садов.

3.6. Вопросы для обсуждения на заседаниях Совета ботанических садов могут вноситься Советом МААН, членами Совета ботанических садов, его постоянными и временными комиссиями.

3.7. Решение Совета ботанических садов принимается простым большинством голосов присутствующих при наличии не менее половины его состава.

При равенстве голосов – голос председателя Совета ботанических садов является решающим.

3.8. Положения о постоянных комиссиях Совета ботанических садов утверждаются решением Совета ботанических садов или Бюро Совета ботанических садов.

3.9. Председатель Совета ботанических садов может принимать участие в заседаниях Совета МААН с правом совещательного голоса, а также инициировать обсуждение на заседаниях Совета МААН вопросов, связанных с деятельностью Совета ботанических садов.

3.10. Делопроизводство Совета ботанических садов ведётся на русском языке.

3.11. Изменение настоящего Положения, а также реорганизация или ликвидация Совета ботанических садов производятся по решению Совета ботанических садов, принятому не менее чем двумя третями голосов от общего числа его членов и по согласованию с МААН.

**Совет Международной ассоциации академий наук**

**ПОСТАНОВЛЕНИЕ**

3 декабря 2013 г.

№ 239

г. Киев

О создании Научного совета  
по проблемам биомедицины  
и биотехнологий при МААН

Придавая приоритетное значение развитию биологических наук медицинского направления, в частности, экспериментальной медицины, созданию современных диагностических, лечебных и профилактических препаратов и с целью укрепления научного сотрудничества ученых стран СНГ Совет Международной ассоциации академий наук постановляет:

1. Создать при Международной ассоциации академий наук Научный совет по проблемам биомедицины и биотехнологий (далее – Совет).

2. Назначить сопредседателями Научного совета по проблемам биомедицины и биотехнологий при МААН декана факультета фундаментальной медицины Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова академика РАН В. А. Ткачука и директора Института биохимии им. А. В. Палладина НАН Украины академика НАН Украины С. В. Комисаренко.

3. Считать целесообразным:

– просить академии наук и организации, входящие в МААН, делегировать своих представителей в состав Совета;

– подготовить (сопредседателям Совета) предложения по персональному его составу и проект Положения о Научном совете по проблемам биомедицины и биотехнологий при МААН;

– просить Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова и Национальную академию наук Украины оказывать организационно-техническое содействие деятельности Совета.

Президент Международной  
ассоциации академий наук  
академик НАН Украины

Б. Е. Патон

УДК 001.32:061(100)+001.83(476:100)

П. А. ВИТЯЗЬ<sup>1</sup>, В. К. ЩЕРБИН<sup>2</sup>

## ВКЛАД БЕЛОРУССКИХ УЧЕНЫХ В СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ АКАДЕМИЙ НАУК

<sup>1</sup>Аппарат НАН Беларуси

<sup>2</sup>Центр системного анализа и стратегических исследований НАН Беларуси

(Поступила в редакцию 12.02.2014)

Правовой статус созданной в сентябре 1993 г. Международной ассоциации академий наук (МААН) был определен следующим образом: «Учредить Международную ассоциацию академий наук как неправительственную международную самоуправляемую организацию, имеющую своей целью объединение усилий ученых академий наук суверенных государств и содействие в решении наиболее общих научных проблем развития цивилизации, кооперировании фундаментальных исследований, согласовании научной политики академий наук, поддержке наиболее перспективных исследований, использовании уникальной и дорогостоящей аппаратуры» [1]. Уже в первые годы своей работы МААН полностью оправдала надежды академических ученых стран СНГ, возлагавшиеся на эту международную научную организацию в процессе ее создания. По этому поводу Президент Республики Беларусь А. Г. Лукашенко в своем приветствии, адресованном руководству МААН, заметил следующее: «Жизнь показала, что объединение национальных академий наук стран СНГ в Ассоциацию стало логическим ответом ученых на драматические события, повлекшие после распада СССР свертывание совместных фундаментальных исследований и традиционных связей между научными коллективами... За короткий период существования МААН зарекомендовала себя авторитетной структурой, внесшей на рассмотрение глав государств и правительств стран СНГ ряд ценных и конструктивных предложений» [2].

Столь эффективное начало деятельности МААН является бесспорной заслугой руководства Ассоциации и особенно ее бессменного президента, академика Б. Е. Патона, имевшего к моменту создания МААН более чем тридцатилетний опыт управления одной из крупнейших научных организаций мира (НАН Украины). В меру своих научно-организационных и экспертных возможностей помощь руководству МААН оказывали и входящие в состав Ассоциации

национальные академии стран СНГ, выдвигая всевозможные интеграционные инициативы.

По сути дела, в новых политических и экономических условиях Содружества Независимых Государств был творчески использован старый и хорошо зарекомендовавший себя принцип абсолютно равноправного межакадемического сотрудничества, сформулированный президентом РАН, академиком Ю. С. Осиповым для оценки достижений советской науки: «Движение шло не только из центра, наступал момент, когда процесс менял направление и из союзных республик в центр поступали новые знания. Именно это нас объединяет» [3]. И то, насколько эффективно реализуется данный принцип в новых условиях, зависит только от степени активности взаимодействующих академий наук – членов МААН.

Что касается Национальной академии наук Беларуси (НАН Беларуси), то она не раз выступала со всевозможными интеграционными инициативами (о проведении первого выездного заседания Совета МААН в Минске, о подготовке академиями наук – членами МААН национальных проектов Соглашения о создании общего научного пространства стран СНГ, о формировании ряда проблемных советов при МААН и др.). И это по достоинству оценивалось руководством МААН. Так, постановлением Совета МААН от 11 ноября 1994 г. № 18 президент АН Беларуси, академик Л. М. Сушеня был утвержден на должности вице-президента МААН. На этом высоком посту Л. М. Сушеня проработал до декабря 1997 г., ежегодно проходя процедуру переизбрания по результатам открытого голосования членов Совета МААН [4]. В свою очередь, за большой вклад в развитие международного научного сотрудничества председатель Президиума НАН Беларуси М. В. Мясникович награжден серебряной медалью МААН «За содействие развитию науки» [5].

Об активном участии НАН Беларуси в работе МААН свидетельствует и тот факт, что за прошедшие 20 лет в заседаниях Совета МААН приняли участие многие руководители Академии наук и ее структурных подразделений (академики С. В. Абламейко, В. Е. Агабеков, Н. А. Борисевич, П. А. Витязь, А. П. Войтович, И. Д. Волотовский, М. С. Высоцкий, И. В. Гайшун, Р. Г. Гарецкий, А. М. Гончаренко, В. Г. Гусаков, Ф. А. Лахвич, А. И. Лесникович, Г. М. Лыч, П. Г. Никитенко, В. А. Орлович, А. С. Рубанов, Л. М. Сушеня, члены-корреспонденты М. В. Мясникович, Ю. М. Плескачевский, С. А. Чижик и др.). Иными словами, на 26 заседаниях Совета МААН, которые поочередно проводились в столицах и иных городах государств Содружества (12 раз – в Киеве, 4 раза – в Москве, 2 раза – в Минске, по одному разу – в Алматы, Алуште, Ашхабаде, Бишкеке, Дубне, Душанбе, Кишиневе и Тбилиси), Академию наук чаще всего представляли ее руководители, а также директора академических институтов и ключевые сотрудники Аппарата НАН Беларуси. Столь высокий уровень представительства НАН Беларуси на заседаниях Совета МААН является лучшим свидетельством понимания белорусскими учеными исключительной значимости вопросов, обсуждаемых на заседаниях Совета Ассоциации.

Нам особенно приятно отметить то, что два раза заседания Совета МААН проводились в Минске. Причем первое минское заседание Совета МААН<sup>1</sup> было четвертым по счету заседанием Совета МААН и одновременно первым его выездным заседанием. Знаменательным является и тот факт, что именно в Минске были впервые всесторонне рассмотрены проекты Соглашения о создании общего научного пространства государств – участников Содружества Независимых Государств, подготовленные АН Беларуси, РАН и НАН Украины [6], а также было принято постановление Совета МААН от 30 мая 1995 г. № 27 «О подготовке Обращения МААН к главам государств СНГ и проекта Соглашения о создании общего научного пространства государств – участников СНГ» [7]. Как известно, в дальнейшем данная интеграционная инициатива МААН была поддержана главами правительств стран СНГ<sup>2</sup>.

Второе минское заседание Совета МААН состоялось 4 октября 2000 г. в Президиуме НАН Беларуси, во время проведения представительного Международного конгресса «Наука и образование на пороге III тысячелетия»<sup>3</sup>, организованного совместными усилиями российских и белорусских ученых в соответствии с Планом крупных мероприятий по линии МААН [8]. На повестку дня второго минского заседания Совета МААН были вынесены следующие вопросы: о целесообразности выяснения в администрациях президентов стран СНГ реакции на Обращение Совета МААН, принятого в Дубне; об усилиях МААН по налаживанию более тесных связей с ЮНЕСКО и ЮНЕСКО-РОСТЕ; о формировании повестки дня предстоящих заседаний Совета МААН; о целесообразности решения проблемы привлечения в науку талантливой молодежи и ее закрепления и другие вопросы [9].

На наш взгляд, знаком особого доверия руководства МААН к НАН Беларуси стало предоставление последней права на подготовку и издание Бюллетеня МААН № 6, отражающего материалы первого минского заседания Совета МААН. Кстати, данный минский Бюллетень МААН до сих пор остается единственным изданием такого рода, подготовленным и изданным не в Киеве. Уникальность Бюллетеня МААН № 6 обусловлена еще и тем обстоятельством, что, помимо традиционных для подавляющего большинства бюллетеней МААН рубрик (повестка дня сессии Совета МААН, протокол его заседания, постановления Совета и т. п.), данный Бюллетень включает и такие весьма неординарные документы, как выступление вице-преьера Республики Беларусь В. В. Руса-

<sup>1</sup> Данное минское заседание Совета МААН состоялось 28–31 мая 1995 г. в Президиуме АН Беларуси.

<sup>2</sup> 10 февраля 1995 г. в г. Алматы главы правительств стран СНГ приняли решение «О согласованных мерах по воссозданию и сохранению общего научного пространства в рамках Содружества Независимых Государств», а 3 ноября 1995 г. в г. Москве они же подписали Соглашение о создании пространства указанного типа.

<sup>3</sup> Более подробно о работе Международного конгресса «Наука и образование на пороге III тысячелетия» см.: Щербин В. Праздник мысли, который длился четыре дня: Хроника и статистика Международного конгресса // Веды. 2000. № 10. С. 1–2.

кевича (с. 50–51); доклад вице-президента МААН академика Л. М. Сушени «О состоянии и перспективах развития фундаментальной науки и создание единого научного пространства в рамках МААН» (с. 52–71); Соглашение о создании общего научного пространства государств – участников Содружества Независимых Государств (проекты АН Беларуси, РАН и НАН Украины) (с. 84–108) и др.

На начальном этапе деятельности Ассоциации ключевая роль в организации многостороннего межакадемического сотрудничества отводилась создаваемым при МААН комитетам. Так, в Положении о МААН, утвержденном ее учредительным собранием 23 сентября 1993 г., подробно прописывались цели, функции и полномочия таких комитетов (их создание для подготовки экспертных заключений, рекомендаций и предложений по важнейшим научным проблемам и вопросам научной политики [10]; реализация основной работы Ассоциации через такие комитеты [10]; участие председателей комитетов в работе Совета МААН с правом совещательного голоса [10] и др.).

Первоначально решением Совета МААН были созданы три комитета при Ассоциации: Комитет МААН по естественным наукам (председатель – академик НАН Украины П. Г. Костюк); Комитет МААН по гуманитарным и социальным наукам (председатель – академик НАН Беларуси Г. М. Лыч) и Комитет по информационному обеспечению академий наук – членов МААН (председатель – член-корреспондент РАН Г. И. Савин) [11]. В дальнейшем планировалось создать еще 8 комитетов при МААН [12]. Однако из-за острой нехватки финансовых средств у академий наук – членов Ассоциации уже буквально через год Советом МААН было принято следующее решение: «Считать целесообразным сконцентрировать усилия Ассоциации на становлении и организации эффективной работы уже созданных комитетов МААН (по естественным наукам, гуманитарным и социальным наукам, информационному обеспечению академий наук – членов МААН) и не увеличивать временно их число» [13].

При этом в соответствии с «Основными принципами организации и деятельности Комитета МААН», которые прилагаются к постановлению Совета МААН № 1, организационно-техническое обеспечение работы комитетов было закреплено за теми академиями наук, в которых работают их председатели [14]. В частности, на НАН Беларуси была возложена ответственность за работу Комитета МААН по гуманитарным и социальным наукам [15].

Главное направление работы данного Комитета было определено в выступлении президента МААН, академика Б. Е. Патона на первом заседании Совета Ассоциации (в сентябре 1993 г.): «Приоритетное внимание ассоциация должна уделить организации творческого сотрудничества и тесных межакадемических связей, прежде всего, в сфере гуманитарных и социальных наук. Эти науки, как никакие другие, в наших государствах переживают сейчас период реформации. Им принадлежит особая, исключительная роль в связи с процессами государственного строительства, экономических преобразований, национального и культурного возрождения. И мы должны всячески содействовать их развитию. И бу-

дет непростительно, если ученые, представляющие эти науки, не найдут взаимопонимания или, что еще хуже, станут на путь конфронтации. Для настоящей науки недопустимо «обслуживание» сиюминутных интересов государственных деятелей или политиков. Наша ассоциация, каждая из академий, входящих в ее состав, должны приложить все усилия, чтобы не допустить такого положения дел. Возможности для этого есть и их надо использовать» [16].

Чтобы выполнить данный наказ президента МААН, руководством Комитета по гуманитарным и социальным наукам был разработан и разослан в академии наук – члены МААН подробный вопросник, который содержал многочисленные вопросы о различных сторонах деятельности академических организаций, проводящих фундаментальные исследования в области гуманитарных и социальных наук. И хотя не от всех академий наук – членов МААН Комитету удалось получить требуемые сведения, тем не менее, даже та информация, которая поступила в Комитет, дополненная сведениями из ежегодных академических отчетов, позволила его руководству в 1996 г. подготовить и направить в академии наук – члены МААН объёмный аналитический доклад «О состоянии гуманитарных и социальных наук в академиях наук – членах МААН (организационный, информационный, кадровый и другие аспекты)». В этом докладе были подведены итоги межстрановых сравнений в области академического обществоведения 10 стран СНГ. В дальнейшем по материалам данного доклада был опубликован целый ряд научных работ в журналах и монографиях, изданных в Республике Беларусь [17].

Были предприняты также попытки создания при указанном Комитете ряда профильных центров и ассоциаций. К примеру, НАН Беларуси внесла предложение о создании при Комитете МААН по гуманитарным и социальным наукам Центра по изучению интеграционных процессов в рамках СНГ [18]. В свою очередь, Интеграционный комитет Республики Беларусь, Республики Казахстан, Кыргызской Республики, Российской Федерации обратился к Совету МААН с предложением о создании при указанном Комитете Ассоциации исследователей интеграционных проблем государств – участников Договора от 29 марта 1996 г. [19].

Однако чересчур высокий представительский уровень членов Комитета МААН по гуманитарным и социальным наукам (в основном в его состав вошли вице-президенты и академики-секретари академий наук – членов МААН, отвечающие за гуманитарные и социальные науки), требующий весьма значительных финансовых расходов со стороны НАН Беларуси для обеспечения достойного уровня проведения заседаний данного Комитета, не позволил выполнить требование из «Основных принципов организации и деятельности Комитета МААН», в соответствии с которым заседания Комитета должны были проводиться не реже 1 раза в полугодие [20]. В аналогичной ситуации оказались также НАН Украины и РАН, отвечающие за работу Комитета МААН по естественным наукам и Комитета МААН по информационному обеспечению академий наук – чле-

нов МААН. Выход из сложившейся ситуации был намечен в постановлении Совета МААН от 2 декабря 1998 г. № 77 «О комитетах МААН», в соответствии с которым функции данных Комитетов должны были взять на себя созданные при МААН научные советы [21].

В частности, к настоящему времени в рамках МААН созданы и успешно работают более десятка научных советов и близких к ним по статусу организационных структур (программ, секций, рабочих групп, союзов и т. п.). Белорусские ученые активно участвуют в работе всех без исключения научных советов и структур, созданных при МААН. Так, в апреле 1995 г. по инициативе НАН Украины сформирован Научный совет МААН по новым материалам. Председателем Научного совета по новым материалам был назначен директор Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, академик Б. Е. Патон. С 14 мая 1996 г., когда в Институте электросварки прошла первая сессия Научного совета по новым материалам, и по настоящее время состоялось 16 ежегодных сессий Совета [22]. В составе данного Совета НАН Беларуси представляет член-корреспондент Ю. М. Плескачевский, который возглавляет секцию «Полимерные материалы».

Далее, на заседании Совета МААН в г. Тбилиси, которое состоялось 12 октября 1996 г., было принято решение о создании при МААН Совета директоров научных библиотек и информационных центров национальных академий наук [23]. Советом ежегодно проводятся заседания, а также многочисленные международные конференции по проблемам библиотековедения, издано около десятка сборников с общим названием «Библиотеки национальных академий наук: проблемы функционирования, тенденции развития». В первоначальный состав Совета решением Совета МААН от НАН Беларуси была включена директор Центральной научной библиотеки им. Я. Коласа (ЦНБ) С. Н. Емельянова [24], которую на данном посту сменила в 1999 г. новый директор ЦНБ Н. Ю. Березкина, принявшая активное участие во всех заседаниях Совета и организуемых им научно-организационных мероприятиях.

На указанном выше заседании Совета МААН в г. Тбилиси было принято также решение о создании при МААН Объединенного научного совета по фундаментальным географическим проблемам во главе с академиком РАН В. М. Котляковым. От Республики Беларусь в первоначальный состав данного Совета вошли президент Белорусского географического общества В. С. Аношко и директор Института геологических наук НАН Беларуси А. В. Матвеев [25]. Насколько активно работали белорусские участники данного Совета, можно судить по тому факту, что II выездная сессия Совета состоялась в Беларуси (Минск–Раубичи, май 1998 г.), а по ее результатам был опубликован сборник «Геоинформационные и геоэкологические исследования в странах СНГ» (1999). В апреле 2001 г. состав Совета был обновлен: от НАН Беларуси вместо А. В. Матвеева был введен академик В. Ф. Логинов [26]. К настоящему времени Советом проведено 15 ежегодных заседаний, изданы

4 монографии, в рамках деятельности Объединенного научного совета учрежден Совет молодых ученых [27]. В июне 2012 г. персональный состав Объединенного научного совета по фундаментальным географическим проблемам был в очередной раз обновлен: от НАН Беларуси в него дополнительно включен представитель Института природопользования В. С. Хомич [28].

19 декабря 1997 г. было издано постановление Совета МААН № 68 «О подготовке проектов межгосударственных научных программ», в соответствии с которым были созданы две рабочие группы: рабочая группа по формированию межгосударственной научной программы «Проблемы окружающей природной среды и устойчивого социально-экономического развития», во главе с директором Института географии РАН академиком В. М. Котляковым. От НАН Беларуси в состав данной рабочей группы был введен директор Института экспериментальной ботаники им. В. С. Купревича НАН Беларуси академик В. И. Парфенов [29]; рабочая группа по формированию межгосударственной научной программы «Исследование физических и геометрических особенностей Вселенной и ее отдельных составляющих по данным наблюдений астрономических обсерваторий» под председательством директора Главной астрономической обсерватории НАН Украины академика Я. С. Яцкива. НАН Беларуси в составе данной рабочей группы представил заведующий лабораторией Института физики им. Б. И. Степанова член-корреспондент А. А. Богуш [30].

В соответствии с постановлением Совета МААН от 2 декабря 1998 г. № 74 был утвержден состав Консультативного совета по вопросам охраны интеллектуальной собственности и передачи технологий. От НАН Беларуси в состав указанного Совета вошли ее вице-президент академик П. А. Витязь и директор Института экономики член-корреспондент П. Г. Никитенко [31].

Постановлением Совета Ассоциации от 2 декабря 1998 г. № 75 в состав созданного при МААН Международного координационного комитета по вычислительной математике включены главный научный сотрудник Института технической кибернетики НАН Беларуси Ю. Н. Сотсков и главный научный сотрудник Института математики НАН Беларуси член-корреспондент Л. А. Янович [32]. В октябре 2010 г. состав указанного Комитета был обновлен: от Республики Беларусь вместо Ю. Н. Сотскова был введен профессор Белорусского государственного университета П. П. Забрейко [33]. Благодаря активной работе белорусских ученых одно из заседаний Международного координационного комитета по вычислительной математике при МААН было проведено на базе Института математики НАН Беларуси (в апреле 2011 г.).

2 декабря 1998 г. Совет МААН рассмотрел предложение НАН Беларуси по разработке проблемы «Рациональное использование и охрана природных комплексов бассейнов рек Днепра, Припяти и Днестра» и принял решение о создании в рамках МААН Координационного совета по данной проблеме во главе с представителем НАН Беларуси академиком И. И. Лиштваном [34]. Позднее был

утвержден Состав Координационного совета МААН, который состоит из Бюро Совета (в него от НАН Беларуси вошли академик И. И. Лиштван, члены-корреспонденты А. В. Кудельский, В. Ф. Логинов, М. М. Пикулик, ученые – геологи и экологи М. Ю. Калинин, И. Л. Якимович и Л. М. Ярошевич) и четырех секций (белорусской, молдавской, российской и украинской). В состав белорусской секции Совета вошли академики Е. М. Бабосов, Н. Н. Бамбалов, В. А. Ипатьев, И. И. Лиштван, Г. М. Лыч, А. В. Матвеев, В. И. Парфенов, члены-корреспонденты А. В. Кудельский, В. Ф. Логинов, А. А. Махнач, М. М. Пикулик, Н. И. Смян и более двух десятков других ученых и практиков, работающих в области геологии и экологии (В. С. Аношко, Б. П. Власов, И. В. Войтов, Д. С. Голод, А. М. Гречко, С. П. Гудак, М. Ю. Калинин, Л. В. Козловская, В. Е. Лебедь, А. С. Мееровский, В. Э. Пахомчик, А. Н. Рачевский, В. Н. Рогунович, М. М. Серков, А. В. Тамашевич, И. А. Тяшкевич, В. С. Усенко, Г. С. Чекан, М. М. Черепанский, Н. А. Юргенсон, Л. М. Ярошевич и В. М. Яцухно) [35].

Постановлением Совета МААН от 22 июня 2000 г. № 98 был утвержден состав Научно-консультативного совета по вопросам научного сопровождения совместных работ по Чернобыльской тематике во главе с членом Президиума НАН Украины академиком В. Г. Барьяхтаром. От НАН Беларуси в состав данного Совета вошли директор Института радиобиологии академик Е. Ф. Конопля, заведующий лабораторией Института геологических наук член-корреспондент А. В. Кудельский и заведующий лабораторией Института радиоэкологических проблем Г. А. Шароваров [36].

3 декабря 2003 г. Совет МААН принял решение считать Союз физиологических обществ стран СНГ организацией, состоящей при МААН [37].

12 октября 2006 г. Совет МААН принял решение о создании при Ассоциации Совета по книгоизданию, объединяющего представителей академий наук – членов МААН и организаций – ассоциированных членов МААН: научно-издательских советов, научных учреждений, академических издательств, полиграфических и книгораспространительских предприятий, национальных и академических библиотек, а также ведущих университетов, сотрудничающих с академиями наук по выпуску научных изданий [38]. НАН Беларуси в составе данного Совета представляют заместитель председателя академической редакционно-издательской комиссии, заместитель директора издательского дома «Белорусская наука» С. А. Ничипорович, советник Президиума НАН Беларуси академик П. Г. Никитенко и академик-секретарь Отделения гуманитарных наук и искусств А. А. Коваленя [39]. К настоящему времени Советом проведены 6 ежегодных заседаний, 16 международных конференций, форумов и круглых столов по проблемам книгоиздания, организованы 2 международных конкурса на лучший научно-издательский проект (в 2010 и 2011 гг.). По решению Совета с сентября 2007 г. издается международный научно-практический журнал «Научная книга», а с 2008 г. – еще и ежегодный Бюллетень Совета по книгоизданию. Про активность белорус-

ских представителей в составе данного Совета говорят следующие факты: 26–27 ноября 2008 г. на базе НАН Беларуси в г. Минске прошла международная конференция «Книга – источник культуры. Проблемы и методы исследования», организованная совместными усилиями Совета по книгоизданию, ЦНБ НАН Беларуси и Научного центра исследований истории книжной культуры РАН; в феврале 2009 г. на Международной книжной ярмарке в Минске впервые была развернута единая экспозиция научной периодики академий наук – членов МААН на общем стенде под фризом Совета по книговедению при МААН [40]; 16–18 сентября 2009 г. на базе НАН Беларуси в Минске состоялись III сессия Совета по книгоизданию и научный форум «Славянское книгопечатание и культура книги» [40].

25 октября 2007 г. руководством Ассоциации создана в Научном совете по новым материалам при МААН секция по проблемам функциональных материалов электронной техники. Республику Беларусь в составе данной секции представляют академики А. П. Достанко и В. А. Лабунов, члены-корреспонденты С. В. Гапоненко и А. П. Шкадаревич, известные ученые-материаловеды и производственники А. И. Акимов, В. М. Анищик, А. И. Белоус, К. Е. Белявин, С. А. Гурецкий, Л. М. Лыньков, Ю. В. Трофимов, В. М. Федосюк, А. К. Федотов [41].

23 сентября 2009 г. Совет МААН принял решение о создании Научного совета по науковедению при МААН [42]. НАН Беларуси в составе данного Совета представляют руководитель Центра мониторинга и миграции научных и научно-педагогических кадров Института социологии и социальных технологий М. И. Артюхин и советник Президиума НАН Беларуси академик П. Г. Никитенко [43]. Состоялись уже три заседания Научного совета по науковедению при МААН (2 раза – в Киеве и 1 раз – в Ялте), в которых, помимо официальных членов Совета, представляющих НАН Беларуси, принимали участие и другие белорусские ученые (Л. Н. Нехорошева, В. И. Прокошин, В. К. Щербин) [44].

7 июня 2012 г. постановлением Совета МААН № 230 на базе Секции по проблемам функциональных материалов электронной техники, которая с 2007 г. весьма продуктивно работала в рамках Научного совета по новым материалам при МААН (заседания Секции проводились в Москве в 2008 и 2010 гг., Харькове в 2009 г., Киеве в 2011 г.), создан Научный совет по проблемам функциональных материалов электронной техники.

На московском заседании Совета МААН в июне 2012 г. было принято решение о создании Совета ботанических садов стран СНГ при МААН во главе с директором Главного ботанического сада им. Н. В. Цицина РАН А. С. Демидовым [45]. Данным решением Совета МААН фактически воссоздан бывший Совет ботанических садов СССР, который был организован по инициативе академика Н. В. Цицина и плодотворно работал на протяжении многих десятилетий.

Успешная работа перечисленных выше научных советов при МААН и близких к ним по статусу организационных структур по отдельным комплексным проблемам является лучшим подтверждением мысли президента МААН академик Б. Е. Патона о том, что «академическая форма организации науки, объединяющая институты различных научных областей, как никакая другая позволяет консолидировать усилия ученых для решения комплексных проблем междисциплинарного характера» [46].

Рамками перечисленных выше научных советов и близких к ним по статусу научных структур деятельность МААН не ограничивается. В частности, из доклада президента МААН академика Б. Е. Патона, с которым он выступил на заседании Совета Ассоциации в г. Душанбе, можно узнать о том, что благодаря инициативе вице-президента Ассоциации академика А. Н. Тавхелидзе «в МААН появился институт ассоциированных членов и первым ассоциатом с подачи именно Альберта Никифоровича стал один из самых авторитетных в мире центров физической науки – Объединенный институт ядерных исследований» [47]. Организационный потенциал данной инициативы академик Б. Е. Патон оценил следующим образом: «Если перефразировать известные слова Михаила Васильевича Ломоносова, то «мощь МААН будет прирастать ассоциированными членами», потому что количество национальных академий наук никак не увеличится. А вот с ассоциированными членами мы имеем большой резерв» [48]. С целью практического использования данного резерва в пункт 1 Положения о МААН внесено дополнение о том, что в состав Ассоциации входят также ассоциированные члены: организации, предприятия, фонды, мэрии городов и другие юридические лица (ассоциаты) [49].

К настоящему времени в рамках МААН работает 7 ассоциированных членов (приводятся в порядке их приема в состав МААН):

- Объединенный институт ядерных исследований (1997);
- Российский гуманитарный научный фонд (1999);
- Российский фонд фундаментальных исследований (1999);
- Московский физико-технический институт (2000);
- Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (2000);
- Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (2002);
- Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (2009).

Каждый из ассоциированных членов МААН вносит в деятельность межакадемической Ассоциации свой весомый и неповторимый вклад. Скажем, Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ) интересен всем академиям наук – членам МААН накопленным опытом и отлаженным механизмом международного сотрудничества ученых-физиков 18 стран мира. В свою очередь, российские и белорусский научные фонды обеспечивают финансовую поддержку реализации совместных фундаментальных проектов, выполняемых представителями двух и более академий наук – членов Ассоциации. Московский физико-технический институт и Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова готовят для академий наук

стран СНГ научные кадры – талантливую, нацеленную на поиск молодежь. Наконец, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» является надежным партнером академий наук – членов МААН при решении вопроса о создании инновационной инфраструктуры для развития нанотехнологий (в частности, благодаря совместной инициативе ОИЯИ, Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» и МААН в апреле 2010 г. был создан Международный инновационный центр нанотехнологий СНГ в Дубне).

Республика Беларусь приобщилась к институту ассоциированных членов МААН благодаря инициативе руководства белорусского научного фонда: 23 марта 2000 г. президентом МААН академиком Б. Е. Патеном и председателем Совета Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (БРФФИ) академиком А. С. Рубановым было подписано Соглашение о сотрудничестве между МААН и БРФФИ для содействия развитию научных исследований в области естественных, технических и гуманитарных наук, становлению новых форм государственной поддержки фундаментальных исследований, развитию международного научного сотрудничества ученых [50]. За 13 лет, прошедших с момента подписания Соглашения о сотрудничестве между МААН и БРФФИ, белорусский фонд успел сделать много полезного для обеспечения межакадемического взаимодействия в рамках МААН, организовав проведение более десятка совместных (двух- и трехсторонних) конкурсов проектов («БРФФИ–РГНФ», «БРФФИ–РФФИ», «БРФФИ–ГФФИУ», «БРФФИ–АНМ», «БРФФИ–ГКНАрм», «БРФФИ–ФРНА», «БРФФИ–ВАНТ», «БРФФИ–ОИЯИ», «БРФФИ–РФФИ–ГФФИУ» и др.). В реализации совместных научных проектов, профинансированных по итогам проведения перечисленных выше конкурсов, принимают активное участие сотрудники многих национальных академий наук – членов МААН, представляющих такие страны, как Азербайджан, Армения, Беларусь, Вьетнам, Молдова, Россия, Украина и др. Если говорить по существу, выполнение совместных проектов, финансируемых научными фондами и иными государственными организациями стран СНГ, стало в настоящее время основным источником финансирования межакадемического научного сотрудничества на постсоветском пространстве.

Роль научных фондов стран СНГ в развитии межакадемического взаимодействия хорошо раскрыл председатель Совета БРФФИ академик В. А. Орлович: «Мне думается, что мы недооцениваем роль фондов. Наш Фонд с 1996–1997 гг. имеет прекрасные отношения с двумя российскими фондами. Мы с Российским гуманитарным научным фондом проводим ежегодно конкурсы – иногда получается 30 и больше совместных проектов. Примерно половина из них получает финансирование. Реальное взаимодействие у нас с Фондом фундаментальных исследований России – мы проводим раз в два года совместные конкурсы. В этом году поступило более 200 совместных заявок. Конечно, это очень мощное сотрудничество, очень важное, которое реально выполняет роль стимулирующего

фактора. В прошлом году мы провели первый конкурс с фондом украинским. Предполагали, что получим, может, заявок 40, заявок 15 – профинансируем и будем счастливы. А получили 150 заявок! Представляете, полторы сотни групп со стороны Беларуси и Украины мгновенно нашли общий язык в этих прекрасных проектах. Удалось 45 проектов профинансировать. ...фонды – это очень мобильная структура. У нас работают небольшие экспертные советы, мы объявляем конкурс, собираем несколько месяцев заявки, месяц-два обрабатываем и выдаем деньги. Люди начинают реально работать. Это очень важный вид взаимодействия, и только отсутствие или недостаток фондов в других странах наших членов МААН мешает его развитию» [51].

Косвенным, но весьма красноречивым показателем активного участия БРФФИ в деятельности МААН является также тот факт, что бесспорным лидером среди белорусских ученых, представлявших в разные годы Республику Беларусь на заседаниях Совета МААН, является председатель Научного совета – директор исполнительной дирекции БРФФИ академик В. А. Орлович, который 9 раз был участником сессий Совета МААН. Причем нередко он представлял на заседаниях Совета межакадемической Ассоциации не только возглавляемый им БРФФИ, но и НАН Беларуси в целом.

Наконец, еще одной весьма важной формой деятельности Ассоциации является организация под эгидой МААН многочисленных международных научных конгрессов, форумов, конференций и симпозиумов. Назовем в качестве примера несколько наиболее значимых из научных мероприятий по линии МААН, которые были организованы на базе НАН Беларуси (приводятся в порядке их проведения):

Минское рабочее совещание руководителей национальных академий наук и научных фондов стран СНГ и Восточной Европы «Универсальная ценность фундаментальной науки. Наука вне границ» (Минск, 14 января 1999 г.);

Международный конгресс «Наука и образование на пороге III тысячелетия» (Минск, 3–6 октября 2000 г.);

Международная научная конференция «Книга – источник культуры. Проблемы и методы исследования» (Минск, 26–27 ноября 2008 г.);

Международная научная конференция «Глобальные и региональные угрозы и риски устойчивого развития стран и регионов СНГ» (Минск, 1–4 июня 2009 г.);

Международная научная конференция «Славянское книгопечатание и культура книги» (Минск, 16–18 сентября 2009 г.);

V Международная летняя школа молодых ученых-историков стран СНГ, посвященная 65-й годовщине победы в Великой Отечественной войне (Минск, 13–21 июня 2010 г.).

Конечным итогом каждого проведенного под эгидой МААН научно-организационного мероприятия (конгресса, форума, конференции, симпозиума), как правило, становилось издание одноименного сборника докладов, статей, а то и коллективной монографии. В частности, с участием белорусских ученых был

издан целый ряд монографий и сборников научных статей под грифом МААН<sup>1</sup>, всего же на электронном портале МААН в разделе «Книжные издания МААН» представлены данные о трех десятках книжных изданий под грифом МААН [52]. Кроме того, МААН официально поддерживает выпуск трех научных журналов: «Общество и экономика», «Научная книга» и «Науковедение»<sup>2</sup>, в которых белорусские ученые регулярно публикуют результаты своих исследований<sup>3</sup>. Особо отметим участие представителей НАН Беларуси в подготовке книжных юбилейных изданий МААН [53–55].

Таким образом, формирование МААН в сентябре 1993 г., а также активная и многоаспектная деятельность данной международной координирующей структуры на протяжении двух десятилетий создали необходимые организационные условия для налаживания интенсивного межакадемического взаимодействия на

<sup>1</sup> В изданных под грифом МААН сборнике статей «Социально-экономические проблемы переходного общества: Из практики стран СНГ» (М., 2000) опубликованы результаты исследований белорусских ученых Е. М. Бабосова, В. В. Бушица, П. Г. Никитенко; монографии «Инновации и экономический рост» (М., 2002) опубликована статья академика НАН Беларуси П. Г. Никитенко; сборнике материалов международного симпозиума «Роль международных организаций в развитии общеевропейского научно-технологического пространства» (К., 2002) вышли статьи белорусских ученых И. Д. Волотовского, А. С. Рубанова, И. Н. Шарого, В. К. Щербина; монографии «Трансформация постсоциалистического общества» (М., 2003) опубликована статья академика НАН Беларуси П. Г. Никитенко; сборнике статей «Роль книгоиздания в развитии международных научных и культурных контактов» (М., 2005) опубликованы результаты исследований белорусских авторов Н. Ю. Березкиной, С. А. Жибулевской, В. А. Орловича и В. В. Кручинского, О. Н. Сикорской; сборнике материалов международного симпозиума «Интеграция науки и образования – ключевой фактор построения общества, основанного на знаниях» (К., 2008) увидели свет статьи белорусских исследователей В. А. Орловича, В. И. Прокошина; сборнике материалов международного симпозиума «Перемещение центров научно-технологической активности на европейском пространстве и межстрановая мобильность ученых и специалистов: современные тенденции» (К., 2012) опубликованы статьи белорусских исследователей М. И. Артюхина, О. А. Мееровской, П. Г. Никитенко, В. А. Орловича, В. И. Прокошина, Т. Г. Серковой, И. Н. Шарого, В. К. Щербина; сборнике материалов международного симпозиума «Отношение общества и государства к науке в условиях современных экономических кризисов: тенденции, модели, поиск путей улучшения взаимодействия» (К., 2013) вышли статьи белорусских ученых М. Артюхина, А. Колесникова, Т. Лядновой, О. Мееровской, П. Никитенко, В. Прокошина, Э. Савчук, С. Сиренко, А. Слонимского, С. Солодовникова, В. Цилибиной, И. Шарого, В. Щербина.

<sup>2</sup> Данным научным журналам посвящены постановления Совета МААН № 37, 93, 102, 132, 141, 155, 174, 189, 190.

<sup>3</sup> В журнале «Общество и экономика» опубликованы статьи следующих белорусских ученых: А. Данилова, Г. Лыча, П. Никитенко, И. Сержинского, В. Шабайлова, Д. Широканова, А. Шрубенко (1998. № 12); Е. Бабосова, В. Бушица, А. Войтовича, А. Лученка, И. Михайловой-Станюты, П. Никитенко, В. Саковича, Г. Соколовой, Н. Черноуцкой, С. Шавеля (1999. № 1); М. Мясниковича (2003. № 6); М. Хурса (2009. № 1); Г. Соколовой (2009. № 3; 2010. № 5; № 7–8; 2011. № 7; 2012. № 7–8); В. Медведева, П. Никитенко, И. Толстик (2010. № 2); Л. Шахотько (2011. № 4–5); В. Саковича (2011. № 8–9); Н. Шумского (2011. № 10); Г. Лыча (2012. № 3–4; 2013. № 4) и т. д.; в журнале «Научная книга» опубликованы статьи следующих белорусских исследователей: С. Жибулевской (2001. № 3; 2002. № 2); В. Щербина (2002. № 2); М. Мясниковича (2004. № 1) и т. д.; в журнале «Науковедение» опубликованы статьи следующих белорусских ученых: В. Степина (1999. № 1); П. Витязя и В. Щербина (2001. № 4) и т. д.

постсоветском пространстве. В самых разных по уровню и тематике научно-исследовательских, научно-организационных и издательских мероприятиях МААН за 20 лет приняли участие многие сотни белорусских ученых, что, несомненно, обогатило их новыми научными идеями и фундаментальными знаниями. Главное же, работа белорусских ученых в многочисленных научных комитетах, советах, секциях, рабочих группах, союзах и ассоциациях, созданных при МААН, повысила уровень востребованности результатов отечественных фундаментальных исследований на внешних рынках, дала участникам этих исследований возможность почувствовать поддержку межакадемического братства, которое всегда приходит на помощь в трудную для науки той или иной страны минуту.

### Литература

1. Соглашение о создании Международной ассоциации академий наук // Международная ассоциация академий наук и развитие интеграции в сфере науки. К., 1998. С. 241.
2. Приветствие Президента Республики Беларусь А. Г. Лукашенко в адрес Международной ассоциации академий наук // Международная ассоциация академий наук и развитие интеграции в сфере науки / Под общ. ред. А. П. Шпака. К., 1998. С. 11.
3. Выступление президента Российской академии наук, академика РАН Ю. С. Осипова // Бюллетень МААН № 20. К., 1999. С. 7.
4. Постановление Совета МААН от 12 октября 1996 г. № 53 «О вице-президенте МААН» // Бюллетень МААН № 10. К., 1996. С. 73.
5. Постановление Совета МААН от 23 сентября 2009 г. № 205 «О награждении серебряной медалью МААН «За содействие развитию науки» // Бюллетень МААН № 51. К., 2009. С. 142.
6. Бюллетень МААН № 6. Минск, 1995. С. 84–108.
7. Бюллетень МААН № 6. Минск, 1995. С. 81–82.
8. План крупных мероприятий, проводимых по линии МААН во II полугодии 2000 г. // Бюллетень МААН № 23. К., 2001. С. 51–52.
9. Материалы заседания Совета Международной ассоциации академий наук (Минск, 4 октября 2000 г.) // Науковедение. 2001. № 1. С. 208–211.
10. Положение о Международной ассоциации академий наук // Бюллетень МААН № 1. К., 1994. С. 5–6.
11. Постановление Совета МААН от 17 декабря 1993 г. № 2 «О комитетах МААН» // Бюллетень МААН № 1. К., 1994. С. 27.
12. Постановление Совета МААН от 17 декабря 1993 г. № 3 «О расширении перечня комитетов МААН» // Бюллетень МААН № 1. К., 1994. С. 32.
13. Постановление Совета МААН от 11 ноября 1994 г. № 14 «О комитетах МААН» // Бюллетень МААН № 4. К., 1994. С. 41.
14. Основные принципы организации и деятельности Комитета МААН. Приложение к постановлению Совета МААН от 17 декабря 1993 г. № 1 // Бюллетень МААН № 1. К., 1994. С. 26.
15. Комитет МААН по гуманитарным и социальным наукам. Приложение 2 к постановлению Совета МААН от 17 декабря 1993 г. № 2 «О комитетах МААН» // Бюллетень МААН № 1. К., 1994. С. 30.
16. «Науке наших стран наносится трудносполнимый урон» (Текст выступления президента МААН, президента АН Украины, академика НАН Украины Б. Е. Патона на первом заседании Совета МААН) // Навіны Академіі навук Беларусі. 1993. 24 снеж. С. 1–2.
17. *Лыч Г. М., Шчэрбін В. К.* Гуманітарныя і сацыяльныя навукі ў акадэміях навук краін СНД // Гуманітарна-эканамічны весн. 1996. № 2. С. 3–12; *Шчэрбін В. К.* Гуманитарные исследования в академиях наук стран СНГ: их роль и место в процессе гуманитаризации науки и образования на постсоветском пространстве // Гуманитаризация науки и образования в переходный период. Минск, 2000. С. 25–69.

18. Выступление президента Национальной академии наук Беларуси академика НАН Беларуси А. П. Войтовича // Бюллетень МААН № 15. К., 1998. С. 13.

19. Постановление Совета МААН от 19 декабря 1997 г. № 70 «О создании при Комитете МААН по гуманитарным и социальным наукам Ассоциации исследователей интеграционных проблем государств – участников Договора от 29 марта 1996 г.» // Бюллетень МААН № 15. К., 1998. С. 88.

20. Основные принципы организации и деятельности Комитета МААН. Приложение к постановлению Совета МААН от 17 декабря 1993 г. № 1 // Бюллетень МААН № 1. К., 1994. С. 26.

21. Постановление Совета МААН от 2 декабря 1998 г. № 77 «О комитетах МААН» // Бюллетень МААН № 18. К., 1999. С. 73.

22. *Мачулин В. Ф.* Б. Е. Патон – президент Международной ассоциации академий наук: о чем свидетельствуют стенограммы // Б. Е. Патон: 50 років на чолі Академії. К., 2012. С. 390.

23. Постановление Совета МААН от 12 октября 1996 г. № 43 «О развитии информационного обмена между библиотеками национальных академий наук» // Бюллетень МААН № 10. К., 1996. С. 53–54.

24. Совет директоров научных библиотек и информационных центров национальных академий наук при МААН. Приложение 1 к постановлению Совета МААН от 19 декабря 1997 г. № 56 // Бюллетень МААН № 15. К., 1998. С. 59.

25. Состав Объединенного научного совета по фундаментальным географическим проблемам. Приложение к постановлению Совета МААН от 12 октября 1996 г. № 46 // Бюллетень МААН № 10. К., 1996. С. 59–63.

26. Состав Объединенного научного совета по фундаментальным географическим проблемам. Приложение 1 к постановлению Совета МААН от 17 апреля 2001 г. № 110 // Бюллетень МААН № 26. К., 2002. С. 73–74.

27. Постановление Совета МААН от 7 июня 2012 г. № 227 «Об Объединенном научном совете по фундаментальным географическим проблемам» // Международная ассоциация академий наук: Постановления Совета МААН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.iaas.nas.gov.ua/resolutions/pages/default.aspx](http://www.iaas.nas.gov.ua/resolutions/pages/default.aspx).

28. Состав Объединенного научного совета по фундаментальным географическим проблемам. Приложение к постановлению Совета МААН от 7 июня 2012 г. № 227 // Международная ассоциация академий наук: Постановления Совета МААН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.iaas.nas.gov.ua/resolutions/pages/default.aspx](http://www.iaas.nas.gov.ua/resolutions/pages/default.aspx).

29. Состав рабочей группы по формированию межгосударственной научной программы «Проблемы охраны окружающей природной среды и устойчивого социально-экономического развития». Приложение 1 к постановлению Совета МААН от 19 декабря 1997 г. № 68 // Бюллетень МААН № 15. К., 1999. С. 81–82.

30. Состав рабочей группы по формированию межгосударственной научной программы «Исследование физических и геометрических особенностей Вселенной и ее отдельных составляющих по данным наблюдений астрономических обсерваторий». Приложение 2 к постановлению Совета МААН от 19 декабря 1997 г. № 68 // Бюллетень МААН № 15. К., 1999. С. 83–84.

31. Состав Консультативного совета по вопросам охраны интеллектуальной собственности и передачи технологий. Приложение 1 к постановлению Совета МААН от 2 декабря 1998 г. № 74 // Бюллетень МААН № 18. К., 1999. С. 58–60.

32. Состав Международного координационного комитета по вычислительной математике при МААН. Приложение 1 к постановлению Совета МААН от 2 декабря 1998 г. № 75 // Бюллетень МААН № 18. К., 1999. С. 68–69.

33. Состав Международного координационного комитета по вычислительной математике при МААН. Приложение к постановлению Совета МААН от 15 октября 2010 г. № 211 // Бюллетень МААН № 55. К., 2011. С. 129–130.

34. Постановление Совета МААН от 2 декабря 1998 г. № 81 «О предложении НАН Беларуси по разработке проблемы «Рациональное использование и охрана природных комплексов бассейнов рек Днепра, Припяти и Днестра» // Бюллетень МААН № 18. К., 1999. С. 78.

35. Состав Координационного совета МААН по проблеме «Рациональное использование и охрана природных комплексов бассейнов рек Днепра, Припяти и Днестра» // Бюллетень МААН № 20. К., 1999. С. 68–72.
36. Состав Научно-консультативного совета по вопросам научного сопровождения совместных работ по Чернобыльской тематике. Приложение 1 к постановлению Совета МААН от 22 июня 2000 г. № 98 // Бюллетень МААН № 23. К., 2001. С. 16.
37. Постановление Совета МААН от 3 декабря 2003 г. № 145 «О Союзе физиологических обществ стран СНГ» // Бюллетень МААН № 35. К., 2005. С. 130.
38. Постановление Совета МААН от 12 декабря 2006 г. № 171 «О Совете по книгоизданию» // Бюллетень МААН № 43. К., 2007. С. 98.
39. Состав Совета по книгоизданию при МААН. Приложение 2 к постановлению Совета МААН от 12 октября 2006 г. № 171 // Международная ассоциация академий наук: Постановления Совета МААН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.iaas.nas.gov.ua/resolutions/pages/default.aspx](http://www.iaas.nas.gov.ua/resolutions/pages/default.aspx).
40. Постановление Совета МААН от 23 сентября 2009 г. № 199 «О деятельности Совета по книгоизданию при МААН» // Бюллетень МААН № 51. К., 2009. С. 120–121.
41. Состав секции по проблемам функциональных материалов электронной техники Научного совета по новым материалам при МААН. Приложение к постановлению Совета МААН от 25 октября 2007 г. № 179 // Международная ассоциация академий наук: Постановления Совета МААН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.iaas.nas.gov.ua/resolutions/pages/default.aspx](http://www.iaas.nas.gov.ua/resolutions/pages/default.aspx).
42. Постановление Совета МААН от 23 сентября 2009 г. № 203 «О Научном совете по науковедению» // Бюллетень МААН № 51. К., 2009. С. 137–138.
43. Состав Научного совета по науковедению при МААН. Приложение к постановлению Совета МААН от 15 октября 2010 г. № 212 // Бюллетень МААН № 55. К., 2011. С. 132–133.
44. Головащенко Л. Р. О заседании Научного совета по науковедению при Международной ассоциации академий наук // Наука та наукознавство. 2011. № 4. С. 158–159; Грачев О. А. Заседание Научного совета по науковедению при Международной ассоциации академий наук // Наука та наукознавство. 2013. № 3. С. 150.
45. Постановление Совета МААН от 7 июня 2012 г. № 235 «О создании Совета ботанических садов стран СНГ при МААН» // Международная ассоциация академий наук: Постановления Совета МААН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.iaas.nas.gov.ua/resolutions/pages/default.aspx](http://www.iaas.nas.gov.ua/resolutions/pages/default.aspx).
46. Борис Патон: «Академическая форма организации науки полностью себя оправдывает» (с президентом НАН Украины, президентом МААН, академиком НАН Украины Б. Е. Патонем беседа А. Шаталова) // Вестн. Фонда фундаментальных исследований. 2011. № 4. С. 52.
47. Доклад президента МААН, академика НАН Украины Б. Е. Патона // Бюллетень МААН № 26. К., 2002. С. 52.
48. Выступление президента МААН, академика НАН Украины Б. Е. Патона // Бюллетень МААН № 29. К., 2003. С. 15.
49. Постановление Совета МААН от 2 декабря 1998 г. № 83 «Об изменении в Положении о МААН» // Бюллетень МААН № 18. К., 1999. С. 81.
50. Постановление Совета МААН от 22 июня 2000 г. № 101 «О Соглашении между МААН и БРФФИ» // Вестн. Фонда фундаментальных исследований. 2000. № 3. С. 78.
51. Выступление председателя Совета БРФФИ, академика НАН Беларуси В. А. Орловича // Бюллетень МААН № 40. К., 2006. С. 61–62.
52. Международная ассоциация академий наук: Книжные издания МААН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.iaas.nas.gov.ua/publications/Pages/books.aspx](http://www.iaas.nas.gov.ua/publications/Pages/books.aspx).
53. Национальная академия наук Беларуси // Международная ассоциация академий наук и развитие интеграции в сфере науки / Под общ. ред. А. П. Шпака. К., 1998. С. 93–107.
54. Мясникович М. В. Национальная академия наук Беларуси на новом этапе развития // Международная ассоциация академий наук. 10 лет спустя (Хроника. Размышления) / Под общ. ред. А. П. Шпака. К., 2003. С. 111–137.
55. Рубанов А. С. Грантовая система научного поиска // Международная ассоциация академий наук. 10 лет спустя (Хроника. Размышления) / Под общ. ред. А. П. Шпака. К., 2003. С. 393–407.

## **МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ**

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ СОГЛАШЕНИЕ № 2 к Соглашению о сотрудничестве между Российским фондом фундаментальных исследований и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований**

23 января 2014 г.

Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (далее – БРФФИ) и федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский фонд фундаментальных исследований» (далее – РФФИ), именуемые в дальнейшем Стороны, в соответствии с положением Статьи 2 Соглашения о сотрудничестве между Российским фондом фундаментальных исследований и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований от 27 апреля 2007 года (далее – Соглашение о сотрудничестве) заключили настоящее Дополнительное соглашение о следующем:

#### **1. Предмет Дополнительного соглашения**

1.1. Стороны проводят конкурс проектов фундаментальных научных исследований, выполняемых совместно коллективами молодых ученых из Российской Федерации и Республики Беларусь (далее – Конкурс).

Целью Конкурса является привлечение молодых ученых Российской Федерации и Республики Беларусь для выполнения совместных проектов фундаментальных научных исследований, создание дополнительных стимулов для научного творчества молодых ученых и повышения качества подготовки научных кадров.

1.2. На Конкурс могут быть представлены проекты фундаментальных научных исследований (далее – Проекты) по областям знаний:

- математика, механика и информатика;
- физика и астрономия;
- химия и науки о материалах;
- биология и медицинские науки;
- науки о Земле;
- инфокоммуникационные технологии и вычислительные системы;
- фундаментальные основы инженерных наук.

Продолжительность выполнения Проектов – два года.

1.3. Стороны проводят Конкурс один раз в два года. Первый Конкурс Стороны проведут в 2014 году.

Проект (заявку) на Конкурс подают: российские участники Конкурса (граждане Российской Федерации) – в РФФИ, белорусские (граждане Республики Беларусь) – в БРФФИ.

## **2. Требования к участникам Конкурса и Проектам, представляемым на Конкурс**

2.1. Стороны устанавливают следующие общие требования к участникам Конкурса:

– участниками Конкурса могут быть физические лица – граждане Российской Федерации и Республики Беларусь, возраст которых не превышает 35 лет на 1 января года начала выполнения Проекта;

– Проект (заявка) может быть подан на Конкурс физическим лицом или коллективом физических лиц численностью не более пяти человек;

– в состав коллектива физических лиц могут входить научные и научно-педагогические работники, специалисты сферы научного обслуживания, аспиранты и студенты высших учебных заведений;

– от имени коллектива физических лиц Проект (заявку) на Конкурс подает один из членов коллектива (далее – Руководитель проекта), получивший необходимые полномочия от остальных членов коллектива;

– физическое лицо в качестве Руководителя проекта имеет право участвовать в Конкурсе только в одном Проекте.

2.2. Каждая из Сторон определяет самостоятельно с учетом действующих у Стороны процедур проведения конкурсов и порядка организации работ по подержанным проектам:

– полномочия, которыми члены коллектива должны наделить Руководителя проекта;

– ограничения по участию физических лиц в других Проектах (заявках), представляемых на Конкурс, и в иных конкурсах, проводимых каждой из Сторон.

2.3. Стороны устанавливают, что на Конкурс не могут быть представлены Проекты (заявки):

– с названием и содержанием, ранее уже получившие поддержку РФФИ и/или поддержку БРФФИ или иных организаций Российской Федерации и Республики Беларусь;

– название и содержание которых совпадает с названием и содержанием плановых работ, финансируемых из бюджетов Российской Федерации и Республики Беларусь;

– содержащие данные, которым предоставлена правовая охрана, без согласия правообладателей на представление материалов на Конкурс;

– содержащие сведения, составляющие государственную и/или коммерческую тайну.

Проект (заявка), представленный на Конкурс, не может быть подан на другие конкурсы, проводимые каждой из Сторон и третьими лицами, до подведения итогов Конкурса.

### 3. Порядок и сроки проведения Конкурса

3.1. Порядок подачи Проекта (заявки) на Конкурс и форму заявки каждая из Сторон определяет самостоятельно, с учетом необходимости потребовать от участников Конкурса:

- согласования содержания и названия Проекта (заявки) – названия должны быть одинаковыми в заявках, подаваемых участниками в РФФИ и БРФФИ;
- совместный план-график работ по Проекту;
- обязательства совместно опубликовать результаты работ по Проекту, в случае его поддержки по результатам Конкурса, с указанием на гранты РФФИ и БРФФИ;

- подачи Проекта (заявки) российскими участниками в РФФИ, белорусскими – в БРФФИ в установленный срок.

Проекты (заявки), для которых указанные условия не будут выполнены, Стороны не рассматривают.

3.2. Каждая Сторона проводит независимо от другой Стороны экспертизу допущенных к Конкурсу Проектов (заявок) по процедуре, принятой у Стороны.

Решение о поддержке и финансировании Проекта или отклонении Проекта (заявки) принимается Сторонами совместно на основании обсуждения результатов экспертизы, проведенной каждой из Сторон.

Количество Проектов, поддерживаемых по результатам экспертизы, и размеры финансирования определяются Сторонами с учетом возможностей каждой Стороны.

3.3. Правила, сроки и формы отчетов о результатах работы по Проекту, на выполнение которого предоставлено финансирование, устанавливаются каждой Стороной самостоятельно.

3.4. Стороны устанавливают следующий график проведения Конкурса:

- объявление Конкурса и начало приема Проектов (заявок) на Конкурс – май–июль текущего года;

- окончание приема Проектов (заявок) на Конкурс – июль–сентябрь текущего года;

- проведение каждой из Сторон экспертизы Проектов (заявок) – сентябрь–ноябрь текущего года;

- обсуждение Сторонами результатов экспертизы и принятие согласованного решения о поддержке Проектов и предоставлении финансирования – декабрь текущего года – январь следующего года;

- начало финансирования Проектов, поддержанных совместным решением Сторон, – первый квартал следующего года.

Перед публикацией объявления о проведении Конкурса Стороны согласовывают текст объявления и уточняют сроки выполнения действий, указанных выше.

#### 4. Финансирование Проекта, поддержанного Сторонами

4.1. Каждая Сторона финансирует выполнение работ по Проекту, поддержанному совместным решением Сторон, предоставляя денежные средства участникам Конкурса в согласованном Сторонами размере: РФФИ – российским участникам, БРФФИ – белорусским участникам.

Предоставление денежных средств на выполнение Проекта осуществляется Сторонами на безвозмездной и безвозвратной основе.

Стороны примут все зависящие от них меры для финансирования работ по Проектам в полном объеме (в размере, согласованном совместным решением).

4.2. Каждая из Сторон имеет право определить дополнительные условия финансирования работ по Проекту, в том числе обусловить предоставление денежных средств на выполнение Проекта, поддержанного Сторонами по результатам Конкурса, заключением соответствующего договора.

Невыполнение российскими и/или белорусскими участниками дополнительных условий финансирования Проекта Стороны рассматривают как основание для изменения согласованного решения о финансировании Проекта.

4.3. Объем и график финансирования отдельного Проекта устанавливается каждой Стороной самостоятельно.

#### 5. Заключительные положения

5.1. Настоящее Дополнительное соглашение действует с момента подписания его Сторонами до истечения срока действия Соглашения о сотрудничестве.

5.2. Настоящее Дополнительное соглашение может быть расторгнуто каждой из Сторон в одностороннем порядке, при соблюдении следующих условий: Сторона, расторгающая Дополнительное соглашение, должна известить другую Сторону о своем намерении не менее чем за месяц до публикации объявления о проведении очередного Конкурса и выполнить все обязательства по финансированию Проектов, поддержанных по результатам предыдущих конкурсов.

5.3. Дополнения и изменения настоящего Дополнительного соглашения действительны, если они оформлены в письменном виде и подписаны полномочными представителями Сторон.

5.4. Настоящее Дополнительное соглашение подписано в двух экземплярах на русском языке – по одному экземпляру для каждой из Сторон.

За ФБГУ «Российский фонд  
фундаментальных исследований»  
Заместитель Председателя  
Совета РФФИ  
член-корреспондент В. В. Квардаков

За Белорусский республиканский  
фонд фундаментальных исследований  
Председатель Научного Совета БРФФИ  
академик В. А. Орлович

## **ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ФОНДА**

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ СОГЛАШЕНИЕ к условиям проведения совместного тематического конкурса фундаментальных и прикладных исследований по проблемам Брестской области «БРФФИ–Брест-2013»**

Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований в лице председателя Научного совета академика В. А. Орловича, действующего на основании Устава, с одной стороны, и Брестский областной исполнительный комитет в лице председателя К. А. Сумара, действующего на основании Закона Республики Беларусь от 4 января 2010 г. «О местном управлении и самоуправлении в Республике Беларусь», с другой стороны, именуемые в дальнейшем Стороны, пришли к соглашению о нижеследующем:

1. Часть первую пункта 5 Условий проведения совместного тематического конкурса фундаментальных и прикладных исследований по проблемам Брестской области «БРФФИ–Брест-2013», подписанных Сторонами 11 февраля 2013 года в соответствии с заключенным между ними Договором о научно-практическом сотрудничестве (далее – Условия) изложить в следующей редакции:

«5. Срок проведения конкурса:

прием заявок – с 04.03.2013 по 15.03.2013;

экспертиза и утверждение проектов – до 30.03.2013;

сроки реализации проектов – с 01.04.2014 по 31.12.2015.».

2. Настоящее соглашение является неотъемлемой частью Условий и вступает в силу с момента его подписания Сторонами.

От Брестского областного  
исполнительного комитета

Председатель облисполкома

К. А. Сумар

От Белорусского республиканского  
фонда фундаментальных  
исследований

Председатель Научного совета

В. А. Орлович

## **НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ**

УДК 612.82:577.213.3

*А. Н. НЕСТЕРОВИЧ*

### **РОЛЬ МЕТИЛИРОВАНИЯ ДНК В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА**

*Республиканский научно-практический центр психического здоровья*

*(Поступила в редакцию 25.11.2013)*

*В статье проводится обзор современной литературы, посвященной изучению роли метилирования ДНК в функционировании головного мозга.*

Метилирование ДНК относится к системе «эпигенетического контроля» организма, осуществляющей регуляцию клеточной экспрессии генов во всех органах и тканях. Несмотря на интенсивное развитие эпигенетики в современном научном мире, роль данного процесса в функционировании головного мозга до сих пор изучена недостаточно: результаты многочисленных биологических исследований демонстрируют вовлеченность метилирования в широкий спектр физиологических процессов, происходящих на молекулярном уровне в центральной нервной системе (ЦНС) на разных этапах онтогенеза, однако доступная информация страдает недостатком полноты и систематизации и нуждается в обобщении и интерпретации, определении «пробелов» в знании, которые необходимо заполнить в перспективе. Особая актуальность данного направления исследований обусловлена участием аномалий метилирования ДНК в **патогенезе психических расстройств**, что требует прицельного изучения соответствующих механизмов в норме и патологии.

Цель работы – провести обзор современной литературы, посвященной изучению роли метилирования ДНК в функционировании головного мозга.

**Материалы и методы исследования.** Поиск соответствующих публикаций производился в электронных базах данных «PubMed», «ProQuest», «Springer», «SAGE» с 1991 по 2013 г. путем комбинации ключевых слов и словосочетаний: «метилирование», «эпигенетика», «экспрессия гена», «головной мозг», «психические расстройства».

Известно, что все клетки человеческого организма имеют одинаковый генетический материал, закодированный в нуклеотидной последовательности ДНК.

В то же время каждая клетка имеет уникальные, присущие ей одной, морфологические и функциональные характеристики. Например, нейроны головного мозга не способны продуцировать гемоглобин или пищеварительные ферменты, а клетки печени не могут производить электрические разряды. Причина такой гетерогенности – в различной степени экспрессии<sup>1</sup> генов, регулируемой системой эпигенетического контроля организма. Определенные участки ДНК на протяжении всей жизни клетки остаются «молчащими», другие же активно транскрибируются в РНК и обеспечивают клетку строго специфичными метаболитами и структурными веществами. Регуляция клеточной экспрессии, в том числе и в головном мозге, возможна благодаря трем основным эпигенетическим модификациям ДНК: метилированию ДНК, посттрансляционной модификации гистоновых белков и РНК-опосредованному «молчанию» генов.

**Метилирование ДНК.** Метилирование – наиболее распространенная и стабильная эпигенетическая модификация геномной ДНК, функция которой заключается в подавлении экспрессии гена, т. е. поддержании «молчащего» состояния его транскрипционно активных участков. Процесс метилирования ДНК вовлечен в такие процессы, как поддержание стабильности генома, геномный импринтинг<sup>2</sup>, деактивация второй X-хромосомы женского генома<sup>3</sup>, клеточная «память» о предшествующей транскрипции [1]. Суть процесса заключается в присоединении метильной группы к цитозину в составе CpG-динуклеотида нити ДНК в позиции С5 пиримидинового кольца. В процессе репликации ДНК ее «дочерняя» цепь «достраивает» соответствующий динуклеотид по принципу комплементарности и антипараллельности и приобретает исходный профиль метилирования «материнской» нити ДНК. CpG динуклеотиды составляют всего 1 % всех азотистых оснований ДНК и в большинстве своем (60–70 %) метилированы [2]. Такие участки являются «горячими точками» мутаций, поскольку метилированный цитозин гипермутабелен и может подвергаться спонтанному дезаминированию с образованием тимина. Высокая частота мутаций в этих областях (в 10–50 раз выше, чем в других) привела в процессе эволюции к умножению CpG-динуклеотидов и формированию так называемых CpG-островков<sup>4</sup> [3], которые содержат наиболее важные для регуляции транскрипции промоторные области гена и гипометилированы во всех тканях и на всех стадиях развития [4]. Интересен тот факт, что три четверти всех стартовых сайтов транскрипции и 60–75 % всех активных промоторов генома ассоциированы с CpG-насыщенными по-

<sup>1</sup> Экспрессия генов – процесс, в ходе которого генетическая информация в виде последовательности нуклеотидов ДНК преобразуется в функциональный продукт – РНК или белок.

<sup>2</sup> Импринтинг – феномен, при котором аллельные варианты одного и того же гена функционально неравноценны, так как их экспрессия зависит от того, локализован ли он на материнской или отцовской хромосоме.

<sup>3</sup> Деактивация X хромосомы – транскрипционное «молчание» одной из двух родительских X хромосом у особей женского пола.

<sup>4</sup> Островками принято считать те участки ДНК, содержащие 200 пар оснований, из которых более 50 % являются CpG сайтами.

следовательностями и регулируются метилированием ДНК [3]. Это свидетельствует о ключевой роли метилирования ДНК для нормального функционирования организма на клеточном, тканевом, органном и системном уровнях.

Процесс метилирования ДНК включает присоединение метильной группы к цитозину с помощью ферментов метилтрансфераз (DNA methyltransferases), распознавание метилированных участков ДНК специальными белками, содержащими метил-СрG-связывающие домены (MeCP2, MeCP1, protein Kaiso), «рекрутирование» комплекса ко-репрессоров, среди которых важными являются деацетилазы гистоновых белков (HDACs) и белки, ремоделирующие хроматин. Результатом является локальная конденсация хроматина вокруг генного промотора и формирование его транскрипционно неактивной формы, т. е. гетерохроматина [3].

Процесс метилирования ДНК осуществляется в динамической кооперации с другим процессом – модификацией гистоновых белков (метилирование, ацетилирование, фосфорилирование и др.). Так, ацетилирование белков-гистонов делает структуру хроматина «открытой», что в свою очередь делает ДНК доступной для факторов транскрипции и повышает экспрессию гена. Существуют и репрессивные гистоновые модификации (так называемые метки), плотно «закручивающие» спираль ДНК и тем самым делающие невозможным «считывание» генетической информации [5]. «Шаблон» гистоновых модификаций представляет собой «гистоновый код», достаточно чувствительный к импульсам, поступающим в ядро клетки, а также гормональным и психоактивным веществам. Благодаря такой «восприимчивости» клетки могут корректировать экспрессию собственных генов с целью адекватного реагирования на изменения окружающей среды, такие как недостаток питательных веществ, воздействие бактерий и вирусов [5]. Эффект совместной «работы» метилирования ДНК и гистоновых модификаций в определенных клетках может оказаться весьма неожиданным, приводя, вследствие изменения микроокружения промотора, к повышению его транскрипционной активности, а следовательно, и степени экспрессии гена [6].

Универсальный донор метильных групп для реакций метилирования ДНК – SAM (S-adenosyl-L-methionine) синтезируется в естественном для организма однокарбоновом цикле, что требует наличия соответствующих доноров (серин, гомоцистеин) и ко-факторов (фолиевая кислота, витамин B12, пиридоксаль фосфат). Конечным этапом цикла является перенос метильной группы от SAM к 5'-позиции пиримидинового кольца ДНК и образование конечного продукта – SAH (S-adenosylhomocysteine), который в больших концентрациях способен ингибировать данную реакцию по механизму обратной связи [3].

Первым этапом в процессе онтогенеза человека является тотальное деметилирование генома на стадиях первых делений зиготы, «обнажающее» исходный эпигенетический профиль ДНК. Далее на стадии имплантации бластоцисты происходит массовое метилирование *de novo*, профиль которого «выстраивается» в процессе дифференцировки клеток и приобретает в результате тканеспеци-

фичный характер [7]. Имеются сведения о том, что определенным участкам генома удается «избежать» тотального деметилирования и таким образом передать свои паттерны экспрессии далее по наследству (в частности, так называемые импринтинговые участки генома) [5]. Процесс развития и дифференцировки клеток и тканей завершается установлением относительно стабильного тканеспецифического профиля метилирования в соматических клетках взрослого человека, который поддерживается митотически. При этом все метилированные сайты генома условно объединяются в так называемые метиломы, имеющие модульную структуру и содержащие своеобразный двухбуквенный «код», состоящий из метилированных и неметилированных CpG-динуклеотидов [8].

Важность процесса метилирования для адекватной тканеспецифической клеточной дифференцировки была продемонстрирована в экспериментах на культурах клеток *in vitro*: инкубация эмбриональных фибробластов мышей с 5-азацитидином (веществом, блокирующим метилирование ДНК) сопровождается их превращением в миоциты, адипоциты и хондроциты [9].

Результаты некоторых исследований указывают на снижение интенсивности процесса метилирования человеческого генома в целом с возрастом [3], несмотря на то что на уровне отдельных генных промоторов она может как повышаться, так и понижаться [10].

**Метилирующие ферменты.** Семейство метилирующих ДНК ферментов включает несколько метилтрансфераз: DNMT3b и DNMT3a осуществляют метилирование ДНК *de novo* и ответственны за установление первичных и относительно стабильных паттернов метилирования ДНК в эмбриогенезе. Оба фермента работают совместно при метилировании генома [2], однако каждый из них имеет свои субстратные «предпочтения»: DNMT3a (совместно с DNMT3L) метилирует материнские импринтинговые гены, в то время как DNMT3b «работает» в сателлитных повторах (повторяющихся последовательностях ДНК). В делящихся клетках ферменты часто ассоциированы с определенными регионами гетерохроматина: их локализация, в зависимости от цикла деления клетки, совпадает с белком гетерохроматина protein 1a (HP1) [11]. В постмитотической ЦНС локализация DNMT1 и DNMT3a диффузная, так как деление нейронов останавливается в G0 фазе клеточного цикла [8].

DNMT3b наиболее активно экспрессируется на ранних этапах нейрогенеза (у мышей с E 7,5 до E 9,5), и во взрослом мозге его экспрессия минимальна. DNMT3a активно экспрессируется как в раннем эмбриогенезе, так и в зрелых постмитотических нейронах [8]. Возможные триггеры метилирования *de novo* могут включать специфические молекулярные мишени, опосредующие взаимодействие фермента с ДНК или РНК, а также особенности структуры хроматина, индуцированные модификациями белков-гистонов [12; 13].

Метилтрансфераза DNMT1 обеспечивает «поддерживающее» метилирование в процессе репликации ДНК; в делящейся клетке она концентрируется на репликационной вилке в S-фазу клеточного цикла и метилирует вновь синтезиро-

ванную ДНК, используя в качестве шаблона материнскую цепь. Именно этот фермент, по сути, передает эпигенетическую информацию от одной клетки к другой. Несмотря на субстратное сродство DNMT1 к полуметилированной ДНК, полагают, что этот фермент также способен осуществлять метилирование *de novo* [14]. Повышение экспрессии фермента приводит к повышению метилирования CpG островков в человеческом геноме [15].

DNMT3L не обладает собственной метилтрансферазной активностью, но в кооперации с другими метилтрансферазами он способен производить метилирование ДНК *de novo* [16]; кроме того, фермент взаимодействует с деацетилазами [17] и метилтрансферазами [18] белков-гистонов и является необходимым кофактором установления меток метилирования в гаметах [16].

**Метилирование ДНК в центральной нервной системе.** Установление стабильных паттернов метилирования ДНК, блокирующих транскрипционную активность генных промоторов, крайне важно для нормального развития головного мозга в раннем онтогенезе. Благодаря устойчивой «схеме» клеточной экспрессии возможна оптимальная координация процессов активации-торможения в отдельных субпопуляциях клеток и нейрональных цепях, обеспечивается последовательная смена доминант в функциональных системах, устанавливается биохимический баланс в системах нейротрансмиссии ЦНС. Как и в других органах и тканях, большинство стартовых сайтов транскрипции и промоторов в геноме нервных клеток ассоциированы с CpG-островками и регулируются метилированием ДНК. Более того, имеются данные о том, что в головном мозге уровень метилированного цитозина выше, чем в других органах, особенно в повторяющихся последовательностях [19; 20]. При этом уровень метилирования в различных нейроанатомических областях головного мозга различается [21]. Это позволяет предполагать, что аномалии глобального метилирования ДНК могут приводить к избирательным функциональным нарушениям головного мозга и детерминировать специфический фенотип.

Все метилирующие ферменты в ЦНС экспрессируются преимущественно в нейронах и олигодендроцитах, но не в астроглии [8; 22]. Гены DNMT3a и DNMT1 в большей степени экспрессируются в ГАМКергических интернейронах и в меньшей степени – в пирамидных клетках коры [10; 22]. Об особенностях экспрессии гена DNMT3b в нейронах ЦНС известно мало, кроме того, что степень экспрессии гена незначительна, и что этот факт имеет скорее «рудиментарное» значение, поскольку основная «работа» гена была проделана им еще в период раннего эмбриогенеза. Вопрос обратимости процесса метилирования ДНК в зрелых нейронах до сих пор остается дискуссионным [23]. Данные некоторых исследований свидетельствуют о селективном деметилировании субсета промоторов в нейронах со временем [24; 25].

Активность метилирующих ферментов, так же как степень их экспрессии в головном мозге, во многом определяется полиморфизмом соответствующих генов. Для каждого из генов (DNMT1, DNMT3a, DNMT3b) описано более тысячи

полиморфных вариантов; десятки из них активно изучаются на предмет связи с повышенным риском онкологических заболеваний. Ген DNMT3b локализован на хромосоме 20q11.2. Известно, что его полиморфизм -149C/T (rs2424913), представляющий собой аминокислотную замену в позиции C46359T промоторного региона, детерминирует повышение активности генного промотора на 30 % [26; 27] и проявил ассоциацию с повышенным риском развития многих видов рака [26; 28; 29]. Ген DNMT1 локализуется на хромосоме 19p13.3-p13.2 и содержит 2 части (регуляторный и каталитический домены). Функциональное значение для экспрессии гена имеет полиморфизм rs2228612 (+32204GG), который, по данным некоторых исследований, оказался ассоциирован со значительным понижением уровня глобального метилирования ДНК у человека [30]. Недавние исследования обнаружили связь данного полиморфизма с риском развития рака молочной железы у китайских [31] и европейских [32] женщин. Традиционно, данную находку объясняют гиперметилированием (и понижением экспрессии) генов-супрессоров онкогенов.

Для изучения функциональной роли метилирующих ферментов в процессе нормального развития ЦНС традиционно используются биологические эксперименты на лабораторных животных. Поскольку мыши с природными мутациями в любом из генов метилтрансфераз (DNMT1, DNMT3a, DNMT3b) нежизнеспособны [33; 34], чаще всего для этих целей используется искусственная делеция гена («conditional knockout»). Так, экспериментальная делеция гена DNMT1 в клетках-предшественниках нейронов приводила к неонатальной летальности, гипометилированию зрелого нейрона (приблизительно на 50 %) и преждевременной гибели клетки [35]. При этом мутантные клетки-предшественники проходили преждевременную астроцитарную дифференцировку [36] и развивались в гипометилированные нейроны со множеством дефектов созревания и синаптической трансмиссии [37; 38]. Аналогичная делеция гена DNMT3a приводила к гибели особи в молодом возрасте, при этом у мутантных (*Nes-Cre1*) мышей имела место потеря моторных нейронов *n. hypoglossus* и множественные морфологические дефекты в нейромышечных синапсах диафрагмы [39].

О функции метилирующих ферментов в зрелых нейронах головного мозга известно мало. Так, в исследовании [35] делеция гена DNMT1 не привела к специфичному нейрональному фенотипу, однако снижение уровня самого фермента на 50 % в кортикальных и гиппокампальных нейронах приводило к снижению выживаемости корковых клеток [40].

Недавние исследования с использованием ингибиторов метилтрансфераз *in vitro* на срезах головного мозга, а также *in vivo* на клетках гиппокампа, продемонстрировали, что метилирование ДНК изменяет экспрессию генов, вовлеченных в процессы синаптической пластичности, обучения и памяти [41–43].

В исследовании [37] экспериментальная делеция гена DNMT1 в зрелых возбуждающих постмитотических нейронах переднего мозга мышей приводила к аномальному развитию соматосенсорной коры (somatosensory barrel cortex)

и нарушению таламокортикальной долговременной потенциации. Аналогичная делеция обоих генов – DNMT1 и DNMT3a («double knock-out», ДКО) была ассоциирована со снижением уровня глобального метилирования ДНК на 20 % и деметилированием промоторов многих генов: около 84 генов проявили повышенную экспрессию более чем в 1,5 раза, в то время как 7 генов оказались «молчащими». Значительно повысилась экспрессия генов иммунной системы, в том числе главного комплекса гистосовместимости (МНС) и генов системы комплемента (Stat1 – сигнальной молекулы, вовлеченной в гамма-интерферон-индуцированный иммунный ответ) [44]. Известно, что данные гены важны для поддержания нормальной синаптической функции в ЦНС, процессов обучения и запоминания [45; 46], кроме того, они участвуют в процессах дендритного нейронального прунинга<sup>1</sup> [47; 48]. Последнее обстоятельство, по мнению авторов, может объяснить тот факт, что нейроны ДКО мышей были уменьшены в размерах по сравнению с нормой [44]. Имеются данные о том, что двойная делеция генов DNMT1 и DNMT3a приводит к нарушению спонтанной возбуждающей синаптической активности нейронов головного мозга (значительно сниженной частоте miniature excitatory postsynaptic currents, mEPSCs) [49].

Полагают, что ферменты DNMT3a и DNMT1 имеют общие функции и взаимодополняют друг друга в постмитотическом нейроне [37]. Известны и другие примеры кооперации ферментов: так, гены DNMT3b и DNMT1 совместно поддерживают метилирование в клетках рака толстой кишки [50]. В эмбриональных стволовых клетках все три фермента (DNMT1, DNMT3a, DNMT3b) действуют совместно, поддерживая метилирование ДНК [2].

В научной литературе появляется все больше данных, свидетельствующих о том, что динамическое взаимодействие процессов метилирования ДНК и модификации белков-гистонов в гиппокампе опосредует процессы обучения, запоминания и другие психические феномены [51; 52]. Так, процесс обучения сам по себе способен вызывать изменения метилирования ДНК в зрелом гиппокампе, а искусственно моделированные состояния страха у лабораторных мышей («contextual fear conditioning») ассоциированы с повышением экспрессии *de novo* метилтрансфераз в этой же области мозга [52; 53]. Ингибиторы метилтрансфераз, введенные в организм, изменяют метилирование ДНК в ЦНС также весьма избирательно – на промоторах генов, функционально способствующих процессам памяти (reelin, BDNF), либо «подавляющих» их (protein phosphatase 1, PPI) [44; 53].

Таким образом, важнейшими функциями метилирующих ферментов в головном мозге человека являются следующие: поддержание естественной выживаемости клетки, ее нормальной пролиферации и дифференцировки, обеспечение синаптической пластичности ЦНС, нейронального прунинга, электрической активности нейрона, таламокортикальной долговременной потенциации, процессов обучения и запоминания, а также координации иммунного ответа организма.

<sup>1</sup> Нейрональный прунинг – процесс избирательной элиминации синапсов/нейронов на ранних стадиях развития головного мозга индивида.

Нельзя исключить участие метилирования ДНК в обеспечении гистосовместимости в системе мать–плод и в модуляции аутоиммунных процессов.

Тот факт, что ферменты метилирования ДНК экспрессируются в зрелых нейронах ЦНС, закономерно порождает вопрос: если зрелые нейроны не делятся, то каковы функции фермента DNMT1, осуществляющего «поддерживающее метилирование» делящихся клеток? Данный вопрос на сегодняшний день остается открытым – можно предполагать несколько возможных вариантов. Первый из них – продолжающийся процесс *de novo* метилирования, обусловленный генетической программой (старения клетки/заболевания), либо инициированный экзогенными (психогенными, алиментарными, химическими)/эндогенными факторами. Второй вариант – DNMT1 поддерживает метилирование в процессе репарации ДНК [54]: высокий уровень оксидативного стресса в нейронах может вызвать оксидативное дезаминирование 5-метилцитозина (5mdc), приводя к возникновению пары оснований G:T («G:T mismatch») – это активирует репарационный механизм ДНК с вырезанием «неправильного» участка и приводит к возникновению новой, неметилированной пары C:G. Идея оксидативного стресса подкреплена данными, согласно которым именно нейроны, в отличие от других клеток организма, содержат 5'-hydroxyl-methylcytosine (5hmdc), уровень которого пропорционален уровню 5mdc и является результатом оксидативного гидроксирования последнего [55]. Еще одно возможное объяснение – не исключено, что фермент может участвовать в процессе активного деметилирования ДНК, по аналогии с метилтрансферазами *de novo*: обнаружено, что гены DNMT3A и DNMT3B вовлечены в установление эпигенетических «меток», участвующих в процессе активного деметилирования ДНК посредством деаминарования цитозина до тимина, в отсутствие универсального метильного донора SAM [56; 57].

**Метилирование ДНК и психические и поведенческие нарушения.** Аномалии метилирования ДНК могут быть ассоциированы с когнитивными нарушениями: известно, что рецессивная мутация гена DNMT3b приводит к «ICF синдрому» (immunodeficiency, chromosome instability, facial anomalies) – редкому расстройству, проявляющемуся иммунодефицитом, хромосомной нестабильностью и лицевыми аномалиями вследствие гипометилирования юкстацентромерного региона хромосом 1, 9, 16 [58]. Значительная часть таких пациентов страдает выраженной интеллектуальной недостаточностью. Интересны результаты исследования Haggarty и соавт., в котором минорные аллели фермента DNMT3L проявили ассоциацию со значительно более низким уровнем интеллекта у детей [59]. Мутация в гене метилирующего белка MeCP2 является ключевым патогенетическим звеном синдрома Ретта, проявляющегося, наряду с неврологическими нарушениями, регрессом психического развития, аутизмом и когнитивным дефицитом; также предполагают его участие в патогенезе аутизма и шизофрении [60].

Предполагается, что синдром зависимости от психоактивных веществ (образование аномальных связей между воспоминанием и вознаграждением) также опосредуется сложными схемами взаимодействия между сигнальными фактора-

ми, метилирующими ферментами и микроРНК [5]. По данным Bönsch и соавт., пациенты, страдающие алкоголизмом, имеют на 8–10 % более высокий уровень метилирования геномной ДНК, чем здоровые лица [61].

Немаловажная роль метилирования ДНК заключается в опосредовании влияния экзогенных факторов (в том числе психогенных, алиментарных и др.) в период эмбриогенеза и раннего постнатального периода развития на формирование стойких долговременных изменений в головном мозге взрослой особи, в том числе на стрессоустойчивость, а следовательно, и на способы реагирования и поведения. Эксперименты на лабораторных мышах показали, что гестационный стресс материнской особи индуцирует стойкие изменения метилирования в гипоталамо-гипофизарно-адреналовой системе (ГГАС) взрослого потомства (гипометилирование промотора кортикотропин-высвобождающего фактора и гиперметилирование глюкокортикоидного рецептора GR1<sub>7</sub>) [62]. Индивидуальные вариации материнской «заботы» в послеродовой период также детерминируют степень метилирования рецептора GR1<sub>7</sub> в гиппокампе и гипоталамусе взрослой особи: крысы, получавшие в детстве больше материнской заботы и внимания, оказались более устойчивы к стрессу в будущем, что было ассоциировано с повышенной экспрессией рецептора кортизола в гиппокампе, и, как следствие, механизма «обратной связи» – низкими уровнями кортизола в крови; эти изменения оставались стойкими на протяжении всей жизни животных [63].

Исследования на человеке показали, что материнский стресс и депрессия во время третьего триместра беременности вызывают аналогичные изменения в мозге ребенка (гиперметилирование GR1<sub>7</sub>) и определяют реактивность ГГАС в 3-месячном возрасте [64]. Аналогичные данные получены при аутопсии ткани головного мозга лиц, совершивших самоубийство: у лиц, испытывавших к себе в раннем детстве равнодушие или жесткое обращение, уровень метилирования гена рецептора кортизола оказался выше [65].

Интересно, что аномалии метилирования ДНК могут быть детерминированы алиментарными факторами – известно, что дефицит доноров метильных групп в диете периода гестации, а также белковая недостаточность способны изменять паттерны генной экспрессии в головном мозге взрослой особи посредством изменения экспрессии метилирующих ферментов [62].

**Метилирование ДНК и шизофрения.** Имеются данные о том, что при шизофрении снижен уровень метилирования генома в целом, а также отмечается локальное гиперметилирование промоторов генов олигодендроцитов, ГАМКергической субпопуляции нейронов головного мозга (в частности, фермента синтеза ГАМК GAD67 и внеклеточного гликопротеина рилина), и гипометилирование промотора гена COMT (Catechol-*O*-methyltransferase, фермента катализирующего первичный этап деградации дофамина) в префронтальной коре [66]. Такое своеобразное распределение аномальных паттернов метилирования при шизофрении, вероятно, является следствием процесса, происходившего на ранних стадиях онтогенеза, когда активно

устанавливались стабильные «метки» метилирования, определяющие «программу» дальнейшего развития ЦНС.

Гиперметилирование ГАМКергической субпопуляции клеток ЦНС имеет важное значение и само по себе может вносить вклад в патогенез шизофрении. Среди ГАМКергических нейронов ЦНС особое значение имеют парвальбумин (PV)-содержащие клетки-канделябры, которые считаются мощными ингибиторами пирамидных клеток коры, обладающими своеобразным «правом вето», поскольку образуют синаптические входы на аксональном холмике пирамидного нейрона (в непосредственной близости от сайта генерации потенциала действия) [67]. Кроме того, благодаря сильно ветвящимся аксонам, клетки-канделябры способны координировать и синхронизировать активность огромных популяций пирамидных нейронов коры. Взаимодействие между пирамидными и ГАМКергическими нейронами генерирует сеть осцилляторной электрической активности коры головного мозга в виде тета-, гамма- осцилляций и быстрых волн, что позволяет интегрировать паттерны возбуждения различной модальной природы и «кодировать» специфическую информацию в виде отдельных когнитивных перцептов [68]. Гиперметилирование в этих клетках может приводить к нарушению синтеза ГАМК, и соответственно, дефициту тормозных процессов в ЦНС, компенсаторной гиперфункции дофамнергической системы мозга. Недостаток же рилина имеет следствием нарушение созревания шипиков дендритов нейронов и снижение синаптической пластичности коры головного мозга, нарушения нейронального прунинга.

О вовлеченности системы метилирования ДНК в патогенез шизофрении свидетельствуют также следующие данные: прием высоких доз метионина и его донора SAM приводит к усилению психотических симптомов у больных шизофренией и вызывает аналогичные поведенческие, нейрофизиологические и эпигенетические аномалии у лабораторных мышей (в частности, в ГАМКергических нейронах ЦНС); отмечено повышение у больных шизофренией уровня метионина в цереброспинальной жидкости, а также его предшественников в крови и ткани головного мозга. Отмечен терапевтический эффект препаратов вальпроевой кислоты в лечении шизофрении, которые, являясь универсальными ингибиторами деацетилаз гистоновых белков, вызывают деметилирование в ГАМКергических нейронах ЦНС [66].

Локальные изменения паттернов метилирования ДНК при шизофрении в ответ на глобальное повышение метионина в организме можно объяснить либо повышенной экспрессией метилирующих ферментов в ГАМКергических нейронах ЦНС, либо тем, что метилтрансферазы, синтезируясь в клетках головного мозга повсеместно, имеют субстрат-специфическое действие, т. е. оказывают физиологически и клинически значимые эпигенетические эффекты лишь в определенных субпопуляциях клеток головного мозга, вызывая компенсаторные «сдвиги» в сопряженных нейрональных цепях. Такая «тропность» к определенному роду тканям может быть обусловлена распределением «молекул-мишеней», благодаря

которым метилазы «распознают» участки ДНК, на которых присоединяют метиловые группы (например UHRF1, ubiquitin-like, containing PHD and RING finger domain 1). Соответственно, повышение активности самих метилтрансфераз либо количества метионина в организме в первую очередь отразится на клетках-мишенях.

Важно отметить, что в любом случае имеющее место при шизофрении нарушение обмена метионина и его предшественников создает тот патологический «фон», на котором генетические и эпигенетические нарушения проявляются клиническими последствиями.

Аномалии метилирования ДНК при шизофрении могут не только являться фактором дизонтогенеза, повышая неспецифическую уязвимость головного мозга к неблагоприятным факторам внешней и внутренней среды, но и нарушать нейрональный пруннинг, изменять электрофизиологические процессы в нейрорегуляторных цепях головного мозга, определяя специфику течения и клиники заболевания.

Интересно, что возбуждение нейрона может нарушать процесс метилирования ДНК на всех его этапах и приводить к деконденсации хроматина и активации транскрипции [69]. Это позволяет предполагать, что патологически активированные области головного мозга, вовлеченные в нейрорегуляторные сети при шизофрении, могут иметь вторично «расторженные» паттерны генной экспрессии, что в свою очередь может проявляться в синтезе метаболически «неуместных» продуктов, в т. ч. нейротрансмиттеров, и искажать нормальное функционирование клетки.

Фактором риска шизофрении также считается сниженная активность фермента МТНФ редуктазы (основного фермента синтеза метионина из гомоцистеина), которая наблюдается у гомозиготных носителей аллелей ТТ гена МТНФR [70]. Еще один «аллель риска» шизофрении – G вариант гена DNMT3b (локус rs6119954) [70]. Интересно, что данный генетический полиморфизм значительно увеличивает риск развития шизофрении в сочетании с определенными аллельными вариантами гена рецептора дофамина DRD1 [71].

**Заключение.** Роль метилирования ДНК в функционировании головного мозга заключается в обеспечении адекватного нейрогенеза, опосредовании экзогенных (в т. ч. психогенных) воздействий на организм, детерминации стабильных долговременных паттернов психосоциального функционирования человека (стрессоустойчивости, когнитивных функций, специфических психических и поведенческих нарушений). Ключевая роль при этом принадлежит метилирующим ферментам, действие которых проявляет субстратную и временную специфичность, обеспечивая избирательное подавление паттернов генной экспрессии функционально важных отделов головного мозга на разных этапах онтогенеза. В связи с этим перспективным представляется изучение факторов, влияющих на активность и экспрессию метилтрансфераз (DNMT1, DNMT3a, DNMT3b), а также изучение молекулярных мишеней данных ферментов, особенностей их действия в различных структурах ЦНС в норме и патологии.

## Литература

1. *Peedicayil J.* The role of epigenetics in mental disorders // *Indian J. of Medical Research.* 2007. Vol. 126(2). P. 105.
2. *Tost J.* DNA Methylation: An Introduction to the Biology and the Disease-Associated Changes of a Promising Biomarker // *Mol. Biotechnol.* 2010. Vol. 44. P. 71–81.
3. *Sharma R. P.* et al. CpG Methylation in Neurons: Message, Memory, or Mask? // *Neuropsychopharmacology.* 2010. Vol. 35. P. 2009–2020.
4. *Rajiv P.* et al. CpG Methylation in Neurons: Message, Memory, or Mask? // *Neuropsychopharmacology.* 2010. Vol. 35. P. 2009–2020.
5. *Кэппи Н.* Эпигенетика. Ростов-на Дону: Феникс, 2012.
6. *Farah D.* et al. Epigenetic gene regulation in the adult mammalian brain: Multiple roles in memory formation // *Neurobiology of Learning and Memory.* 2011. Vol. 96. P. 68–78.
7. *Dong E.* et al. Reelin and glutamic acid decarboxylase67 promoter remodeling in an epigenetic methionine-induced mouse model of schizophrenia // *Proceedings of the National Academy of Science USA.* 2005. Vol. 102(35). P. 12578–12583.
8. *Feng J.* et al. Dynamic expression of de novo DNA methyltransferases Dnmt3a and Dnmt3b in the central nervous system // *J. Neurosci. Res.* 2005. Vol. 79. P. 734–746.
9. *Costa E.* et al. GABAergic promoter hypermethylation as a model to study the neurochemistry of schizophrenia vulnerability // *Expert Review of Neurotherapeutics.* 2009. Vol. 9(1). P. 87–98.
10. *Stegmund K.* et al. DNA methylation in the human cerebral cortex is dynamically regulated throughout the life span and involves differentiated neurons // *PLoS ONE.* 2007. Vol. 2-e895.
11. *Bachman K.* et al. Dnmt3a and Dnmt3b are transcriptional repressors that exhibit unique localization properties to heterochromatin // *J. Biol. Chem.* 2001. Vol. 276. P. 32282–32287.
12. *Cheng X., Blumenthal R. M.* Mammalian DNA methyltransferases: A structural perspective // *Structure.* 2008. Vol. 16. P. 341–350.
13. *Klose R., Bird A.* Genomic DNA methylation: The mark and its mediators // *Trends in Biochemical Sciences.* 2006. Vol. 31. P. 89–97.
14. *Liang G.* et al. Cooperativity between DNA methyltransferases in the maintenance methylation of repetitive elements // *Mol. Cell. Biol.* 2002. Vol. 22. P. 480–491.
15. *Vertino P.* et al. De novo methylation of CpG island sequences in human fibroblasts overexpressing DNA (cytosine-5-)-methyltransferase // *Mol. Cell. Biol.* 1996. Vol. 16. P. 4555–4565.
16. *Trasler J.* Gamete imprinting: setting epigenetic patterns for the next generation // *Reprod Fertil Dev.* 2006. Vol. 18. P. 63–69.
17. *Aapola U.* et al. Imprinting regulator DNMT3L is a transcriptional repressor associated with histone deacetylase activity // *Nucleic Acids Res.* 2002. Vol. 30. P. 3602–3608.
18. *Fuks F.* et al. The DNA methyltransferases associate with HP1 and the SUV39H1 histone methyltransferase // *Nucleic Acids Res.* 2003. Vol. 31. P. 2305–2312.
19. *Ono T.* et al. Biological significance of DNA methylation in the ageing process // *Age Ageing.* 1993. Vol. 22. P. S34–S43.
20. *Tawa R.* et al. Changes of DNA methylation level during pre- and postnatal periods in mice // *Differentiation.* 1990. Vol. 45. P. 44–48.
21. *Ladd-Acosta C.* et al. DNA methylation signatures within the human brain // *Am. J. Hum. Genet.* 2007. Vol. 81. P. 1304.
22. *Veldic M.* et al. DNA-methyltransferase 1 mRNA is selectively overexpressed in telencephalic GABAergic interneurons of schizophrenia brains // *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2004. Vol. 101. P. 348–353.
23. *Ooi S., Bestor T.* The colorful history of active DNA demethylation // *Cell.* 2008. Vol. 133. P. 1145–1148.
24. *Ma D.* et al. Neuronal activity-induced Gadd45b promotes epigenetic DNA demethylation and adult neurogenesis // *Science.* 2009. Vol. 323. P. 1074–1077.
25. *Weaver I.* et al. Reversal of maternal programming of stress responses in adult offspring through methyl supplementation: altering epigenetic marking later in life // *J. Neurosci.* 2005. Vol. 25. P. 11045–11054.

26. *Shen H.* et al. A novel polymorphism in human cytosine DNA-methyltransferase-3B promoter is associated with an increased risk of lung cancer // *Cancer Res.* 2002. Vol. 62. P. 4992–4995.
27. *Wang L.* et al. Functional relevance of C46359T in the promoter region of human DNMT3B6 // *Proc. AACR [Abstract]*. 2004. Vol. 45. P. 2913.
28. *Jones J.* et al. DNMT3B polymorphism and hereditary nonpolyposis colorectal cancer age of onset // *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 2006. Vol. 15. P. 886–891.
29. *Montgomery K.* et al. The DNMT3B C→T promoter polymorphism and risk of breast cancer in a British population: a case-control study // *Breast Cancer Research.* 2004. Vol. 6, N 4. P. 390–394.
30. *Arakawa Y.* et al. Association of polymorphisms in DNMT1, DNMT3A, DNMT3B, MTHFR and MTRR genes with global DNA methylation levels and prognosis of autoimmune thyroid disease // *Clin. Exp. Immunol.* 2012. Vol. 170(2). P. 194–201.
31. *Sun M.* et al. Association of DNMT1 and DNMT3B polymorphisms with breast cancer risk in Han Chinese women from South China // *Genet. Mol. Res.* 2012. Vol. 17, N 11(4). P. 4330–4341.
32. *Kullmann K.* et al. DNMT1 genetic polymorphisms affect breast cancer risk in the central European Caucasian population // *Clinical Epigenetics.* 2013. Vol. 5. P. 7.
33. *Li E.* et al. Targeted mutation of the DNA methyltransferase gene results in embryonic lethality // *Cell.* 1992. Vol. 69. P. 915–926.
34. *Okano M.* et al. DNA methyltransferases Dnmt3a and Dnmt3b are essential for de novo methylation and mammalian development // *Cell.* 1999. Vol. 99. P. 247–257.
35. *Fan G.* et al. DNA hypomethylation perturbs the function and survival of CNS neurons in postnatal animals // *J. Neurosci.* 2001. Vol. 21. P. 788–797.
36. *Fan G.* et al. DNA methylation controls the timing of astroglialogenesis through regulation of JAK-STAT signaling // *Development.* 2005. Vol. 132. P. 3345–3356.
37. *Golshani P.* et al. Conditional Dnmt1 deletion in dorsal forebrain disrupts development of somatosensory barrel cortex and thalamocortical long-term potentiation // *Thalamus Relat. Syst.* 2005. Vol. 3. P. 227–233.
38. *Hutnick L.* et al. DNA hypomethylation restricted to the murine forebrain induces cortical degeneration and impairs postnatal neuronal maturation // *Hum. Mol. Genet.* 2009. Vol. 18. P. 2875–2888.
39. *Nguyen S.* et al. Ablation of de novo DNA methyltransferase Dnmt3a in the nervous system leads to neuromuscular defects and shortened lifespan // *Dev. Dyn.* 2007. Vol. 236. P. 1663–1676.
40. *Endres M.* et al. Effects of cerebral ischemia in mice lacking DNA methyltransferase 1 in postmitotic neurons // *Neuroreport.* 2001. Vol. 12. P. 3763–3766.
41. *Levenson J.* et al. Evidence that DNA (cytosine-5) methyltransferase regulates synaptic plasticity in the hippocampus // *J. Biol. Chem.* 2006. Vol. 281. P. 15763–15773.
42. *Miller C., Sweatt J.* Covalent modification of DNA regulates memory formation // *Neuron.* 2007. Vol. 53. P. 857–869.
43. *Nelson E.* et al. Activity-dependent suppression of miniature neurotransmission through the regulation of DNA methylation // *J. Neurosci.* 2008. Vol. 28. P. 395–406.
44. *Feng J.* et al. Dnmt1 and Dnmt3a maintain DNA methylation and regulate synaptic function in adult forebrain neurons // *Nature Neuroscience.* 2010. Vol. 13. P. 423–430.
45. *Huh G.* et al. Functional requirement for class I MHC in CNS development and plasticity // *Science.* 2000. Vol. 290. P. 2155–2159.
46. *Stevens B.* et al. The classical complement cascade mediates CNS synapse elimination // *Cell.* 2007. Vol. 131. P. 1164–1178.
47. *Boulanger L., Shatz C.* Immune signaling in neural development, synaptic plasticity and disease // *Nat. Rev. Neurosci.* 2004. Vol. 5. P. 521–531.
48. *Perry V., O'Connor V.* C1q: the perfect complement for a synaptic feast? // *Nat. Rev. Neurosci.* 2008. Vol. 9. P. 807–811.
49. *Nosyreva E.* et al. Synaptic Transmission in Hippocampal Neurons Lacking DNA Methyltransferase // *Membrane and Cell Biology.* 2009. Vol. 3, N 3. P. 326.
50. *Rhee I.* et al. DNMT1 and DNMT3b cooperate to silence genes in human cancer cells // *Nature.* 2002. Vol. 416. P. 552–556.
51. *Barrett R., Wood M.* Beyond transcription factors: The role of chromatin modifying enzymes in regulating transcription required for memory // *Learning & Memory.* 2008. Vol. 15. P. 460–467.

52. *Lubin F., Sweatt J.* The Ikappa B kinase regulates chromatin structure during reconsolidation of conditioned fear memories // *Neuron*. 2007. Vol. 55. P. 942–957.
53. *Lubin F. et al.* Epigenetic regulation of BDNF gene transcription in the consolidation of fear memory // *J. of Neuroscience*. 2008. Vol. 28. P. 10576–10586.
54. *Brooks P. et al.* DNA mismatch repair and DNA methylation in adult brain neurons // *J. Neurosci*. 1996. Vol. 16. P. 939–945.
55. *Tahiliani M. et al.* Conversion of 5-methylcytosine to 5-hydroxymethylcytosine in mammalian DNA by MLL partner TET1 // *Science*. 2009. Vol. 324. P. 930–935.
56. *Mitvier R. et al.* Cyclical DNA Methylation of a Transcriptionally Active Promoter // *Nature*. 2008. Vol. 452. P. 45–50.
57. *Steen K. et al.* The Colorful History of Active DNA Demethylation // *Cell*. 2008. Vol. 133. P. 1145–1148.
58. *Bestor T.* The DNA methyltransferases of mammals // *Hum. Mol. Genet*. 2000. Vol. 9. P. 2395–2402.
59. *Haggarty P. et al.* Human Intelligence and Polymorphisms in the DNA Methyltransferase Genes Involved in Epigenetic Marking // *PLoS ONE*. 2010. Vol. 5 (6).
60. *Shibayama A. et al.* MECP2 Structural and 30-UTR Variants in Schizophrenia, Autism and Other Psychiatric Diseases: A Possible Association With Autism // *American J. of Medical Genetics Part B (Neuropsychiatric Genetics)*. 2004. Vol. 128B. P. 50–53.
61. *Bönsch D. et al.* Homocysteine associated genomic DNA hypermethylation in patients with chronic alcoholism // *J. Neural. Transm.* 2004. Vol. 111. P. 1611–1616.
62. *Fagiolini M. et al.* Epigenetic influences on brain development and plasticity // *Current Opinion in Neurobiology*. 2009. Vol. 19. P. 207–212.
63. *Weaver I. et al.* Epigenetic programming by maternal behavior // *Nat. Neurosci.* 2004. Vol. 7. P. 847–854.
64. *Oberlander T. et al.* Prenatal exposure to maternal depression, neonatal methylation of human glucocorticoid receptor gene (NR3C1) and infant cortisol stress responses // *Epigenetics*. 2008. Vol. 3. P. 97–106.
65. *McGowan et al.* Epigenetic regulation of the glucocorticoid receptor in human brain associates with childhood abuse // *Nature Neuroscience*. 2009. Vol. 12. P. 342–348.
66. *Нестерович А. Н.* Эпигенетические аспекты этиопатогенеза шизофрении // *Мед. новости*. 2012. № 10. С. 16–22.
67. *Нестерович А. Н. и др.* Дефицит ингибиторных систем головного мозга в рамках современных представлений о патогенезе шизофрении // *Военная медицина*. 2013. № 2 (27). С. 123–131.
68. *Guidotti A. et al.* GABAergic dysfunction in schizophrenia: a new treatment on the horizon // *Psychopharmacology (Berl.)*. 2005. Vol. 180. P. 191–205.
69. *Peedicayil J.* The importance of cultural inheritance in psychiatric genetics // *Medical Hypotheses*. 2002. Vol. 58. P. 164–166.
70. *Allen N. C. et al.* Systematic meta-analyses and field synopsis of genetic association studies in schizophrenia: the SzGene database // *Nat. Genet.* 2008. Vol. 40. P. 827–834.
71. *Zhang C. et al.* Gene-gene interaction between DNMT3B and DRD1 in schizophrenia // *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*. 2010. Vol. 23; 90(43). P. 3059–3062.

A. N. NESTSIAROVICH

## THE ROLE OF DNA METHYLATION IN BRAIN FUNCTIONING

### Summary

DNA methylation refers to the system of “epigenetic control”, providing regulation of cellular gene expression in all tissues and organs. Despite the intensive development of epigenetics in the modern science world, the role of this process in the brain functioning is still not well understood: the results of numerous biological studies demonstrate the involvement of methylation in a wide range of physiological processes at the molecular level in the central nervous system at different stages of development, but available information suffers from lack of completeness and systematization, and needs to be generalized. The article provides review of the recent literature concerning the role of DNA methylation in the brain functioning.

УДК 616.24-006:543.06

Н. В. ПИВЕНЬ, А. И. БУРАКОВСКИЙ, Т. А. КАРПЕНКО,  
М. Н. ТИШКЕВИЧ, А. А. ЯСТРЕБОВА

## ИММУНОФЕРМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ЭПИДЕРМАЛЬНОГО ФАКТОРА РОСТА ПРИ ОНКОПАТОЛОГИИ

*Институт биоорганической химии НАН Беларуси*

*(Поступила в редакцию 24.12.2013)*

*Разработан новый метод иммуноферментного анализа концентрации эпидермального фактора роста человека в сыворотке крови и на этой основе изучено содержание данного маркера в 53 образцах онкологических больных (30 человек – немелкоклеточный рак легкого и 23 – рак мочевого пузыря). Обнаружено значительное повышение концентрации эпидермального фактора роста у больных с немелкоклеточным раком легкого, которое более чем в 10 раз превышало количество этого же маркера в сыворотке крови больных раком мочевого пузыря (группа сравнения), что подтверждает наличие гиперэкспрессии данного маркера при немелкоклеточном раке легкого.*

**Введение.** Благодаря современным достижениям молекулярной биологии и биотехнологии концепция происхождения и развития злокачественных новообразований к настоящему времени практически сформировалась. Экспериментально доказано, что малигнизация клетки происходит вследствие накопления в ее ядерном аппарате различных генных аномалий в результате хромосомных перестроек, амплификаций, точечных мутаций и вирусной интеграции [1].

Несмотря на успехи фундаментальной онкологии, задача изучения диагностической и прогностической значимости частоты выявления и определения уровней факторов роста и их рецепторов при различных злокачественных новообразованиях человека не решена [2].

Факторы роста обеспечивают пролиферацию клетки и ее дифференцировку, а также регуляцию ангиогенеза и апоптоза. Установлено, что основные представители семейства пептидных факторов роста: эпидермальный фактор роста (ЭФР), фактор роста фибробластов, трансформирующий фактор роста, фактор роста эндотелия сосудов и другие играют существенную роль в развитии опухоли и ее прогрессии [3].

Наряду с другими онкогенами, супрессорными генами и секреторными белками одним из перспективных маркеров биологического поведения опухоли является ЭФР, который играет важную роль в канцерогенезе [4]. В определенных условиях он способен вызывать малигнизацию клеток, а повышенный уровень ЭФР и его рецепторов определен как компонент многих видов онкологических заболеваний (рак молочной железы, немелкоклеточный рак легкого, рак яичников, колоректальный рак и др.). Однако в структуре заболеваемости злокачественными новообразованиями первое место среди них занимает немелкоклеточный рак легкого (НМРЛ) [5].

Все гистологические типы рака легкого, отличные от мелкоклеточного рака, объединяют термином НМРЛ. Сюда относят плоскоклеточный и крупноклеточный рак легкого, аденокарциному легкого (включая бронхиолоальвеолярный рак), а также их смешанные формы [6]. НМРЛ является одним из наиболее распространенных злокачественных заболеваний с высоким уровнем смертности во всем мире. Частота летальных исходов вследствие НМРЛ сопоставима с совокупной частотой случаев смерти от опухолей предстательной железы, толстой кишки и поджелудочной железы [7]. 80–85 % случаев рака легких являются НМРЛ, при этом примерно 65 % из этих пациентов имеют поздние стадии (IIIВ/IV) заболевания на момент постановки диагноза [8].

Онкологические новообразования различной локализации, по данным Министерства здравоохранения Республики Беларусь, являются одной из основных причин смертности населения. Уровень первичной заболеваемости за период с 2005 по 2011 г. увеличился на 20,1 % (с 927,0 на 100 тыс. населения в 2005 г. до 1113,6 на 100 тыс. в 2011 г.). Ежегодно в Республике Беларусь выявляется более 4000 случаев рака легкого, при этом на долю НМРЛ приходится примерно 3500 вновь заболевших [9]. В силу этого возникает необходимость своевременной диагностики этой группы заболеваний на основе идентификации и количественной оценки уровня ЭФР при онкопатологических состояниях с высоким уровнем чувствительности и специфичности.

Одним из наиболее динамично развивающихся биотехнологических направлений в диагностике на сегодняшний день является разработка новых диагностических подходов на основе принципов современного иммунохимического анализа (ИХА). Несмотря на большое разнообразие модификаций этой группы методов их объединяет строгая специфичность, высокая информативность и чувствительность. Эти методы широко применяются в различных областях биологической и медицинской наук. Они позволяют определять концентрации широкого круга биологически активных веществ, по-новому понять механизмы регуляции гомеостаза организма, контролировать течение и развитие физиологических функций организма в норме и при патологии, диагностировать многие патологические состояния и т. д. [10].

Новые технологические решения и модификации методов ИХА, в частности, иммуноферментного анализа (ИФА) позволяют с высоким уровнем чувствитель-

ности и специфичности идентифицировать и проводить количественный анализ одного из клинико-диагностических и патогенетических маркеров онкопатологии – ЭФР.

Цель работы – разработать метод иммуноферментного анализа концентрации ЭФР в сыворотке крови и оценить его клинико-диагностическую значимость при онкопатологии различной локализации.

**Материалы и методы исследования.** В работе использовали рекомбинантный человеческий эпидермальный фактор роста (№ 236-EG, R&D Systems, США), мышинные моноклональные антитела (МАТ, клон 10827, № МАВ636, R&D Systems, США), поликлональные козы IgG (ПАТ1, № АВ-2360-NA, R&D Systems, США), кроличьи антикозы поликлональные антитела, меченные пероксидазой хрена (ПАТ2, HAF017, R&D Systems, США), бычий сывороточный альбумин (БСА, 0332-1006, Amresco), 3,3',5,5'-тетраметилбензидин (ТМВ-Elisa Turbo, 168093, Thermo scientific, США), Tween-20 (A0276663, Acros Organics, США). Все вспомогательные реагенты: соли, кислоты, щелочи были аналитической или химической чистоты.

Для иммобилизации использовали полистироловые разборные планшеты (Costar, США).

Растворы для получения МАТ, ПАТ1, ПАТ2, разведения калибровок и сывороток готовили на деионизированной воде, пропущенной через фильтры 0,2 мкм (Millipore, США) с применением весов лабораторных ScoutPro (ОНАУС, Германия), магнитной мешалки ММ-5 (Laboratorniprostroje, Чехия), лабораторного рН-метра WTW (погрешность  $\pm 0,05$ , Германия).

Отмывка планшетов от несвязавшихся компонентов осуществлялась с помощью автоматического 8-канального вошера (Оптрон, МВ-350, Беларусь).

Инкубации проводились в термошейкере для планшета PST-60HL (Biosan, Латвия).

Учет результатов проводили спектрофотометрически при 450 нм с использованием многоканального спектрофотометра iMark (BioRad, Япония).

В основу разработанного нами метода положен непрямой «сэндвич»-вариант анализа, в котором анализируемое соединение (ЭФР), находящееся в сыворотке крови пациента, связывается во время инкубации с моноклональными антителами, предварительно иммобилизованными на внутренней поверхности лунок планшета для иммуноферментного анализа, с образованием иммунокомплекса. Несвязавшиеся компоненты удаляются путем отмывания планшета. На втором этапе к образовавшемуся иммунокомплексу «антиген–антитело» добавляют вторые поликлональные антитела, специфичные к другой антигенной детерминанте ЭФР, которые, связываясь, образуют «сэндвич»-иммунокомплекс. После удаления несвязавшихся компонентов путем отмывания планшета на заключительном этапе в систему вводят меченные пероксидазой хрена антивидовые поликлональные антитела, позволяющие детектировать ранее образовавшийся «сэндвич»-иммунокомплекс. Индикатором в этом тесте является хромогенный субстрат

фермента пероксидазы хрена – 3,3',5,5'-тетраметилбензидин. Добавлением стоп-раствора (2N-й раствор  $H_2SO_4$ ) останавливают развитие цветной реакции и спектрофотометрически измеряют ее интенсивность, которая прямо пропорциональна концентрации исследуемого ЭФР в образце.

Данная тест-система обладает следующими аналитическими характеристиками: чувствительность – 7,7 пг/мл; диапазон определяемых концентраций – 7–500 пг/мл; специфичность –  $\geq 98\%$ ; время анализа – 4 ч.

Метод был апробирован на клиническом материале – образцах сыворотки крови 53 пациентов, из которых 30 имели диагноз НМРЛ и 23 – рак мочевого пузыря (РМП).

Статистическую обработку полученных данных осуществляли с использованием пакета программ Statistica (версия 6.0, фирма StatSoft Inc.). При этом определялись параметры описательной статистики анализируемых выборок, по критерию Колмогорова–Смирнова оценивалось подчиняется ли массив данных закону нормального распределения, достоверность различий данных между группами определялась с помощью непараметрического метода Манна–Уитни. Различия считались достоверными при  $p \leq 0,001$ .

**Результаты и их обсуждение.** Результаты определения средних величин содержания ЭФР в сыворотке крови пациентов с НМРЛ и РМП представлены в таблице.

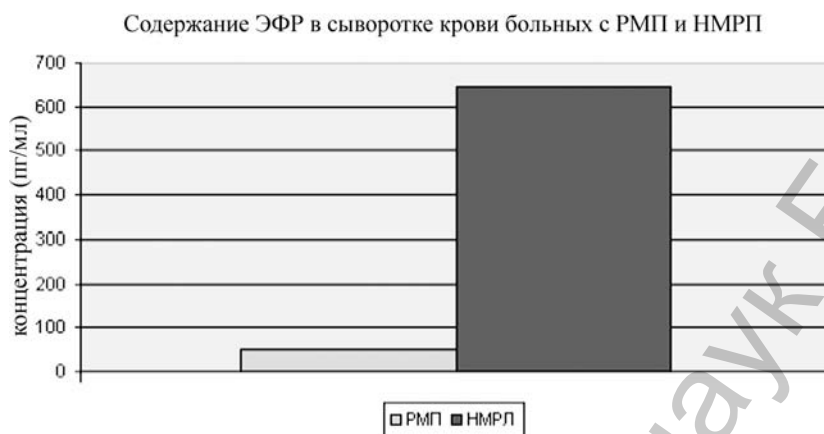
Содержание ЭФР (пг/мл) в сыворотке крови больных НМРЛ и РМП

Вид онкопатологии	Число исследований (n)	Средняя величина (M), пг/мл	Средне-квадратическое отклонение ( $\sigma$ )
НМРЛ	30	645,6	232,4
РМП	23	51,6	40,3

Примечание: средние величины уровня ЭФР в сыворотке крови больных имели различия с высокой степенью достоверности ( $p \leq 0,001$ ).

Как следует из данных таблицы, в сыворотке крови больных НМРЛ содержание ЭФР более чем в 10 раз превышало количество этого же маркера в сыворотке крови больных РМП (рисунок).

Подобное распределение величин содержания ЭФР в сыворотке крови больных НМРЛ и РМП согласуется со сведениями других авторов. К настоящему времени сформировано представление о молекулярных механизмах патогенеза НМРЛ. У здорового человека содержание ЭФР в организме относительно невелико и стабильно. Однако при определенных условиях может происходить возрастание количества рецепторов, чувствительных к ЭФР, благодаря чему повышается концентрация данного фактора (гиперэкспрессия). При развитии опухолевого процесса характерна аутокринная активация множественных сигнальных каскадов. В частности, наблюдается избыточность сигналов, посылаемых рецепторными тирозинкиназами [5]. ЭФР, связываясь с экстрацеллюлярной частью своего рецептора (активация рецептора), запускает сложный каскад сигналов внутри



Концентрация ЭФР в сыворотке крови больных с НМРЛ и РМП

клетки. Активация тирозинкиназы приводит к фосфорилированию ряда цитоплазматических субстратных белков, которые, в свою очередь, становятся активными или изменяют свои функции вследствие их фосфорилирования. Далее они посылают сигналы в клетку, что в конечном счете приводит к усилению транскрипции серии генов, ускорению роста и деления клетки и метастазированию [11].

Выявленная нами динамика содержания ЭФР в сыворотке крови при НМРЛ свидетельствует о наличии гиперэкспрессии ЭФР (средняя величина содержания ЭФР составила 645,6 пг/мл) что, в свою очередь, подтверждает ведущую роль ЭФР в развитии опухолевого процесса и его прогрессии при НМРЛ.

По темпам абсолютного прироста среди онкоурологических заболеваний РМП выходит на 4 место, уступая лишь раку предстательной железы, почки и яичника [12]. Данное обстоятельство создает предпосылки для поиска новых методов диагностики ранних форм рака и маркеров прогноза заболевания. В настоящее время хорошо известны и широко применяются такие морфологические критерии, как глубина инвазии, степень дифференцировки клеток, митотическая активность и т. д. Последнее время большое количество работ посвящено исследованию новых иммуногистохимических маркеров, позволяющих диагностировать ранние признаки инвазии и рецидива РМП [13–15].

У больных с РМП (группа сравнения) гиперэкспрессии ЭФР не обнаружено: средняя величина содержания ЭФР в исследуемых образцах составила 51,6 пг/мл (критический порог для ЭФР в сыворотке крови человека составляет около 200 пг/мл), что подтверждается результатами других авторов о противоречивости взаимосвязи уровня ЭФР и его роли в развитии РМП, в силу чего полагают, что ЭФР не может быть рекомендован в качестве прогностического маркера при этой патологии [16].

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о повышении концентрации (наличии гиперэкспрессии) ЭФР при НМРЛ, которая может рассматриваться как количественный клинико-диагностический и патогенетический маркер данного заболевания, что, в свою очередь, обуславливает целесообразность разработки новых современных методов для количественной детекции НМРЛ.

Современные научные представления о механизмах развития онкопатологических процессов в организме позволяют предполагать непосредственное участие ЭФР в инициации развития онкопатологии, и тем самым обосновывают целесообразность создания новых методов оценки уровня ЭФР. В качестве альтернативы существующим методам выступают современные иммунохимические аналитические тест-системы, основанные на достижениях современных биотехнологий, в частности, на основе принципов иммуноферментного анализа, сочетающего в себе высокую чувствительность, специфичность иммунохимической реакции «антиген–антитело» и простоту исполнения, что выдвигает его в ряд приоритетных методов современного иммунохимического анализа. С помощью такого современного иммунохимического подхода возможно не только выявлять уровень содержания ЭФР при онкопатологии различного генеза, но и оценивать его участие в патогенезе онкологического процесса.

Иммунохимическое определение уровня ЭФР в рамках комплексного изучения опухолеассоциированных маркеров позволит повысить эффективность ранней диагностики различных форм онкопатологии, ассоциированной с гиперэкспрессией ЭФР, в частности, НМРЛ, а также осуществлять контроль и динамическое слежение за развитием патологического процесса, оценивать эффективность проводимого лечения (в том числе и хирургического) и прогнозировать течение заболевания.

## **Выводы**

1. Можно считать достоверным, что гиперэкспрессия ЭФР играет важную роль в канцерогенезе НМРЛ и является маркером, характеризующим биологическое поведение опухоли.

2. Обнаружено повышение уровня концентрации (гиперэкспрессия) ЭФР в сыворотке крови больных с НМРЛ, в то время как у больных с РМП (группа сравнения) содержание ЭФР более чем в 10 раз ниже, чем у больных НМРЛ.

3. Полученные данные обосновывают целесообразность использования разработанного метода ИФА для оценки концентрации ЭФР в сыворотке крови больных НМРЛ в качестве клинико-диагностического и патогенетического маркера данной онкопатологии, что, в свою очередь, позволяет говорить о целесообразности и перспективности такого направления исследований.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в соответствии с договором № Х13-033.

## Литература

1. *Копнин Б. П.* // Материалы X Российского онкологического конгресса. М., 2006. С. 99–102.
2. *Шаназаров Н. А., Сабиров А. Х., Сироткина С. М.* // Российский биотерапевтический журн. 2009. Т. 8, № 4. С. 85–90.
3. *Симмс А., Томпсон Ф.* // *Gut*. 2002. Vol. 51. P. 748–754.
4. *Пивень Н. В., Бызова Н. А., Лухверчик Л. Н.* и др. // Прикладная биохимия и микробиология. 2013. Т. 49, № 6. С. 606–612.
5. *Rossi A., Maione P., Del Gaizo F.* et al. // *Cancer Therapy*. 2007. Vol. 5. P. 227–238.
6. *Сакаева Д. Д.* // Практическая онкология. 2013. Т. 14, № 1. С. 59–67.
7. *Jemal A., Bray F., Center M. M.* et al. // *J. CA Cancer Clin*. 2011. Vol. 61. P. 1345–1389.
8. *Malvezzi M., Bertuccio P., Levi F.* et al. // *Annals of Oncology*. 2012. Vol. 23. P. 1044–1052.
9. *Здравоохранение в Республике Беларусь: офиц. стат. сб. за 2011 г. Минск, 2012.* С. 304.
10. *Пивень Н. В., Бураковский А. И.* // Иммунопатология, аллергология, инфектология. 2012. № 3. С. 6–12.
11. *Britten C. D.* // *Mol. Cancer Ther*. 2004. N 3. P. 1335–1342.
12. *Маслякова Г. Н., Понукалин А. Н., Цмокалюк Е. Н.* и др. // Саратовский научно-медицинский журн. 2009. Т. 5, № 4. С. 608–611.
13. *Даренко С. П., Перлин Д. В., Паришина В. Н.* и др. // Онкоурология. 2005. № 3. С. 51–54.
14. *Wu T. T., Chen Y. H., Lee Y. Y.* et al. // *Y. Urol*. 2000. Vol. 163, N 3. P. 758–760.
15. *Зоболотнева А. А., Гайфуллин Н. М., Буздин А. А.* и др. // Онкоурология. 2011. № 3. С. 16–19.
16. *Аль-Шукри С. Х., Корнеев И. А.* // Практическая онкология. 2003. Т. 4, № 4. С. 204–213.

*N. V. PIVEN, A. I. BURAKOVSKI, T. A. KARPENKA, M. N. TSISHKEVICH, H. A. YASTRABA*

### ENZYME IMMUNOASSAY OF THE EPIDERMAL GROWTH FACTOR LEVEL IN CANCER PATHOLOGY

#### Summary

New ELISA method for determining the human epidermal growth factor concentration in serum was developed and the content of this marker was studied in samples from 53 patients (30 were diagnosed with non-small cell lung cancer and 23 with bladder cancer). It was established the significant increase of the epidermal growth factor content in small cell lung cancer by more than 10 times exceed the amount of the same marker in the serum of patients with bladder cancer (control group), which confirms the presence of overexpression of this marker in non-small cell lung cancer.

УДК 553.97

А. Р. ЦЫГАНОВ<sup>1</sup>, А. Э. ТОМСОН<sup>1</sup>, ЛЮ ВЭЙ ДОНГ<sup>2</sup>, ЧЖАН ЦЗЕЮ<sup>3</sup>,  
В. А. РАКОВИЧ<sup>1</sup>, В. П. СТРИГУЦКИЙ<sup>1</sup>, Т. В. СОКОЛОВА<sup>1</sup>, В. С. ПЕХТЕРЕВА<sup>1</sup>

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ УМЕРЕННО-КОНТИНЕНТАЛЬНОГО И ТРОПИЧЕСКОГО КЛИМАТА

<sup>1</sup>Институт природопользования НАН Беларуси

<sup>2</sup>Компания Guangzhou Dongsong Energy Group Co., Ltd.

<sup>3</sup>Институт торфа и болот Северо-восточного педагогического университета, г. Чанчунь

(Поступила в редакцию 31.01.2014)

*На примере торфяных месторождений, расположенных на территории Республики Беларусь и Китая, проанализированы принципиальные аспекты болотообразования в условиях умеренно-континентального и тропического климата. В первом случае имеет место формирование месторождений верхового и низинного типов с различным видовым составом и степенью разложения торфа. С увеличением глубины залегания в ряде случаев проявляется тенденция повышения степени разложения торфа и перехода его от верхового к низинному типу. При этом сходство биоклиматических условий обуславливает близость процессов болотообразования торфяных месторождений, расположенных в различных географических регионах (Республика Беларусь и Северо-Восточный Китай). Для месторождения, сформировавшегося в условиях тропического климата (Юго-Западный Китай), имеет место исключительная однородность высокой степени разложения (45–50 %), а также стабильность ботанического состава по пунктам отбора пробы и глубине залегания.*

Одной из актуальных проблем болотообразования является влияние геоклиматических условий. Предмет данной статьи – сравнительный анализ принципиальных аспектов формирования торфяных месторождений в условиях умеренно-континентального и тропического климата – территории Республики Беларусь, Северо-Восточного и Юго-Западного Китая соответственно.

Несмотря на относительно небольшие размеры территории в разных районах Республики Беларусь имеются большие различия в сочетании основных факторов торфообразования: геологии, геоморфологии, гидрографии, гидрологии и др., что обусловило значительные отличия количественных и качественных особенностей болотообразования и торфонакопления, а также неравномерность распределения болот по территории. На территории Беларуси выделено пять тор-

фяно-болотных областей [1]. Существующая ныне стратиграфическая классификация выделяет 4 типа торфяных залежей: низинный, переходный, верховой и смешанный [2]. Однако на основе проведенного стратиграфического анализа и исследований торфяных месторождений в разных природных зонах Беларуси был сделан вывод, что существует не четыре, а семь генетических типов торфяных залежей: низинный, низинно-переходный, переходный, низинно-верховой, низинно-переходно-верховой, переходно-верховой и верховой [3], при этом в название залежи всегда включается название верхнего типологического слоя торфа независимо от его мощности.

В связи с этим было выполнено исследование ботанического состава и степени разложения проб торфа, выделенных из месторождений, расположенных в различных районах Беларуси (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Геоботаническая характеристика проб торфа

№ отбора проб	Глубина отбора, м	Степень разложения, %	Вид торфа
Минская область			
Торфопредприятие «Зеленоборское»			
1	0,0–0,1	5	Сфагновый верховой
2	0,1–0,25	5–10	Сфагновый верховой
3	0,25–0,6	5–10	Сфагновый верховой
4	0,6–1,0	10–15	Сфагновый верховой
Торфяное месторождение «Караваевское»			
5	0,0–0,15	25	Пушицевый (переходный)
6	0,15–0,25	45–50	Древесно-тростниковый
7	0,25–0,5	40	Древесно-тростниковый
8	0,25–0,5	30–35	Тростниковый
Торфяное месторождение «Дукора–Долгое»			
9	0,0–0,25	45	Пушицевый
Торфяное месторождение «Гричино–Старобинское»			
10	штабель	30	Древесно-тростниковый
Витебская область			
Торфяное месторождение «Церковное»			
11	0,0–0,25	10	Сфагновый верховой
12	0,25–0,5	15	Сфагновый верховой

Данные, приведенные в табл. 1, указывают на существенное влияние месторасположения торфяного месторождения (т. м.) на видовой состав и степень разложения торфа. С глубиной залегания в данных месторождениях наблюдается повышение степени разложения, а для т. м. «Караваевское» еще и переход от переходного типа торфа к низинному.

В связи с этим на примере месторождения «Островское» (Миорский район Витебской области) было подробно проанализировано влияние пункта отбора и глубины залегания на геоботаническую характеристику торфа. Исследования были выполнены с обобщенными пробами, объединенными по глубине отбора,

близости их видового состава и степени разложения. Первая группа проб (8), объединяющая образцы, отобранные на глубине до 0,5 м, представлена магелланикум торфом с относительно невысокой степенью разложения в среднем до 15,0 %. Вторая группа проб (25), включающая образцы, отобранные на глубинах от 0,5 до 0,75 м, представлена в основном пушицево-сфагновым торфом со степенью разложения 30,0 %. Образцы третьей группы (6), отобранные на глубинах от 0,75 до 1,0 м, также представлены пушицево-сфагновым торфом, однако степень разложения у них 35,0 % в отличие от образцов второй группы. Образцы четвертой (11) и пятой (16) групп, отобранные на глубинах от 0,5 до 1,0 м и от 1,0 до 1,5–1,8 м, представлены сосново-пушицевым торфом со степенями разложения ~45,0 и 50,0 % соответственно. Шестая группа образцов (7), отобранных на глубинах от 1,25 до 1,85 м, представлена в основном переходным древесно-сфагновым и древесным торфом со степенью разложения ~50 %. Седьмая группа образцов (16), отобранная с глубин от 1,5 до 2,0 м, представлена торфом и подстилающими его торфосапелелевыми породами. Степень разложения торфов в этих образцах >50 %. Содержание минеральных примесей (зольность) для образцов верхового торфа, находящихся в залежи на глубинах до 1,5–1,8 м (группы 1–5), составляет 1,5–2,0 %. Для образцов 6-й и 7-й групп, находящихся в залежи на глубине от 1,5 до 2,2 м и вблизи подстилающих грунтов, содержание минеральных компонентов составляет 3,0–4,5 %.

Таким образом, для всех исследованных месторождений наблюдается повышение степени разложения торфа с глубиной залегания, а для т. м. «Караваяевское» и «Островское» и изменение ботанического состава и типовой принадлежности от переходного к низинному. В пунктах отбора проб встречаются разные виды торфа, которые формируются вследствие разнообразных условий минерального питания произрастающих растений-торфообразователей.

В направлении с севера на юг проявляется тенденция повышения степени разложения торфа и перехода его от верхового к низинному типу.

Анализ собственных и литературных данных [1; 2] свидетельствует, что болотообразовательные процессы на территории Беларуси были тесно связаны с климатом, его особенностями и изменениями в голоцене (современная геологическая эпоха, начавшаяся 10 тыс. лет назад [4]). Наиболее широкое распространение территорий, для которых были характерны болотообразовательные процессы, имели место в атлантический период с нижней границей 8000 лет и верхней границей 5000 лет. В этот период, соответствующий климатическому оптимуму голоцена, началось массовое образование верховых болот в северной части территории современной Беларуси и в Предполесье, а также низинных болот в центральном Полесье [2]. В целом эти процессы развивались с нарастающей интенсивностью, что обусловлено увеличением среднегодовой температуры и увлажнения климата в этот период голоцена [5–7].

На фоне благоприятного климата на процессы заболачивания и торфонакопления большое влияние оказывают другие факторы, прежде всего – геоморфо-

логические и гидрогеологические. Так, средняя мощность торфяного слоя в Витебской области составляет 2,5 м, а в Брестской – лишь 1,4 м, что частично обусловлено различиями геоморфологии севера и юга Беларуси [2].

В разных регионах Беларуси сочетание факторов болотообразования и торфонакопления было неодинаково, поэтому размеры болот и торфяных месторождений, запасы торфа различных типов и общая заболоченность территорий существенно различаются.

Площадь торфяной залежи низинного типа в Беларуси составляет 81,6 % (2103,8 тыс. га), переходного – 3,4 % (106,2 тыс. га), верхового – 15,0 % (333,7 тыс. га) [2].

Большие размеры территории Китая обуславливают широкий диапазон основных факторов болотообразования. При этом следует отметить, что болотообразование в Китае началось в раннем плейстоцене и продолжается до настоящего времени. Средний возраст торфа на начальных стадиях торфообразования здесь составляет  $34615 \pm 2465$  лет [8]. Отметим, что в Беларуси торфяных месторождений в естественном состоянии с таким возрастом нет. В раннем плейстоцене торфообразование в Китае протекало весьма медленно. Наиболее интенсивно процессы торфообразования и торфонакопления происходят в течение последних 5000 лет, причем за последние 3000 лет накопилось 57,9 % геологических запасов торфа.

Распределение торфяных месторождений по территории Китая тесно коррелирует с климатическими условиями местности. Так как количество осадков зависит от близости той или иной территории к океанам, то в Китае наблюдается закономерность уменьшения количества болот, их размеров и мощности торфяных залежей с востока на запад, а не с севера на юг, как в Беларуси. Меньше всего торфяных месторождений в центральной части Китая, наиболее удаленной от моря [8].

Ранее лабораторией биогеохимии ландшафтов Института природопользования НАН Беларуси совместно с сотрудниками Института торфа и болот Китая на торфяных месторождениях (равнинно-пойменном Ксан Кэйю шю и горном Хани), расположенных в Северо-Восточном Китае, было выполнено стратиграфическое бурение торфяных залежей с определением ботанического состава и степени разложения торфа. Результаты определений представлены в табл. 2.

Как видно, в этих месторождениях преобладают отложения осокового торфа с небольшой степенью разложения, как и в Беларуси.

Имеется мало литературных данных о возрасте торфяных месторождений Китая. Согласно публикации [8], темпы торфонакопления неодинаковы в разных природно-климатических зонах. Так, в северо-восточной части Китая прирост торфа варьирует от 0,18 до 1,58 мм в год, в центральной части – от 0,32 до 2,29 мм, в восточной части – 0,25–0,81 мм, в юго-западной – 0,28–0,81 мм в год.

Данные о глубинах торфяной залежи, возрасте их отдельных слоев, определенном китайскими специалистами радиоуглеродным методом, и расчетные величины среднегодового прироста торфяного слоя представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 2. Стратиграфическая характеристика торфяных залежей болот Китая

Глубина отбора проб, м	Ботанический вид торфа	Степень разложения, %
<i>Болото Ксан Кэйю шю</i>		
0,0–0,5	Осоковый	20
0,5–1,0	Осоковый	15
1,0–1,5	Осоковый	15
1,5–1,9	Тростниково-осоковый	20
<i>Болото Хани</i>		
0,0–1,0	Осоковый	20
1,0–2,0	Осоковый	15–20
2,0–3,0	Осоковый	15
3,0–4,0	Осоково-хвощевый	20–25
4,0–5,0	Осоково-хвощевый	25
5,0–6,0	Осоковый	20–25
6,0–7,0	Осоковый	20
7,0–8,0	Хвощево-гипновый	15

Т а б л и ц а 3. Абсолютный возраст и прирост торфа на торфяных месторождениях северо-восточного Китая

Глубина отбора проб, м	Возраст торфа в месте отбора пробы, лет	Слой торфа, соответствующий возрасту, м	Среднегодовой прирост торфа, мм
<i>Болото Ксан Кэйю шю</i>			
1,9–2,0	1945 ± 70	2,0	1,03
3,0–3,1	3120 ± 70	3,1	0,99
4,0–4,1	4275 ± 70	4,1	0,96
5,0–5,1	5130 ± 80	5,1	0,99
5,95–6,05	6020 ± 85	6,05	0,99
<i>Болото Хани</i>			
5,0–5,1	6450 ± 85	5,1	0,80

Прирост торфа на равнинно-пойменном торфяном месторождении составляет в среднем 1 мм в год, а на горном – 0,8 мм. Более интенсивный прирост торфа на равнинно-пойменном месторождении объясняется более обильным водно-минеральным питанием. Горное торфяное месторождение имеет небольшую площадь водосбора, значительно меньшую, чем равнинно-пойменное, так как оно находится в окружении гор, поэтому сюда поступает меньше питательных веществ для развития болотных растений.

Результаты исследований показывают, что прирост торфа в северо-восточном Китае примерно такой же как и в Беларуси на болотах Березинского биосферного заповедника, что объясняется сходством биоклиматических условий болотообразования.

Влияние условий тропического климата на процессы болотообразования изучалось на примере торфяного месторождения на территории Юго-Западного Китая, провинция Юньнань, уезд Шипин у поселка Баосю, установлены суще-

ственные отличия от представленных выше. Был выполнен анализ 11 проб, отобранных на глубинах залегания 0,4–1,0 м.

Результаты геоботанических исследований обобщены и представлены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4. Геоботаническая характеристика образцов торфа Юго-Западного Китая

№ образца пробы	Степень разложения, %	Геоботанический состав. Остатки растений-торфообразователей	% содержания	Вид торфа	Тип торфа
1	45–50	тростник	40	тростниково-осоковый	низинный
		осоки	40		
		вахта	10		
		древесные	5		
		вейник	5		
2	45–50	тростник	40	тростниково-осоковый	низинный
		осоки	40		
		вахта	10		
		древесные	5		
		камыш	5		
3	45–50	тростник	40	тростниково-осоковый	низинный
		осоки	40		
		вахта	10		
		древесные	5		
		вейник	5		
4	45–50	тростник	45	тростниково-осоковый	низинный
		осоки	35		
		вахта	10		
		древесные	5		
		вейник	5		
5	45–50	тростник	40	тростниково-осоковый	низинный
		осоки	40		
		вахта	10		
		древесные	5		
		вейник	5		
6	45–50	тростник	40	тростниково-осоковый	низинный
		осоки	40		
		древесные	10		
		вахта	5		
		вейник	5		
7	45–50	тростник	35	тростниково-осоковый	низинный
		осоки	45		
		вахта	10		
		древесные	5		
		вейник	5		

Окончание табл. 4

№ образца пробы	Степень разложения, %	Геоботанический состав. Остатки растений-торфообразователей	% содержания	Вид торфа	Тип торфа
8	45–50	тростник	40	тростниково-осоковый	низинный
		осоки	40		
		вахта	10		
		древесные	5		
		вейник	5		
9	45–50	тростник	40	тростниково-осоковый	низинный
		осоки	40		
		вахта	10		
		древесные	5		
		вейник	5		
		камыш	редко		
10	45–50	тростник	40	тростниково-осоковый	низинный
		осоки	40		
		вахта	10		
		древесные	5		
		вейник	5		
		камыш	редко		
12	45–50	тростник	45	тростниково-осоковый	низинный
		осоки	35		
		вейник	10		
		вахта	5		
		древесные	5		

Как видно из приведенных данных, образцы торфа, отобранные на торфяном месторождении, сформировавшемся в условиях тропического климата, характеризуются близким ботаническим составом. Остатки растений-торфообразователей в этих образцах представлены преимущественно тростником (40–45 %) и осоками (35–40 %), а также в незначительном количестве такими травянистыми растениями, как вахта (до 10 %) и вейник (5 %), в отдельных случаях – камышом (до 5 %). Во всех образцах торфа присутствуют остатки (кора) древесных растений, но их содержание не превышает 5 % от общего количества остатков растительности. Учитывая полученные экспериментальные данные, все пробы торфа отнесены к тростниково-осоковому виду, а сам обследованный участок месторождения к низинному типу, торф которого исключительно однороден по степени разложения (45–50 %) и практически не отличается по составу основных торфообразователей, имея в виду тростник и осоку (как по точкам отбора, так и глубине залегания).

По содержанию минеральных веществ исследованные образцы существенно разнятся (9,7–27,0 %). Такие высокие значения зольности характерны для низинных торфов. При этом большинство проб следует относить к высокозольным торфам ( $A > 10\%$ ) [9].

Активную и обменную кислотность торфов (рН) определяли соответственно в его водных и солевых вытяжках (KCl). Полученные значения (табл. 5) также характерны для низинных торфов [9].

Т а б л и ц а 5. Зольность, активная и обменная кислотность торфов (Юго-Западный Китай)

№ пробы	Зольность, %	Кислотность торфов в единицах, рН	
		водная вытяжка	солевая вытяжка (KCl)
1	16,5	5,3	4,6
2	14,8	5,3	4,7
3	16,1	5,3	4,6
4	27,0	5,7	4,7
5	13,9	5,4	4,7
6	9,8	4,8	4,3
7	18,7	5,3	4,6
8	9,7	4,9	4,4
9	16,5	5,3	4,6
10	24,8	5,7	4,8
11	10,2	4,8	4,5

Как видно из данных табл. 5, по активной кислотности пробы торфа существенно отличаются. Так, наиболее кислой средой выделяются пробы торфа № 6, 8 и 11 (рН 4,8–4,9), имеющие невысокую зольность (около 10 %), а у самых зольных образцов № 4 и 10, содержащих соответственно 27,0 и 24,8 % минеральных веществ, этот показатель возрастает до 5,7 единиц. Солевые вытяжки исследуемых проб, как и следовало ожидать, имели более кислую реакцию среды, что характерно для обменной кислотности торфа (рН 4,3–4,8).

Таким образом, исследования указанных проб показало, что они имеют слабокислую реакцию среды, что связано с условиями минерального питания торфяной залежи обследуемого месторождения. Это необходимо учитывать при практическом использовании такого торфа, особенно в сельском хозяйстве.

Учитывая результаты геоботанической и физико-химической характеристик проб торфа, для дальнейших исследований по однородности они были сгруппированы и объединены в 4 образца:

образец I включал пробы № 1, 3, 7, 9;

образец II включал пробы № 2 и 5;

образец III включал пробы № 6, 8 и 11;

образец IV включал пробы № 4 и 10.

**Заключение.** Сходство биоклиматических условий обуславливает близость процессов болотообразования на торфяных месторождениях, расположенных в различных регионах земли (Беларусь и Северо-Восточный Китай).

В то же время наблюдаются принципиальные различия в особенностях формирования торфяных месторождений в условиях умеренно-континентального

(Беларусь) и тропического (Юго-Западный Китай) климатов. В первом случае имеет место формирование торфяных месторождений с преобладанием залежей верхового и низинного типов с различным видовым составом и степенью разложения торфа. С увеличением глубины залегания в ряде случаев проявляется тенденция повышения степени разложения торфа, вариации его ботанического состава и перехода от верхового к низинному типу. Для месторождения, сформировавшегося в условиях тропического климата, имеет место исключительная однородность торфа высокой степени разложения (45–50 %), а также стабильность ботанического состава по пунктам отбора проб и глубине залегания.

Работа выполнена в рамках проекта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Х12Р–147).

### Литература

1. *Лидопличко А. П.* Торфяные месторождения Белорусской ССР, Минск, 1961. С. 15.
2. *Бамбалов Н. Н., Ракович В. А.* Роль болот в биосфере. Минск, 2005. С. 285.
3. *Дубовец А. Г.* // Проблемы Полесья. 1981. Вып. 7. С. 129–133.
4. Горная энциклопедия. М., 1986. Т. 2. С. 83.
5. *Еловичева Я. К.* Палинология позднеледниковья и голоцена Белоруссии. Минск, 1993. С. 94.
6. *Хотинский Н. А.* Голоцен Северной Евразии. М., 1977. С. 199.
7. *Климанов В. А.* // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1981. № 5. С. 101–114.
8. *Ma Xuehui, He Yan.* // Global Peat Resources. Finland, 1996. P. 163–168.
9. *Лиштван И. И., Терентьев А. А., Базин Е. Т., Головач А. А.* Физико-химические основы технологии торфяного производства. Минск, 1983. С. 232.

*A. R. TSYGANOV, A. E. TOMSON, LJU VEI DONG, ZHANG ZEYOU, V. A. RAKOVICH,  
V. P. STRIGUTSKIY, T. V. SOKOLOVA, V. S. PEKHTERVA*

### PARTICULARITIES OF PEAT DEPOSITS FORMATION IN THE CONDITIONS OF TEMPERATE CONTINENTAL AND TROPICAL CLIMATE

### Summary

Principle aspects of bogs formation in the temperate continental and tropical climate conditions have been analyzed. In the first case there is a formation of deposits of high-mire and low-mire deposits formation with various species composition and peat decomposition rate. With an increase of deposit depth often an increase of peat decomposition rate and tendency of its transition from a high-mire to low-mire type is fixed. A likeness of bio-climatic conditions stipulates a proximity of bog formation processes of peat deposits in various geographical regions. As for a deposit formed in the conditions of tropical climate (south-west China), there is an exclusive heterogeneity of high decomposition degree (45–50 %), as well as botanical composition stability regarding probe choice stations and deposit depth.

УДК 539.182

Н. Д. СТРЕКАЛЬ

**ЗАВИСЯЩАЯ ОТ РАЗМЕРОВ СИЛА ОСЦИЛЯТОРА  
НИЖАЙШЕГО ЭЛЕКТРОННОГО ПЕРЕХОДА  
В CdSe/ZnS НАНОЧАСТИЦАХ***Гродненский государственный университет им. Янки Купалы**(Поступила в редакцию 06.12.2013)*

*Решена фундаментальная задача о распространении квантоворазмерного эффекта на параметры, определяющие вероятности электронных переходов в полупроводниковых наночастицах CdSe/ZnS. Впервые полученная зависимость от размеров относительного квантового выхода флуоресценции CdSe/ZnS наночастиц интерпретирована как указание на совершенную кристаллическую фазу в наночастицах и предлагается в качестве калибровочной кривой для отбраковки наночастиц в процессе их синтеза.*

**Введение.** Полупроводниковые наночастицы (НЧ), или квантовые точки (КТ) представляют собой уникальный класс полупроводниковых частиц с размерами от 2 до 10 нм в диаметре. В этой области размеров материалы проявляют уникальные оптические и электронные свойства вследствие эффектов размерного квантования [1]. На сегодняшний день среди полупроводников группы  $A^{II}B^{VI}$  наибольшее внимание [2–4] уделяется композитным нанокристаллам CdSe/ZnS типа ядро/оболочка. Хорошо установленные и разделенные во времени фазы синтеза [2] включают процессы нуклеации (зародышеобразования) и роста и позволяют получать хорошо селективированные по размерам CdSe частицы. Благодаря известным преимуществам перед органическими флуорофорами CdSe/ZnS КТ являются перспективными кандидатами для разработки на их основе новых типов светоизлучающих устройств [5; 6], меток биологических объектов [7–10] и многоцветных лазерных устройств [11].

Цель работы – теоретический и экспериментальный анализ квантовых характеристик флуоресцирующих композитных НЧ CdSe/ZnS с ядром из селенида кадмия и оболочкой из сульфида цинка в зависимости от диаметра ядра CdSe.

Под квантовыми характеристиками подразумевается набор собственных значений энергии и собственных функций неравновесных носителей заряда. Первому набору свойственна хорошо известная зависимость от размеров наночастиц, интерпретируемая в рамках так называемого квантоворазмерного эффекта.

Естественно предположить, что и второму набору – набору собственных функций – также должно быть свойственно зависеть от размеров наночастиц хотя бы в силу того, что оба набора имеют внутреннюю связь и являются разными «сторонами» одного решения. Однако если зависимость спектра собственных значений энергии носителей заряда в наночастицах от размеров наночастиц широко используется в качестве калибровочной для оценки этих самых размеров, то зависимость спектра собственных функций от размеров наночастиц до сих пор еще даже не установлена с достаточной надежностью. Установить эту зависимость на основе расчета и измерения, а также применить полученную зависимость для практических целей и является задачами данной работы.

**Квантовые состояния носителей заряда в полупроводниковых наночастицах.** Эффект квантового ограничения неравновесных носителей заряда в полупроводниковой наноразмерной частице приводит к изменениям всего спектра ее физических свойств. Этот эффект с достаточностью может наблюдаться, если размеры наноструктур становятся меньшими или сравнимыми с некоторым свойственным данному материалу параметром, каким является, например, радиус экситона Бора или длина волны де Бройля электрона. Существуют также необходимые условия, при которых вероятность наблюдения эффекта квантового ограничения увеличивается на фоне явлений рассеяния носителей заряда. Необходимыми условиями являются также наличие совершенной кристаллической структуры, плотность и длина свободного пробега носителей заряда.

Нами была разработана компьютерная программа, реализующая квантовую модель «частица в яме» [12] со ступенчатым потенциалом. В модифицированном варианте программы использованы значения эффективных масс и энергии барьеров носителей заряда в селениде кадмия и сульфиде цинка. При вариации диаметра CdSe ядра и толщины ZnS оболочки построены зависимости основных квантовых характеристик композитных наночастиц CdSe/ZnS от их величины.

Необходимо отметить, что ранее авторы работы [13] также применяли простейшую модель локализации носителей заряда в потенциальной яме для интерпретации результатов исследований физико-химических свойств наночастиц – оптической электронной и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, рентгеноструктурных исследований в пределе малых и больших углов падения, рассеяния рентгеновских лучей, просвечивающей электронной микроскопии. Это позволило им не только объяснить, почему CdSe/ZnS наночастицы имеют более высокий квантовый выход флуоресценции по сравнению с CdSe/CdS наночастицами, но и показать, почему оболочка из ZnS имеет преимущества по сравнению с оболочкой из CdS. Эти факты не являются тривиальными, исходя из соображений химической стехиометрии и возникновения дислокаций на границе ядро/оболочка. Однако пассивация сульфидом цинка обеспечивает повышение потенциального барьера для носителей заряда на границе и способствует повышению квантового выхода фотолюминесценции (ФЛ) за счет усиления локализации зарядов в ядре. Кроме того, выбор толщины оболочки, оптимальной с точки

зрения квантово-оптических характеристик наночастиц, также был продемонстрирован авторами этой работы на базе простой квантово-механической модели «частица в яме» в приближении эффективных масс невзаимодействующих носителей заряда.

Аналізу собственных волновых функции носителей заряда, однако, уделяется меньше внимания, хотя для исследования зависимостей от размеров таких спектральных характеристик, как силы осцилляторов перехода и вероятностей рекомбинации фотовозбужденных носителей заряда, необходима информация как раз о пространственном перекрытии собственных волновых функций носителей заряда.

Рассмотрим постановку задачи и полученные решения. Уравнение Шредингера в случае модели прямоугольной двухступенчатой потенциальной ямы записывается в виде

$$\Delta\psi - \frac{2m(r)}{\hbar^2}[U(r) - E]\psi(r) = 0,$$

$$U(r) = \begin{cases} U_0, & 0 < r \leq r_1, \\ U_1, & r_1 < r \leq r_2, \\ U_2, & r > r_2, \end{cases} \quad m(r) = \begin{cases} m_1^*, & 0 < r \leq r_1, \\ m_2^*, & r_1 < r \leq r_2, \\ m_3^*, & r > r_2, \end{cases}$$

и решается для электрона (с потенциалом  $U_e(r)$ ) и для дырки (с потенциалом  $U_h(r)$ ) независимо (рис. 1).

Внутри ямы решения выбираются в зависимости от четности состояния в виде:

$$\psi(r) = A \sin(kr)$$

или

$$\psi(r) = B \cos(kr).$$

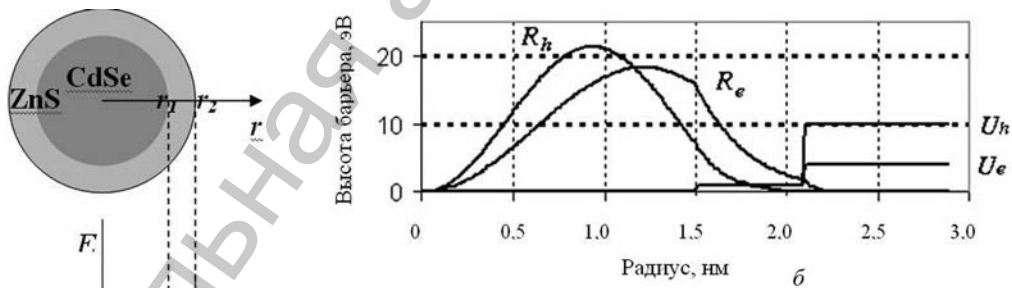


Рис. 1. Модель сферически симметричной наночастицы CdSe/ZnS:  $a - r_1$  и  $r_2$ . Радиусы CdSe ядра и ZnS оболочки;  $b -$  графики зависимостей ступенчатой потенциальной ямы  $U_e$  и  $U_h$  и радиальных волновых функций  $R_e$  и  $R_h$  для электрона ( $e$ ) и дырки ( $h$ ) от расстояния до центра наночастицы  $r$

За пределами ямы физически приемлемые решения имеют вид

$$\psi(r) = \pm C e^{-\beta|r|},$$

где  $\beta = \sqrt{\frac{2m(U_0 - E)}{\hbar^2}}$ . Окончательное решение записывается для радиальной плотности вероятности  $|R_e(r)|^2 = r^2 |\psi_e(r)|^2$  для электрона и  $|R_h(r)|^2 = r^2 |\psi_h(r)|^2$  для дырки. Исходя из требований непрерывности и гладкости, необходимо осуществлять сшивку на границах потенциала, т. е. подбирать параметры  $A, B, C, k, \beta$  таким образом, чтобы волновая функция и ее производная на границах имели одинаковое значение по обе стороны границы. Поскольку эти условия реализуются лишь для некоторых значений  $E$ , частица, локализованная в потенциальной яме, обладает дискретным спектром энергий.

В проводимых расчетах метод Эйлера–Кромера был дополнен условием постоянства тока вероятности на границах ядра с оболочкой и оболочки с матрицей.

В качестве исходных параметров для расчета были взяты: в CdSe ядре:  $m_{1h}^* = 0,45m_e$ ,  $m_{1e}^* = 0,13m_e$ ,  $U_{0e} = U_{0h} = 0$  эВ; в ZnS оболочке:  $m_{2h}^* = 0,58m_e$ ,  $m_{2e}^* = 0,27m_e$ , на границе ядро/оболочка  $U_{1e} = U_{1h} = 0,9$  эВ; в органической матрице:  $m_{3h}^* = m_e$ ,  $m_{3e}^* = m_e$ , на границе оболочка/матрица  $U_{2e} = 4$  эВ,  $U_{2h} = 10$  эВ, где  $m^*$  – эффективная масса, индексы  $e$  и  $h$  указывают на соответствие параметра электрону или дырке.

Форма ямы для электрона и дырки, локализованных в наночастице с радиусом CdSe ядра 15 Å и толщиной ZnS оболочки 6 Å, изображена на рис. 1. На рис. 1 также приведены радиальные плотности вероятности  $R_e$  и  $R_h$  для электрона и дырки. Видно, что дырка, как более тяжелая частица, локализована ближе к центру ядра. На графике радиальной плотности вероятности электрона есть хорошо заметный излом в области границы ядро/оболочка, который менее выражен для дырки и обусловлен скачкообразным изменением эффективной массы носителей заряда в этой точке.

Теоретически эффекты влияния квантового ограничения на энергию фотовозбужденных носителей заряда и силу осциллятора электронного перехода были рассмотрены в работе Брюса [14]. В пределе очень маленьких кристаллитов (~50 Å в диаметре) получено решение уравнения Шредингера для экситонов Ванье. При этом для записи оператора кинетической энергии использованы данные для эффективной массы электронов и дырок, а для потенциальной энергии – выражение, обусловленное высокочастотной диэлектрической сольватацией электронами атомных остовов. Сила осциллятора электронного перехода приобретает вид [14]

$$f = f_{ex} \frac{\left| \int \Phi(x) dx \right|^2}{|\Phi_{ex}(0)|^2} \frac{\Omega_m}{\omega} \frac{\omega_{ex}}{\omega}, \quad (1)$$

где  $\Phi_{ex}$  – волновая функция 1s состояния атома водорода;  $\Omega_m$  – объем одной двухатомной группы CdS в кристаллите;  $f_{ex} = 0,00256$  – значение силы осцилля-

тора объемного сульфида кадмия, а  $\omega_{ex} / \omega$  – отношение частоты излучения объемного сульфида кадмия к частоте излучения маленького кристаллита CdS. Полученное выражение показывает, что сила осциллятора электронного перехода в маленьких кристаллитах имеет слабую зависимость от частоты излучения  $\omega$ .

Выражение (1) для силы осциллятора перехода было представлено Брюсом для маленьких кристаллитов CdS. Однако оно имеет практически универсальный характер как показывающее характер зависимости силы осциллятора перехода от интеграла перекрытия волновых функций фотовозбужденных носителей заряда и в этом смысле содержит информацию о влиянии эффектов квантового ограничения на параметры оптических переходов. Сила осциллятора связана с оптической плотностью, согласно [15] как  $f = 4,32 \cdot 10^{-9} A$ , оптическая плотность  $A$  выражается через молярную экстинкцию по известному закону поглощения Бугера–Ламберта–Бера.

На рис. 2 приведены зависимости рассчитанных нами в рамках модели «частица в яме» интегралов перекрытия  $|R_e \cdot R_h|^2$  от диаметра наночастиц CdSe/ZnS. Как видно из рис. 2, интеграл перекрытия волновых функций электрона и дырки в области размеров, меньших, чем радиус экситона Бора, монотонно увеличивается с увеличением размера наночастицы. Сила осциллятора перехода рассчитывалась далее по формуле (1).

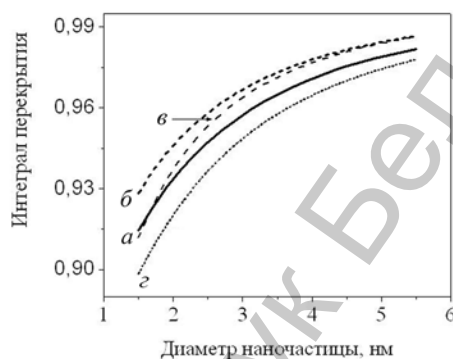


Рис. 2. Интегралы перекрытия волновых функций электрона и дырки в сферически симметричной потенциальной яме: *a* – прямоугольный ступенчатый потенциал; *б-в* – искривленный потенциал на границе оболочки

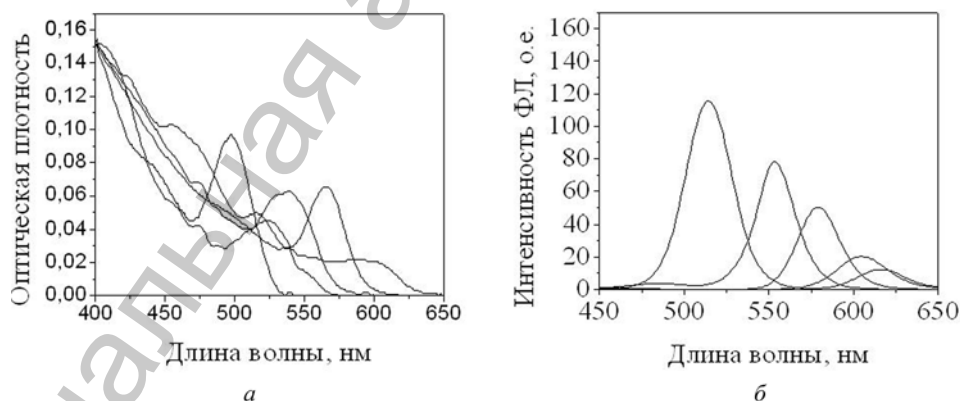


Рис. 3. Электронные спектры наночастиц CdSe/ZnS в толуоле: *a* – спектры оптической плотности; *б* – спектры ФЛ;  $\lambda_{ex}^fl = 400$  нм

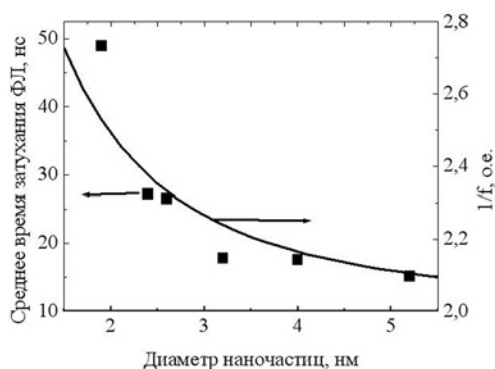


Рис. 4. Зависимость вероятности квантового перехода ( $1/f$ ) и среднего времени затухания ФЛ  $\langle \tau \rangle$  (квадратики) для диспергированных в толуоле CdSe/ZnS наночастиц от их диаметра  $d$

вую область, что является проявлением квантово-размерного эффекта.

На рис. 4 приведена зависимость величины, обратной силе осциллятора перехода, для сферически симметричной ямы с прямоугольным ступенчатым потенциалом (без искривления границ) и зависимость среднего времени затухания ФЛ  $\langle \tau \rangle$  от диаметра наночастиц  $d$  CdSe/ZnS, диспергированных в толуоле. Среднее время затухания ФЛ  $\langle \tau \rangle$  монотонно уменьшается с увеличением диаметра наночастиц  $d$ , так же как и относительная интенсивность в максимуме полосы ФЛ (рис. 4, б) с уменьшением размера наночастиц.

**Анализ теоретических и экспериментальных результатов.** Имеющиеся в литературе данные об измерениях сечения поглощения, силы осциллятора и коэффициента экстинкции в зависимости от размера наночастиц сильно противоречивы. Так, для наночастиц CdS авторами работы [16] была представлена зависимость измеренных значений сил осцилляторов для  $1S_e - 1S_{3/2h}$  перехода от радиуса  $r$  наночастиц в диапазоне от 5 до 1 нм, включая диапазон сильного квантового ограничения.

Оказалось, что для размеров, меньших чем радиус экситона Бора  $a_B$  (около 2,7 нм в случае CdS), наблюдается увеличение сил осциллятора перехода с уменьшением радиуса. Причем экспериментальные данные хорошо аппроксимировались функцией

$$\frac{f}{f_{ex}} \approx \frac{3}{4} \left( \frac{a_B}{r} \right)^3.$$

Из этой аппроксимации следует, что величина силы осциллятора, приходящаяся на одну наночастицу, не должна зависеть от ее размера. Однако измерения, выполненные авторами [17], показали, что сечение поглощения CdSe нанокристаллов в расчете на единичный объем и одну наночастицу увеличивается с увеличением радиуса наночастиц. Суммарная по спектру сила осциллятора

Обратимся теперь к экспериментальным данным. Спектры гидрофобных наночастиц CdSe/ZnS, приобретенных у фирмы производителя Evidot с размерами CdSe ядра от 2,1 до 4,0 нм в виде дисперсий в толуоле, приведены на рис. 3. Оптическая плотность (рис. 3, а) всех образцов имеет одинаковое значение на длине волны возбуждения 400 нм. Спектры ФЛ, полученные при возбуждении на 400 нм, приведены на рис. 3, б. Край полосы поглощения наночастиц (рис. 3, а) и положение максимума полосы ФЛ (рис. 3, б) в зависимости от их размеров смещается в коротковолновую область, что является проявлением квантово-размерного эффекта.

в расчете на одну наночастицу также увеличивается по линейному закону с увеличением радиуса.

Годом позже авторами работы [18] были выполнены расчеты квантовых характеристик сферических наночастиц ZnS и CdSe с гексагональной кристаллической решеткой (типа вюрцита) с использованием эмпирического псевдопотенциала в реальном базисном пространстве. Параметры электронных переходов, полученные в расчетах, сравнивались с экспериментальными данными, полученными этими же авторами для ZnS и авторами [17] для CdSe. Оказалось, что для всех трех возможных поляризаций электрического поля сила осциллятора  $1S_e - 1S_{3/2h}$  перехода должна увеличиваться с увеличением радиуса ZnS нанокристаллов от 5 до 15 Å. Причем теоретическая зависимость для ZnS, полученная авторами этой работы, хорошо коррелирует с зависимостью силы осциллятора от размеров для CdSe наночастиц, измеренной авторами работы [18]. Одновременно в 2003 г. были измерены коэффициенты экстинкции для CdTe, CdSe, CdS наночастиц [19]. Было, в частности, показано, что молярный коэффициент экстинкции для всех трех типов наночастиц увеличивается с увеличением их радиуса по степенному закону. Эти экспериментальные данные явно противоречат данным, полученным экспериментально десятилетием ранее для CdS в 1994 г. [16], а также для CdTe в 1993 г. [20].

Таким образом, анализ литературных данных показывает, что вопрос о том, зависят ли вероятности электронных переходов в наночастицах от их размера, решался на протяжении последних 20 лет крайне противоречиво. Либо сила осциллятора перехода не зависит совсем от размеров частиц, либо увеличивается как с уменьшением, так и с увеличением размеров частиц. Экспериментальные данные, полученные разными авторами, противоречат друг другу, а теоретическое предсказание о том, что сила осциллятора не должна зависеть от размера, сделано на основании заключения об увеличении интеграла перекрытия волновых функций электрона и дырки с уменьшением размеров пропорционально объему.

Как видно на рис. 4, среднее время затухания также коррелирует с рассчитанной величиной, полученной для оценки зависимости излучательного времени жизни наночастиц в зависимости от их размеров. Таким образом, данные, полученные по измерениям кинетики затухания наночастиц CdSe/ZnS, показывают, что сила осциллятора перехода в нижайшее  $1S_e - S_{h3/2}$  состояние зависит от их размера. Это, скорее всего, связано с использованием хорошо отработанной процедуры синтеза, обеспечивающей достаточно совершенную кристаллическую структуру данной партии образцов. В условиях существенного уменьшения дефектов в таких образцах может преобладать межзонный канал рекомбинации носителей заряда. Под межзонным каналом мы будем понимать переход  $1S_e - 1S_{3/2h}$  между состояниями, которые соответствуют нижайшим уровням в потенциальных ямах электрона и дырки.

Наличие поверхностных дефектов, которые потенциально играют роль центров прилипания (ловушек) заряда и открывают каналы рекомбинации через

уровни ловушек, лежащих в запрещенной зоне (между ВЗМО и НСМО уровнями), сказывается, скорее всего, либо в безызлучательных процессах дезактивации возбужденного состояния, либо вероятность излучательной рекомбинации через уровни ловушек в запрещенной зоне пренебрежимо мала.

Действительно, как уже указывалось выше, совершенство структуры и отсутствие дефектов являются необходимым условием для проявления эффектов размерного квантования в наночастицах. Противоречивость теоретических и экспериментальных данных, наблюдавшаяся в литературе на протяжении 20 лет, по всей видимости, и связана с тем, что это были годы отработки технологий синтеза как можно более совершенных наночастиц.

Наносекундная кинетика рекомбинации носителей заряда (при комнатной температуре) в коллоидных CdSe наночастицах различных размеров была исследована авторами [21]. Показано, что кривые затухания ФЛ коллоидных CdSe наночастиц хорошо аппроксимируются суммой двух экспонент. Данный факт авторы связывают с двумя независимыми, но спектрально перекрывающимися процессами. Во-первых, рекомбинации так называемого внутреннего экситона с энергией, очень близкой по величине к ширине запрещенной зоны ( $E_g \sim 2$  эВ) и временем жизни порядка 20–30 нс, зависящим от размера наночастиц (медленная компонента в биэкспоненциальном законе затухания ФЛ). Во-вторых, рекомбинации так называемого заряженного экситона, который генерируется в заряженной наночастице в течении времени, пока один из фотовозбужденных электронов удерживается в ловушке зарядов. Этот «заряженный» экситон, генерируемый в условиях самоиндуцированного эффекта Штарка, по энергии отличается от «внутреннего» экситона на величину  $\Delta E$  порядка всего лишь 20 мэВ, что обеспечивает хорошее спектральное перекрытие обоих процессов рекомбинации. Однако среднее время жизни «заряженного» экситона составляет величину около 1–3 нс (быстрая компонента в измеряемой кинетике затухания ФЛ). Интерпретация зависимости времени затухания экситона от размеров наночастиц, представленная авторами работы [21], также основана на взаимосвязи ширины запрещенной зоны и вероятности рекомбинации экситонов.

Действительно, если бы вероятность рекомбинации электронов и дырок через уровни, лежащие в запрещенной зоне, была велика, то наблюдаемое время затухания ФЛ наночастиц не должно было бы зависеть от ширины запрещенной зоны и, следовательно, размеров наночастиц. В основу численного моделирования, выполненного нами, было положено приближение о невзаимодействующих электроны и дырке, а вероятность их рекомбинации оценивалась через вероятность обнаружения обоих носителей заряда в окрестности одной и той же точки в нанокристалле (интеграл перекрытия волновых функций). Совпадение характера зависимостей параметров излучательной рекомбинации носителей заряда в наночастицах, полученных опытным путем и в рамках примитивной, но вполне фундаментальной модели «частица в яме», может свидетельствовать, что для данной серии наночастиц преимущественным каналом рекомбинации являются межзонные  $1S_e - S_{h3/2}$  переходы.

Еще одним интересным результатом, полученным нами, является наблюдаемое увеличение относительного квантового выхода ФЛ (рис. 3, б) и увеличение среднего времени затухания ФЛ (рис. 4) при уменьшении размеров наночастиц. Изменение обоих параметров, по-видимому, является следствием одного и того же эффекта – эффекта усиления квантового ограничения при уменьшении размеров наночастиц. Эти данные хорошо согласуются с наблюдаемой другими авторами зависимостью квантового выхода ФЛ CdSe/ZnS наночастиц от их размеров [13].

Непосредственное определение квантового выхода ФЛ наночастиц CdSe/ZnS с использованием эталона по измерениям стационарных спектров испускания показывает, что результат измерения зависит от содержания свободных молекул триоктилфосфина, для которых устанавливается некоторое динамическое равновесие сорбции/десорбции на поверхности наночастиц. В условиях, когда реальное количество остаточного триоктилфосфина остается неизвестным, оказывается затруднительным выравнять оптическую плотность растворов наночастиц и эталона. В рамках данной работы можно рекомендовать для практики отбраковки наночастиц с низким квантовым выходом ФЛ калибровочную кривую зависимости среднего времени затухания ФЛ от диаметра наночастиц, получаемых непосредственно после синтеза.

**Заключение.** Впервые установлена корреляция теоретических и экспериментальных данных по зависимости силы осциллятора электронного перехода и относительного квантового выхода ФЛ от размеров наночастиц CdSe/ZnS. Установленная квантоворазмерная зависимость силы осциллятора электронного перехода может быть интерпретирована как показатель преимущественного канала излучательной рекомбинации электрона и дырки между нижайшими уровнями  $1S_e - 1S_{3/2h}$  в гидрофобных наночастицах CdSe/ZnS, что в свою очередь может быть свойственно наночастицам с совершенной кристаллической фазой.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (гранты Ф05К-140, Ф07К-094, Ф10Р-232 и Ф11ОБ-121).

## Литература

1. *Gaponenko S.* Optical properties of semiconductor nanocrystals. Cambridge, 1998.
2. *Nirmal M.* // Proc. SPIE – Int. Soc. Opt. Eng. 1993. Vol. 1861. P. 280–284.
3. *Peng X., Wilson T. E., Alivisatos A. P.* // Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 1997. Vol. 36(112). P. 145–147.
4. *Hines M. A., Sionnest P. G.* // J. Phys. Chem. 1996. Vol. 100. P. 468–471.
5. *Santori C., Pelton M., Solomon G. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2001. Vol. 86. P. 1502–1505.
6. *Michler P., Imamoglu A., Mason M. D. et al.* // Nature. 2000. Vol. 406. P. 968–970.
7. *Chan W. C. W., Nie S.* // Science. 1998. Vol. 281. P. 2016–2018.
8. *Bruchez M., Moronne Jr. M., Gin P. et al.* // Science. 1998. Vol. 281. P. 2013–2016.
9. *Sukhanova A., Venteo L., Devy J. et al.* // Lab. Invest. 2002. Vol. 82. P. 1259–1261.
10. *Sukhanova A., Devy J., Venteo L. et al.* // Analytical Biochemistry. 2004. Vol. 324. P. 60–67.

11. Klimov V. L. // Los Alamos Science. 2003. Vol. 28. P. 214–220.
12. Граков В. Е., Маскевич С. А., Сокольский А. А. и др. Атомная физика. Теоретические основы и лабораторный практикум / под науч. ред. А. П. Клищенко. Минск; М., 2011. – 333 с.
13. Dabbousi B. O., Rodriguez-Viejo J., Mikulec F. V. et al. // J. Phys. Chem. B. 1997. Vol. 101. P. 9463–9475.
14. Brus L. E. // J. Chem. Phys. 1984. Vol. 80. P. 4403–4409.
15. Turro N. J., Bejamine W. A. Molecular Photochemistry. N. Y., 1965. – 328 p.
16. Vossmeyer T., Katsikas L., Giersig M. et al. // J. Phys. Chem. 1994. Vol. 98. P. 7665–7668.
17. Leatherdale C. A., Woo W.-K., Mikulec F. V., Bawendi M. G. // J. Phys. Chem. B. 2002. Vol. 106. P. 7619–7622.
18. Zorman B., Friesner R. A. // J. Chem. Phys. 2003. Vol. 118, N 13. P. 5937–5946.
19. Yu W. W., Qu L., Guo W., Peng X. // Chem. Mater. 2003. Vol. 15. P. 2854–2860.
20. Rajh T., Micic O. I., Nozic A. J. // J. Phys. Chem. 1993. Vol. 97. P. 11999–12004.
21. Javier A., Magana D., Jennings T., Strouse G. F. // Appl. Phys. Lett. 2003. Vol. 83. P. 1423–1425.

N. D. STREKAL

#### SIZE-DEPENDENT OSCILLATOR STRENGTH OF THE LOWEST ELECTRONIC TRANSFER IN CdSe/ZnS NANOPARTICLES

##### Summary

The fundamental problem concerning the propagation of quantum-confinement effect on wavefunction dependent parameters in CdSe/ZnS nanoparticles is solved. The firstly obtained size-dependent relative fluorescent quantum yield in CdSe/ZnS nanoparticles is interpreted as a indication of defect-free crystal structure in nanoparticles and is suggested as calibrating curve for quality control during the nanopartical synthesis.

УДК (303.622.3+538.951):034.76

С. В. ГУСАКОВА, А. А. НИКОЛАЕВА, В. И. ПРОКОШИН,  
В. Г. ШЕПЕЛЕВИЧ, В. А. ЯРМОЛОВИЧ

**МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ  
( $\text{Bi}_{91}\text{-Sb}_9$ ) $_{100-x}\text{Sn}_x$  ( $x \leq 2,4$ )**

Белорусский государственный университет

(Поступила в редакцию 27.01.2014)

*Исследованы фазовый состав, зеренная структура и микротвердость быстрозатвердевших фольг сплавов ( $\text{Bi}_{91}\text{-Sb}_9$ ) $_{100-x}\text{Sn}_x$  ( $x \leq 2,4$ ). Установлено, что в фольгах тройных сплавов образуются дисперсные частицы олова, преимущественно локализованные на границах зерен. Фольги имеют микроструктурную структуру и текстуру (10 $\bar{1}2$ ). Микротвердость быстрозатвердевших фольг немонотонно зависит от концентрации олова, что обусловлено действием различных механизмов упрочнения и разупрочнения.*

**Введение.** Сплавы на основе системы висмут–сурьма, содержащие 6–15 ат. % Sb, относятся к термоэлектрическим материалам, из которых изготавливают *n*-ветвь термоэлементов [1]. Тройные сплавы системы Bi–Sb–Sn, содержащие 6–15 ат. % Sb и небольшое количество олова (не более 2 ат. %), рассматриваются как перспективные материалы для изготовления *p*-ветви термоэлементов [2]. При малых и средних скоростях охлаждения расплавов вышеуказанных материалов возникает ячеистая и дендритная структуры, существенно влияющие на их физические свойства и ухудшающие технические характеристики. Установлено [3–5], что структура и свойства легкоплавких сплавов, полученных при сверхвысоких скоростях охлаждения из расплава и при малых скоростях охлаждения, существенно различаются. При сверхвысоких скоростях охлаждения расплава создаются условия для протекания бездиффузионной кристаллизации, что приводит к однородному распределению компонентов в бинарных сплавах системы висмут–сурьма, а также обеспечивает однородное распределение выделений второй фазы на основе третьего компонента тройных сплавов [6; 7]. При создании термоэлектрических устройств важными являются не только удельное электросопротивление, дифференциальная термо-э.д.с. и коэффициент теплопроводности *n*- и *p*-ветвей, определяющих термоэлектрические параметры, но и механиче-

ские свойства, от которых зависит срок службы изделия. В связи с этим в работе представлены результаты исследования микроструктуры и механических свойств быстрозатвердевших сплавов системы  $(\text{Bi}_{91}\text{-Sb}_9)_{100-x}\text{Sn}_x$  ( $x \leq 2,4$ ).

**Материалы и методы исследования.** Тройные сплавы системы  $(\text{Bi}_{91}\text{-Sb}_9)_{100-x}\text{Sn}_x$  ( $x \leq 2,4$ ) получены сплавлением компонентов в кварцевых ампулах. Чистота висмута и сурьмы равна 99,9999 %, а олова – 99,99 %. Фольги сплавов получены высокоскоростной кристаллизацией тонкого слоя расплава на внутренней полированной поверхности быстровращающегося медного цилиндра. Скорость охлаждения жидкой фазы  $\approx 5 \cdot 10^5$  K/c. Исследование микроструктуры проведено с использованием растрового электронного микроскопа LEO 1455 VP. Определение состава сплавов и распределение компонентов в них осуществлялось с помощью рентгеноспектрального микроанализа, проведенного с применением энергодисперсионного рентгеновского микроанализатора фирмы Röntec. Рентгеноструктурные исследования выполнены на дифрактометре ДРОН-3 в медном излучении. Исследование текстуры осуществлялось методом обратных полюсных фигур. Полюсные плотности дифракционных линий рассчитывались по методу Харриса [8]. Для исследования фольги использовались также прямые полюсные фигуры, полученные методом дифракции отраженных электронов (ДОЭ) с помощью приставки фазового анализа EBSD к растровому электронному микроскопу. Микротвердость  $H_\mu$  фольг измерялась на приборе ПМТ-3 с использованием нагрузки 10 г. Относительная погрешность определения микротвердости 4 %. Предел прочности  $\sigma_b$  и относительное удлинение  $\delta$  определились из кривой растяжения, полученной при испытании на разрывной машине Testometric M350-10CT при комнатной температуре. Скорость растяжения равна 1 мм/мин. Обработка результатов испытаний проводилась с помощью программного обеспечения Win Test Analysis.

**Результаты и их обсуждение.** Изображения микроструктуры поперечного сечения быстрозатвердевших фольг приведены на рис. 1. В фольгах бинарного сплава  $\text{Bi}_{91}\text{-Sb}_9$ , как показали рентгеноспектральные исследования, наблюдается однородное распределение компонентов [9]. На изображениях тройных сплавов, содержащих 0,4 и 1,2 ат. % Sn, наблюдаются дисперсные выделения черного цвета (рис. 1, б и 1, в). Результаты рентгеноспектрального микроанализа (рис. 1, г) показали, что данные выделения являются оловосодержащей фазой. Рентгеноструктурные исследования фольг тройных сплавов  $(\text{Bi}_{91}\text{-Sb}_9)_{100-x}\text{Sn}_x$ , содержащих 1,2 и 2,4 ат. % Sn, выявили дифракционные отражения фазы  $\beta\text{-Sn}$  (211, 301 и 112). Таким образом, в быстрозатвердевших фольгах исследованных сплавов образуются частицы олова.

Частицы олова преимущественно имеют равноосную форму и располагаются на границах зерен, величина которых составляет несколько микрон. Распределения максимальных хорд сечений выделений олова по размерным группам для быстрозатвердевших сплавов, содержащих 0,2, 0,4 и 0,8 ат. % Sn, представлены на рис. 2. Наибольшая доля хорд приходится на размерную группу от 0,11

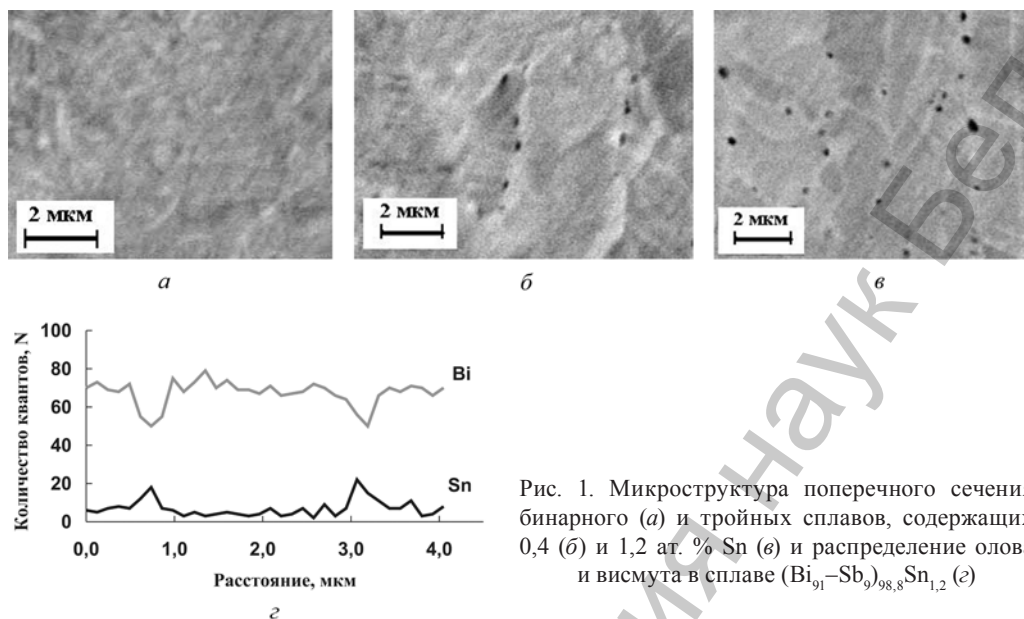


Рис. 1. Микроструктура поперечного сечения бинарного (а) и тройных сплавов, содержащих 0,4 (б) и 1,2 ат. % Sn (в) и распределение олова и висмута в сплаве  $(\text{Bi}_{91}-\text{Sb}_9)_{98,8}\text{Sn}_{1,2}$  (в)

до 0,22 мкм. Максимальный размер выделений олова не превышает 0,7 мкм, а средний их размер – 0,3 мкм.

В табл. 1 приведены значения среднего размера частиц  $\bar{d}$  и удельной поверхности  $S$  межфазной границы олово–твердый раствор сурьмы в висмуте, определенные методом случайных секущих. С увеличением концентрации олова в сплаве параметры  $\bar{d}$  и  $S$  монотонно растут.

Быстрозатвердевшие фольги исследуемых сплавов имеют микрокристаллическую структуру, зерна которой обладают преимущественной ориентировкой. Значения полюсных

Таблица 1. Средний размер  $\bar{d}$  частиц олова и удельная поверхность  $S$  межфазных границ в фольгах сплавов  $(\text{Bi}_{91}-\text{Sb}_9)_{100-x}\text{Sn}_x$  ( $x \leq 2,4$ )

Концентрация олова, ат. %	Параметры микроструктуры	
	$\bar{d}$ , мкм	$S$ , мкм <sup>-1</sup>
0,2	0,13	0,15
0,4	0,18	0,19
0,8	0,22	0,30
1,2	0,24	0,33
2,0	0,27	0,38
2,4	0,30	0,68

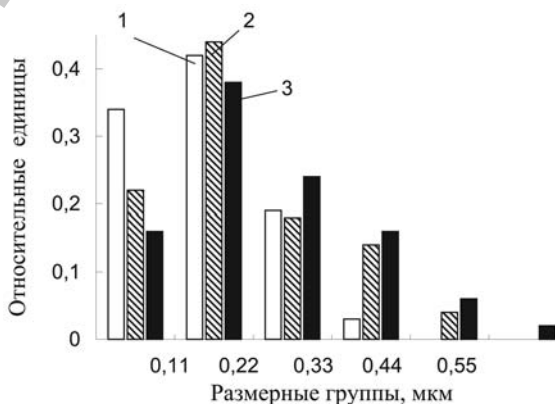


Рис. 2. Распределение максимальных хорд сечений частиц олова по размерным группам в фольгах сплавов  $(\text{Bi}_{91}-\text{Sb}_9)_{100-x}\text{Sn}_x$ : 1 –  $x = 0,2$ ; 2 –  $x = 0,4$ ; 3 –  $x = 0,8$

плотностей  $p$  дифракционных линий твердого раствора висмут–сурьма, полученных при исследовании текстуры методом обратных полюсных фигур, приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2. Значения полюсных плотностей дифракционных линий твердого раствора висмут–сурьма

Дифракц. линии	Слой фольги / концентрация (ат. %) олова в сплавах					
	A/0,2	B/0,2	A/0,8	B/0,8	A/2,4	B/2,4
$10\bar{1}2$	8,0	3,9	8,0	2,5	8,0	2,9
$10\bar{1}4$	0,0	0,2	0,0	0,5	0,0	0,7
$11\bar{2}0$	0,0	0,2	0,0	0,4	0,0	0,8
$20\bar{2}0$	0,0	1,2	0,0	3,0	0,0	1,9
$20\bar{2}2$	0,0	1,0	0,0	0,3	0,0	0,6
$12\bar{3}0$	0,0	0,4	0,0	0,2	0,0	0,5
$12\bar{3}2$	0,0	0,4	0,0	0,5	0,0	0,2
0009	0,0	0,7	0,0	0,6	0,0	0,4

В слое (A) фольги, прилегающем к поверхности кристаллизатора, наибольшим значением полюсной плотности характеризуется дифракционная линия  $10\bar{1}2$ , т. е. образуется четкая текстура ( $10\bar{1}2$ ). Практически все зерна ориентированы плоскостью ( $10\bar{1}2$ ) параллельно поверхности фольги (или перпендикулярно направлению теплового потока, возникающего при охлаждении слоя жидкости). В слое (B) фольги, прилегающем к ее противоположной поверхности, данная текстура выражена слабее.

Образование текстуры при высокоскоростной кристаллизации исследуемых сплавов подтверждается и методом дифракции отраженных электронов. На рис. 3 приведено распределение полюсной плотности гномостереографических проекций плоскости ( $10\bar{1}2$ ) фольги сплава Bi – 9 ат. % Sb. Координатные оси OX и OY находятся в плоскости фольги, координатная ось OZ перпендикулярна ей. Наибольшая плотность гномостереографических проекций плоскости ( $10\bar{1}2$ ) находится в центре круга проекции, что свидетельствует о формировании текстуры ( $10\bar{1}2$ ) в быстрозатвердевших фольгах. Зерна преимущественно располагаются так, что кристаллографическая плоскость ( $10\bar{1}2$ ) параллельна поверхности фольги.

Формирование текстуры ( $10\bar{1}2$ ) в исследуемых сплавах обусловлено кристаллической структурой твердого раствора висмут–сурьма и ориентацией ковалентных связей относительно кристаллографических плоскостей. Каждый атом (висмута или сурьмы) связан с тремя другими атомами ковалентными связями, об-

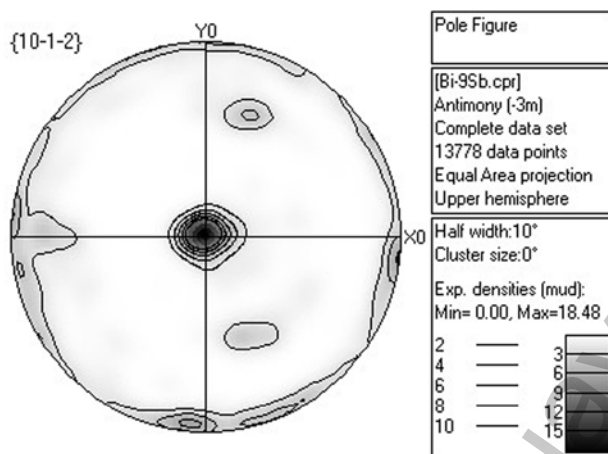


Рис. 3. Полюсная плотность гномостереографических проекций плоскости  $\{10\bar{1}2\}$  фольги сплава  $\text{Bi}_{91}\text{-Sb}_9$

разующими между собой угол  $95,5^\circ$  [10]. По этой причине на межфазной границе кристалл–жидкость, совпадающей с плоскостями  $(0\bar{1}12)$ ,  $(\bar{1}012)$  и  $(1\bar{1}02)$ , образуется высокая плотность активных центров в виде ненасыщенных ковалентных связей. К ним присоединяются атомы из жидкой фазы, образуя ступеньку атомного размера. Атомы, образующие край ступеньки, имеют ненасыщенные ковалентные связи, ориентированные вдоль указанных кристаллографических плоскостей, что также способствует присоединению атомов из жидкости к растущему кристаллиту [11]. Поэтому центры кристаллизации, у которых межфазная граница кристалл–жидкость совпадает с указанными выше плоскостями, будут расти с наибольшей скоростью в направлении, противоположном тепловому потоку [6].

Легирование висмута сурьмой до 9 ат. % вызывает увеличение микротвердости примерно в 2 раза, что обусловлено действием твердорастворного механизма упрочнения и усилением ковалентных сил связей в твердом растворе висмут–сурьма при замещении атомов висмута атомами сурьмы. Графики зависимостей микротвердости массивных образцов сплавов  $(\text{Bi}_{91}\text{-Sb}_9)_{100-x}\text{Sn}_x$  ( $x \leq 2,4$ ), полученных при скорости охлаждения жидкости  $\approx 10^2$  K/c, и быстрозатвердевших фольг тех же сплавов от концентрации олова приведены на рис. 4. Микротвердость фольг исследуемых сплавов с увеличением концентрации олова сначала незначительно падает, а затем при  $x > 0,4$  ат. % Sn растет. Легирование твердого раствора висмут–сурьма оловом приводит к уменьшению концентрации электронов. Атомы олова замещают атомы висмута и сурьмы в узлах кристаллической решетки, что вызывает появление разорванных ковалентных связей в кристалле. С увеличением концентрации олова в сплаве растет число частиц второй фазы. Если первые два фактора приводят к уменьшению микротвердости в области малых концентраций олова, то в области более высоких его концентраций действие

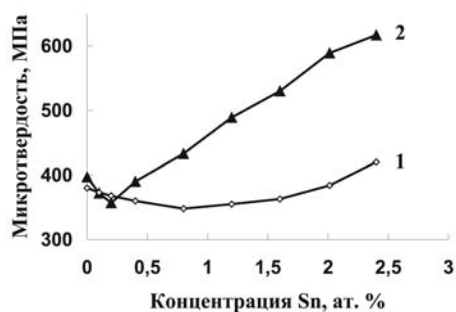


Рис. 4. Зависимости микротвердости массивных образцов (1) и фольг (2) от концентрации олова  $x$  в сплаве  $(\text{Bi}_{91}\text{-Sb}_9)_{100-x}\text{Sn}_x$

Увеличение концентрации олова до 1,2 ат. % в тройном сплаве  $(\text{Bi}_{91}\text{-Sb}_9)_{100-x}\text{Sn}_x$  приводит к уменьшению относительного удлинения до значения  $\delta = 1,3\%$  и не вызывает значительного изменения предела прочности.

**Закключение.** Установлено, что в быстрозатвердевших фольгах сплавов  $(\text{Bi}_{91}\text{-Sb}_9)_{100-x}\text{Sn}_x$  ( $x \leq 2,4$ ) образуются дисперсные частицы олова, средний размер которых не превышает 0,3 мкм, а удельная поверхность межфазной границы не превышает  $7 \text{ мкм}^{-1}$ . В фольгах формируется текстура  $(10\bar{1}2)$ . Немонотонная зависимость микротвердости фольг сплавов от концентрации олова обусловлена действием различных механизмов упрочнения и разупрочнения.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Ф13Млд-007).

## Литература

1. Шепелевич В. Г., Гречаников Э. Е. Взаимосвязь структуры и физических свойств сплавов висмут-сурьма. Минск, 2007. С. 128.
2. Hor Y. S., Cava R. J. // J. of Alloys and Compounds. 2009. Vol. 479. P. 369–371.
3. Белая О. Н., Шепелевич В. Г. // ФХОМ. 2005. № 6. С. 67–72.
4. Лозенко В. В., Шепелевич В. Г. // Неорганические материалы. 2007. Т. 43, № 1. С. 22–26.
5. Шепелевич В. Г., Ван Цзинцзе. // ФХОМ. 2009. № 5. С. 84–87.
6. Шепелевич В. Г. // Перспект. материалы. 2004. № 1. С. 35–38.
7. Шепелевич В. Г., Демидчик А. В. // ФХОМ. 2004. № 1. С. 73–77.
8. Русаков А. А. Рентгенография металлов. М., 1977. – 400 с.
9. Ярмолевич В. А., Гусакова С. В., Прокошин В. И., Шепелевич В. Г. // Материалы 6-й Междунар. науч.-техн. конф. «Приборостроение-2013». Минск, 2013. С. 401–403.
10. Кребс Г. Основы кристаллохимии неорганических соединений. М., 1971. – 304 с.
11. Шепелевич В. Г. // Кристаллография. 1991. Т. 36, № 1. С. 238–239.

*S. V. GUSAKOVA, A. A. NIKOLAEVA, V. I. PROKOSHIN, V. G. SHEPELEVICH,  
V. A. IARMOLOVICH*

**MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES  
OF RAPIDLY SOLIDIFIED FOILS OF  $(\text{Bi}_{91}\text{-Sb}_9)_{100-x}\text{Sn}_x$  ( $x \leq 2.4$ )**

**Summary**

Phase composition, grain structure and microhardness of rapidly solidified foils of  $(\text{Bi}_{91}\text{-Sb}_9)_{100-x}\text{Sn}_x$  ( $x \leq 2.4$ ) alloys have been investigated. It is established that dispersive particles are formed in the triple alloys. The foils have microcrystalline structure and  $(10\bar{1}2)$  texture. Microhardness of the foils depends on concentration of tin unmonotonously that is caused by action of different mechanisms of strengthening and weakening.

ВЕСТНИК ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, № 1, 2014

*на русском и белорусском языках*

Редактор Т. П. Петрович

Компьютерная верстка Н. И. Кашуба

Подписано в печать 03.03.2014. Выход в свет 28.03.2014. Формат 70 × 100<sup>1/16</sup>. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 8,45. Уч.-изд. л. 6,8. Тираж 124 экз. Заказ 38.

Цена номера: индивидуальная подписка – 36549 руб.; ведомственная подписка – 36549 руб.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/18 от 02.08.2013. ЛП № 02330/455 от 30.12.2013.

Ул. Ф. Скорины, 40, 220141, Минск.