

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

Издается с III квартала 1997 г.



№ 1 [63], 2013

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

Учредитель:
Белорусский
республиканский
фонд
фундаментальных
исследований

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

Издатель:
РУП «Издательский дом
«Беларуская навука»

**ВЕСТНИК
ФОНДА
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор

В. А. Орлович

Заместители главного редактора

Е. М. Бабосов

В. И. Недилько

Ответственный секретарь

Н. Н. Костюкович

Члены редколлегии:

В. Ф. Багинский

Н. Н. Бамбалов

А. В. Бильдюкевич

П. А. Витязь

И. В. Гайшун

М. И. Демчук

В. С. Камышников

А. К. Карабанов

А. В. Кильчевский

А. В. Кухарев

П. Д. Кухарчик

А. И. Лесникович

А. А. Махнач

А. Г. Мрочек

М. И. Мушинский

П. Г. Никитенко

В. Н. Новиков

В. П. Пархоменко

Б. А. Плотников

В. И. Прокошин

В. И. Стражев

Л. М. Томильчик

Ю. С. Харин

Л. В. Хотылева

И. И. Цыркун

В. Н. Шимов

Минск, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ДЕНЬ БЕЛОРУССКОЙ НАУКИ

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

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ

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

КОНКУРСЫ БРФФИ: НОРМАТИВНАЯ БАЗА

Условия конкурса совместных научных проектов БРФФИ и Фонда развития науки при Президенте Азербайджанской Республики «БРФФИ–ФРНА-2013»	23
Условия конкурса совместных научных проектов БРФФИ и Вьетнамской академии наук и технологий «БРФФИ–ВАНТ-2014»	29
Условия конкурса совместных научных проектов БРФФИ и Национального центра научных исследований Франции «БРФФИ–НЦНИ (PICS)-2014»	35
Условия конкурса БРФФИ и Национального центра научных исследований Франции на проведение белорусско-французских семинаров в 2013–2014 гг.	41

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ

Протокол договоренности о проведении третьего совместного трехстороннего межрегионального конкурса в приграничных областях Беларуси, России и Украины	43
---	----

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ФОНДА

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

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Рупасова Ж. А., Володько И. К., Василевская Т. И., Гончарова Л. В. Влияние погодных условий на содержание биофлавоноидов в ассимилирующих органах вечнозеленых и листопадных видов <i>Rhododendron</i> L. в вегетационный период при интродукции в Беларуси	46
Такопуло Д. А., Фисенко С. П. Броуновская диффузия и осаждение наночастиц на подложку из газового потока	53
Огурцова С. Э., Беляева А. В., Дорофеенко И. С., Афонин В. Ю., Анисович М. В. Оценка цитостатических и цитопротекторных свойств природных антиоксидантов	60
Хомич С. А., Аношко Я. И., Данильченко А. О., Дикарева Ю. И. Ключевые элементы концепции геоэкологического обеспечения туристско-рекреационного использования карьерных водоемов Беларуси	67
Пищевич Г. А., Малевич А. Э., Шаблинскас В., Дорошенко И. Ю., Погорелов В. Е., Козловская Е. Н., Балевичус В. 3d расчеты частот колебаний O–H связи в комплексе трихлоруксусной кислоты и пиридиназотоксида	80
Алексеев Г. Д., Афанасьев К. Г., Батурицкий М. А., Дворников О. В., Емельянчик И. Ф., Михайлов В. А., Пискун А. А., Солин А. А., Солин А. В., Токменин В. В., Чеховский В. А. Комплект электронных устройств на базе ползуказных интегральных микросхем для регистрации импульсного видимого излучения малой интенсивности	88

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

Issued since the 3rd quarter of 1997



N 1 [63], 2013

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

The founder:
The Belarusian
Republican
Foundation
for Fundamental
Research

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

The publisher:
RUE «Publishing House
«Belaruskaya navuka»

**VESTNIK
OF THE FOUNDATION
FOR FUNDAMENTAL
RESEARCH**

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief

V. A. Orlovich

Deputy Editors-in-Chief

E. M. Babosov

V. I. Nedił'ko

Executive Secretary

N. N. Kostyukovich

Editorial board members:

V. F. Baginsky

A. A. Makhnach

N. N. Bambalov

A. G. Mrochek

A. V. Bilyukevich

M. I. Mushinsky

I. V. Gaishun

P. G. Nikitenko

M. I. Demchuk

V. N. Novikov

V. S. Kamyshnikov

V. P. Parkhomenko

A. K. Karabanov

B. A. Plotnikov

Yu. S. Kharin

V. I. Prokoshin

L. V. Khotylyova

V. N. Shimov

A. V. Kilchevsky

V. I. Strazhev

P. D. Kukharchik

L. M. Tomilchik

A. V. Kukharev

I. I. Tsyrukun

A. I. Lesnikovich

P. A. Vityaz

Minsk, 2013

CONTENTS

THE DAY OF BELARUSIAN SCIENCE

- Congratulations by the President of the Republic of Belarus on the Day of Belarusian Science 5
Speech by the First Deputy Prime Minister of the Republic of Belarus V. I. Semashko at the solemn meeting dedicated to the Day of Belarusian Science (January 25, 2013, Minsk). 6

OFFICIAL SECTION

- The Decree of the President of the Republic of Belarus «On the commercialization of the results of scientific and scientific-technical activity created by public funds» N 59 of 04.02.2013 12
Regulations on the commercialization of the results of scientific and scientific-technical activity created by public funds 15

BRFFR COMPETITIONS: NORMATIVE BASE

- Terms of joint scientific projects competition «BRFFR–SDF-2013» of the BRFFR and the Science Development Fund under the President of the Republic of Azerbaijan 23
Terms of joint scientific projects competition «BRFFR–VAST-2014» of the BRFFR and the Vietnamese Academy of Science and Technology 29
Terms of joint scientific projects competition «BRFFR–CNRS (PICS)-2014» of the BRFFR and the French National Center for Scientific Research 35
Terms of competition on the Belarusian-French seminars in 2013–2014 41

INTERNATIONAL RELATIONS

- The Protocol of agreement on holding of the joint tripartite interregional competition in the cross-border oblasts of Belarus, Russia and Ukraine 43

THE FOUNDATION ACTIVITIES

- The Agreement on scientific and practical cooperation between the Belarusian Foundation for Basic Research and the Brest Regional Executive Committee 44

SCIENTIFIC PUBLICATIONS

- Rupasova Zh. A., Volodko I. K., Vasileuskaya T. I., Goncharova L. V.** Impact of weather growing season in contents bioflavonoids in assimilating organs of evergreen and deciduous *Rhododendron* L. species at the introduction in Belarus 46
Takopulo D. A., Fisenko S. P. Brownian diffusion and deposition of nanoparticles on substrate from gas flow 53
Ogurtsova S. A., Beliayeva A. V., Darafeyenka I. S., Afonin V. Yu., Anisovich M. V. Assessment of cytostatic and cytoprotective properties of natural antioxidants 60
Khomitch S. A., Anochko I. I., Danilchenko A. O., Dikareva J. I. Crucial elements of the concept of geo-environmental support tourist and recreational use of water bodies Belarus. 67
Pitsevich G. A., Malevich A. E., Sablinskas V., Doroshenko I. U., Pogorelov V. E., Kozlovskaja E. N., Balevicius V. 3d Calculations of O–H Group Vibrations in the Pyridine N-Oxide / Trichloroacetic Acid Complex 80
Afanaciev K. G., Alexeev G. D., Baturitsky M. A., Dvornikov O. V., Emeliantchik I. F., Mikhailov V. A., Piskun A. A., Solin A. A., Solin A. V., Tokmenin V. V., Tchekhovski V. A. The electronics device set using semicustom integrated circuits for registration of low power pulse visible irradiation 88

ДЕНЬ БЕЛОРУССКОЙ НАУКИ

Поздравление Президента Республики Беларусь с Днем белорусской науки

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

Дорогие друзья!

От всей души поздравляю вас с Днем белорусской науки.

В наши дни знания, неукротимый творческий дух и жажда постижения нового превратились в главную движущую силу развития цивилизации. Дерзновенные открытия, смелые идеи и прорывные изобретения преобразуют современный мир, являются основой экономического успеха и социального прогресса.

Совершенствование научной сферы, сохранение и обогащение традиций исследовательских школ, укрепление связей ученых с производством – приоритетные направления политики нашего государства. Благодаря его поддержке белорусские исследователи добились значительных успехов в освоении космического пространства, развитии информационных и других высоких технологий, создании уникальных наноматериалов, разработке новейших методов лечения заболеваний, решении многих актуальных проблем.

Уверен, что и в дальнейшем вы будете трудиться столь же эффективно и плодотворно. Вклад ученых в выполнение задач инновационного развития страны и модернизацию производства призван стать еще более весомым.

Желаю вам, дорогие друзья, вдохновения, новых свершений, крепкого здоровья, счастья и благополучия.

Александр Лукашенко

26.01.2013

Источник: Официальный интернет-портал Президента Республики Беларусь

ДОКЛАД

Первого заместителя Премьер-министра Республики Беларусь В. И. Семашко на торжественном заседании, посвященном празднованию Дня белорусской науки, 25 января 2013 г.

Уважаемые коллеги! Дорогие друзья!

От имени Правительства Республики Беларусь искренне поздравляю Вас и всю научную общественность нашей страны с Днём белорусской науки. Этот праздник традиционно почитается и отмечается в нашей стране уже 20 лет.

Наука и инновации – основа конкурентоспособности и прогресса государства, и в текущей пятилетке мы делаем основную ставку именно на эти факторы.

В 2012 году достигнуты значительные успехи по обеспечению сбалансированного роста белорусской экономики. Мы впервые за много лет вышли на положительное сальдо торгового баланса, достигнут профицит республиканского бюджета, выполнены плановые параметры по сдерживанию инфляции. Новые подходы к регулированию валютного курса создали основу для нормального, без стрессовых ожиданий планирования бизнеса и семейного бюджета.

Самое главное внимание руководство страны всегда уделяет росту уровня и качества жизни населения Беларуси. В 2012 году страна вышла на заданную Главой государства планку по средней заработной плате – 500 долларов США в месяц. При этом очень важно, что сбалансированная экономика создает все условия для удержания этого уровня и движения к новым рубежам – 700 и 1000 долларов.

Прогресс нашей экономики должен базироваться на инновациях. А это всегда вызов старому, сложившемуся ходу вещей, поэтому задача государства – создать необходимые условия для их появления и внедрения в экономике, которая должна опираться на научные знания, материализованные в инновациях.

Для Беларуси инновационное развитие – **главный приоритет**. У нас в стране курс на создание инновационной экономики по инициативе Президента Республики Беларусь взят в начале 2000-х. Основа – научно-техническое развитие. Белорусская наука сегодня – это выстроенная система приоритетов и программ. Она в принципе обеспечивает работу цепочки **«исследования – разработки – производство»**.

Сегодня сформирована нормативная база поддержки науки и инноваций в стране.

Государство ввело **механизмы снижения налоговой нагрузки** на инновационные предприятия и **формирования инновационных фондов**. Эти решения уже в 2013 году позволяют для инновационных предприятий в целом **высвободить почти 3 трлн рублей**, в том числе:

1 трлн рублей за счет снижения налога на прибыль;

2,7 трлн рублей за счет отмены платежей в инновационные фонды.

Дополнительно около 2,8 трлн рублей через инновационные фонды будут направлены на выполнение наиболее **эффективных проектов**.

Это **питательная среда** для появления малого и среднего инновационного бизнеса, создания в крупных холдингах и корпорациях центров компетенции и НИОКР.

В 2013 году основными факторами экономического роста должны стать экспорт и инвестиции. А наибольший эффект инвестиции дадут лишь тогда, когда они направлены в инновационные проекты, проекты будущего, обеспечивающие максимальную отдачу на каждый вложенный рубль.

Главой государства определены **ключевые требования к прорывным инновационным проектам**: выручка не менее 60 тыс. долларов США на человека, экспорт, принципиально новые для страны или мировой экономики технологии.

Предприятия всех форм собственности имеют доступ к инновационным фондам как источникам финансирования инноваций. Поэтому все присутствующие здесь должны понимать, что главный принцип – реальные и эффективные проекты.

Вводим механизмы **стимулирования и господдержки модернизации отобранных Правительством 711 предприятий**.

Первый уровень – проекты с передовыми технологиями мирового уровня. Мы отберем **10–15** таких проектов и профинансируем их по схеме: 15 % стоимости проекта из инновационных фондов, 85 % вложат собственные и заемные средства организации-исполнители. При этом государство полностью возместит проценты по банковским кредитам.

Второй уровень – высокоэффективные проекты, принципиально новые для страны. Для них из бюджета будут полностью возмещены проценты по кредитам.

Третий уровень – проекты отраслевого значения. Государство возьмет на себя половину расходов по уплате кредитных процентов.

В 2013 году:

– дан **старт** новым наиболее значимым проектам, например: **завод гидромеханических передач** в ОАО «МЗКТ», **фармацевтическое предприятие** по требованиям GMP, производство высокоточного высокопрочного чугуна **литья** в ОАО «ММЗ» и другие;

– **введем** в эксплуатацию новые производства, например: **глубокой комплексной переработки хлорсодержащего сырья и NPK-удобрений** в ОАО «Беларуськалий», **светодиодной техники** в НАН Беларуси, **мебели** под торговой маркой фирмы **ИКЕА** и другие.

Мы должны завершить более **50 важнейших инновационных проектов**. На их выполнение будет направлено свыше 5 трлн рублей.

2013 год – **год экономии, бережливости**. Наука должна предложить яркие инновационные проекты, направленные на экономию и эффективное использование ресурсов. Например, масштабное внедрение в жилищно-коммунальном

хозяйстве, транспорте, машиностроении и энергетике отечественной светодиодной продукции, «умных» счетчиков электрической и тепловой энергии. На каждом соответствующем предприятии должно быть модернизировано печное, литейное и гальваническое оборудование, позволяющее вести речь о снижении на 20–40 % энергопотребления. Эти и другие направления решения задачи экономии энергоресурсов должны получить широкое распространение по всей стране и дать эффект снижения энергоемкости в целом не менее, чем на 7 %.

Планы модернизации предприятий должны разрабатываться и реализовываться в тесной связи с учеными. Главная задача прикладной науки сегодня – обеспечить эффективный процесс модернизации экономики. Модернизации требуют не только основные фонды, но и качество, то есть научная обоснованность принимаемых управленческих решений. Отсюда – особая роль ученых в разработке таких решений. Надо обеспечить новый уровень взаимодействия с республиканскими органами государственного управления, особенно в экономической сфере, в энергетике, машиностроении, химии. Считаю, что Академия наук, Президиум НАН Беларуси – это уникальная «площадка» для обсуждения и выработки решений по вопросам развития всех отраслей экономики страны.

2013 год – **год председательства Беларуси в ЕЭП** и активной работы по формированию Евразийского союза. Вступление России в ВТО, рост конкуренции на внутреннем рынке требуют от ученых новых конкурентоспособных продуктов, технологий, методов управления. А с вступлением в Единое экономическое пространство существенно **расширяются возможности белорусских организаций**, выполняющих научные исследования и разработки и участвующих в научно-техническом и инновационном процессе. Нам **надо быть конкурентоспособными в ЕЭП уже с первых шагов, стать основным инноватором, как это хорошо подметил Глава нашего государства**. Конкурентоспособность начинается с умения продать, причем вовремя это сделать.

В принципе наука вошла в 2013 год с достойным багажом. По ряду направлений мы обладаем сегодня **«ноу-хау» мирового уровня**. Это разработки в области медицины, лазерной техники, информационно-космических технологий, биотехнологий, получения новых материалов машиностроения, химии и других областей. Вот некоторые примеры.

1. **Трансплантология**. Впервые в республике проведены **операции по одновременной трансплантации** нескольких органов: печень–почка; сердце–почка. Вплотную подошли к выполнению операций по одновременной пересадке сердце–печень и сердце–легкие. Это высокотехнологичная медицинская помощь людям и международное признание авторитета белорусских трансплантологов.

2. **Генетика и клеточная инженерия**. Создан центр «паспортизации» генов человека, животных и растений. Есть возможность увидеть предрасположенность человека к высоким достижениям (спорт, наука, техника), определить устойчивость растений, а также наследственные признаки и ценность пород животных. Кроме того, отечественные разработки и клеточные технологии позво-

ляют нашим медикам и биологам лечить серьезнейшие заболевания с гарантией успеха и по приемлемой цене.

3. **Беларусь вошла в мировую элиту космических держав.** В июле 2012 года запущен наш спутник. Все испытания его систем практически завершены, и он вышел в штатный режим работы. Космический проект дал мощный импульс развитию всех элементов цепи: от исследований, опытных разработок до производств космических аппаратов и спутников связи по белорусским технологиям. Наш исторический партнер – Роскосмос, но мы активно работаем с заинтересованными из Азии и Европы.

4. Белорусские ученые успешно работали в группе по **созданию Большого адронного коллайдера**. Это признание наших ядерных технологий. И мы сотрудничаем более чем с 25 странами в этой области.

5. **Запущен крупнейший проект по строительству белорусской атомной станции** мощностью 2340 МВт за счет кредитных ресурсов Российской Федерации (около 10 млрд долларов США). В результате мы увеличим производство электроэнергии на 20 % и нарастим ее экспорт. Экономический эффект – ежегодное замещение 5 млрд м³ природного газа. Наряду с новыми гидро- и теплоэлектростанциями, мы воплощаем идею электроэнергетического моста Восток–Запад через нашу страну.

6. По отечественным технологиям мы **впервые начали создавать многофункциональные беспилотные летательные аппараты**, интерес к которым проявили наши партнеры из азиатских и арабских стран. Это оперативный мониторинг и контроль сельскохозяйственных площадей, лесных угодий, дорог, границы и приграничных районов, решение вопросов своевременного предупреждения и локализации чрезвычайных ситуаций (пожары, аварии и др.). Это и вопросы военного значения.

7. Разработан **«супертяжелый» карьерный самосвал БелАЗ** грузоподъемностью 450 т. Он «закроет» потребности большого сегмента рынка Казахстана, Сибири, Дальнего Востока, азиатских стран. Первые модели этой машины сойдут с конвейера летом 2013 года.

8. **Создан мощный логистический блок на Западном направлении.** За год ведено 5 логистических центров общей площадью складских помещений около 100 тыс. м². Это решение проблемы обслуживания грузопотоков на трансконтинентальных магистралях, пересекающих нашу страну и связывающих Балтийское и Черное моря, Европу с Россией и Востоком. Это фактор экономического роста, роста привлекательности Беларуси для инвестиций, товарных потоков и развития кооперационных связей.

9. **Технологии комплексных удобрений (азот–фосфор–калий).** По отечественным разработкам и технологиям введены новые мощности по производству комплексных удобрений (азот–фосфор–калий), которые востребованы на мировом рынке. Гранулы адаптированы под конкретные культуры и регионы мира.

10. **Создан Китайско-Белорусский индустриальный парк.** Амбициозный проект с огромным потенциалом роста. Общая стоимость около 6 млрд долларов США. Основные средства – китайские инвестиции. Мы сконцентрируем на одной площадке электронику, тонкую химию, машиностроение. Создана дирекция парка, ряд крупнейших корпораций КНР планируют свое присутствие в нем.

В 2013 году **объем инвестиций в основной капитал** страны оценивается на более чем **20 млрд долларов США**. Источники – собственные и заемные средства, бюджетные ресурсы и прямые иностранные инвестиции. Расходы бюджета **на науку в 2013 году составят 23 трлн рублей**. Это в **1,8 раза больше чем в 2012 году (1,3 трлн рублей)**. Наукоемкость ВВП запланирована на уровне 1,2–1,4 %, прошлогодний показатель прирастет на 20–40 % (в 2012 году – 1 %). Но должно быть выполнено условие – **доля внебюджета** в общем объеме затрат на исследования и разработки должна быть не менее 2/3. Этот показатель должен быть выполнен.

То, что это выполнимо, проиллюстрирую **на примере Академии наук. На каждый рубль бюджета** в 2012 году заработано **3,4 рубля**, а доля привлеченных внебюджетных средств составила более 70 %.

Уважаемые коллеги!

У нас открытая экономика. При объеме ВВП в 63 млрд долларов США в 2012 году экспорт составил около 50 млрд долларов США. Темп роста наукоемкого (высокотехнологичного) экспорта за год превысил 28 % (*объем экспорта за 2012 год – 4,1 млрд долларов США*). Задача на 2013 год – выйти на объем в 4,8–5 млрд долларов США.

На сегодняшней выставке продемонстрированы серьезные и даже знаковые достижения науки. Это вызывает гордость за вас – ученых. Однако далеко не все также серьезно решается в области внедрения инноваций (*а это основной результат научного труда*). Зачастую от разработки до ее использования проходят многие годы (*не говоря о ее продаже*), и она безнадежно устаревает. Высоко ценится тот продукт, который своевременно вышел на рынок.

В условиях открытых границ Таможенного союза на первый план выходит задача – **«как привлечь «умного человека» в науку»**. Именно эта системная проблема должна стать предметом пристального внимания и заботы организаций науки, образования и отраслевиков.

В заключение хотел бы отметить следующее.

Сегодня нельзя выжить в одиночку. Идет передел сфер влияния и рынков. Гонка в высокотехнологичных сегментах особенно напряженная. Распределение добавленной стоимости известно: 75 % и более – это идея, разработка, проектирование и менее 15 % – непосредственно сборка и производство.

Наша страна способна быть в числе лидеров научно-технического прогресса. И для этого у нас созданы все условия – радикально упрощены процедуры регист-

рации и ведения бизнеса. Наша стратегия амбициозна – войти в тридцатку стран-лидеров по благоприятному инвестиционному климату. И это реально. Нас неплохо оценивают мировые рейтинги: по индексу знаний Всемирного банка из 146 стран мира страна поднялась (с 2010 года) с 52-го на 45-е место, по индексу экономики знаний – с 73-го на 59-е место. Мы на 6-м месте в мире по количеству заявок на изобретения (на 1 млрд долларов ВВП).

Сегодня перед нами стоят задачи **войти в число 50 стран** с наибольшим индексом развития человеческого потенциала.

В решении этих задач научной сфере отводится **главная роль**.

Уважаемые коллеги!

В отличие от многих других постсоветских республик наша страна не располагает достаточными природно-сырьевыми ресурсами. Именно наша наука должна опираться на интеллект нации и этим, в качественной мере, компенсировать недостающие энергетические ресурсы.

Правительство выражает уверенность в том, что белорусские ученые свои усилия направят на решение задач модернизации экономики, что позволит нашим производителям выпускать конкурентоспособную продукцию, повышать тем самым уровень благосостояния людей и **занимать достойное место в мировой экономике**.

Наука начинается с вас – энтузиастов, ученых, людей, которые просто любят познавать и исследовать. Научная мысль неустанно приносит в нашу жизнь новые знания и прорывные технологии, которые меняют, преобразуют, улучшают природу человека и общества. Ваши светлые умы – наша гордость. Пусть вас чаще посещает вдохновение, головы и руки не устают творить новые открытия, а промышленность воплощает ваши свежие идеи.

В этот знаменательный день от всей души желаю Вам, дорогие друзья, крепкого здоровья, успехов, счастья и благополучия!

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ

УКАЗ ПРЕЗИДЕНТА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

4 февраля 2013 г. № 59

О коммерциализации результатов научной и научно-технической деятельности, созданных за счет государственных средств*

В целях повышения конкурентоспособности отечественной экономики и эффективности использования результатов научной и научно-технической деятельности, созданных за счет средств республиканского и (или) местных бюджетов, в том числе государственных целевых бюджетных фондов, а также государственных внебюджетных фондов:

1. Установить, что:

1.1. Результаты научной и научно-технической деятельности, созданные полностью или частично за счет средств республиканского и (или) местных бюджетов, в том числе государственных целевых бюджетных фондов, а также государственных внебюджетных фондов (далее – результаты НТД), за исключением результатов, перечисленных в части второй настоящего подпункта, подлежат обязательной коммерциализации** в порядке и сроки, предусмотренные Положением о коммерциализации результатов научной и научно-технической деятельности, созданных за счет государственных средств, утверждаемым настоящим Указом (далее – Положение).

Не подлежат обязательной коммерциализации созданные полностью или частично за счет средств республиканского и (или) местных бюджетов, в том числе государственных целевых бюджетных фондов, а также государственных внебюджетных фондов (далее – государственные средства):

результаты фундаментальных научных исследований, если иное не определено в государственных программах научных исследований, предусматривающих выполнение ориентированных фундаментальных научных исследований, и (или) договорах на выполнение ориентированных фундаментальных научных исследований;

результаты научных исследований, имеющие побочный характер, если иное не определено государственным заказчиком;

результаты научных исследований, имеющие промежуточный характер.

* Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь, 06.02.2013, 1/14056.

** Для целей настоящего Указа используются термины, определенные в Положении о коммерциализации результатов научной и научно-технической деятельности, созданных за счет государственных средств, утверждаемом настоящим Указом.

Результаты ориентированных фундаментальных научных исследований применяются в соответствии с законодательством при проведении прикладных научных исследований, в том числе выполняемых в рамках государственных, отраслевых и региональных научно-технических программ;

1.2. При необеспечении государственным заказчиком обязательной коммерциализации результатов НТД в порядке и (или) сроки, установленные в Положении, в том числе при невыполнении обязанности по полной передаче имущественных прав на результаты НТД или права на их использование резиденту Республики Беларусь в случаях, предусмотренных в Положении, государственные средства, за счет которых созданы данные результаты, считаются использованными с нарушением бюджетного законодательства, за исключением случаев наличия существенных объективных обстоятельств, не позволивших государственному заказчику обеспечить обязательную коммерциализацию этих результатов в установленный срок, и подлежат взысканию в бесспорном порядке в соответствующий бюджет с начислением процентов в размере ставки рефинансирования, установленной Национальным банком на дату взыскания.

Перечень существенных объективных обстоятельств, указанных в части первой настоящего подпункта, определяется Советом Министров Республики Беларусь по согласованию с Комитетом государственного контроля.

2. Создать государственный реестр прав на результаты научной и научно-технической деятельности в целях регистрации прав на результаты НТД, приобретенных (передаваемых, предоставляемых) в порядке, установленном Положением.

Ведение государственного реестра прав на результаты научной и научно-технической деятельности осуществляется Государственным комитетом по науке и технологиям в порядке, определяемом Советом Министров Республики Беларусь.

Финансирование функционирования государственного реестра прав на результаты научной и научно-технической деятельности осуществляется за счет средств республиканского бюджета, предусматриваемых для финансирования научной, научно-технической и инновационной деятельности.

Сведения о номере и дате регистрации прав на результаты НТД, наименование данных результатов, содержащиеся в государственном реестре прав на результаты научной и научно-технической деятельности, указываются в договорах, предусматривающих передачу имущественных прав на результаты НТД обладателем другому лицу или предоставление правообладателем другому лицу права на использование результатов НТД.

3. Освободить от налогообложения в отношении имущественных прав на результаты НТД, сведения о которых содержатся в государственном реестре прав на результаты научной и научно-технической деятельности:

налогом на добавленную стоимость – обороты по реализации на территории Республики Беларусь имущественных прав на результаты НТД, а также материальных объектов, относящихся к этим правам, если реализация имущественных прав на результаты НТД одновременно сопровождается передачей таких объектов;

налогом на прибыль:

прибыль, полученную от реализации имущественных прав на результаты НТД, а также прибыль, полученную от реализации материальных объектов, относящихся к этим правам, если реализация имущественных прав на результаты НТД одновременно сопровождается передачей таких объектов;

стоимость безвозмездно полученных имущественных прав на результаты НТД, а также стоимость безвозмездно полученных материальных объектов, относящихся к этим правам, если безвозмездное получение имущественных прав на результаты НТД одновременно сопровождается передачей таких объектов.

Основанием для использования налоговых льгот, предусмотренных в части первой настоящего пункта, является соблюдение требования, содержащегося в части четвертой пункта 2 настоящего Указа, а для льгот, предусмотренных в абзацах втором и четвертом части первой настоящего пункта, – также ведение раздельного учета оборотов (выручки) по реализации имущественных прав на результаты НТД и материальных объектов, налоговых вычетов (затрат) и сумм, участвующих при определении налоговой базы по указанной реализации.

Сведения, содержащиеся в государственном реестре прав на результаты научной и научно-технической деятельности, ежемесячно не позднее 15-го числа каждого месяца направляются в Министерство по налогам и сборам по форме, определяемой Государственным комитетом по науке и технологиям по согласованию с указанным Министерством.

4. Утвердить прилагаемое Положение о коммерциализации результатов научной и научно-технической деятельности, созданных за счет государственных средств.

5. Действие настоящего Указа не распространяется на:

отношения, связанные с распоряжением имущественными правами на результаты НТД, являющиеся объектами экспортного контроля или содержащие сведения, отнесенные к государственным секретам;

результаты НТД, созданные в рамках договоров на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ, исполненных до вступления в силу настоящего Указа.

6. Договоры, заключенные до вступления в силу настоящего Указа, не подлежат обязательному приведению в соответствие с этим Указом, действуют до истечения определенного в них срока и продлению не подлежат.

7. Признать утратившим силу Указ Президента Республики Беларусь от 31 августа 2009 г. № 432 «О некоторых вопросах приобретения имущественных прав на результаты научно-технической деятельности и распоряжения этими правами» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2009 г., № 211, 1/10947).

8. Совету Министров Республики Беларусь в шестимесячный срок обеспечить приведение актов законодательства в соответствие с настоящим Указом и принять иные меры по его реализации.

9. Предоставить право разъяснять вопросы применения настоящего Указа Совету Министров Республики Беларусь.

10. Контроль за выполнением настоящего Указа возложить на Совет Министров Республики Беларусь.

11. Настоящий Указ вступает в силу через шесть месяцев после его официального опубликования, за исключением пункта 8 и настоящего пункта, вступающих в силу со дня официального опубликования данного Указа.

Президент Республики Беларусь

А. Лукашенко

УТВЕРЖДЕНО
Указ Президента
Республики Беларусь
04.02.2013 № 59

ПОЛОЖЕНИЕ
о коммерциализации результатов научной
и научно-технической деятельности, созданных
за счет государственных средств

ГЛАВА 1
ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Настоящим Положением определяется порядок коммерциализации результатов научной и научно-технической деятельности, созданных полностью или частично за счет средств республиканского и (или) местных бюджетов, в том числе государственных целевых бюджетных фондов, а также государственных внебюджетных фондов.

2. Для целей настоящего Положения применяются следующие термины и их определения:

результаты научной и научно-технической деятельности – объекты интеллектуальной собственности, созданные при осуществлении научной и научно-технической деятельности полностью или частично за счет средств республиканского и (или) местных бюджетов, в том числе государственных целевых бюджетных фондов, а также государственных внебюджетных фондов (далее – результаты НТД);

коммерциализация результатов НТД – введение в гражданский оборот и (или) использование для собственных нужд* результатов НТД либо товаров (работ, услуг), созданных (выполняемых, оказываемых) с применением данных результатов, обеспечивающих достижение экономического и (или) социального эффектов;

* Для целей настоящего Положения под использованием результатов НТД для собственных нужд понимается деятельность юридического лица, индивидуального предпринимателя, не предусматривающая систематическое получение прибыли от использования результатов НТД и (или) вступление в гражданско-правовые отношения с другими лицами, а также деятельность, связанная с использованием результатов НТД при выполнении научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ.

обеспечение коммерциализации результатов НТД – деятельность государственного заказчика, направленная на осуществление коммерциализации результатов НТД его собственными силами и (или) с привлечением исполнителей и иных лиц в порядке и с соблюдением сроков, установленных настоящим Положением;

государственный заказчик – организация, которая является распорядителем средств республиканского и (или) местных бюджетов, в том числе государственных целевых бюджетных фондов, а также государственных внебюджетных фондов (далее – государственные средства), предусмотренных для финансирования создания результатов НТД, выделяет средства подчиненным бюджетным организациям для выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ (далее – НИОКТР) в соответствии с заданием, заключает договоры с исполнителями либо предоставляет право на заключение таких договоров головным организациям-исполнителям;

головная организация-исполнитель – организация, уполномоченная государственным заказчиком в случаях, предусмотренных законодательством, заключать с исполнителями договоры на выполнение НИОКТР;

исполнитель – юридическое лицо, временный научный коллектив или индивидуальный предприниматель, являющийся исполнителем работ в соответствии с договором на выполнение НИОКТР;

резиденты Республики Беларусь – юридические лица и организации, не являющиеся юридическими лицами, с местом нахождения в Республике Беларусь, созданные в соответствии с законодательством Республики Беларусь, а также физические лица – индивидуальные предприниматели, имеющие постоянное место жительства в Республике Беларусь, в том числе временно находящиеся за пределами Республики Беларусь;

нерезиденты Республики Беларусь – юридические лица и организации, не являющиеся юридическими лицами, с местом нахождения за пределами Республики Беларусь, созданные в соответствии с законодательством иностранных государств, а также физические лица, имеющие постоянное место жительства за пределами Республики Беларусь.

3. К результатам научных исследований, не подлежащим обязательной коммерциализации в соответствии с частью второй подпункта 1.1 пункта 1 Указа, утверждающего настоящее Положение, применяются требования, содержащиеся в абзацах первом и втором, пятом–девятом пункта 2, пунктах 4, 8–10, абзацах первом–четвертом части первой, части третьей пункта 11, пунктах 12–14, части первой пункта 15, пунктах 16–18 (без условия последующей коммерциализации), пунктах 19 и 20 настоящего Положения.

4. Материальные объекты (образцы новых материалов, приборов, установок, изделий различного назначения и другое), в которых выражены результаты НТД, приобретаются и передаются в порядке, предусмотренном настоящим Положением для результатов НТД, в случае, если они приобретаются и передаются одновременно с приобретением и передачей имущественных прав на данные результаты.

ГЛАВА 2

СРОКИ И СПОСОБЫ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НТД

5. Коммерциализация результатов НТД обеспечивается государственными заказчиками и осуществляется обладателем имущественных прав на эти результаты в течение трех лет после их создания, а в случаях предоставления правовой охраны результатам НТД, способным к правовой охране в качестве объектов права промышленной собственности после получения охранного документа, – в течение трех лет со дня получения такого охранного документа в соответствии с законодательством.

Если обладателем имущественных прав на результаты НТД, не связанные с интересами национальной безопасности Республики Беларусь, является государственный заказчик, он обязан в течение года после создания данных результатов НТД (в случаях предоставления правовой охраны результатам НТД, способным к правовой охране в качестве объектов права промышленной собственности после получения охранного документа, – в течение года со дня получения такого охранного документа в соответствии с законодательством) или передачи ему имущественных прав на них в соответствии с абзацем шестым части первой пункта 11 настоящего Положения осуществить их коммерциализацию.

В случае неосуществления коммерциализации результатов в срок, указанный в части второй настоящего пункта, государственный заказчик в течение тридцати дней после окончания данного срока обязан полностью передать имущественные права на результаты НТД или право на их использование резиденту Республики Беларусь в соответствии с пунктом 8, частью второй пункта 14, пунктами 15–18, 20 настоящего Положения.

Требование, предусмотренное в части второй настоящего пункта:

не применяется после истечения срока, установленного в части первой настоящего пункта;

в случае передачи прав на результаты НТД в соответствии с пунктами 15–18 настоящего Положения считается выполненным государственным заказчиком с момента полной передачи имущественных прав на данные результаты или предоставления права на их использование резиденту Республики Беларусь. При этом выполнение указанного требования не освобождает государственного заказчика от обязанности обеспечить коммерциализацию результатов НТД в соответствии с частью первой настоящего пункта.

Государственный заказчик, не обеспечивший коммерциализацию результатов НТД в срок, установленный в части первой настоящего пункта, обязан в течение трех месяцев после истечения указанного срока полностью передать имущественные права на результаты НТД либо предоставить право на их использование на основании неисключительной лицензии резиденту Республики Беларусь путем проведения торгов в соответствии с законодательством.

6. Коммерциализация результатов НТД осуществляется следующими способами:

реализация товаров (работ, услуг), созданных (выполняемых, оказываемых) с применением результатов НТД, или использование данных результатов для собственных нужд;

предоставление на возмездной основе другим лицам права на использование результатов НТД;

полная передача на возмездной основе другим лицам имущественных прав на результаты НТД;

безвозмездная передача третьим лицам имущественных прав на результаты НТД, безвозмездное предоставление права на использование данных результатов с условием последующей их коммерциализации приобретателем этих прав способами, предусмотренными в абзацах втором и третьем настоящего пункта;

иные способы, предусмотренные актами законодательства.

7. Обладатели имущественных прав на результаты НТД вправе использовать для их коммерциализации любой из способов, указанных в пункте 6 настоящего Положения, или одновременно несколько способов, если иное не установлено государственным заказчиком.

Конкретные условия коммерциализации результатов НТД (объем реализации товаров (работ, услуг) с использованием данных результатов, минимальный экономический эффект и (или) социальный эффект от коммерциализации этих результатов и другое) определяются государственным заказчиком.

ГЛАВА 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАДАТЕЛЯ (ОБЛАДАТЕЛЕЙ) ИМУЩЕСТВЕННЫХ ПРАВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ НТД

8. Решения об определении обладателя (обладателей) имущественных прав на результаты НТД, о передаче имущественных прав на данные результаты и предоставлении права на их использование принимаются государственным заказчиком коллегиально.

Порядок рассмотрения государственными заказчиками вопросов определения по договору обладателя (обладателей) имущественных прав на результаты НТД, передачи имущественных прав на данные результаты и предоставления права на их использование другим лицам, а также согласования передачи имущественных прав на результаты НТД нерезидентам Республики Беларусь определяется Государственным комитетом по науке и технологиям.

9. Обладателем имущественных прав на результаты НТД, созданные в рамках исполнения договоров на выполнение НИОКР, является головная организация-исполнитель или исполнитель – резидент Республики Беларусь, если иное не установлено настоящим Положением или не предусмотрено решением государствен-

ного заказчика, принятым в соответствии с частью первой пункта 8 настоящего Положения.

Если исполнителем по договорам на выполнение НИОКТР является временный научный коллектив, имущественные права на результаты НТД закрепляются за государственным заказчиком.

Не допускается в договорах на выполнение НИОКТР предусматривать совместное обладание имущественными правами на результаты НТД, кроме случаев, указанных в пункте 10 настоящего Положения.

10. Обладателями имущественных прав на результаты НТД в договорах на выполнение НИОКТР определяются:

государственный заказчик и (или) исполнитель, являющийся подчиненной государственному заказчику (входящей в его состав, систему) организацией, – на результаты НТД, связанные с интересами национальной безопасности Республики Беларусь, если иное не установлено законодательными актами;

государственный заказчик или исполнитель совместно с лицом, затратившим собственные средства, – на результаты НТД, финансирование которых предусматривалось частично за счет средств, не являющихся государственными. Взаимоотношения по распоряжению имущественными правами на указанные результаты НТД определяются соглашением между названными обладателями имущественных прав, примерная форма которого утверждается Государственным комитетом по науке и технологиям. При этом лицо, затратившее собственные средства на результаты НТД, финансирование которых предусматривалось частично за счет средств, не являющихся государственными, имеет преимущественное право на возмездное приобретение части имущественных прав на данные результаты НТД, обладателем которых является государственный заказчик или исполнитель.

11. Существенными условиями договоров на выполнение НИОКТР, в рамках исполнения которых создаются результаты НТД, помимо условий, предусмотренных законодательством, являются:

определение обладателя (обладателей) имущественных прав на результаты НТД;

право (отсутствие права) использования сторонами договора создаваемых результатов НТД для собственных нужд, а также определение порядка и условий реализации этого права;

предоставление (непредоставление) государственному заказчику (головной организации-исполнителю) права требования от исполнителя, который в соответствии с актами законодательства имеет право на получение охранного документа или которому выдан охранный документ на результаты НТД, являющиеся объектом права промышленной собственности, передачи права на получение охранного документа либо его уступки в порядке, установленном актами законодательства;

обязанность исполнителя (головной организации-исполнителя), являющегося обладателем имущественных прав, осуществить коммерциализацию результатов

НТД способами, предусмотренными в абзацах втором–четвертом пункта 6 настоящего Положения, в течение года после создания данных результатов (в случаях предоставления правовой охраны результатам НТД, способным к правовой охране в качестве объектов права промышленной собственности после получения охранного документа, – в течение года со дня получения такого охранного документа в соответствии с законодательством);

обязанность исполнителя (головной организации-исполнителя), являющегося обладателем имущественных прав на результаты НТД, в месячный срок безвозмездно полностью передать государственному заказчику имущественные права на результаты НТД в случае, если исполнителем (головной организацией-исполнителем) не осуществлена коммерциализация данных результатов в течение года после их создания (в случаях предоставления правовой охраны результатам НТД, способным к правовой охране в качестве объектов права промышленной собственности после получения охранного документа, – в течение года со дня получения такого охранного документа в соответствии с законодательством).

Согласно решению государственного заказчика сроки коммерциализации, предусмотренные в абзацах пятом и шестом части первой настоящего пункта, могут быть продлены до трех лет в пределах срока, установленного в части первой пункта 5 настоящего Положения.

Примерная форма договора на выполнение НИОКТР, финансируемых полностью или частично за счет государственных средств, утверждается Государственным комитетом по науке и технологиям.

12. В договорах на выполнение НИОКТР, сторонами которых выступают представители различных государств, заключаемых в рамках реализации международных договоров Республики Беларусь и межгосударственных программ, участником которых является Республика Беларусь, могут предусматриваться иные условия о принадлежности прав на результаты НТД согласно положениям соответствующих международных договоров Республики Беларусь и межгосударственных программ.

13. Обладателем имущественных прав на результаты НТД, созданные бюджетной организацией не в рамках исполнения договоров на выполнение НИОКТР за счет государственных средств, предусмотренных для финансирования создания результатов НТД, является бюджетная организация, их создавшая, если иное не определено в решении государственного заказчика. Согласно решению государственного заказчика эти права могут быть закреплены за ним с сохранением права бюджетной организации использовать данные результаты НТД для собственных нужд. Коммерциализация указанных результатов НТД осуществляется в сроки, установленные настоящим Положением для результатов НТД, созданных в рамках исполнения договоров на выполнение НИОКТР.

ГЛАВА 4

ПЕРЕДАЧА ИМУЩЕСТВЕННЫХ ПРАВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ НТД И ПРЕДОСТАВЛЕНИЕ ПРАВА НА ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ТАКИХ РЕЗУЛЬТАТОВ

14. Передача имущественных прав на результаты НТД (приобретение имущественных прав на данные результаты) и предоставление права на их использование осуществляются в порядке, определенном законодательными актами, с учетом особенностей, предусмотренных настоящим Положением.

Примерная форма договоров о передаче имущественных прав на результаты НТД и о предоставлении права на использование результатов НТД утверждается Государственным комитетом по науке и технологиям.

Передача имущественных прав на результаты НТД, способные к правовой охране в качестве объектов права промышленной собственности, осуществляется в порядке, установленном актами законодательства о праве промышленной собственности.

Передача имущественных прав на результаты НТД может быть полной или частичной с учетом требований настоящего Положения.

15. Государственный заказчик – обладатель имущественных прав на результаты НТД может безвозмездно передавать имущественные права на данные результаты или предоставлять право на их использование резидентам Республики Беларусь при условии последующей коммерциализации результатов НТД способами, предусмотренными в абзацах втором и третьем пункта 6 настоящего Положения, в течение года после их приобретения в пределах срока, установленного в части первой пункта 5 настоящего Положения.

По решению государственного заказчика при наличии достаточных оснований срок коммерциализации, предусмотренный в части первой настоящего пункта, может быть продлен до трех лет в пределах срока, установленного в части первой пункта 5 настоящего Положения.

Резиденты Республики Беларусь, не осуществившие коммерциализацию результатов НТД в течение года после приобретения прав на них (предоставления права на их использование) в соответствии с частью первой настоящего пункта (либо в срок, определенный государственным заказчиком в соответствии с частью второй настоящего пункта), обязаны в месячный срок безвозмездно передать приобретенные (предоставленные) имущественные права на данные результаты государственному заказчику.

16. Имущественные права на результаты НТД, связанные с интересами национальной безопасности Республики Беларусь, могут безвозмездно передаваться государственным заказчиком – обладателем имущественных прав на данные результаты НТД с соблюдением условия, указанного в части первой пункта 15 настоящего Положения, только государственным органам, а право на их использование – государственным органам и подчиненным им (входящим в их состав, систему) организациям.

17. Резиденты Республики Беларусь, которым в соответствии с пунктом 15 настоящего Положения безвозмездно переданы имущественные права на результаты НТД, а также исполнители (головные организации-исполнители), являющиеся обладателями имущественных прав на результаты НТД согласно договорам на выполнение НИОКТР, имеют право безвозмездно предоставлять право на их использование для собственных нужд бюджетным организациям с последующим информированием государственного заказчика в двухнедельный срок.

18. Исполнители, являющиеся обладателями имущественных прав на результаты НТД согласно договорам на выполнение НИОКТР с государственными заказчиками, имеют право безвозмездно предоставлять право на их использование лицам, выступающим соисполнителями по указанным договорам, или предусматривать такое право соисполнителей в договорах на выполнение НИОКТР между исполнителем и соисполнителем.

19. Исполнители (головные организации-исполнители), а также другие резиденты Республики Беларусь, которым в соответствии с пунктами 15–18 настоящего Положения безвозмездно полностью переданы имущественные права на результаты НТД (при условии осуществления их коммерциализации), вправе передавать на возмездной основе в соответствии с законодательством имущественные права на данные результаты:

резидентам Республики Беларусь с последующим информированием государственного заказчика в двухнедельный срок;

нерезидентам Республики Беларусь по согласованию с государственным заказчиком, если иное не определено международными договорами Республики Беларусь. Решение о согласовании принимается государственным заказчиком коллегиально.

20. Государственный заказчик и (или) исполнитель (головная организация-исполнитель), являющиеся обладателями имущественных прав на результаты НТД, а также другие резиденты Республики Беларусь, которым в соответствии с пунктами 15–18 настоящего Положения безвозмездно полностью переданы имущественные права на результаты НТД (при условии осуществления их коммерциализации), при возмездной передаче имущественных прав на данные результаты определяют условия и размер платы за передачу этих прав в соответствии с законодательством.

Денежные средства, полученные государственным заказчиком – обладателем имущественных прав на результаты НТД, созданные за счет средств инновационного фонда, формируемого государственным заказчиком, от возмездной передачи имущественных прав на данные результаты НТД третьим лицам, подлежат в месячный срок и в установленном законодательством порядке перечислению в инновационный фонд.

КОНКУРСЫ БРФФИ: НОРМАТИВНАЯ БАЗА

УТВЕРЖДЕНО
Протокол заседания
бюро Научного совета БРФФИ
от 26 декабря 2012 г. № 8

УСЛОВИЯ конкурса совместных научных проектов Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Фонда развития науки при Президенте Азербайджанской Республики «БРФФИ–ФРНА-2013»

Общие положения

1. Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (БРФФИ) и Фонд развития науки при Президенте Азербайджанской Республики (ФРНА), в соответствии с заключенным между ними Соглашением о сотрудничестве, объявляют конкурс совместных научных проектов «БРФФИ–ФРНА-2013» с целью консолидации усилий для финансирования фундаментальных научных исследований, выполняемых совместно учеными Республики Беларусь и Азербайджанской Республики по актуальным для обеих сторон научным направлениям, в частности, для белорусской стороны – соответствующим перечню, утвержденному постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 № 585.

2. Конкурс проводится в следующих областях научных исследований:

- физико-математические и технические науки,
- гуманитарные и социальные науки.

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

Заявки на конкурс подаются одновременно в БРФФИ и ФРНА в соответствии с установленными в них формами, при этом белорусскими учеными – в БРФФИ, азербайджанскими – в ФРНА.

В БРФФИ принимаются заявки ученых, проживающих в Республике Беларусь и работающих в организациях, являющихся резидентами Республики Беларусь. Заявки представляются на русском или белорусском языке.

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

Конкурсный отбор проектов осуществляется в установленном порядке.

Одно и то же лицо с белорусской стороны может одновременно входить в состав исполнителей не более трех исследовательских проектов по Фонду, включая как выполняемые проекты, так и заявляемые на конкурсы БРФФИ. Не учитываются проекты, которые заканчиваются в 1 квартале 2013 г., а также проекты и заявки по конкурсам ГКНТ РБ («ГКНТ–Польша» и др.) и НАН Беларуси («НАНБ (БРФФИ)–СО РАН» и др.).

При этом ученый может быть руководителем не более двух проектов, а в рамках одного вида конкурсов («Наука», «Наука М», «Наука МС», «БРФФИ–ГФФИУ», «БРФФИ–Брест», «БРФФИ–ОИЯИ» и др.) участвовать (в качестве как руководителя, так и исполнителя) не более чем в одном проекте.

Заявки с нарушением любого из вышеперечисленных ограничений будут сняты с конкурса на стадии предварительной экспертизы экспертными советами.

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

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

Условия финансирования азербайджанских исполнителей проектов определяются правилами ФРНА.

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

В итоговом и промежуточном отчетах по проекту, представляемых белорусскими исполнителями в БРФФИ, кратко должны быть отражены в отдельном разделе (главе, параграфе и т. п.) результаты, полученные учеными азербайджанской стороны и (или) совместно.

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

Требования к проектам, представляемым на конкурс в БРФФИ

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

8. При рассмотрении проектов оцениваются:

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

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

- научная значимость запланированных результатов и возможность их практической реализации в будущем:

- в виде экспериментальных или опытных образцов, опытных партий или промышленных серий в различного вида производствах;

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

- в издании учебников и других учебных материалов в системе образования;

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

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

- в использовании результатов НИР в материалах государственных органов Республики Беларусь;

- соответствие программы исследования целям и задачам проекта, а также возможность достижения запланированных конечных результатов;

- научная квалификация руководителя проекта и всего научного коллектива;

- наличие необходимой материально-технической базы;

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

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

Руководитель проекта должен иметь не менее трех статей в авторитетных научных журналах и/или патентов на изобретения или монографию по научному направлению проекта и/или в смежных областях, опубликованных в течение последних трех лет на дату подачи заявки на конкурс.

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

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

Проекты, участвовавшие в предыдущих конкурсах Фонда, а также получившие ранее поддержку других фондов и организаций Республики Беларусь, к участию в конкурсе «БРФФИ–ФРНА-2013» не допускаются.

10. Заявка на конкурс вносится по установленным формам в трех отдельно скрепленных экземплярах. В обязательном порядке представляется также электронный вариант заявочных материалов, сформированных в соответствии с инструкцией по составлению электронного варианта заявки.

Заявитель несет ответственность, вплоть до снятия проекта с конкурса, за соответствие электронного варианта заявки заявке на бумажном носителе.

Материалы заявки должны включать:

– титульный лист заявки (форма П1Аз);

– аннотацию (форма П2Аз);

– обоснование проекта (форма П3Аз), в котором обязательно приводится аргументация целесообразности проведения совместных исследований с указанием возможностей, которые могут быть предоставлены азербайджанским партнером белорусской стороне (использование оборудования, реактивов, материалов, научной литературы, освоение методик и др.), а белорусским партнером – азербайджанской стороне, также приводится план работы партнера;

– научную биографию руководителя проекта с белорусской стороны (форма П4Аз);

– калькуляцию сметной стоимости проекта с белорусской стороны (форма П5Аз)

с расшифровкой статей затрат. Количество штатных единиц не должно превышать пяти. Командировки планируются в пределах СНГ, затраты по статье «Научно-производственные командировки» не должны превышать 20 % от плановой стоимости проекта. Приобретение оборудования не финансируется. Если в процессе выполнения проекта возникнет острая необходимость в приобретении научного оборудования, решение по данному вопросу принимается бюро Научного совета Фонда по ходатайству организации-исполнителя с подробным обоснованием такой необходимости. При этом расходы на эти цели не должны превышать 10 % от плановой стоимости проекта. При наличии организаций-соисполнителей с белорусской стороны представляется также лист согласования расходов, ограничение на количество штатных единиц в этом случае сохраняется;

– перечень научных трудов руководителя проекта с белорусской стороны по научному направлению проекта и/или в смежных областях (до 10 наименований), опубликованных в течение последних трех лет на дату подачи заявки (форма П6Аз). Руководители проектов должны указать суммарный индекс цитирова-

ния всех своих научных статей и индекс Хирша отдельно по каждой из нижеприведенных баз данных по форме П7Аз, а также привести перечень научных статей (не более 10 по выбору автора), имеющих наибольший индекс цитирования, по форме П8Аз. Для получения информации о научном рейтинге необходимо использовать следующие базы данных:

1. Scopus (изд-во Elsevier),
2. Web of Science на платформе ISI Web of Knowledge,
3. Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Доступ к первым двум базам данных предоставляется Центральной научной библиотекой им. Я. Коласа НАН Беларуси – единственным обладателем права доступа к этим ресурсам в Республике Беларусь (г. Минск, ул. Сурганова, 15, Центр Интернет-доступа), тел. для справок: +375172841002; +375172841490, e-mail: ok@kolas.basnet.by (Сикорская О. Н.); +375172841463, e-mail: gkhrenova@kolas.basnet.by (Хренова Г. С.).

Доступ к РИНЦ предоставляется Научной электронной библиотекой <http://elibrary.ru> в системе Science Index (http://elibrary.ru/projects/science_index/author_tutorial.asp). Более подробную информацию о РИНЦ и Science Index см. в статье Н. Березкиной и О. Сикорской (файл РИНЦ.pdf в пакете форм заявочных материалов).

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

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

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

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

Сроки и условия участия в конкурсе

11. Заявки на конкурс в БРФФИ представляются в объявленный срок. Для иногородних дата определяется по штемпелю на почтовом отправлении.

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

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

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

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

Представленные на конкурс материалы не возвращаются.

13. Материалы белорусских ученых на конкурс направляются в исполнительную дирекцию Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований по адресу: 220072, г. Минск, пр. Независимости, 66, к. 101, телефоны для справок: 294-92-16 (физика, математика и информатика), 284-27-22 (технические науки), 294-92-17 (отдел зарубежных связей и информационного обеспечения), 284-06-38 (гуманитарные науки), 294-93-35 (бухгалтерия); факс 284-08-97.

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

Национальная академия наук Беларуси

УТВЕРЖДЕНО
Протокол заседания
бюро Научного совета БРФФИ
от 26 декабря 2012 г. № 8

УСЛОВИЯ
конкурса совместных научных проектов Белорусского
республиканского фонда фундаментальных исследований
и Вьетнамской академии наук и технологий «БРФФИ–ВАНТ-2014»

Общие положения

1. Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (БРФФИ) и Вьетнамская академия наук и технологий (ВАНТ), в соответствии с заключенным между ними Соглашением о сотрудничестве, объявляют конкурс совместных научных проектов «БРФФИ–ВАНТ-2014» с целью консолидации усилий для финансирования фундаментальных научных исследований, выполняемых совместно учеными Республики Беларусь и Социалистической Республики Вьетнам по актуальным для обеих сторон научным направлениям, в частности, для белорусской стороны – соответствующим перечню, утвержденному постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 № 585.

2. Конкурс проводится по следующим научным направлениям:

- современные материалы и композиты,
- нанотехнологии,
- информационные технологии, связь и коммуникации,
- лазерно-оптическая техника и технологии,
- энергетическая безопасность,
- экологическая безопасность,
- био- и медтехнологии.

3. Заявки на конкурс подаются одновременно в БРФФИ и ВАНТ в соответствии с установленными в них формами, при этом белорусскими учеными – в БРФФИ, вьетнамскими – в ВАНТ.

В БРФФИ принимаются заявки ученых, проживающих в Республике Беларусь и работающих в организациях, являющихся резидентами Республики Беларусь. Заявки представляются на русском (белорусском) и английском языках.

Состав участников, наименование проекта, ключевые слова, основные формулировки в обоих вариантах заявки должны быть идентичными, а программа исследований – взаимно согласованной по срокам и содержанию. В составе каждого коллектива должно быть не менее одного молодого ученого в возрасте не старше 35 лет по состоянию на 30 апреля 2013 г.

В программе исследований должно быть четко отражено, какие задачи выполняет белорусская сторона, какие – вьетнамская, а какие – совместно.

Конкурсный отбор проектов осуществляется в установленном порядке.

Одно и то же лицо с белорусской стороны может одновременно входить в состав исполнителей не более трех исследовательских проектов по Фонду, включая как выполняемые проекты, так и заявляемые на конкурсы БРФФИ. Не учитываются проекты, которые заканчиваются в 1 квартале 2014 г., а также проекты и заявки по конкурсам ГКНТ РБ («ГКНТ–Польша» и др.) и НАН Беларуси («НАНБ (БРФФИ)–СО РАН» и др.).

При этом ученый может быть руководителем не более двух проектов, а в рамках одного вида конкурсов («Наука», «Наука М», «Наука МС», «БРФФИ–ГФФИУ», «БРФФИ–Брест», «БРФФИ–ОИЯИ» и др.) участвовать (в качестве как руководителя, так и исполнителя) не более чем в одном проекте.

Заявки с нарушением любого из вышеперечисленных ограничений будут сняты с конкурса на стадии предварительной экспертизы экспертными советами.

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

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

Условия финансирования вьетнамских исполнителей проектов определяются правилами ВАНТ.

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

В итоговом и промежуточном отчетах по проекту, представляемых белорусскими исполнителями в БРФФИ, кратко должны быть отражены в отдельном разделе (главе, параграфе и т. п.) результаты, полученные учеными вьетнамской стороны и (или) совместно.

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

Требования к проектам, представляемым на конкурс в БРФФИ

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

8. При рассмотрении проектов оцениваются:

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

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

- научная значимость запланированных результатов и возможность их практической реализации в будущем:

- в виде экспериментальных или опытных образцов, опытных партий или промышленных серий в различного вида производствах;

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

- в издании учебников и других учебных материалов в системе образования;

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

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

- в использовании результатов НИР в материалах государственных органов Республики Беларусь;

- соответствие программы исследования целям и задачам проекта, а также возможность достижения запланированных конечных результатов;

- научная квалификация руководителя проекта и всего научного коллектива;

- наличие необходимой материально-технической базы;

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

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

Руководитель проекта должен иметь не менее трех статей в авторитетных научных журналах и/или патентов на изобретения или монографию по научному направлению проекта и/или в смежных областях, опубликованных в течение последних трех лет на дату подачи заявки на конкурс.

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

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

Проекты, участвовавшие в предыдущих конкурсах Фонда, а также получившие ранее поддержку других фондов и организаций Республики Беларусь, к участию в конкурсе «БРФФИ–ВАНТ-2014» не допускаются.

10. Заявка на конкурс вносится по установленным формам в четырех отдельно скрепленных экземплярах (на русском или белорусском языке – 3 экз., на английском языке – 1 экз.). В обязательном порядке представляется также электронный вариант заявочных материалов, сформированных в соответствии с инструкцией по составлению электронного варианта заявки.

Заявитель несет ответственность, вплоть до снятия проекта с конкурса, за соответствие электронного варианта заявки заявке на бумажном носителе.

Материалы заявки должны включать:

- титульный лист заявки (форма П1В);
- аннотацию (форма П2В);
- обоснование проекта (форма П3В), в котором обязательно приводится аргументация целесообразности проведения совместных исследований с указанием возможностей, которые могут быть предоставлены вьетнамским партнером белорусской стороне (использование оборудования, реактивов, материалов, научной литературы, освоение методик и др.), а белорусским партнером – вьетнамской стороне, также приводится план работы партнера;
- научную биографию руководителя проекта с белорусской стороны (форма П4В);
- калькуляцию сметной стоимости проекта с белорусской стороны (форма П5В) с расшифровкой статей затрат. Количество штатных единиц не должно превышать пяти. Зарубежные командировки (кроме СНГ) планируются только в организацию, где работает зарубежный партнер, при этом в обязательном порядке должна быть запланирована поездка молодого ученого. Затраты по статье «Научно-производственные командировки» не должны превышать 20 % от плановой стоимости проекта. Приобретение оборудования не финансируется. Если в процессе выполнения проекта возникнет острая необходимость в приобретении научного оборудования, решение по данному вопросу принимается бюро Научного совета Фонда по ходатайству организации-исполнителя с подробным обоснованием такой необходимости. При этом расходы на эти цели не должны превышать 10 % от плановой стоимости проекта. При наличии организаций-соисполнителей с белорусской стороны представляется также лист согласования расходов, ограничение на количество штатных единиц в этом случае сохраняется;

– перечень научных трудов руководителя проекта с белорусской стороны по научному направлению проекта и/или в смежных областях (до 10 наименований), опубликованных в течение последних трех лет на дату подачи заявки (форма П6В). Руководители проектов должны указать суммарный индекс цитирования всех своих научных статей и индекс Хирша отдельно по каждой из нижеприведенных баз данных по форме П7В, а также привести перечень научных статей (не более 10 по выбору автора), имеющих наибольший индекс цитирования, по форме П8В. Для получения информации о научном рейтинге необходимо использовать следующие базы данных:

1. Scopus (изд-во Elsevier),
2. Web of Science на платформе ISI Web of Knowledge,
3. Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Доступ к первым двум базам данных предоставляется Центральной научной библиотекой им. Я. Коласа НАН Беларуси – единственным обладателем права доступа к этим ресурсам в Республике Беларусь (г. Минск, ул. Сурганова, 15, Центр Интернет-доступа), тел. для справок: +375172841002, +375172841490, e-mail: ok@kolas.basnet.by (Сикорская О. Н.); +375292841463, e-mail: gkhrenova@kolas.basnet.by (Хренова Г. С.).

Доступ к РИНЦ предоставляется Научной электронной библиотекой <http://elibrary.ru> в системе Science Index (http://elibrary.ru/projects/science_index/author_tutorial.asp). Более подробную информацию о РИНЦ и Science Index см. в статье Н. Березкиной и О. Сикорской (файл РИНЦ.pdf в пакете форм заявочных материалов).

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

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

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

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

Сроки и условия участия в конкурсе

11. Заявки на конкурс в БРФФИ представляются в объявленный срок. Для иногородних дата определяется по штемпелю на почтовом отправлении.

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

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

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

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

Представленные на конкурс материалы не возвращаются.

13. Материалы белорусских ученых на конкурс направляются в исполнительную дирекцию Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований по адресу: 220072, г. Минск, пр. Независимости, 66, к. 101, телефоны для справок: 294-92-16 (физика, математика и информатика), 284-27-22 (технические науки), 294-93-36 (химия и науки о Земле, медико-фармацевтические науки), 294-92-17 (отдел зарубежных связей и информационного обеспечения, аграрно-биологические науки), 294-93-35 (бухгалтерия); факс 284-08-97.

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

УТВЕРЖДЕНО
Протокол заседания
бюро Научного совета БРФФИ
от 26 декабря 2012 г. № 8

УСЛОВИЯ
конкурса совместных научных проектов Белорусского
республиканского фонда фундаментальных исследований
и Национального центра научных исследований Франции
«БРФФИ–НЦНИ(PICS)-2014»

Общие положения

1. Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (БРФФИ) и Национальный центр научных исследований Франции (НЦНИ) объявляют конкурс совместных научных проектов в рамках Международных программ научного сотрудничества (PICS) и в соответствии с заключенным между ними Соглашением о научном сотрудничестве. Целью конкурса является финансовая поддержка творческих научных коллективов, занимающихся решением актуальных проблем, представляющих наибольший интерес для сторон и соответствующих приоритетным направлениям фундаментальных научных исследований, в частности, для белорусской стороны – перечню, утвержденному постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 № 585.

2. Конкурс проводится в следующих областях фундаментальных исследований:

- физика, математика и информатика,
- технические науки,
- химия и науки о Земле,
- биологические и аграрные науки,
- медико-фармацевтические науки,
- гуманитарные науки.

3. В конкурсе могут участвовать французские исследователи, работающие в лабораториях НЦНИ, и белорусские исследователи, работающие в организациях, осуществляющих фундаментальные научные исследования. Оба коллектива должны иметь опыт сотрудничества и совместно опубликованные научные статьи.

4. Заявки на конкурс подаются одновременно: белорусскими учеными – в БРФФИ, французскими – в НЦНИ в соответствии с установленными в них формами. Заявки в БРФФИ представляются на русском (белорусском) и английском языках. Состав участников, наименование проекта, ключевые слова, основные

формулировки в обоих вариантах должны быть идентичными, а программа исследований – взаимно согласованной по срокам и содержанию. В программе исследований должно быть четко отражено, какие задачи выполняет белорусская сторона, какие – французская, а какие – выполняются совместно.

Одно и то же лицо с белорусской стороны может одновременно входить в состав исполнителей не более трех исследовательских проектов по Фонду, включая как выполняемые проекты, так и заявляемые на конкурсы БРФФИ. Не учитываются проекты, которые заканчиваются в 1 квартале 2014 г., а также проекты и заявки по конкурсам ГКНТ РБ («ГКНТ–Польша» и др.) и НАН Беларуси («НАНБ (БРФФИ)–СО РАН» и др.).

При этом ученый может быть руководителем не более двух проектов, а в рамках одного вида конкурсов («Наука», «Наука М», «Наука МС», «БРФФИ–ГФФИУ», «БРФФИ–Брест», «БРФФИ–ОИЯИ» и др.) участвовать (в качестве как руководителя, так и исполнителя) не более чем в одном проекте.

Заявки с нарушением любого из вышеперечисленных ограничений будут сняты с конкурса на стадии предварительной экспертизы экспертными советами.

Экспертизу проектов с белорусской стороны выполняет БРФФИ, с французской стороны – ИЦНИ. Совместная комиссия дает окончательную оценку и проводит отбор совместных проектов, исходя из их научной ценности и устанавливаемого ежегодного бюджета финансирования.

5. По результатам конкурса осуществляется целевое финансирование проектов фундаментальных исследований. Каждая страна финансирует свою часть проекта. Финансирование работ белорусских ученых осуществляется на основе договоров между Фондом и организациями – исполнителями проектов за счет средств республиканского бюджета. Организации-исполнители белорусской и французской сторон после успешного прохождения конкурса при необходимости заключают между собой Соглашение о защите и использовании прав интеллектуальной собственности (типовое соглашение находится в формах заявочных материалов). Данное соглашение оформляется только после получения гранта и к заявке не прилагается.

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

6. Необходимым условием предоставления грантов является обязательство ученых сделать результаты совместных исследований общественным достоянием с опубликованием их в научных изданиях с указанием о поддержке Фонда и ИЦНИ. В годовом и итоговом отчетах по проекту должны быть кратко отражены в отдельном разделе (главе, параграфе и т. п.) результаты, полученные учеными французской стороны и (или) совместно.

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

Требования к проектам, представляемым на конкурс

8. На конкурс принимаются проекты, представляющие взаимный интерес и соответствующие приоритетным направлениям фундаментальных научных исследований, способные внести существенный вклад в расширение и углубление научных знаний, отличающиеся новизной в постановке и методах проведения исследований и имеющие большую научную и практическую значимость.

При рассмотрении проектов оцениваются:

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

– актуальность тематики;

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

– научная значимость запланированных результатов и возможность их практической реализации в будущем:

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

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

в издании учебников и других учебных материалов в системе образования;

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

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

в использовании результатов НИР в документах государственных органов Республики Беларусь;

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

– научная квалификация руководителя проекта и всего научного коллектива;

– наличие необходимой материально-технической базы;

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

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

Руководитель проекта должен иметь не менее трех статей в авторитетных научных журналах и/или патентов на изобретения или монографию по научному

направлению проекта или в смежных областях, опубликованных в течение последних трех лет на дату подачи заявки на конкурс, а исполнители проекта (в том числе и руководитель) – не менее одной научной статьи, опубликованной в рецензируемом научном журнале совместно с французскими исследователями, участвующими в выполнении предлагаемого проекта.

10. Срок выполнения проекта, как правило, не должен превышать трех лет с однократной возможностью последующего конкурсного продления.

Дублирование плановой тематики не допускается.

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

Проекты, участвовавшие в предыдущих конкурсах Фонда, а также получившие ранее поддержку других фондов и организаций Республики Беларусь, к участию в конкурсе «БРФФИ–НЦНИ (PICS)-2014» не допускаются.

11. Заявка на конкурс вносится по установленным формам в четырех отдельно скрепленных экземплярах (на русском или белорусском языке – 3 экз., на английском языке – 1 экз.). В обязательном порядке представляется также электронный вариант заявочных материалов, сформированных в соответствии с инструкцией по составлению электронного варианта заявки. Заявитель несет ответственность, вплоть до снятия проекта с конкурса, за соответствие электронного варианта заявки заявке на бумажном носителе.

Материалы заявки должны включать:

- титульный лист заявки (форма П1pics);
- аннотацию (форма П2pics);

– обоснование проекта (форма П3pics), в котором обязательно дается обоснование целесообразности проведения совместных исследований с указанием возможностей, которые могут быть предоставлены французским партнером белорусской стороне (использование оборудования, реактивов, материалов, научной литературы, освоение методик и др.), а белорусским партнером – французской стороне; также приводится план работы партнера;

– научную биографию руководителя проекта с белорусской стороны (форма П4pics);

– калькуляцию сметной стоимости проекта с белорусской стороны (форма П5pics) с расшифровкой статей затрат. Количество штатных единиц не должно превышать пяти. Затраты по статье «Научно-производственные командировки» не должны превышать 20 % от плановой себестоимости проекта. Зарубежные командировки (кроме СНГ) планируются только в организацию, где работает зарубежный партнер. Приобретение оборудования не финансируется. Если в процессе выполнения проекта возникнет острая необходимость в приобретении научного оборудования, решение по данному вопросу принимается бюро Научного

совета Фонда по ходатайству организации-исполнителя с подробным обоснованием такой необходимости. При этом расходы на эти цели не должны превышать 10 % от плановой себестоимости проекта. При наличии организаций-соисполнителей с белорусской стороны представляется также лист согласования расходов, ограничение на количество штатных единиц в этом случае сохраняется.

– перечень научных трудов руководителя проекта с белорусской стороны по научному направлению проекта или в смежных областях (до 10 наименований), опубликованных в течение последних трех лет на дату подачи заявки (форма П6pics) – в русской версии. Руководители проектов должны указать суммарный индекс цитирования всех своих научных статей и индекс Хирша отдельно по каждой из нижеприведенных баз данных по форме П7pics, а также привести перечень научных статей (не более 10 по выбору автора), имеющих наибольший индекс цитирования, по форме П8pics. Для получения информации о научном рейтинге необходимо использовать следующие базы данных:

1. Scopus (изд-во Elsevier),
2. Web of Science на платформе ISI Web of Knowledge,
3. Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Доступ к первым двум базам данных предоставляется Центральной научной библиотекой им. Я. Коласа НАН Беларуси – единственным обладателем права доступа к этим ресурсам в Республике Беларусь (г. Минск, ул. Сурганова, 15, Центр Интернет-доступа), тел. для справок: +375172841002, +375172841490, e-mail: ok@kolas.basnet.by (Сикорская О. Н.); +375292841463, e-mail: gkhrenova@kolas.basnet.by (Хренова Г. С.).

Доступ к РИНЦ предоставляется Научной электронной библиотекой <http://elibrary.ru> в системе Science Index (http://elibrary.ru/projects/science_index/author_tutorial.asp). Более подробную информацию о РИНЦ и Science Index см. в статье Н. Березкиной и О. Сикорской (файл РИНЦ.pdf в пакете форм заявочных материалов).

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

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

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

К материалам заявки прилагаются в двух экземплярах копии опубликованных научных трудов по тематике проекта (до 5 наименований), которые скрепляются со 2-м и 3-м экземплярами заявки. Обязательно представляются также копии статей, опубликованных совместно с французскими участниками проекта. Если совместных научных трудов много, представляются копии основных из них и дополнительно прилагается список всех совместных публикаций.

Сроки и условия участия в конкурсе

12. Заявки на конкурс в БРФФИ принимаются в объявленный срок (представление заявок в НЦНИ для предварительного отбора французской стороной – по 31 марта 2013 года). Для иногородних дата определяется по штемпелю на почтовом отправлении. Информацию о НЦНИ можно найти на сайте <http://www.cnrs.fr>.

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

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

13. Фонд сообщает только окончательные результаты конкурса, информируя руководителей проектов и публикуя списки поддержанных проектов в журнале «Вестник Фонда фундаментальных исследований» и на сайте Фонда.

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

Представленные на конкурс материалы не возвращаются.

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

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

УТВЕРЖДЕНО
Протокол заседания
бюро Научного совета БРФФИ
от 26 декабря 2012 г. № 8

УСЛОВИЯ
конкурса Белорусского республиканского фонда
фундаментальных исследований и Национального центра
научных исследований Франции на проведение
белорусско-французских семинаров в 2013–2014 гг.

1. Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (БРФФИ) в рамках Соглашения с Национальным центром научных исследований (НЦНИ) Франции объявляет конкурс на организацию в 2013–2014 гг. двусторонних научных семинаров, проводимых во Франции и Беларуси, по приоритетным и представляющим взаимный интерес научным направлениям обеих стран. Целью конкурса является укрепление и развитие связей между белорусскими и французскими учеными.

2. Период проведения семинаров – июнь 2013 г. – июнь 2014 г.

3. В конкурсе могут участвовать организации НЦНИ и белорусские организации, осуществляющие фундаментальные научные исследования. Общее количество участников семинара не должно превышать 20 человек, при этом до 10 человек – от направляющей стороны и до 10 человек – от принимающей стороны. Обязательным является принадлежность участников семинара от каждой стороны к различным научным организациям (по крайней мере, к двум). Общая продолжительность семинара – не более трех дней.

4. Согласованные заявки по установленным формам на участие в конкурсе представляются белорусским соруководителем семинара – в БРФФИ, французским соруководителем – в НЦНИ до 15 апреля 2013 г.

5. Допущенные к конкурсу заявки проходят параллельно независимую экспертизу: заявки французских ученых – в НЦНИ, заявки белорусских ученых – в БРФФИ. Рассмотрение заявок осуществляется каждой из сторон самостоятельно в соответствии с собственными правилами. Информация о прохождении экспертизы строго конфиденциальна. Окончательное решение о поддержке семинаров принимается сторонами совместно.

6. Финансирование семинара осуществляется по принципу: принимающая сторона оплачивает все расходы, связанные с проведением семинара, направляющая сторона оплачивает транспортные расходы до места проведения семинара и обратно.

Для получения финансирования БРФФИ белорусский соруководитель семинара, поддержанного по итогам конкурса, обязан:

– если семинар проводится в Беларуси, подать в БРФФИ заявку, оформленную в соответствии с условиями конкурса БРФФИ на соискание грантов финансовой поддержки республиканских и международных научных мероприятий на 2013–2014 гг.;

– если семинар проводится во Франции, организовать подачу индивидуальных заявок от белорусских участников семинара, оформленных в соответствии с условиями конкурса БРФФИ на соискание грантов финансовой поддержки участия ученых в зарубежных научных мероприятиях на 2013–2014 гг.

7. Заявка вносится по установленным формам в двух экземплярах на русском и одном экземпляре на английском языках. Представляется также электронный вариант заявочных материалов.

Материалы заявки включают:

- форму 1 (титульный лист и калькуляцию сметной стоимости);
- форму 2 (обоснование проведения семинара).

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

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ

ПРОТОКОЛ договоренности о проведении третьего совместного трехстороннего межрегионального конкурса в приграничных областях Беларуси, России и Украины

Представители Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в лице председателя Научного совета БРФФИ В. А. Орловича, Российского фонда фундаментальных исследований в лице председателя совета РФФИ В. Я. Панченко и Государственного фонда фундаментальных исследований Украины в лице директора ГФФИУ Б. Р. Кияка, договорились о нижеследующем:

1. Объявить третий совместный трехсторонний конкурс в приграничных областях на проведение фундаментальных исследований по актуальным межрегиональным научным проблемам природопользования и экологии.

2. Установить следующие сроки проведения совместного конкурса:

- прием заявок на участие в конкурсе – по 30 ноября 2012 г.;
- экспертиза и утверждение проектов – по 31 марта 2013 г.;
- начало финансирования и выполнения проектов – 2-й квартал 2013 г.;
- окончание выполнения проектов – 1-й квартал 2015 г.

3. Заявки на совместный конкурс должны подаваться в фонды трех стран в соответствии с установленными в них формами, при этом белорусскими учеными в БРФФИ, российскими – в РФФИ, украинскими – в ГФФИУ.

Согласование и утверждение проектов исследований в рамках указанного конкурса осуществляется после приема совместных заявок и проведения независимых экспертиз каждой из Сторон.

5. В конкурсе обеспечивается приоритетное участие научных коллективов Брянской, Гомельской и Черниговской областей.

Каждая Сторона оплачивает расходы своих исследователей в соответствии с утвержденными сметами и калькуляциями расходов.

Протокол подписан в трех экземплярах на русском языке.

От Белорусского
республиканского фонда
фундаментальных
исследований

В. А. Орлович

От Российского фонда
фундаментальных
исследований

В. Я. Панченко

От Государственного
фонда фундаментальных
исследований Украины

Б. Р. Кияк

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ФОНДА

ДОГОВОР

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

Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (далее – БРФФИ) в лице председателя Научного совета академика В. А. Орловича, действующего на основании Устава БРФФИ, с одной стороны, и Брестский областной исполнительный комитет (далее – облисполком) в лице председателя К. А. Сумара, действующего на основании Закона Республики Беларусь «О местном управлении и самоуправлении в Республике Беларусь», с другой стороны, именуемые в дальнейшем Стороны, принимая во внимание

необходимость научного и научно-технического обеспечения социально-экономического развития Брестской области,

необходимость инновационного развития промышленного, аграрного, строительного, жилищно-коммунального комплексов и смежных производств,

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

заключили настоящий договор о нижеследующем.

1. Стороны в соответствии с законодательством Республики Беларусь и в пределах компетенции будут сотрудничать в проведении совместного тематического конкурса фундаментальных и прикладных научных исследований по проблемам Брестской области (далее – Конкурс).

2. Конкурс проводится в соответствии с приоритетными направлениями фундаментальных и прикладных научных исследований в соответствии с Перечнем приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 годы, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19 апреля 2010 г. № 585.

Тематические направления Конкурса определяются облисполкомом с учетом предложений областных организаций.

Тематические направления Конкурса согласовываются сторонами в письменной форме и не должны превышать двух направлений исследований.

3. Реализация положений, предусмотренных пунктом 1 настоящего договора, осуществляется головной организацией-исполнителем по проведению Конкурса, которой может быть научное учреждение, учреждение образования либо иная организация, компетентная в решении научно-технических проблем, на которые направлена тематика Конкурса.

Головная организация-исполнитель, на которую возлагается организация проведения Конкурса, определяется облисполкомом с её предварительного согласия по согласованию с БРФФИ.

4. Стороны настоящего договора принимают на себя обязательства при планировании соответствующих бюджетов на очередной финансовый год предусматривать финансирование расходов на проведение научных исследований в рамках Конкурса. Финансирование проектов осуществляется на паритетных условиях.

5. Конкурс проводится в соответствии с условиями Конкурса, согласованными сторонами. Каждый проект должен содержать фундаментальную часть, которая финансируется за счет средств БРФФИ, и прикладную часть, которая финансируется за счет средств областного бюджета.

6. Финансирование проектов осуществляется Сторонами в установленном законодательством порядке.

7. Настоящий Договор заключен на русском языке в двух экземплярах, имеющих равную юридическую силу.

8. По взаимному согласию Сторон в настоящий договор могут быть внесены изменения и дополнения.

Спорные вопросы, которые могут возникнуть в связи с толкованием или применением настоящего договора, стороны будут решать путем консультаций и переговоров.

Настоящий договор вступает в силу со дня его подписания и прекращает свое действие через 90 дней после получения одной из Сторон письменного уведомления другой стороны о намерении прекратить его действие.

От Белорусского республиканского фонда
фундаментальных исследований

Председатель Научного совета

В. А. Орлович

11 февраля 2013 г.

От Брестского областного
исполнительного комитета

Председатель облисполкома

К. А. Сумар

4 февраля 2013 г.

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

УДК 634.737:581.19:522.4 (476)

Ж. А. РУПАСОВА, И. К. ВОЛОДЬКО,
Т. И. ВАСИЛЕВСКАЯ, Л. В. ГОНЧАРОВА

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ БИОФЛАВОНОИДОВ В АССИМИЛИРУЮЩИХ ОРГАНАХ ВЕЧНОЗЕЛЕННЫХ И ЛИСТОПАДНЫХ ВИДОВ *RHODODENDRON L.* В ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В БЕЛАРУСИ

Центральный ботанический сад НАН Беларуси

(Поступила в редакцию 18.10.2012)

Приведены результаты сравнительного исследования количественных характеристик Р-витаминного комплекса новообразованных листьев полувечнозеленого вида – *Rh. dauricum*, принятого в качестве эталона сравнения, 4 таксонов листопадных видов – *Rh. japonicum* и трех форм *Rh. luteum*, а также 4 вечнозеленых видов – *Rh. catawbiense*, *Rh. brachycarpum*, *Rh. smirnowii* и *Rh. fortunei* в контрастные по гидротермическому режиму сезоны 2011 и 2012 гг. Установлено, что пониженный температурный фон при обилии осадков в период формирования листьев способствовал увеличению на 8–42 % содержания в них биофлавоноидов, особенно у листопадных видов, что было обусловлено преимущественной активизацией биосинтеза катехинов и в меньшей степени лейкоантоцианов, осуществляющих защитную функцию при воздействии стрессовых факторов. Независимо от характера погодных условий наблюдалось сохранение профилирующих тенденций в направленности, а в большинстве случаев и в степени различий тестируемых таксонов рододендрона с эталонным видом в содержании в ассимилирующих органах основных фракций биофлавоноидов.

Введение. Нашими исследованиями биохимического состава ассимилирующих органов интродуцированных в Беларусь представителей рода *Rhododendron L.* была показана чрезвычайно выраженная способность последних к накоплению в этих частях растений биофлавоноидов, что позволяет рассматривать их в качестве перспективных сырьевых источников Р-витаминов [1].

Особый научный интерес при этом имеет установление степени зависимости содержания в них данных биоактивных соединений от гидротермического режима сезона, поскольку крайне неустойчивый характер погодных условий в период вегетации растений, свойственный белорусскому региону, может заметно повлиять на темпы их накопления и тем самым оказать корректирующее действие на Р-витаминную ценность лекарственного сырья.

Цель работы – установление степени комплексного влияния метеорологических факторов на содержание отдельных фракций биофлавоноидов в новообразованных листьях вечнозеленых и листопадных видов рододендронов из коллекции Центрального ботанического сада НАН Беларуси.

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

При исследовании биохимического состава листьев рододендрона в высушенных при температуре 65 °С усредненных пробах анализируемого материала определяли содержание суммы антоциановых пигментов – по методу T. Swain, W. E. Hillis [2], с построением градуировочной кривой по кристаллическому цианидину, полученному из плодов аронии черноплодной и очищенному по методике Ю. Г. Скориковой и Э. А. Шафтан [3], собственно антоцианов – по методу Л. О. Шнаймана и В. С. Афанасьевой [4]; суммы флавонолов – фотоэлектроколориметрическим методом [5]; суммы катехинов – фотометрическим методом с использованием ванилинового реактива [6]. Все аналитические определения выполнены в 3-кратной биологической повторности. Данные статистически обработаны с использованием программы Excel.

Результаты и их обсуждение. Сравнительное исследование биофлавоноидного комплекса молодых листьев обозначенных выше таксонов рододендрона осуществлялось по завершении их формирования в 3-й декаде мая – 1-й декаде июня в контрастные по гидротермическому режиму сезоны 2011 и 2012 гг. Средняя температура воздуха в мае в оба сезона несколько превышала многолетнюю климатическую норму, на фоне чрезвычайно обильного выпадения осадков (132 % от нормы) в 2011 г. и их существенного дефицита (72 % от нормы) в 2012 г. Температурный фон июня во втором сезоне в период формирования листьев оказался почти на 8 °С ниже, чем годом ранее. При этом если в первом сезоне количество атмосферных осадков в это время на 15 % уступало средней многолетней норме, то во втором, напротив, в 1,6 раза превышало ее. Таким образом, погодные условия периода формирования листьев в 2012 г. при дефиците влаги в мае

и ее избытке в июне (на фоне недостатка тепла), на наш взгляд, оказались менее благоприятными для осуществления жизненных функций растений, что неизбежно должно было сказаться и на биохимическом составе их ассимилирующих органов.

По нашим оценкам, в оба сезона содержание основных фракций биофлавоноидов в сухой массе новообразованных листьев при доминирующем положении в их составе катехинов варьировалось в пределах таксономических рядов вечнозеленых и листопадных рододендронов в весьма широких диапазонах значений (табл. 1). При этом в условиях сезона 2012 г. в первом случае приведенные диапазоны охватывали области более низких, чем годом ранее, значений, тогда как во втором, напротив, более высоких. В пределах же общего таксономического ряда рододендронов наблюдалось существенное усиление в составе Р-витаминного комплекса новообразованных листьев относительной доли катехинов до 42–63 против 33–58 % в предыдущем сезоне и соответствующее ослабление таковой флавонолов до 10–27 против 13–38 % при отсутствии выраженных изменений в долевом участии антоциановых пигментов, представленных почти исключительно лейкоформами.

Наиболее отчетливое представление об ответной реакции рододендронов на неблагоприятный характер погодных условий в период формирования ассимилирующих органов во второй год наблюдений можно составить по данным табл. 2. Нетрудно убедиться, что у вечнозеленых видов она оказалась менее выразитель-

Таблица 1. Диапазоны варьирования в таксономических рядах вечнозеленых и листопадных интродуцированных видов *Rhododendron L.* усредненных количественных характеристик биофлавоноидного комплекса ассимилирующих органов в годы наблюдений

Показатель	Вечнозеленые виды	Листопадные виды
2011 г.		
Собств. антоцианы, мг%	0	0–693,3
Лейкоантоцианы, мг%	3887,0–10777,0	5893,3–8874,7
Сумма антоциан. пигм., мг%	3887,0–10777,0	5893,3–9568,0
Катехины, мг%	5824,0–27248,0	6344,0–9689,3
Флавонолы, мг%	3275,0–5895,0	6899,3–7729,0
Флавонолы/Катехины	0,2–1,0	0,8–1,1
Сумма биофлавоноидов, мг%	15606,0–40209,8	19136,7–26899,0
2012 г.		
Собств. антоцианы, мг%	0	0–66,7
Лейкоантоцианы, мг%	2981,3–7904,0	8042,7–11578,7
Сумма антоциан. пигм., мг%	2981,3–7904,0	8042,7–11578,7
Катехины, мг%	9221,3–19517,3	11682,7–18304,0
Флавонолы, мг%	1834,0–5205,1	6934,3–8506,3
Флавонолы/Катехины	0,2–0,4	0,5–0,6
Сумма биофлавоноидов, мг%	16930,0–31274,4	27113,7–38042,3

ной, нежели у листопадных, и не всегда совпадающей по знаку. Так, если в первом случае имело место преимущественное снижение в молодых листьях, по сравнению с предыдущим сезоном, содержания лейкоантоцианов на 7–27 %, то во втором, напротив, его увеличение на 26–49 %, сочетавшееся с активизацией накопления катехинов на 58–89 %. При этом у вечнозеленых рододендронов усиление биосинтеза последних было менее значительным (не более чем на 28 %) и отмечено лишь у *Rh. catawbiense* и *Rh. fortunei*, тогда как у *Rh. smirnowii* и *Rh. brachycarpum*, напротив, наблюдалось сходное по величине обеднение листовой ткани данными соединениями, причем у полувечнозеленого вида *Rh. dauricum* имело место столь же выразительное, как и у листопадных видов, усиление накопления в ней катехинов. Вместе с тем неблагоприятный характер погодных условий периода формирования молодых листьев во втором сезоне способствовал их преимущественному обеднению флавонолами на 12–44 % у вечнозеленых видов при отсутствии существенных изменений в содержании данных соединений у листопадных видов. Преобладание у последних позитивных тенденций в изменении темпов биосинтеза доминирующих фракций биофлавоноидов в новообразованных листьях обусловило весьма значительное (на 33–42 %) увеличение в них общего количества Р-витаминов, по сравнению с предыдущим сезоном, тогда как преобладание отрицательных тенденций в данном процессе у вечнозеленых видов обеспечило либо незначительное увеличение выхода биофлавоноидов, либо заметное (до 28 %) его снижение. Это позволяет заключить, что пониженные температуры воздуха в сочетании с обилием атмосферных осадков в период формирования молодых листьев рододендронов способствовали повышению их Р-витаминной ценности, как сырьевых объектов, главным образом, у листопадных видов.

Таблица 2. Межсезонные (2012/2011 гг.) различия в содержании биофлавоноидов в молодых листьях интродуцированных видов *Rhododendron L.* в фазу вегетации, %

Таксон	Собственно антоцианы	Лейкоантоцианы	Катехины	Флавонолы	Сумма биофлавоноидов
Вечнозеленые виды					
<i>Rh. dauricum</i>	–	–23,3	+72,0	–33,3	+8,5
<i>Rh. catawbiense</i>	–	–6,9	+27,8	–14,5	+7,5
<i>Rh. smirnowii</i>	–	–26,7	–24,4	–44,0	–27,8
<i>Rh. brachycarpum</i>	–	–23,9	–28,4	+19,5	–22,2
<i>Rh. fortunei</i>	–	+20,2	+25,5	–11,7	+17,2
Листопадные виды					
<i>Rh. japonicum</i>	–	+36,5	+84,2	+7,1	+41,7
<i>Rh. luteum</i> , Минск	–69,7	+48,4	+67,0	–7,1	+33,2
<i>Rh. luteum</i> , Ветчин.	–91,5	+25,9	+88,9	+ 11,3	+41,4
<i>Rh. luteum</i> , Марковск	–100,0	+48,6	+58,1	–	+36,4

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

Показанные выше неравнозначные тенденции в изменении темпов биосинтеза биофлавоноидов в молодых листьях вечнозеленых и листопадных видов рододендронов под влиянием абиотических факторов обусловили усиление различий между ними в содержании отдельных фракций данных соединений. Так, если годом ранее они характеризовались достаточно близкими параметрами накопления антоциановых пигментов, то во втором сезоне у листопадных видов они оказались в среднем в 1,6 раза выше, чем у вечнозеленых. Наряду с этим полностью сnivelировались различия между сравниваемыми группами рододендронов в содержании в новообразованных листьях катехинов, но сохранилось установленное годом ранее превышение листопадных видов над вечнозелеными в содержании в них флавонолов. При этом во втором сезоне лидирующее положение в таксономическом ряду в накоплении антоциановых пигментов перешло от *Rh. smirnowii*

Таблица 3. Степень различий с эталонным видом *Rh. dauricum* в содержании биофлавоноидов в сухой массе молодых листьев интродуцированных видов *Rhododendron L.* в фазу вегетации, %

Таксон	Собств. антоцианы	Лейко-антоцианы	Сумма антоциановых пигментов	Катехины	Флавонолы	Сумма биофлавоноидов
2011 г.						
Вечнозеленые виды						
<i>Rh. catawbiense</i>	–	+90,6	+90,6	+71,0	–27,2	+38,8
<i>Rh. smirnowii</i>	–	+177,3	+177,3	+109,4	–44,4	+68,2
<i>Rh. brachycarpum</i>	–	+121,4	+121,4	+367,9	–26,1	+157,7
<i>Rh. fortunei</i>	–	+45,5	+45,5	+151,3	–19,4	+60,5
Листопадные виды						
<i>Rh. japonicum</i>	–	+51,6	+51,6	+8,9	+17,0	+22,6
<i>Rh. luteum</i> , Минск	+5,7	+59,3	+65,0	+22,6	+31,1	+36,4
<i>Rh. luteum</i> , Ветчин.	+17,9	+128,3	+146,2	+66,4	+29,6	+72,4
<i>Rh. luteum</i> , Марковск.	+4,0	+100,5	+102,9	+44,9	+19,3	+49,7
2012 г.						
Вечнозеленые виды						
<i>Rh. catawbiense</i>	–	+131,4	+131,4	+27,0	–6,7	+37,6
<i>Rh. smirnowii</i>	–	+165,1	+165,1	–8,0	–53,3	+12,0
<i>Rh. brachycarpum</i>	–	+119,8	+119,8	+94,8	+32,4	+84,7
<i>Rh. fortunei</i>	–	+127,9	+127,9	+83,4	+6,7	+73,4
Листопадные виды						
<i>Rh. japonicum</i>	–	+169,8	+169,8	+16,6	+88,0	+60,2
<i>Rh. luteum</i> , Минск	+100,0	+208,2	+210,5	+19,0	+82,7	+67,5
<i>Rh. luteum</i> , Ветчин.	+100,0	+274,8	+276,7	+82,7	+116,4	+124,7
<i>Rh. luteum</i> , Марковск.	–	+288,4	+288,4	+33,2	+76,4	+88,2

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

к *Rh. luteum*, Ветчиновская форма которого сохранила приоритет в накоплении флавонолов, тогда как *Rh. brachycarpum* – в накоплении катехинов.

Сопоставление содержания Р-витаминов в новообразованных листьях тестируемых таксонов рододендрона и полувечнозеленого вида *Rh. dauricum*, принятого за эталон сравнения, показало, что в оба сезона оно оказалось выше, чем у него, как у вечнозеленых, так и у листопадных видов (табл. 3). При более благоприятных погодных условиях периода их формирования в первый год наблюдений относительные размеры данного превышения варьировались в таксономическом ряду от 23 % у *Rh. japonicum* до 158 % у *Rh. brachycarpum*. Заметим, что если у всех листопадных видов данный интегральный эффект был обусловлен более активным, чем у эталонного вида, биосинтезом в листьях всех фракций биофлавоноидов, то у вечнозеленых видов – только восстановленных соединений – лейкоантоцианов и катехинов. При этом относительные размеры превышения эталонных значений параметров их накопления в молодых листьях вечнозеленых видов оказались существенно выше, нежели у листопадных (соответственно 46–177 и 71–368 % против 52–128 и 9–66 %).

Вместе с тем, несмотря на выраженные межсезонные и генотипические различия в темпах биосинтеза биофлавоноидов в новообразованных листьях, во второй год наблюдений все же сохранились профилирующие тенденции в характере различий тестируемых таксонов рододендрона с эталонным видом в содержании их отдельных фракций, на фоне заметного увеличения степени проявления данных различий в накоплении антоциановых пигментов, флавонолов и биофлавоноидов в целом преимущественно у листопадных видов и, напротив, при выраженном ослаблении данных различий в содержании катехинов, главным образом, у вечнозеленых видов (см. табл. 3).

Заключение. В результате сравнительного исследования количественных характеристик Р-витаминного комплекса новообразованных листьев рододендронов, в том числе полувечнозеленого вида *Rh. dauricum*, принятого в качестве эталона сравнения, 4 таксонов листопадных видов – *Rh. japonicum* и трех форм *Rh. luteum*, а также 4 вечнозеленых видов – *Rh. catawbiense*, *Rh. brachycarpum*, *Rh. smirnowii* и *Rh. fortunei* в контрастные по гидротермическому режиму сезоны 2011 и 2012 гг. установлено, что пониженный температурный фон при обилии осадков в период их формирования способствовал увеличению на 8–42 % содержания в них биофлавоноидов, особенно у листопадных видов, что было обусловлено преимущественной активизацией биосинтеза катехинов и в меньшей степени лейкоантоцианов, осуществляющих защитную функцию при воздействии стрессовых факторов. При этом независимо от характера погодных условий наблюдалось сохранение профилирующих тенденций в направленности, а в большинстве случаев и в степени различий тестируемых таксонов рододендрона с эталонным видом в содержании в ассимилирующих органах основных фракций биофлавоноидов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Б08-057).

Литература

1. Рупасова Ж. А., Володько И. К., Волотович А. А. и др. // Весті НАН Беларусі: Сер. біял. навук. 2012. № 3. С. 5–10.
2. Swain T., Hillis W. // J. Sci. Food Agric. 1959. Vol. 10, N 1. P. 63–68.
3. Скорикова Ю. Г., Шафтан Э. А. Методика определения антоцианов в плодах и ягодах // Тр. 3 Всесоюз. семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод. Свердловск, 1968. С. 451–461.
4. Шнайдман Л. О., Афанасьева В. С. Методика определения антоциановых веществ // 9-й Менделеевский съезд по общ. и прикл. химии: реф. докл. и сообщ. М., 1965. № 8. С. 79–80.
5. Ермаков А. И. и др. Методы биохимического исследования растений. М., 1987. – 430 с.
6. Запрометов М. Н. Биохимия катехинов. М., 1964. – 325 с.

Zh. A. RUPASOVA, I. K. VOLODKO, T. I. VASILEUSKAYA, L. V. GONCHAROVA

IMPACT OF WEATHER GROWING SEASON IN CONTENTS BIOFLAVONOIDS IN ASSIMILATING ORGANS OF EVERGREEN AND DECIDUOUS RHODODENDRON L. SPECIES AT THE INTRODUCTION IN BELARUS

Summary

The results of a comparative study of the quantitative characteristics of the P-vitamin complex of newly formed leaves – *Rh. dauricum*, four taxa of deciduous species – *Rh. japonicum* and three forms of *Rh. luteum*, and four evergreen species – *Rh. catawbiense*, *Rh. brachycarpum*, *Rh. smirnowii* and *Rh. fortunei* in contrasting hydrothermal regime seasons of 2011 and 2012 are presented. Decreased temperature background with ample precipitation in the period of leaf formation rhododendrons contributed to the increase by 8–42 % content of bioflavonoid, especially deciduous species, caused by preferential activation of the biosynthesis of catechins and less leucanthocyanins performing a safety function when exposed to stressors. Whatever of the weather conditions, there was a saving of profiling trends in focus, and in most cases, differences in the degree of the tested taxa of *Rhododendron* species in the reference content in assimilating organs main bioflavonoids' fractions.

УДК 536.248

Д. А. ТАКОПУЛО, С. П. ФИСЕНКО

**БРОУНОВСКАЯ ДИФФУЗИЯ И ОСАЖДЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ
НА ПОДЛОЖКУ ИЗ ГАЗОВОГО ПОТОКА***Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси**(Поступила в редакцию 16.01.2013)*

Разработана математическая модель и представлены результаты качественного анализа осаждения наночастиц из неизотермического ламинарного газового потока на стенку цилиндрического реактора под действием броуновской диффузии. Характерной особенностью математической модели является описание течения газа в приближении сплошной среды, а описание взаимодействия наночастиц с газовым потоком проведено в свободномолекулярном приближении. Приведены результаты численных расчетов. Показано, что термофорез интенсифицирует процесс осаждения наночастиц на холодную подложку.

Введение. Осаждение наночастиц из газового потока на твердую подложку является широко распространенным элементом в различных технологических процессах. Например, при получении углеродных нановолокон плазменным CVD методом (PECVD) происходит осаждение наночастиц сажи из потока углеводородных газов на стальную каталитическую поверхность реактора [1]; также при получении нановолокон методом CVD осуществляют осаждение наночастиц катализатора из газофазного потока на диэлектрическую подложку [2]. При этом используются каталитические наночастицы с характерным размером порядка 10 нм. Очевидно, что количество нановолокон, появившихся на единице площади подложки, прямо пропорционально количеству осажденных наночастиц.

На финальной стадии процесса осаждения наночастиц на поверхность всегда важную роль играет броуновская диффузия наночастиц. Ярким примером броуновского осаждения также является зарастание наночастицами углерода внутренней поверхности выхлопной трубы дизельного двигателя. Отметим, что процесс броуновского осаждения не может быть формально описан в рамках механики сплошных сред [3], так как в уравнения должны быть включены дополнительные члены, отвечающие за флуктуационное по своей природе броуновское движение наночастиц. В нашей работе мы используем диффузионное приближение для описания вклада флуктуационных процессов.

Различные аспекты броуновской диффузии наночастиц в газовом потоке в цилиндрическом и плоском реакторе были исследованы в работах [4–6].

Отметим, что в связи с развитием нанотехнологии все большее внимание привлекают медицинские аспекты распространения и осаждения наночастиц в бронхах людей [7].

Цель работы – теоретически исследовать совместное влияние броуновской диффузии и термофореза на скорость осаждения наночастиц на стенку проточного цилиндрического реактора.

Математическая модель переноса наночастиц в неизотермическом потоке в трубе. Взаимодействие наночастиц с газовым потоком необходимо рассматривать в свободномолекулярном приближении, так как характерный размер наночастиц на порядок меньше средней длины свободного пробега молекулы газа при атмосферном давлении. Отметим, что в нашей работе течение газа в реакторе описывается в приближении сплошной среды [3], причем в процессе сближения со стенкой наночастица проходит через кнудсеновский слой газа. Используя соотношение Эйнштейна

$$D_B = kTb, \quad (1)$$

где b – подвижность наночастицы; T – температура газа; k – постоянная Больцмана, в свободномолекулярном приближении подвижность сферической наночастицы b определяется как

$$b = \frac{3}{16\pi R_B^2 P} \sqrt{\frac{2\pi kT}{m}},$$

где R_B – радиус броуновской частицы; m , P – соответственно масса молекулы и давление газа [4], можно рассчитать коэффициент броуновской диффузии наночастиц D_B .

На частицы, находящиеся в неизотермической газовой среде, действует сила термофореза. При этом в свободномолекулярном приближении выражение для установившейся скорости термофореза V_{tr} имеет вид [5]

$$V_{tr} = -\frac{3}{4} \frac{\eta k}{mP} \nabla T, \quad (2)$$

где η – коэффициент динамической вязкости газа.

Уравнение, описывающее перенос наночастиц в потоке, выражает собой закон сохранения для числовой плотности наночастиц с диффузионным стоком в правой части. В векторной записи для стационарного случая оно имеет вид

$$\operatorname{div}(n\mathbf{u}) + \operatorname{div}(nV_{tr}) = \operatorname{div}(D_B \operatorname{grad}(n)), \quad (3)$$

где $n(\mathbf{r})$ – объемная числовая плотность наночастиц; \mathbf{u} – скорость газа-носителя частиц, D_B – скалярный коэффициент броуновской диффузии сферических наночастиц.

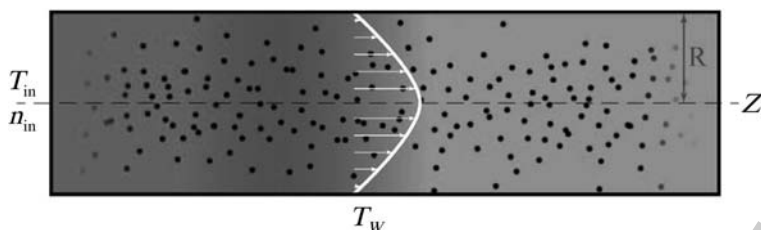


Рис. 1. Условия течения газа в реакторе

Рассмотрим неизотермическое броуновское осаждение наночастиц в цилиндрическом канале (рис. 1). При этом предполагается, что течение газа является ламинарным и распределение скорости по каналу представляется модифицированным профилем Пуазейля [8]. Ограничиваясь вкладом термофореза только в радиальное движение наночастиц, уравнение (3) в координатной записи имеет вид двумерного уравнения в частных производных диффузионного типа

$$\frac{\partial n u_z}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial r n V_{tr}}{\partial r} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r D_B \frac{\partial n}{\partial r}. \quad (4)$$

Для расчета градиентов температуры и средней температуры газа по сечению необходимо знать поле температуры газа в реакторе. Уравнение конвективной теплопроводности позволяет рассчитать поле температуры газа

$$\rho c_p u_z \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \lambda \frac{\partial T}{\partial r}, \quad (5)$$

где c_p , λ – соответственно теплоемкость при постоянном давлении и теплопроводность газа; $u_z(r, z)$ – продольная скорость газа в трубе. В этой работе мы пренебрегаем вкладом потока наночастиц в процессы теплообмена, что справедливо при относительно небольших концентрациях наночастиц.

Для распределения скорости используем модифицированный параболический профиль

$$u(r, z) = 2\bar{u}(z) \left(1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right), \quad (6)$$

где R – радиус реактора; $\bar{u}(z)$ – средняя скорость газа по сечению канала, при постоянном давлении зависящая от средней температуры газа по сечению реактора.

Начальными условиями для уравнений (4), (5) являются однородные распределения начальной температуры газа и числовой плотности наночастиц, т. е. при $z = 0$, имеем $T = T_{in}$, $n = n_{in}$.

Граничные условия для уравнений (4), (5) представляют собой при $r = 0$, выполняются условия симметрии задачи $\frac{\partial T}{\partial r} = 0$, $\frac{\partial n}{\partial r} = 0$, при $r = R$, $T = T_w$, $n = 0$.

Равенство нулю числовой плотности наночастиц на стенке реактора отражает физическое условие прилипания наночастиц на стенке.

Выражение для плотности потока наночастиц на стенке реактора j имеет вид

$$j = -D_B \frac{\partial n}{\partial r}. \quad (7)$$

Заметим, что если необходимо осадить наночастицы с поверхностной плотностью N частиц/м² в монослое, то время осаждения t до достижения этой величины определяется как

$$t = N / j. \quad (8)$$

Прежде чем переходить к обсуждению численных результатов моделирования, полезно сделать некоторые качественные оценки величин, характерных для рассматриваемого процесса.

Качественный анализ задачи. В [9] найдено выражение для характерной длины l_t изменения поля температуры ламинарного газового потока в цилиндрическом реакторе:

$$l_t = 0,26 \frac{uR^2 \rho c}{\lambda(T)}, \quad (9)$$

где ρ , c , λ , u – плотность, удельная теплоемкость, теплопроводность и средняя скорость газа. Параметр l_t позволяет оценить масштаб пространственной области температурных градиентов в реакторе.

Характерная длина l_B изотермического броуновского осаждения в реакторе рассчитывается по формуле [4]

$$l_B \approx \frac{4R^2 u}{\pi^2 D_B}. \quad (10)$$

Величина l_B является характерным масштабом изменения поля числовой плотности наночастиц, происходящего вследствие броуновской диффузии, и быстро уменьшается при уменьшении радиуса наночастицы. Например, при течении аргона в канале с радиусом 5 мм со скоростью 0,1 м/с при температуре 500 К величина $l_t = 3 \cdot 10^{-2}$ м, для наночастицы с $R_B = 10$ нм имеем $l_B = 65,5$ м. Оценим величину потока j , используя методы качественного анализа уравнений физической кинетики [6; 10]. В [4] для изотермического случая показано, что числовую плотность наночастиц внутри цилиндрического реактора можно представить как

$$n(r, z) \sim n_0 J_0(br / R) \exp[-z / l_B],$$

где J_0 – функция Бесселя нулевого порядка; $b \approx 2,48$ – наименьший положительный корень уравнения

$$J_0(b) = 0.$$

Тогда, используя (7), имеем

$$j \sim \frac{D_B n_0 b}{R} \exp[-z / l_B].$$

Как видно из полученной оценки, поток наночастиц на стенку зависит от радиуса реактора, квадрата радиуса наночастицы, температуры стенки и давления в реакторе. Отметим, что аналитические оценки для распределения наночастиц в реакторе с учетом влияния термофореза приведены в [6]. Перейдем к обсуждению численных результатов по моделированию процесса осаждения наночастиц.

Численные результаты. При моделировании использовались следующие достаточно типичные значения параметров реактора: радиус реактора $R = 5$ мм, начальная скорость газового потока $\bar{u}|_{z=0} = 0,1$ м/с, радиус броуновских частиц $R_B = 10$ нм, начальная объемная числовая плотность наночастиц в потоке $n_0 = 10^{13}$ частиц/м³. Начальная температура газа на входе в реактор $T_{in} = 500$ К, а температура стенки $T_w = 300$ К. В качестве газа-носителя рассматривается аргон.

На рис. 2 и 3 представлены результаты численного решения задачи (4)–(6). На рис. 2 представлены графики изменения температуры газа. Видно, разность температур газа и твердой стенки экспоненциально убывает по мере движения газа в реакторе. Из анализа графиков температуры следует, что область температурных градиентов лежит в диапазоне до $3l_t$, при этом наибольшие градиенты возникают вблизи стенки канала.

Распределение объемной числовой плотности наночастиц вдоль канала для ряда радиальных координат показано на рис. 3. Видно, что на начальном участке канала ($0-3l_t$) происходит рост числовой плотности наночастиц, что объясняется понижением средней температуры потока и соответственно, уменьшением средней скорости потока. В области $z > 3l_t$ температурные градиенты в газе незначительны, т. е. задача становится практически изотермической и на перераспределение наночастиц в газовом потоке оказывает влияние только броуновская диффузия. При этом, как видно, на длинах до $10l_t$ за счет осаждения броуновская диффузия приводит к снижению числовой плотности частиц лишь в пристеночной области канала (рис. 3, кривые 3 и 4).

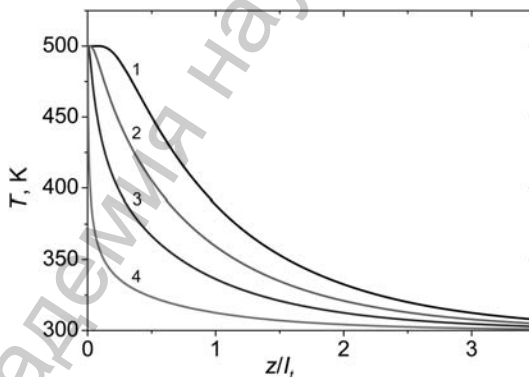


Рис. 2. Продольное распределение температуры газа в канале: 1 – $r/R = 0$; 2 – $r/R = 0,5$; 3 – $r/R = 0,7$; 4 – $r/R = 0,9$

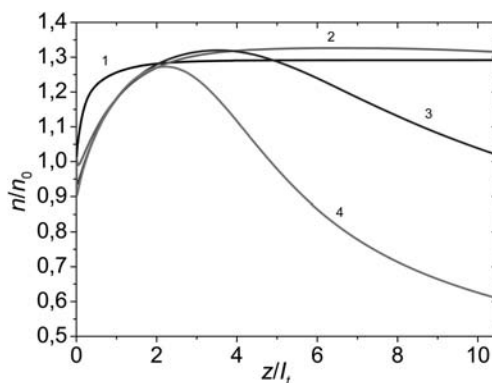


Рис. 3. Распределение числовой плотности наночастиц в продольном направлении реактора: 1 – $r = 0$; 2 – $r = 0,8R$; 3 – $r = 0,9R$; 4 – $r = 0,95R$

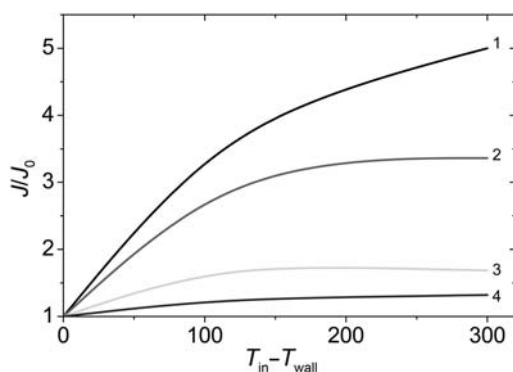


Рис. 4. Зависимость относительной плотности потока наночастиц на стенке реактора неизотермичности газового потока: 1 – $z = 5R$; 2 – $z = 10R$; 3 – $z = 20R$; 4 – $z = 40R$

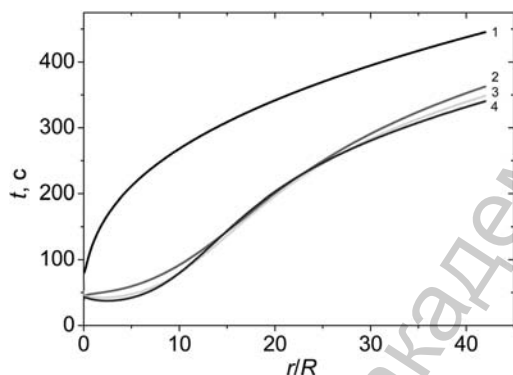


Рис. 5. Длительность процесса осаждения для получения поверхностной плотности 10^{11} частиц/м²: $T_w = 300$ К. 1 – $T_{in} = 300$ К; 2 – $T_{in} = 500$ К; 3 – $T_{in} = 700$ К

Из приведенных на рис. 5 графиков видно, что с повышением разницы температур газа и стенки газа происходит интенсификация процесса осаждения на всей длине канала.

Заключение. В работе рассмотрены особенности броуновского осаждения наночастиц на стенку из неизотермического ламинарного газового потока в цилиндрическом реакторе. Важная особенность предложенного подхода заключается в том, что коэффициент броуновской диффузии наночастиц рассчитан в свободномолекулярном приближении, а поля температуры и распределение наночастиц в объеме реактора находятся в приближении сплошной среды.

Показано, что поток наночастиц на стенку сильно зависит от радиуса наночастицы и температуры подложки и уменьшается при увеличении давления газа. Повышение разницы между входной температурой газа и температурой относи-

Влияние перепада температуры между начальной температурой газа и температурой стенки реактора на скорость осаждения показано на рис. 4. Поток наночастиц нормирован на величину J_0 плотности потока наночастиц для изотермического случая. Из графиков видно, что повышение входной температуры газа вызывает увеличение плотности потока наночастиц как в неизотермической, так и в изотермической области. При этом в диапазоне длин $0-10R$ (что примерно соответствует диапазону от 0 до $3l_i$) повышение входной температуры газа на 200 К вызывает почти двукратное увеличение потока оседающих частиц. Как видно на рис. 4 (кривые 3 и 4), для изотермической области эффект повышения потока частиц на стенку с повышением разности температур между газом и стенкой практически достигает насыщения уже после разницы в 200 °С.

Длительность процесса осаждения наночастиц с заданной поверхностной плотностью на стенку реактора показана на рис. 5. Расчет сделан для $N = 10^{11}$ частиц/м², при этом числовая плотность наночастиц во входящем

потоке равна $n_0 = 10^{13}$ наночастиц/м³.

тельно холодной стенки существенно повышает скорость броуновского осаждения наночастиц за счет вклада термофореза в газовой фазе. Термофорез деформирует начальный профиль распределения наночастиц в газовой фазе на входе в реактор, сдвигая наночастицы к стенке. Эта деформация распределения наночастиц сохраняется даже после выравнивания температур газа и стенки, так как броуновское осаждение довольно медленный процесс.

Установлено, что длительность процесса осаждения наночастиц до заданной поверхностной плотности N обратно пропорциональна коэффициенту броуновской диффузии и прямо пропорциональна радиусу реактора и не зависит от расхода газа. Аналитические оценки проиллюстрированы результатами численных расчетов, выполненных в среде Mathcad.

Работа частично профинансирована Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований (проект T10P-028).

Литература

1. *Такопуло Д. А., Фисенко С. П.* // Инженерно-физ. журн. 2012. Т. 85, № 3. С. 503–511.
2. *Labunov V., Shulitski B., Prudnikava A., Basaev A.* // Phys. Status Solidi A. 2011. Vol. 208, N 2. P. 453–458.
3. *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Гидродинамика. М., 1980.
4. *Бринь А. А., Фисенко С. П., Шнип А. И.* // Журн. техн. физики. 2008. Т. 78, № 9. С. 41–45.
5. *Фисенко С. П.* // Инженерно-физ. журн. 2010. Т. 83, № 1. С. 11–141.
6. *Фисенко С. П., Ходыко Ю. А.* // Журн. техн. физики. 2012. Т. 82, № 3. С. 23–29.
7. *Piglione M. C., Fontana D., Vanni M.* // European J. of Mechanics, B. 2012. Vol. 31. P. 91–101.
8. *Станкевич Ю. А., Фисенко С. П.* // Инженерно-физ. журн. 2011. Т. 84, № 6. С. 1225–1228.
9. *Бринь А. А., Фисенко С. П.* // Журн. техн. физики. 2006. Т. 76, № 4. С. 36–40.
10. *Крайнов В. П.* Качественные методы в физической кинетике и гидрогазодинамике. М., 1989. С. 170–174.

D. A. TAKOPULO, S. P. FISENKO

BROWNIAN DIFFUSION AND DEPOSITION OF NANOPARTICLES ON SUBSTRATE FROM GAS FLOW

Summary

For Brownian deposition of nanoparticles from nonisothermal gas flow on the substrate the mathematical model is described. Results of its qualitative analysis are presented. Distinctive feature of our model is the use of the approximation of continuous medium for description of gas flow and the free molecular approximation for description of nanoparticle interaction with gas flow. Simulation results are given. It is shown that thermophoresis enhance the deposition of nanoparticles on a cold substrate.

УДК 57.043: 577.3

С. Э. ОГУРЦОВА, А. В. БЕЛЯЕВА, И. С. ДОРОФЕЕНКО,
В. Ю. АФОНИН, М. В. АНИСОВИЧ

ОЦЕНКА ЦИТОСТАТИЧЕСКИХ И ЦИТОПРОТЕКТОРНЫХ СВОЙСТВ ПРИРОДНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ

Институт биоорганической химии НАН Беларуси

(Поступила в редакцию 11.01.2013)

На клетках костного мозга мышей линий C57Bl/6J и Balb/C изучены протективные и цитотоксические свойства антиоксидантов природного происхождения астаксантина, ликопина и ресвератрола. Показано, что астаксантин и ликопин проявляют протективные свойства в отношении клеток костного мозга мышей линии C57Bl/6J на фоне введения цитостатиков митомицина С и стрептоцигрина. При введении комбинации ресвератрола и кандесартана цилексетила мышам линии Balb/C происходит увеличение количества апоптотических клеток в костном мозге.

Введение. Костный мозг – кроветворный орган, участвующий в гемопозе и служащий источником эритроидной, миелоидной, лимфоидной и мегакариоцитарной тканей. Поэтому он является удобным объектом для изучения безопасности лекарственных средств и других биологически активных веществ. Известно, что сердечно-сосудистые, противоопухолевые и другие препараты часто обладают отрицательным побочным действием в отношении клеток крови. Комбинированная терапия различных заболеваний направлена как на достижение синергетического эффекта, так и на снижение побочного действия ее отдельных компонентов. Поэтому поиск, исследование и разработка средств, уменьшающих повреждающее действие цитостатиков на организм, является актуальной проблемой современной фармакологии. К соединениям такого типа относятся антиоксиданты. Данные вещества в виде лекарственных средств и/или пищевых добавок используются в профилактике и лечении сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний на различных фазах клинических испытаний, представленных на сайте Национального института здоровья США [1].

Астаксантин является биологически активным веществом с мощными антиоксидантными свойствами. Отмечают его положительные эффекты при таких заболеваниях, как онкологические, кожные, печеночные, инфекционные (связанные с нарушением иммунитета), при заболеваниях желудочно-кишечного тракта

и опорно-двигательного аппарата, органов зрения, а также при лечении болезней сердечно-сосудистой системы. Так, известно, что астаксантин обладает кардиопротективными свойствами: минимизирует последствия и область, пораженную в результате инфаркта миокарда, снижает артериальное давление [2]. Данный препарат предотвращает возникновение повреждений сердечной и скелетных мышц при физических нагрузках у животных [3].

Ликопин является ациклическим изомером β -каротина. Основная функция ликопина в человеческом организме – антиоксидантная. Снижение окислительного стресса замедляет развитие атеросклероза, а также обеспечивает защиту ДНК, что может предотвращать онкогенез [4]. Потребление ликопина, а также ликопинсодержащих продуктов приводит к достоверному уменьшению маркеров окислительного стресса у человека [5]. Предполагается, что ликопин может замедлять пролиферацию клеток как сигнальный метаболит. Также известны функции данного вещества в отношении сердечно-сосудистой системы. Ликопин предотвращает развитие сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ), снижает риск возникновения инфаркта миокарда.

Одним из природных антиоксидантов, заслуживающих внимания, является ресвератрол. В экспериментах с мышами и крысами были выявлены противоопухолевые, противовоспалительные, нейропротекторные, понижающие уровень сахара в крови, кардиопротекторные и другие положительные эффекты ресвератрола. Важным является то, что данный антиоксидант снижает размер поврежденной сердечной мышцы у животных после инфаркта, а также уменьшает общий уровень холестерина [6–9].

Поскольку известно, что клетки, имеющие повреждения ДНК, в том числе и опухолевые, обладают более высокой чувствительностью к цитостатическим средствам по сравнению со здоровыми клетками, а антиоксиданты природного происхождения обладают способностью минимизировать повреждения, вызываемые цитостатиками, было проведено изучение протективных свойств антиоксидантов природного происхождения.

Материалы и методы исследования. Для изучения протективных свойств ликопина и астаксантина при однократном внутрибрюшинном введении цитостатиков был проведен эксперимент на мышах линии C57Bl/6J массой 20–25 г (самцы).

В качестве цитопротекторов использовали ликопин и астаксантин, которые являются эффективными антиоксидантами и способны увеличивать уровень ферментов биотрансформации ксенобиотиков, играющих важную роль в обезвреживании мутагенов. Ликопин растворяли в кукурузном масле, а астаксантин – в изотоническом растворе и вводили перорально в течение 5 дней ежедневно. Исследуемая доза ликопина – 50 мг/кг, астаксантина – 25 мг/кг.

В качестве цитостатиков использовали митомицин С и стрептонигрин в дозах 2,5 и 3,5 мг/кг соответственно, которые растворяли в изотоническом растворе и вводили через сутки после последней инъекции ликопина и астаксантина.

В ходе дальнейшего выполнения работы был проведен эксперимент по оценке цитотоксичности фармацевтической субстанции кандесартана цилексетила при длительном введении, который относится к такой фармакологической группе сердечно-сосудистых лекарственных средств, как антагонисты рецепторов ангиотензина II. В различных экспериментальных работах были показаны цитостатические свойства данного вещества по отношению к клеткам раковых линий [10].

Для проведения работы использовали самцов мышей линии Balb/C весом 20–25 г, которых разделили на 7 групп. Животные шести групп подвергались чрезмерным физическим нагрузкам: плаванию с 2 %-ным грузом на выносливость в течение 2 мес., в то время как мыши контрольной группы оставались интактными. Далее животным 1–5 групп ежедневно вводили кандесартан и ресвератрол в различных дозировках и комбинациях в течение 4 недель: группе 1 и 2 вводили кандесартан в дозах 3 и 1,5 мг/кг соответственно. Мыши группы 3 получали кандесартан в дозе 1,5 мг/кг и ресвератрол в дозе 10 мг/кг, животные группы 4 получали кандесартан в дозе 1,5 мг/кг и ресвератрол в дозе 30 мг/кг, а мыши группы 5 – кандесартан в дозе 1,5 мг/кг и ресвератрол в дозе 50 мг/кг.

С помощью проточной цитометрии в костном мозге экспериментальных животных на основании гистограмм распределения ДНК в клетках изучали процент апоптоза, количество клеток в G1, S, G2/M фазах клеточного цикла.

Анализ содержания ДНК проводили в клетках, предварительно фиксированных в этаноле. Образцы клеток отмывали дважды фосфатно-солевым буфером (ФСБ), фиксировали в охлажденном этаноле (70 %) и хранили при -20°C до проведения эксперимента. Фиксированные в этаноле клетки отмывали ФСБ, обрабатывали раствором РНК-азы (150 Ед/мл) и окрашивали раствором PI (пропидиум иодид, 50 мкг/мл) в течение 30 мин при комнатной температуре. Затем образцы анализировались с помощью цитометрического анализа (использовали проточный цитофлуориметр Cytomics FC 500 «Beckman Coulter», США).

Количество апоптотических клеток рассчитывали на основании измерения гиподиплоидной ДНК, окрашенной иодистым пропидием (50 мкг/мл). Регистрировали апоптотические клетки с содержанием ДНК менее $2n$.

Результаты и их обсуждение. За прошедшие годы накопилось много данных об участии антиоксидантов в регулировании процессов пролиферации, функционирования, защиты и апоптоза клетки. Оказалось, что в развитии сердечно-сосудистых и дегенеративных заболеваний лежит ослабление антиоксидантных систем клетки и усиление процессов, приводящих к включению апоптоза. Каротиноиды обладают защитными свойствами в отношении ДНК клетки и исследователи связывают их влияние на апоптотический процесс с активностью фермента каспазы-3 [11].

В ходе эксперимента по изучению влияния ликопина и астаксантина на протекание процессов клеточной гибели и перераспределение клеток по циклу под воздействием митомицина С и стрептонирина в клетках костного мозга мышей линии C57Bl/6J получены следующие результаты (табл. 1). При введении ликопина

Таблица 1. Результаты подсчета молекулярно-биологических параметров костного мозга мышей линии C57Bl/6J

Группа	% апоптотических клеток	Стадии клеточного цикла		
		G1	S	G2/M
1. Контроль 1 (изотонич. р-р)	0,61 ± 0,10	62,06 ± 12,48	29,61 ± 10,41	8,33 ± 3,16
2. Контроль 2 (масло)	0,63 ± 0,12	48,72 ± 5,45	34,37 ± 6,48	16,91 ± 7,78
3. Ликопин	0,58 ± 0,04	76,36 ± 13,10	13,48 ± 6,58	10,16 ± 7,48
4. Астаксантин	1,07 ± 0,14	79,46 ± 5,31	11,70 ± 4,78	9,05 ± 5,18
5. Мит С	4,40 ± 0,75	83,05 ± 5,63	16,03 ± 6,02	0,92 ± 0,92
6. Ликопин + Мит С	1,19 ± 0,08	64,97 ± 6,58	30,54 ± 6,64	4,53 ± 2,19
7. Астаксантин + Мит С	2,60 ± 0,15	93,84 ± 1,63	5,00 ± 1,94	1,16 ± 0,82
8. Стрептонигрин	2,34 ± 0,46	82,17 ± 5,63	13,61 ± 6,02	4,23 ± 2,74
9. Ликопин + стрептонигрин	2,03 ± 0,66	76,15 ± 9,22	23,76 ± 9,21	0,09 ± 0,09
10. Астаксантин + стрептонигрин	1,20 ± 0,15	83,78 ± 5,45	15,02 ± 5,11	1,22 ± 0,75
	$P_{1-5} < 0,001$ $P_{1-8} < 0,01$ $P_{2-5} < 0,001$ $P_{2-8} < 0,01$ $P_{5-6} < 0,002$ $P_{5-7} < 0,05$			

и астаксантина уровень апоптоза в клеточной популяции костного мозга не отличался от контроля. Так, частота апоптотических клеток при введении ликопина и астаксантина составила $0,58 \pm 0,04 \%$ и $1,07 \pm 0,14 \%$ при $0,63 \pm 0,12 \%$ в контроле соответственно.

Анализируя полученные данные, можно отметить негативное воздействие промутагенов на клетки костного мозга. Это воздействие проявляется в увеличении доли гибнущих клеток по пути интерфазной гибели.

Через 18 ч после введения как митомицина С, так и стрептонигрина процент апоптотических клеток был достоверно выше ($P < 0,001$ и $P < 0,01$ соответственно), чем у контрольных мышей. Так, в клетках костного мозга частота апоптотических клеток при введении митомицина С и стрептонигрина составила $4,40 \pm 0,75 \%$ ($P < 0,001$) и $2,34 \pm 0,46 \%$ ($P < 0,01$) при $0,61 \pm 0,10 \%$ в контроле соответственно. Наблюдается также уменьшение доли пролиферирующих клеток ($S + G_2 + M$). Из представленных данных видно, что введение цитостатиков приводит к накоплению клеток на стадии G_1 , снижению доли тетраплоидных клеток (фаза S и $G_2 + M$). Это указывает на возможный клеточный арест, вызванный включением систем репарации.

При предварительном введении астаксантина и ликопина отмечалось статистически достоверное уменьшение доли апоптотических клеток только после введения митомицина С с $4,40 \pm 0,75$ до $2,60 \pm 0,15 \%$ ($P < 0,05$) и с $4,40 \pm 0,75$ до $1,19 \pm 0,08 \%$ ($P < 0,002$) соответственно. Как видно из данных табл. 1, предва-

рительное введение астаксантина и ликопина не привело к статистически достоверному уменьшению уровня апоптотических клеток через 18 ч после введения стрептонирина. Установлено, что предварительное введение изучаемых каротиноидов не повлияло на перераспределение клеток по циклу и не вызвало изменений пролиферации клеток костного мозга после обработки стрептонирином.

В последнее время большое внимание исследователи уделяют изучению комплексов препаратов с целью получения новых данных о комбинированном действии лекарств, а также более эффективного их использования. В Российской Федерации широко изучаются фармацевтические композиции с ресвератролом, такие как комбинация ресвератрола и симвастатина (фармакологическая группа – статины) для создания препарата с гипохолестеринемическим действием, комбинация ресвератрола с эналаприлом (фармакологическая группа – ингибиторы АПФ) для разработки препарата, обладающего остеопротективным действием [12; 13]. Также проводятся исследования эндотелио- и кардиопротективной активности комплекса ресвератрола с лозартаном (фармакологическая группа – антагонисты рецепторов ангиотензина II), а также с эналаприлом [14].

В данной работе в качестве активных компонентов были выбраны кандесартан и экстракт горца (ресвератрол). При анализе молекулярно-биологических параметров костного мозга мышей линии Balb/C при воздействии кандесартана и его комбинации с ресвератролом установлено, что параметры клеточного цикла опытных групп не отличались от таковых контрольных групп (табл. 2).

Таблица 2. Результаты подсчета молекулярно-биологических параметров костного мозга у животных, получавших кандесартан и ресвератрол в различных комбинациях и дозировках

Группа	% апоптоза	Стадии клеточного цикла		
		G1	S	G2/M
1. Контроль	1,25 ± 0,08	66,34 ± 3,82	28,85 ± 4,59	4,80 ± 2,09
2. Контроль 2 (плавал)	2,55 ± 0,88	66,50 ± 2,41	26,02 ± 1,95	7,49 ± 1,58
3. Гр 1	3,45 ± 0,60	69,48 ± 3,26	26,53 ± 3,17	3,97 ± 0,81
4. Гр 2	4,77 ± 0,81	65,35 ± 5,62	31,72 ± 5,75	2,92 ± 0,85
5. Гр 3	6,80 ± 1,01	69,83 ± 5,05	25,81 ± 4,87	4,36 ± 0,75
6. Гр 4	5,94 ± 0,82	71,19 ± 7,55	18,59 ± 8,53	10,23 ± 6,62
7. Гр 5	5,07 ± 0,84	70,30 ± 3,83	24,78 ± 4,34	4,92 ± 1,68
	$P_{1-2} < 0,05$ $P_{1-3} < 0,05$ $P_{1-4} < 0,05$ $P_{1-5} < 0,05$ $P_{1-6} < 0,05$ $P_{1-7} < 0,05$ $P_{2-5} < 0,05$ $P_{2-6} < 0,05$			$P_{2-4} < 0,05$

В ходе проведения эксперимента нами было впервые показано, что после истощающих физических нагрузок введение кандесартана цилексетила приводит к увеличению апоптоза по сравнению с контролем ($P < 0,05$) (табл. 2). Характер и механизм формирования клеток с данными маркерами повреждения в костном мозге животных требуют дальнейшего изучения. Можно предположить, что селективная элиминация клеток с нарушениями при неэффективном гемопоэзе, индуцируемом изнурительными физическими нагрузками, характеризует фармакологическую эффективность кандесартана, который активно используется в клинической практике как средство с кардио- и цитопротекторными свойствами.

Показано также, что длительное введение комбинации изучаемых веществ приводит к достоверному увеличению количества апоптотических клеток по сравнению с контролем (табл. 2), а комплексы кандесартана с меньшими дозами ресвератрола увеличивают уровень апоптоза по сравнению с группой, подвергавшейся физическим нагрузкам без последующего введения препаратов ($P < 0,05$). Таким образом, происходит усиление процесса клеточной элиминации в костном мозге. Известно, что ресвератрол обладает как цитопротективными свойствами в отношении сердечно-сосудистой системы, так и противоопухолевыми. Так, в экспериментах на клетках лимфомы мышей линии L5178Y было показано, что применение ресвератрола может приводить к хромосомным перестройкам и появлению микроядер [15]. Отмеченный аддитивный эффект кандесартана и ресвератрола в направлении увеличения гибели клеток в данном эксперименте требует дополнительного изучения.

Заключение. Показано, что такие вещества, как ликопин и астаксантин, проявляют протективные свойства в отношении клеток костного мозга мышей линии C57Bl/6J. Введение данных веществ снижает цитотоксический эффект митомицина С и не вызывает изменения пролиферации клеток костного мозга. Предварительное введение антиоксидантов не повлияло на уровень апоптотических клеток, перераспределение по клеточному циклу и не вызвало изменений пролиферации клеток костного мозга после обработки стрептонигрином.

В ходе изучения длительного действия кандесартана цилексетила и ресвератрола в различных дозировках и комбинациях на молекулярно-биологические параметры костного мозга мышей линии Balb/C, подвергавшихся изнурительным физическим нагрузкам, показано, что продолжительное воздействие кандесартана приводит к увеличению числа апоптотических клеток, а введение комплекса данных веществ – к усилению цитотоксического эффекта.

В результате нами установлено, что антиоксиданты и цитопротекторы природного происхождения могут усиливать или ослаблять цитотоксическое и цитостатическое действие синтетических фармацевтических субстанций, а детекция клеточной гибели методом проточной цитометрии расширяет возможности токсикологических исследований и поиска безопасных фармацевтических композиций.

Работа выполнена при частичной поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор № Б09-043).

Литература

1. Clinical Trials. gov. A service of the U. S. National Institutes of Health [Электронный ресурс]. – 2000. – Режим доступа: <http://www.clinicaltrials.gov>. – Дата доступа: 15.10.2012.
2. Hussein G. et al. // Biol. Pharm. Bull. 2005. Vol. 28, N 1. P. 47–52.
3. Aoi W. et al. // Antioxidants & Redox Signaling. 2003. Vol. 5, N 1. P. 139–144.
4. Devaraj S. et al. // J. Am. Coll. Nutr. 2008. Vol. 27, N 2. P. 267–273.
5. Venket Rao A., Agarwal Sanjiv // J. Am. Coll. Nutr. 2000. Vol. 19, N 5. P. 563–569.
6. Ресвератрол – ресвератол для сердца [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: http://uvenal.ucoz.ru/index/resveratrol_dlja_serдца/0-17. – Дата доступа: 16.10.2012.
7. Jang M. et al. // Science. 1997. Vol. 275, N 5297. P. 218–220.
8. Karuppagounder S. et al. // Neurochem. Int. 2009. Vol. 54, N 2. P. 111–118.
9. Wu J. M., Tze-chen Hsieh, Wang Z. // Am. J. Cardiovasc Dis. 2011. Vol. 1, N 1. P. 38–47.
10. Miyajima A. et al. // Cancer res. 2002. Vol. 62. P. 4176–4179.
11. Kurcer M. A. et al. // J. Med. Food. 2010. Vol. 13, N 4. P. 985–991.
12. Тимошенко Е. Ю., Писарев Д. И., Воронкова О. В. // Научные ведомости Белгородского гос. ун-та. Сер. Медицина. Фармация. 2010. Т. 22, № 12–2. С. 32–35.
13. Файтельсон А. В. // Научные ведомости Белгородского гос. ун-та. Сер. Медицина. Фармация. 2012. Т. 4, № 17–1. С. 239–244.
14. Корокин М. В. и др. // Человек и его здоровье. 2008. № 1. С. 31–35.
15. Schmitt E. et al. // Toxicol Lett. 2002. Vol. 136, N 2. P. 133–142.

S. A. OGURTSOVA, A. V. BELIAYEVA, I. S. DARAFEYENKA,
V. Yu. AFONIN, M. V. ANISOVICH

ASSESSMENT OF CYTOSTATIC AND CYTOPROTECTIVE PROPERTIES OF NATURAL ANTIOXIDANTS

Summary

The protective and cytotoxic properties of antioxidants of natural origin, such as lycopene, astaxanthin, and resveratrol in the bone marrow cells of mice C57Bl/6J and mice Balb/C were studied in our work. It is shown that astaxanthin and lycopene protect bone marrow cells in mice C57Bl/6J under the influence of cytostatic agents mitomycin C and streptonigrin. The number of apoptotic cells has increased in bone marrow in mice Balb/C under the administration of the combination of candesartan cilexetil and resveratrol.

УДК 911.52+556.551(476)

С. А. ХОМИЧ, Я. И. АНОШКО, А. О. ДАНИЛЬЧЕНКО, Ю. И. ДИКАРЕВА

**КЛЮЧЕВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНЦЕПЦИИ
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
КАРЬЕРНЫХ ВОДОЕМОВ БЕЛАРУСИ**

Белорусский государственный университет

(Поступила в редакцию 12.12.2012)

Концепция геоэкологического обеспечения туристско-рекреационного использования карьерных водоемов Беларуси включает базовые представления о предпосылках туристско-рекреационного освоения объектов водохозяйственной рекультивации и экологической целесообразности создания водоемов на месте отработанных месторождений строительного сырья; научно-методические приемы оценки продукционно-трофических состояний разнотипных карьерных водоемов, определяющих уровень их устойчивости к рекреационным нагрузкам; принципы геоэкологического проектирования карьерных водоемов туристско-рекреационного назначения и параметры контроля развития карьерных водоемов.

Концепция геоэкологического обеспечения туристско-рекреационного использования карьерных водоемов Беларуси включает следующие ключевые элементы.

1. Предпосылки освоения туристско-рекреационных ресурсов карьерных водоемов Беларуси.

1.1. Целесообразность туристско-рекреационного освоения уникальных природно-техногенных лимнических систем, созданных в процессе рекультивации отработанных месторождений мела, песка, гравия, доломита в различных регионах Беларуси, обусловлена аттрактивностью туристических ресурсов рукотворных аквальных систем, неудовлетворенным сегментом спроса на дешевый активный отдых в Беларуси и экономически выгодным водохозяйственным направлением рекультивации нарушенных земель. Использование инновационных, ранее не востребованных туристско-рекреационных ресурсов, создание новых туристических продуктов для стремительно развивающегося в условиях экономического кризиса внутреннего туристического рынка Республики Беларусь, дифференциация географии и содержания туристического продукта ориентированы на удовлетворение спроса чувствительных к цене белорусских потребителей экологоориентированных продуктов активного туризма.

1.2. Создание водоемов рекреационного назначения в отработанных обводненных карьерах по добыче строительного сырья значительно снижает стоимость горнотехнического и биологического этапов рекультивации нарушенных земель по сравнению с лесохозяйственным и сельскохозяйственным направлениями восстановления нарушенных ландшафтов.

2. Водохозяйственная рекультивация в системе рационального природопользования. Экологическая целесообразность водохозяйственной рекультивации нарушенных земель, превращение отработанных горнопромышленных геотехсистем в аквальные системы природного типа, способные к ресурсовоспроизводству, средосохранению и туристско-рекреационному использованию. Необходимость научно-методического обеспечения водохозяйственной рекультивации.

2.1. Водохозяйственная рекультивация – перспективное направление хозяйственно-экологической реабилитации земель, деградировавших в процессе добычи нерудных полезных ископаемых открытым способом. Создание карьерных водоемов туристско-рекреационного назначения является ресурсовоспроизводящим и экономически выгодным способом восстановления природно-хозяйственного потенциала постпромышленных земель.

2.2. При осуществлении водохозяйственной рекультивации снижаются объемы горнотехнических работ по выравниванию нарушенной поверхности, нанесению плодородного гумусного слоя, облесению площадей карьерно-отвалных комплексов. Малые мощности и объемы вскрышных пород месторождений минерального сырья, исключающие возможность ликвидации карьерной выемки, делают водохозяйственную рекультивацию единственно возможным вариантом восстановления таких объектов. Водохозяйственной рекультивацией создаются условия для аккумуляции дефицитных в регионе вод поверхностного и подземного стоков, на деградированных постпромышленных землях формируются аквальные системы озерного типа, пригодные для туристско-рекреационного использования.

2.3. Целесообразность создания в системе регионального природопользования водоемов карьерного типа подтверждается значительностью фонда водохозяйственной рекультивации в Республике Беларусь. В настоящее время используется 2188 карьеров, в том числе 442 промышленных и 1746 внутрихозяйственных. Из общего числа существующих в стране внутрихозяйственных карьеров сельскохозяйственными организациями постоянно используются 1698 карьеров на площади 1770,6 га (97 % от общего количества). В перспективе ожидается двукратное увеличение площади земель, нарушенных открытой добычей нерудных полезных ископаемых. По данным Сводного отчетного баланса запасов строительных материалов 2010 г., среди разведанных месторождений обводнено и потенциально пригодно для водохозяйственной рекультивации 24 % месторождений песка и гравия, 74 % месторождений глин и 87 % месторождений карбонатного сырья, что является природной предпосылкой создания в перспективе более 130 новообразованных аквальных систем [1].

2.4. Основным мероприятием по восстановлению земель после техногенных нарушений является комплекс рекультивационных работ, проводимых с целью восстановления нарушенных территорий и приведения земельных участков в состояние безопасности. Рекультивация осуществляется поэтапно. Различают технический, биологический и строительный этапы рекультивации. Техническая рекультивация – предварительная подготовка нарушенных территорий для различных направлений использования. В состав работ входят планировка поверхности, снятие, транспортировка и нанесение плодородных почв, формирование откосов, выемок. На данном этапе рекультивации в глубоких карьерах устраивают водоемы, полностью или частично разбирают терриконы, отвалы, закладывают «пустыми» породами выработанные подземные пространства. Частичный возврат территории во внутрихозяйственное использование и приведение карьера в технически безопасное состояние достигается за счет проведения горнотехнической рекультивации. Однако горнотехническая рекультивация не решает всех экологических проблем, возникающих после завершения разработки полезных ископаемых. Восстановление почвенного покрова, ландшафтного разнообразия осуществляется в ходе биологической рекультивации. Биологическая рекультивация проводится после технической для создания растительного покрова на подготовленных участках. С ее помощью восстанавливают продуктивность нарушенных земель, формируют ландшафт, создают условия для обитания животных, растений с учетом сукцессионных процессов, а также укрепляют насыпные грунты, предохраняя их от водной и ветровой эрозии. Осуществление водохозяйственного направления рекультивации нарушенных земель для туристско-рекреационных целей позволяет минимизировать затраты на горнотехнический и биологический этапы.

2.5. Масштабное осуществление водохозяйственной рекультивации сдерживается отсутствием научно обоснованной системы геотехнологических приемов формирования устойчивых карьерных водоемов, а также нормативной базы, регламентирующей проектирование, формирование и функционирование новообразованных аквальных объектов рекультивации. Разработке проектов добычи минерального сырья и рекультивации постпромышленных земель целесообразно предпослать геоэкологическое обоснование выбора направления рекультивации, возможности создания устойчиво функционирующего карьерного водоема на месте отработанного карьера.

2.6. Геоэкологическое обоснование проектов водохозяйственной рекультивации должно включать расчет потенциальных биопродукционных показателей водоема (прозрачность, цветность, численность, биомасса фитопланктона, содержание органического вещества), выполненный по морфометрическим параметрам исходных карьеров-котловин. Геоэкологическим обоснованием проекта водохозяйственной рекультивации намечаются компенсационные, стабилизирующие, восстановительные мероприятия, обеспечивающие устойчивое функционирование новообразованных аквальных систем многоцелевого назначения.

3. Научно-методические основы водохозяйственной рекультивации и экологической реабилитации карьерно-отвалных комплексов для туристско-рекреационных целей. Подобие карьерных водоемов и естественных лимнических систем и его научно-методическая значимость. Пути и стадии развития продукционно-функциональных структур карьерных водоемов, проявление механизма устойчивости новообразованных аквальных систем. Оценка продукционно-трофических состояний, тенденции развития и направления оптимизации карьерных водоемов в условиях туристско-рекреационного воздействия.

3.1. Базовым научно-методическим положением водохозяйственной рекультивации для туристско-рекреационных целей является вывод о принципиальном сходстве карьерных водоемов и естественных лимнических систем региона. Подобно естественным озерам карьерные водоемы обладают замедленным водообменом, относительно стабильным уровнем режимом, сходными характеристиками солевого состава вод, содержания биогенных элементов, температурного, газового режимов, общей направленностью биопродукционных и седиментационных процессов. Установленное сходство карьерных водоемов и естественных озерных систем позволяет использовать при определении типа продукционно-функциональной структуры карьерных водоемов, количественных характеристик состояния и перспектив развития новообразованных аквальных систем арсенал методических средств и теоретических представлений, разработанных отечественной и зарубежной лимнологией.

3.2. Комплексные лимнологические исследования структурных и динамических характеристик карьерных водоемов свидетельствуют о двух путях развития объектов водохозяйственной рекультивации: продукционно-макрофитном и продукционно-фитопланктонном, отличающихся уровнем устойчивости водоемов к внешним и внутренним эвтрофирующим воздействиям.

3.3. Наибольшей устойчивостью, способностью к длительному сохранению оптимальных параметров водной массы обладают водоемы продукционно-макрофитной ориентации благодаря способности погруженных макрофитов аккумулировать в тканях избыточные количества эвтрофирующих веществ – соединений азота и фосфора, изымая их из кормовой базы фитопланктона и ограничивая его продукционные возможности в водоеме. Концентрации биогенов, превышающие критический уровень накопления (% абсолютно сухого вещества: 1,3 для азота и 0,3 для фосфора) в несколько раз, указывают на высокий трофический статус водоема и неспособность погруженных макрофитов конкурировать с фитопланктоном в освоении питательных веществ. Недонасыщенность погруженных макрофитов соединениями азота и фосфора свидетельствует о «запасе прочности» аквальной системы.

3.4. Для водоемов макрофитной ориентации выделены три стадии развития продукционно-функциональной структуры: потенциально макрофитная, собственно макрофитная и остаточно макрофитная. Погруженные макрофиты не сразу начинают осваивать водоем. Первопоселенцем является менее требователь-

ный к условиям внешней среды фитопланктон. Для погруженных макрофитов характерны «вспышки» развития отдельных групп растений при невысокой продуктивности и низкой плотности проективного покрытия. Это признаки потенциально макрофитной стадии. Затем в результате одержанной погруженными макрофитами победы в конкурентной борьбе за освоение питательных веществ наступает длительная собственно макрофитная стадия: формируются стабильные растительные группировки, устойчивые по занимаемому пространству и экологическим нишам. Погруженные макрофиты играют ведущую роль в продуцировании органического вещества, активно накапливают в тканях соединения азота и фосфора. Потенциально и собственно макрофитные стадии охватывают длительный временной интервал природно-хозяйственного оптимума системы. Достигнув состояния, при котором питательные элементы уже не аккумулируются тканями макрофитов, а осваиваются фитопланктоном, водоем минует «порог устойчивости» и вступает в последнюю – остаточно-макрофитную стадию. «Порог устойчивости» в продукционно-макрофитных водоемах представляет собой длительный временной период, в течение которого обнаруживаются разовые срывы продукционно-функциональной структуры макрофитного типа (погруженные макрофиты не в состоянии аккумулировать новопоступающие биогены), что ведет к «вспышкам» цветения фитопланктона. Учащающиеся срывы в функционировании макрофитной системы приводят к переходу ведущей роли в продуцировании органического вещества к фитопланктону. Водоем преодолевает «порог устойчивости» (или саморегуляции). Заканчивается период природно-хозяйственного оптимума. Природно-хозяйственные функции карьерных водоемов в остаточно-макрофитной стадии со «сломанным» механизмом устойчивости (период деградации) могут быть сохранены в случае целенаправленного вмешательства в процесс новообразования органического вещества с использованием апробированных в лимнологии приемов борьбы с антропогенным эвтрофированием. Диагностировать стадийные переходы продукционно-макрофитных систем предложено по содержанию в тканях погруженных макрофитов соединений азота и фосфора.

3.5. Водоемы фитопланктонной ориентации проходят только одну продукционно-фитопланктонную стадию. Ведущим продуцентом органического вещества на протяжении всего периода развития водоема выступает фитопланктон. На поступление эвтрофирующих веществ водоем реагирует адекватно, демонстрируя, в соответствии с классическим представлением об эвтрофировании, рост продуктивности фитопланктона, снижение прозрачности, увеличение содержания биогенных элементов в водах и донных осадках, переход от низкотрофного состояния к высокотрофному.

3.6. В водоемах макрофитного типа экологическая устойчивость системы обеспечивается за счет конкурирующих и дополняющих друг друга групп макрофитов при участии фитопланктона (и в ряде случаев нитчатых водорослей). В водоемах фитопланктонного типа внешние антропогенные воздействия компенсируются

за счет избыточного размножения однородного продуцента органического вещества – фитопланктона.

3.7. Эволюционные схемы развития разнотипных карьерных водоемов позволяют определить современное состояние новообразованных аквальных систем, охарактеризовать тенденции и перспективы их дальнейшего развития. Продукционно-трофические состояния карьерных водоемов включают характеристику ведущего продуцента органического вещества и трофический статус водоема (макрофитно-мезотрофное, фитопланктонно-эвтрофное и др.). Количественно оценивать трофический статус карьерных водоемов, используемых для туристско-рекреационных целей, предложено с использованием энергетических показателей Р. Э. Тийдора [2]: скорости эвтрофирования E и уровня эвтрофирования K , а также разработанного специально для объектов водохозяйственной рекультивации градиента эвтрофирования D (отношение E / K), характеризующего способность аквальных систем к наращиванию трофического статуса, или уровень устойчивости карьерных водоемов к эвтрофированию.

3.8. Единица устойчивости объектов водохозяйственной рекультивации – градиент эвтрофирования водоемов продукционно-макрофитного типа в мезотрофном состоянии, равный единице ($D = E / K = 1$). «Оптимизационной целью» при создании экологически устойчивых карьерных водоемов туристско-рекреационного назначения предложено считать продукционно-трофическое состояние объектов водохозяйственной рекультивации, ограниченное значениями градиента эвтрофирования от 1 до 4.

4. Карьерные водоемы туристско-рекреационного назначения как объекты геоэкологического проектирования. Планирование, проектирование, формирование, эксплуатация и мониторинг новообразованных аквальных геотехсистем. Факторы, подлежащие учету на различных этапах геоэкологического проектирования карьерных водоемов для туристско-рекреационных целей.

4.1. Наряду с отмеченным сходством естественных и карьерных водоемов, последним свойственны отличия, обусловленные спецификой исходных горно-промышленных геотехнических систем. Параметры котловин будущих карьерных водоемов изначально определяются геологическими условиями месторождения, объемом извлекаемого сырья, технологией его добычи. Водосборы проектируемых карьерных водоемов в границах карьерно-отвалных комплексов подвергались существенной техногенной трансформации, что может явиться причиной развития процессов эрозии, абразии, загрязнения и заиления новообразованных лимнических систем.

4.2. Двойственное естественно-техногенное происхождение карьерных водоемов (генетический дуализм), проявляющееся в принципиальном сходстве и различии с естественными лимническими системами, предопределяет необходимость и возможность управления новообразованными геотехсистемами на этапах их формирования и функционирования с учетом планируемого туристско-рекреационного использования карьерных водоемов. Необходимость управления объек-

тами водохозяйственной рекультивации определяется несформированностью продукционно-функциональных структур и отсутствием на ранних стадиях развития водоемов природных механизмов устойчивости к эвтрофирующим воздействиям, слабыми инерционными свойствами небольших объемов водных масс, интенсивным техногенным воздействием водосборов. Возможность управления карьерными водоемами заложена в принципиальном сходстве с естественными озерами, тесной определяющей связи рукотворных морфометрических параметров карьеров-котловин с формированием термической, гидрохимической, гидробиологической специфики водной массы.

4.3. Исходным управленческим решением предлагается считать ориентацию карьерных водоемов на создание преимущественно продукционно-макрофитных систем, способных к эффективному и совершенному саморегулированию, обеспечивающему длительное, устойчивое существование новообразованных аквальных систем в условиях интенсивной техногенной освоенности их водосборов. Концепция управления новообразованными карьерно-аквальными комплексами состоит в поддержании системы в пределах «потенциального оптимума», обеспеченного в продукционно-фитопланктонных водоемах оптимальными морфометрическими параметрами карьеров-котловин, а в водоемах макрофитной ориентации – гарантированного оптимальными морфометрическими параметрами плюс барьерной функцией погруженных макрофитов. Поддержание аквальных систем обоих типов в пределах «потенциального оптимума» соответствует изменению градиента эвтрофирования от 1 до 4.

4.4. Управление созданием и устойчивым функционированием объектов водохозяйственной рекультивации туристско-рекреационного назначения должно осуществляться в рамках геоэкологического проектирования карьерных водоемов, ориентированного на последовательную ренатурализацию искусственно созданных водоемов и экологическую реабилитацию отработанных карьерно-отвальных комплексов. Геоэкологическое проектирование геотехнической системы карьерных водоемов должно включать:

- 1) обоснование целесообразности и возможности проведения водохозяйственной рекультивации отработанного карьерно-отвального комплекса;
- 2) разработку системы геотехнологических приемов, призванных обеспечить устойчивое существование новообразованных карьерных водоемов;
- 3) контроль результативности реализованных проектных решений. При решении вопроса о возможности проведения водохозяйственной рекультивации подлежат учету геоморфологические (морфометрические), литологические, гидролого-гидрогеологические и ландшафтно-геохимические предпосылки формирования карьерных водоемов и их водосборов. Объектами приложения геотехнологических решений должны стать отработанный карьер в границах геологического отвода и водосборное пространство будущего водоема в границах земельного отвода. В процессе горнотехнической рекультивации должна быть сформирована котловина водоема, морфометрические параметры которой (соотношение площадей

мелководной литоральной зоны и глубоководной профундальной, уклоны литорали, открытость котловины, соотношение максимальной и средней глубин, изрезанность и длина береговой линии) обеспечили бы оптимальную продукционно-макрофитную ориентацию новообразованной аквальной системы.

4.5. Содержание технического этапа рекультивации, ориентирующего водоем на макрофитный путь развития, должны составить следующие обязательные мероприятия:

а) отсыпка зоны прибрежных мелководий (глубиной до 2,0 м и уклоном 1 : 10) для заселения водоема погруженными макрофитами. Размеры литоральной зоны должны составлять не менее 10–25 % площади акватории;

б) дноуглубительные работы, позволяющие увеличить объем водной массы (а значит, и инерционные свойства водоема) без увеличения площади акватории. При проведении дноуглубительных работ, отсыпке литоральной зоны следует учитывать, что оптимальной формой котловины, обеспечивающей стратификацию водной массы и ее стабильность, является форма, подобная цилиндру или полуэллипсоиду. Соотношение между средней и максимальной глубинами – форменный коэффициент – в этом случае должен изменяться от 0,66 до 1. Нецелесообразно осуществлять ориентацию на макрофитный путь водоемов, формирующихся в отработанных доломитовых карьерах, технология разработки которых предопределяет корытообразную форму, резкий свал глубин у самого берега. Отсыпка зоны прибрежных мелководий в таких водоемах потребует значительных затрат. Кроме того, освоению водоемов погруженными макрофитами будет препятствовать грубообломочный скальный грунт, слагающий берега и днища доломитовых карьеров;

в) формирование пляжных участков выполаживанием бортов карьеров (крутизна 1 : 3 в зоне, простирающейся от уреза воды до отметки на 1 м выше максимального уровня);

г) закрепление надводной части берегов, предупреждающее развитие оползневых явлений, ведущих к уничтожению погруженных макрофитов, осваивающих водоем;

д) выравнивание (спрямление) береговой линии, направленное на ликвидацию застойных «бухточек», характеризующихся неблагоприятным газовым режимом, обильным распространением нитчатых водорослей, негативно влияющих на биопродукционный режим водоема.

4.6. Организация и обустройство постпромышленной территории водосбора ориентированы на формирование оптимальных по размерам и морфометрическим параметрам «малых» водосборов, максимально возможное снижение внешнего техногенного воздействия на создаваемый карьерный водоем, минимизацию процессов эрозии, абразии, денудации.

Содержание основных мероприятий технической рекультивации на водосборах должны составить:

а) создание оптимальных по размерам водосборов, площадь которых ограничивается зоной «непосредственного» смыва, обеспечивая устойчивое водное

питание карьерных водоемов. Внешняя граница «малого» водосбора проводится по верхним точкам внешних отвалов вскрышных пород, ограничивая поступление эвтрофирующих и загрязняющих веществ в водоем с поверхностным стоком. В случае существования в пределах проектируемого водосбора точечного техногенного источника биогенных и загрязняющих веществ в ходе технического этапа рекультивации целесообразно создание биологических полей фильтрации, специальных отстойников, разбавление стоков и т. д.;

б) расчет потенциальных составляющих водного баланса проектируемого карьерного водоема для средне-, много- и маловодного года, обеспечивающих оптимальный водообмен за счет включения его в местную гидрографическую сеть. При этом воды поверхностного стока, поступающие в карьерный водоем, должны быть не хуже по своим гидрохимическим и санитарно-гигиеническим показателям, чем воды карьерного водоема.

4.7. Для туристско-рекреационного использования целесообразна ориентация на макрофитный путь водоемов в песчаных, песчано-гравийных и меловых карьерных выемках, выгодно отличающихся от остальных типов выработки благоприятными морфометрическими показателями и пригодным для укоренения погруженных макрофитов субстратом. Водоемы, образованные в процессе рекультивации карьеров минерального сырья (песок, доломит и т. д.) в поймах крупных рек, также перспективны для туристско-рекреационного использования, поскольку ориентация их на макрофитный путь упрощена близостью устоявшихся речных биотопов с погруженной макрофитной растительностью, которые могут быть использованы как «питомники» для заселения погруженными макрофитами проектируемых карьерных водоемов.

5. Принципы геоэкологического проектирования карьерных водоемов туристско-рекреационного назначения (геоэкологическое сопровождение этапов рекультивации отработанных карьерных выемок; экологический менеджмент процессов формирования продукционно-функциональных структур новообразованных карьерных водоемов; включение в региональную систему индикаторов перехода к устойчивому развитию постпромышленных территорий показателей развития карьерных водоемов; восстановление необходимого объема и качества туристско-рекреационных ресурсов постпромышленных территорий для перехода к устойчивому региональному развитию; ориентация новообразованных карьерных водоемов в условиях интенсивной рекреационной нагрузки на макрофитный путь развития; разработка параметров контроля устойчивого развития карьерных водоемов и контрольной системы их отслеживания).

5.1. Геоэкологическое сопровождение каждого из этапов рекультивации отработанных карьерных выемок, а также создания и продвижения туристического продукта с использованием рекреационного потенциала новообразованных карьерных водоемов. Критериями целесообразности туристско-рекреационного использования карьерных водоемов являются продукционно-макрофитная ориентация новообразованных аквальных систем, обеспечивающая их устойчивость к рекреа-

ционными нагрузкам; эколого-безопасная базовая туристическая инфраструктура; разработанные с учетом специфики ресурса и потребительских приоритетов продукты активного, научного, промышленного, вторичного экологического и экскурсионно-познавательного видов туризма. Легко уязвимая производственно-функциональная структура новообразованных водоемов, которые могут стать актуальным ресурсом для развития активных видов отдыха в постпромышленных регионах Беларуси, образованных открытой добычей нерудного сырья, определяет необходимость геоэкологического сопровождения каждого из этапов горнопромышленной и биологической рекультивации, формирования морфометрических параметров водовмещающих котловин; организации размерности и дренированности водосборов; проектирования туристической инфраструктуры в пределах водосборных территорий и разработки содержания туристических программ с учетом потребительских приоритетов целевых сегментов и предельно допустимой рекреационной нагрузки в системе «водоем–водосбор».

5.2. Экологический менеджмент процессов формирования производственно-функциональных структур новообразованных карьерных водоемов, изменения их трофического статуса и качества озерных вод как туристско-рекреационного ресурса. За относительно короткий (5–50 лет) период своего существования в большинстве карьерных водоемов не сформировано выраженной зоны прибрежных литоральных мелководий, обеспечивающих за счет погруженных макрофитов барьерную функцию для загрязняющих и эвтрофирующих веществ. В условиях интенсивного рекреационного использования водоемов и отсутствия надежного механизма устойчивости в последних происходит ухудшение качества вод, ускоренное антропогенное эвтрофирование водной массы, общая деградация объектов водохозяйственной рекультивации. Природно-техногенная специфика новообразованных аквальных систем предопределяет необходимость и возможность управления ими с использованием инструментов экологического менеджмента. Для актуализации и использования новых, ранее не использованных туристско-рекреационных ресурсов карьерных водоемов для развития туризма как базового направления перехода к устойчивому развитию деградированных в ходе вскрышных и добычных работ территорий необходимо управлять процессами изменения трофического статуса карьерных водоемов, контролировать качество озерных и поверхностных вод.

5.3. Включение в региональную систему индикаторов перехода к устойчивому развитию постпромышленных территорий показателей устойчивого развития основного туристско-рекреационного ресурса – карьерных водоемов. Геоэкологическое проектирование туристического продукта на базе обводненных карьерных водоемов Беларуси – ключевой элемент в системе экологического менеджмента, обеспечивающего устойчивое развитие новообразованных озерных систем. Геоэкологическое проектирование устойчиво функционирующих карьерных водоемов в условиях рекреационного использования их водосборов предусматривает расчет предельно допустимых функциональной организацией водоемов рекреационных нагрузок. Критерии выделения типов производственно-функциональной

организации карьерных водоемов и уровней их устойчивости к антропогенным нагрузкам рассмотрены в [3–4]. Методические приемы оценки рекреационных нагрузок со стороны водосборов могут быть заимствованы из [5–6].

5.4. Восстановление и создание необходимого объема и качества туристско-рекреационных ресурсов постпромышленных территорий как основы для перехода к устойчивому региональному развитию возможно при сбалансированности рекреационных нагрузок и экологической устойчивости водоемов. Принцип сбалансированного рекреационного воздействия на экосистемы карьерных водоемов может быть реализован с использованием индикаторов современного трофического статуса разнотипных водоемов и показателей интенсивности рекреационной нагрузки. Принцип базируется на результатах комплексного (морфометрического, гидрохимического, биопродукционного, седиментационного) изучения водоемов продукционно-макрофитного и фитопланктонного типов, оценке трофического их статуса и степени устойчивости к процессам антропогенного эвтрофирования.

5.5. Ориентация продукционно-функциональных систем новообразованных карьерных водоемов на макрофитный путь развития, обеспечивающий длительное устойчивое существование озерных экосистем в условиях интенсивной рекреационной нагрузки. Основная цель геоэкологического проектирования туристско-рекреационного использования обводненных карьеров состоит в поддержании механизма устойчивости аквальной системы, ее трофического статуса в пределах природно-хозяйственного оптимума в условиях туристско-рекреационного использования водосборов. Наибольшей устойчивостью к внешним воздействиям обладают водоемы продукционно-макрофитного типа, поэтому исходным управленческим решением геоэкологического проектирования предложено считать создание продукционно-макрофитных систем, способных к длительному устойчивому существованию в условиях интенсивной рекреационной нагрузки. В качестве интегрального индикатора устойчивости к рекреационным нагрузкам предложен градиент эвтрофирования, представляющий собой отношение уровня эвтрофирования водоема к скорости его эвтрофирования, рассчитанные с использованием энергетических показателей Р. Э. Тийдора [2]. Величина градиента эвтрофирования для объектов водохозяйственной рекультивации продукционно-макрофитной ориентации, функционирующих в оптимальном макрофитно-мезотрофном режиме, должна изменяться в пределах от 1 до 4.

5.6. Конструирование модели устойчивого развития новообразованных карьерных водоемов предусматривает разработку параметров контроля устойчивого развития карьерных водоемов и контрольной системы их отслеживания. Техногенная природа карьерных водоемов обеспечивает возможность создания оптимальной продукционно-функциональной структуры благодаря определяющей связи между морфологией водовмещающих котловин и биопродукционным своеобразием водоемов. Содержание управления на этапе горнотехнической рекультивации должны составить мероприятия по формированию морфометрических параметров котловин: отсыпка литоральных мелководий, профилирование дна

и склонов котловин, спрямление береговой линии, направленные на формирование оптимальных морфометрических параметров новообразованных аквальных систем, предопределяющих продукционно-макрофитную ориентацию водоемов [7]. Эффективным способом управления карьерными водоемами является также целенаправленная организация рекреационного использования водосборов, проектирование адекватных возможностям аквальной системы и рекреационной инфраструктуре туристско-рекреационных продуктов.

Концепция создания и продвижения туристического продукта на базе туристско-рекреационных ресурсов карьерных водоемов может быть использована как научно-методическая основа для разработки региональной стратегии развития туризма на базе инновационного ресурса обводненных карьерно-отвалных комплексов. Для этого предложенная концепция адаптируется к условиям постпромышленного региона, технологическим особенностям добычи и рекультивации нарушенных земель, объему и качеству туристско-рекреационных ресурсов. Стратегия устойчивого развития туризма в пределах постпромышленных территорий реализуется с использованием профицитного свойства информационных ресурсов.

Системное использование нового туристско-рекреационного ресурса, создание и продвижение новых туристических продуктов, развитие новой туристической инфраструктуры и новых видов туризма как инструментов перехода к устойчивому социально-экономическому развитию постпромышленных территорий, созданию новых туристических районов на месте деградированных в процессе открытой добычи ландшафтов могут быть использованы при геоэкологическом проектировании рекультивации горнопромышленных выработок. Разработка эколого-безопасных туристических продуктов на базе туристско-рекреационного потенциала карьерных водоемов Беларуси, создание туристической инфраструктуры в пределах бассейнов новообразованных лимнических систем позволят дифференцировать предложение туристических компаний на внутреннем туристическом рынке Республики Беларусь по географии, содержанию, удовлетворив нереализованный сегмент спроса на дешевый активный отдых в регионах Беларуси.

Изложенные выше концептуальные положения водохозяйственной рекультивации для туристско-рекреационных целей направлены на последовательное превращение отработанных горнопромышленных геотехсистем в аквальные системы природного типа, способные к ресурсовоспроизводству, средосохранению и выполнению туристско-рекреационных функций.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант X12-080).

Литература

1. Холмич С. А., Аношко Я. И., Данильченко А. О., Дикарева Ю. И. // Вестн. ФФИ. 2012. № 4. С. 50–59.
2. Тийдор Р. Э. // Моделирование переноса вещества и энергии в природных системах. Новосибирск, 1984. С. 192.

3. Хомич С. А. Геоэкологические аспекты водохозяйственной рекультивации нарушенных земель Беларуси. Минск, 2001. – 124 с.
4. Хомич С. А. // География и природные ресурсы. Иркутск, 2002. № 4. С. 37–40.
5. Дабкова В. Г., Сорокин И. Н. Озеро и его водосбор – единая природная система. Л., 1979. – 195 с.
6. Шилькрот Г. С. // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1981. № 1. С. 41–50.
7. Покровская Т. Н., Миронова Н. Я., Шилькрот Г. С. Макрофитные озера и их эвтрофирование. М., 1983. – 153 с.

S. A. KHOMITCH, I. I. ANOCHKO, A. O. DANILTCHENKO, J. I. DIKAREVA

**CRUCIAL ELEMENTS OF THE CONCEPT OF GEO-ENVIRONMENTAL SUPPORT
TOURIST AND RECREATIONAL USE OF WATER BODIES BELARUS**

Summary

The concept of geo-environmental support of tourist and recreational use of water career bodies includes Belarus tourist-development of water reclamation facilities; analysis of environmental feasibility of water in mines; scientific and methodological assessment procedures of the trophic status of quarry ponds; principles of geoenvironmental engineering career reservoirs of tourist and recreational purposes and control over their development.

УДК 539.19; 535.34

Г. А. ПИЦЕВИЧ¹, А. Э. МАЛЕВИЧ¹, В. ШАБЛИНСКАС²,
И. Ю. ДОРОШЕНКО³, В. Е. ПОГОРЕЛОВ³, Е. Н. КОЗЛОВСКАЯ¹,
В. БАЛЕВИЧУС²

3D РАСЧЕТЫ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ О–Н СВЯЗИ В КОМПЛЕКСЕ ТРИХЛОРУКСУСНОЙ КИСЛОТЫ И ПИРИДИНАЗОКСИДА

¹Белорусский государственный университет

²Киевский государственный университет им. Т. Г. Шевченко

³Вильнюсский государственный университет

(Поступила в редакцию 28.01.2013)

На трехмерной потенциальной поверхности, связанной с колебаниями гидроксильной группы в комплексе трихлоруксусной кислоты и пиридин-азотоксида, рассчитана энергия более чем в 2000 точках. Это позволило получить аналитическое выражение для потенциальной энергии в виде степенного полинома, а затем в виде трехмерного ряда Фурье. В результате численного решения уравнения Шредингера получены значения частот валентных и деформационных колебаний гидроксильной группы. Проведено сравнение полученных данных с результатами ранее выполненных 1D и 2D, а также ангармонических расчетов колебательных спектров комплекса.

Введение. Как известно [1–3], колебания с участием легких атомов и, особенно, с участием атома водорода являются ангармоническими. Это связано с тем, что амплитуды смещений легких атомов в возбужденных колебательных состояниях достаточно велики. В то же время квадратичное представление потенциальной энергии как функции естественных координат справедливо лишь при условии малых отклонений атомов от положений равновесия. Учет третьих и четвертых производных по естественным координатам в разложении потенциальной энергии, а также применение теории возмущений позволяют адекватно учитывать эффекты ангармонизма при расчетах частот колебаний С–Н и О–Н связей в свободных молекулах [4–7]. Формирование комплексов с водородной связью ведет к дальнейшему росту амплитуды колебательных движений гидроксильного атома водорода. При этом частота валентного колебания гидроксильной группы (ν_{OH}) испытывает красный сдвиг, в то время как частота внеплоскостного деформационного колебания этой связи ($\delta_{\text{OH}}^{\text{oop}}$) повышается [8; 9]. Как правило [10], чем сильнее

красный сдвиг, тем меньше длина водородного мостика $O\cdots H-O$. В комплексах с большой длиной водородного мостика ($l_{O\cdots H-O} \geq 2,7 \text{ \AA}$), примерами которых могут служить спирты, использование ангармонического приближения также позволяет корректно оценить значения частот колебаний гидроксильной группы [11–13]. Однако в случае коротких ($2,5 \leq l_{O\cdots H-O} \leq 2,7 \text{ \AA}$) и сверхкоротких ($l_{O\cdots H-O} \leq 2,5 \text{ \AA}$) водородных связей ангармоническое приближение зачастую не способно правильно предсказать значения частот колебаний $O-H$ связи [14; 15]. В таких случаях необходим более детальный анализ потенциальной поверхности. Рост амплитуды колебаний $O-H$ связи ведет к увеличению числа точек (N), в которых необходимо рассчитать значение потенциальной энергии для каждой размерности. В свою очередь рост размерности (D) решаемой задачи ведет к увеличению числа точек как N^D . Поэтому, несмотря на то что рост размерности ведет к повышению точности расчетов, в литературе редко представлены работы, в которых $D > 3$. Кроме того, отсутствуют работы, в которых систематически соотнесены результаты $1D$, $2D$ и $3D$ расчетов частот колебаний. Ранее [16] нами выполнены $1D$ и $2D$ расчеты, а также ангармонические расчеты частот колебаний гидроксильной группы исследуемого комплекса. Сравнительный анализ рассчитанных данных позволил оценить значения колебательных частот для $3D$ размерности, а также объединить преимущества ангармонического приближения, размерность которого $D = 3N - 6$ с результатами $1D$ и $2D$ расчетов. Выполненные в данной работе $3D$ расчеты позволяют оценить адекватность предложенных ранее подходов. Кроме того, в соответствии с методом, предложенным в [16], и с использованием полученных в этой работе данных ангармонического расчета колебаний свободного комплекса можно учесть все колебательные степени свободы.

Методика расчетов. В соответствии с подходом, развитым в [16], расчет колебаний гидроксильной группы проводился в предположении того, что движение атома водорода происходит в поле, создаваемом остальными неподвижными атомами комплекса. На основании этого приближения трехмерная потенциальная поверхность рассчитывалась для различных смещенных положений гидроксильного протона без оптимизации геометрии по остальным структурным параметрам. Расчет энергии проводился в приближении V3LYP/cc-pVTZ [17–20] при помощи квантово-химического пакета [21]. Согласно рис. 1, движение гидроксильного атома водорода вдоль оси X ассоциируется с валентным колебанием гидроксильной группы. Плоскостное и внеплоскостное деформационное колебание $O-H$ группы можно ассоциировать с движением вдоль осей Y и Z .

Очевидно, что при проведении $1D$ и $2D$ расчетов подобное соответствие справедливо лишь в ограниченном интервале изменений координат ΔX , ΔY и ΔZ . Однако ясно, что при проведении $3D$ расчетов уже не имеет значения какой из двух наборов (l_{OH} , φ_{COH} , τ_{COH} или ΔX , ΔY , ΔZ) используется для описания колебательного движения гидроксильной группы. Значения потенциальной энергии рассчитывались в некоторых узлах трехмерной решетки для интервалов смещения H_{13} из положения равновесия от -1 до $+0,3 \text{ \AA}$ вдоль оси X , от $-0,5$ до $+0,5 \text{ \AA}$

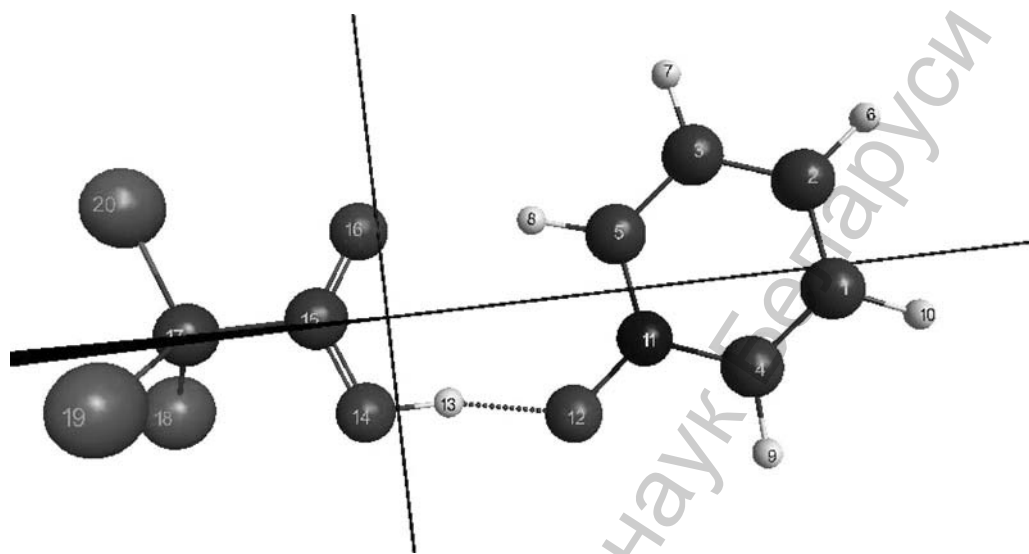


Рис. 1. Комплекс трихлоруксусной кислоты и пиридиназотоксида с указанием нумерации атомов и направления осей декартовой системы координат

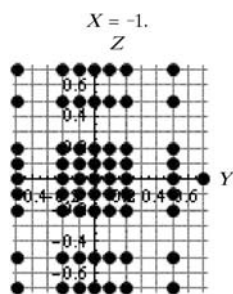


Рис. 2. Узлы двумерных решеток, в которых была рассчитана потенциальная энергия исследуемого комплекса

вдоль оси Y и от $-0,7$ до $+0,7$ Å вдоль оси Z . Для значений ΔX равных $-1, -0,8, -0,5, -0,2, 0, +0,1$ и $+0,3$ Å рассчитывалась энергия в узлах, находящихся в плоскостях перпендикулярных к оси X . Для каждой из плоскостей значения ΔZ выбирались равными $-0,7, -0,5, -0,2, -0,1, 0, 0,1, 0,2, 0,5$ и $0,7$ Å. Для каждого из этих значений ΔZ значения ΔY выбирались равными $-0,5, -0,2, -0,1, 0, 0,1, 0,2$ и $0,5$ Å. В результате в каждой из семи плоскостей была рассчитана энергия как минимум в узлах, указанных на рис. 2.

Таким образом, потенциальная энергия была рассчитана более чем в 700 точках. Далее путем интерполяции энергия рассчитывалась во всех узлах параллелипипеда с размерами $\Delta X \Delta Y \Delta Z = 1,4 \cdot 1,1 \cdot 1,5$ Å³ и с шагом 0,1 Å по каждой из осей. Этот процесс осуществлялся в три этапа. На первом, в каждой из семи плоскостей путем интерполяции сплайнами третьего порядка вдоль направлений, параллельных оси Y , энергия находилась в точках со значениями координаты $\Delta Y = -0,4, -0,3, +0,3$ и $+0,4$ Å для каждого из рассчитанных ранее значений ΔZ . На втором этапе аналогичным образом определялась энергия вдоль направлений, параллельных оси Z , в узлах с координатами $\Delta Z = -0,6, -0,4, -0,3, +0,3, +0,4$ и $+0,6$ Å. На заключительном этапе определялась энергия вдоль направлений, параллельных оси X , в узлах с значениями $\Delta X = -0,9, -0,7, -0,6, -0,4, -0,3, -0,1$ и $+0,2$ Å. Таким образом были определены значения потенциальной энергии в 2310 узлах трехмерной решетки. При этом более чем в 700 узлах

энергия найдена непосредственно путем квантово-химических расчетов, а в более чем 1500 узлах – путем интерполяции.

Результаты и их обсуждение.

Результаты расчетов указывают на сложную форму трехмерной потенциальной поверхности, обусловленной колебаниями гидроксильной группы в исследуемом комплексе. Некоторое наглядное представление о ней можно получить из рис. 3, где отражено ее варьирование при смещении вдоль оси X.

Как отмечено в [16], формы двумерных потенциальных поверхностей в плоскостях XOY и особенно XOZ имеют еще более сложный вид. Этот факт указывает на существенное силовое взаимодействие всех трех типов колебаний гидроксильной группы. Для нахождения частот колебаний O–H группы необходимо решить уравнение Шредингера следующего вида:

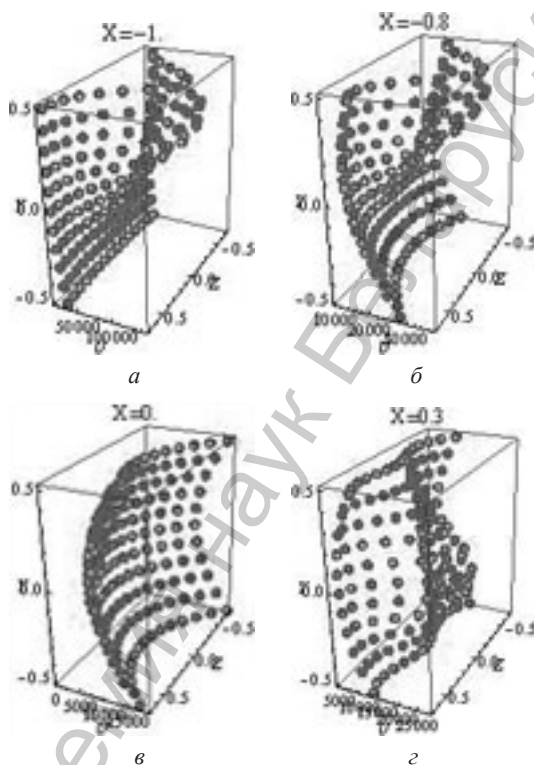


Рис. 3. Вид двумерных потенциальных поверхностей для некоторых плоскостей параллельных плоскости YOZ

$$-R\left(\frac{\partial^2\Psi(x, y, z)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\Psi(x, y, z)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\Psi(x, y, z)}{\partial z^2}\right) + U(x, y, z)\Psi(x, y, z) = E\Psi(x, y, z), \tag{1}$$

где $R = \frac{\hbar^2}{2m_H l_0^2} = 16,735 \text{ см}^{-1}$; $x = \frac{\Delta X}{l_0}$, $y = \frac{\Delta Y}{l_0}$, $z = \frac{\Delta Z}{l_0}$ – безразмерные переменные ($l_0 = 1 \text{ \AA}$). Для решения уравнения (1) следует найти аналитическое представление функции $U(x, y, z)$. Естественным ее видом в пространстве декартовых координат является трехмерный степенной полином

$$U(x, y, z) = \sum_{k,l,m=0}^{n,p,s} u_{k,l,m} x^k y^l z^m, \quad n + p + s \geq 2. \tag{2}$$

С помощью пакета Mathematica [22] по значениям энергии в 2310 узлах трехмерной решетки были определены коэффициенты $u_{k,l,m}$ в (2).

Используя явный вид функции (2), можно рассчитать значения потенциальной энергии в узлах трехмерной сетки с меньшим шагом. В соответствии с теоремой Котельникова [23] (Nyquist–Shannon–Kotelnikov sampling theorem) для

надежного определения амплитуды гармоник новый шаг для узлов трехмерной сетки выбирался из условия, чтобы на минимальном пространственном полупериоде ($|k| = a$; $|l| = b$; $|m| = c$) присутствовало не менее одного узла вдоль любой из переменных x, y, z . Затем можно найти представление функции $U(x, y, z)$ в виде

$$U(x, y, z) = \sum_{k,l,m=-a,-b,-c}^{a,b,c} u'_{k,l,m} \exp\left(i2\pi\left(\frac{kx}{L_x} + \frac{ly}{L_y} + \frac{mz}{L_z}\right)\right); \quad a, b, c \in \mathbb{N}, \quad (3)$$

где $L_x = 1,4$, $L_y = 1,1$, $L_z = 1,5$.

С помощью [22] были определены коэффициенты разложения $u'_{k,l,m}$ в трехмерный ряд Фурье функции $U(x, y, z)$. Волновую функцию следует искать в виде

$$\Psi(x, y, z) = \sum_{n,m,l=-\infty}^{\infty} b_{n,m,l} \exp\left(i2\pi\left(\frac{nx}{L_x} + \frac{my}{L_y} + \frac{lz}{L_z}\right)\right). \quad (4)$$

Подставляя (3) и (4) в (1) можно найти значения частот и волновые функции, связанные с колебаниями гидроксильной группы, как это изложено в [24; 25]. В результате диагонализации матрицы Гамильтониана ленточного типа, размер которой варьировался от 1540×1540 до 1886×1886 , была достигнута стабилизация ее наименьших собственных значений, определяющих частоты валентных и деформационных колебаний О–Н группы. Они оказались равными $\nu_{\text{O-H}} = 2313 \text{ см}^{-1}$, $\delta_{\text{OH}}^{\text{ip}} = 1404 \text{ см}^{-1}$ и $\delta_{\text{OH}}^{\text{oop}} = 989 \text{ см}^{-1}$. Результаты гармонического и ангармонического приближений, $1D$, $2D$ [16] и $3D$ расчетов частот колебаний гидроксильной группы представлены в таблице.

Значения частот колебаний О–Н группы, полученных в различных приближениях теории

Тип колебания	Приближение, использованное при расчете частот								
	$1DX \text{ (см}^{-1}\text{)}$	$1DY \text{ (см}^{-1}\text{)}$	$1DZ \text{ (см}^{-1}\text{)}$	$2DXY \text{ (см}^{-1}\text{)}$	$2DXZ \text{ (см}^{-1}\text{)}$	$2DYZ \text{ (см}^{-1}\text{)}$	$3DXYZ \text{ (см}^{-1}\text{)}$	Гарм. (см ⁻¹)	Ангарм. (см ⁻¹)
ν_{OH}	2265			2244	2338		2313	2822	2204
$\delta_{\text{OH}}^{\text{ip}}$		1416		1381		1426	1404	1489	1418
$\delta_{\text{OH}}^{\text{oop}}$			1038		962	1045	989	1003	959

Согласно результатам работы [16], предсказываемые значения частот этих колебаний 2312 , 1390 и 967 см^{-1} соответственно. Как видно, наилучшее совпадение имеет место для валентного колебания гидроксильной группы, хуже согласие имеет место для частот деформационных колебаний, причем в большей степени это касается внеплоскостного колебания. Согласно данным таблицы, значения частот колебаний О–Н связи варьируются в ряду $1D$, $2D$, $3D$. Это закономерно, поскольку нормальные моды при наличии ангармонизма уже не являются независимыми. Их взаимодействие тем сильнее, чем сложнее форма многомерной по-

тенциальной поверхности. Энергию колебательных состояний в этом случае принято описывать выражением вида [3]

$$E_{\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_N} = \sum_{i=1}^{3N-6} \omega_{0i} (\nu_i + \frac{1}{2}) + \sum_{i=1, j \geq i}^{3N-6} \chi_{i,j} (\nu_i + \frac{1}{2})(\nu_j + \frac{1}{2}), \quad (5)$$

где i, j – номера нормальных мод; ω_{0i} – гармоническая частота i -й нормальной моды; ν_i – колебательное квантовое число для i -й моды; $\chi_{i,j}$ – элемент матрицы постоянных ангармоничности. Если рассматривать $\chi_{i,j}$ как постоянные, описывающие ангармоническое взаимодействие нормальных мод, то следует отметить, что в стандартном ангармоническом приближении учитываются лишь парные взаимодействия мод. Напомним, что в стандартном ангармоническом приближении учитываются производные не выше четвертого порядка в разложении потенциальной энергии по степеням нормальных координат и второе приближение теории возмущений. Однако если в разложении потенциальной энергии учесть производные шестого порядка по нормальным координатам, в частности, слабое в представлении потенциальной энергии вида $k_{ijklkk} Q_i^2 Q_j^2 Q_k^2$, то в первом приближении теории возмущения получим в качестве поправки к энергии [26]

$$\sum_{ijk} k_{ijklkk} \langle \Psi_{\nu_i} | Q_i^2 | \Psi_{\nu_i} \rangle \langle \Psi_{\nu_j} | Q_j^2 | \Psi_{\nu_j} \rangle \langle \Psi_{\nu_k} | Q_k^2 | \Psi_{\nu_k} \rangle = \sum_{ijk} k_{ijklkk} (\nu_i + \frac{1}{2})(\nu_j + \frac{1}{2})(\nu_k + \frac{1}{2}), \quad (6)$$

где Ψ_{ν_i} – волновая функция i -го гармонического осциллятора, связанного с Q_i нормальной координатой. Это ведет к уточнению формулы (5):

$$E_{\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_N} = \sum_{i=1}^{3N-6} \omega_{0i} (\nu_i + \frac{1}{2}) + \sum_{i=1, j \geq i}^{3N-6} \chi_{i,j} (\nu_i + \frac{1}{2})(\nu_j + \frac{1}{2}) + \sum_{i=1, j, k \geq i}^{3N-6} \chi_{i,j,k} (\nu_i + \frac{1}{2})(\nu_j + \frac{1}{2})(\nu_k + \frac{1}{2}). \quad (7)$$

Это выражение указывает на необходимость учета тройных взаимодействий нормальных мод. Очевидно, $1D$ расчеты учитывают собственный ангармонизм нормальных мод, который вносит основную поправку в определение частоты фундаментального колебания. $2D$ расчеты, помимо этого, учитывают парные ангармонические взаимодействия анализируемых мод. Однако лишь $3D$ расчеты, помимо указанных выше взаимодействий, способны учитывать ангармоническое взаимодействие всех трех мод одновременно. В любом случае результаты, полученные при решении уравнения Шредингера большей размерности, более достоверны. Таким образом, можно считать, что частоты колебаний О–Н связи, полученные в $3D$ приближении в полной мере учитывают собственный ангармонизм и ангармоническое взаимодействие шестой (ν_{O-H}), двенадцатой (δ_{OH}^{ip}) и двадцать третьей (δ_{OH}^{oop}) мод (нумерация согласно [16]). Чтобы учесть ангармоническое

взаимодействие с остальными модами, следует воспользоваться результатами [16], согласно которым $\frac{1}{2} \sum_j^N \chi_{6,j} = 34,28 \text{ см}^{-1}$, $\frac{1}{2} \sum_j^N \chi_{12,j} = -14,54 \text{ см}^{-1}$, $\frac{1}{2} \sum_j^N \chi_{23,j} = -50,69 \text{ см}^{-1}$ ($j \neq 6, 12, 23$). Тогда окончательные значения частот фундаментальных колебаний могут быть получены в соответствии с формулой

$$v_A^{fund} = v_A^{3D} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N \chi_{A,j}, \quad A=6, 12, 23; \quad j \neq 6, 12, 23. \quad (8)$$

В соответствии с (8) получим $v_{\text{O-H}} = 2347 \text{ см}^{-1}$, $\delta_{\text{OH}}^{ip} = 1389 \text{ см}^{-1}$ и $\delta_{\text{OH}}^{oop} = 938 \text{ см}^{-1}$.

Выводы. На трехмерной потенциальной поверхности, обусловленной колебаниями гидроксильной группы в комплексе трихлоруксусной кислоты и пиридиназотоксида, рассчитаны значения энергии более чем в 700 узлах. Путем интерполяции кубическими сплайнами число узлов, в которых определена энергия, было увеличено до 2310. Путем численного решения трехмерного уравнения Шредингера были определены частоты валентного и деформационных колебаний гидроксильной группы, значения которых составили соответственно $v_{\text{O-H}} = 2313 \text{ см}^{-1}$; $\delta_{\text{OH}}^{ip} = 1404 \text{ см}^{-1}$ и $\delta_{\text{OH}}^{oop} = 989 \text{ см}^{-1}$. Показано, что предложенные ранее [16] подходы к оценке значений частот этих колебаний в $3D$ приближении на основании данных $1D$ и $2D$ приближений весьма удовлетворительны. Учет постоянных ангармонического взаимодействия с остальными модами позволяет в принципе учесть все колебательные степени свободы. Найденные таким способом значения частот колебаний гидроксильной группы составили $v_{\text{O-H}} = 2347 \text{ см}^{-1}$; $\delta_{\text{OH}}^{ip} = 1389 \text{ см}^{-1}$ и $\delta_{\text{OH}}^{oop} = 938 \text{ см}^{-1}$.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Ф11К-032). Данная работа была выполнена с использованием вычислительных ресурсов объединенного вычислительного кластера НТК <Институт монокристаллов> и Института сцинтилляционных материалов НАН Украины в составе Украинского национального грида.

Литература

1. *Ta-You-Wu*. Vibrational Spectra and Structure of Polyatomic Molecules J. W. Edwards Brothers, Inc., Ann Arbor, Michigan, 1946. P. 247.
2. Герцберг Г. Колебательные и вращательные спектры многоатомных молекул. М., 1949. – 219 с.
3. Вильсон Е., Дешюс Дж., Кросс П. Теория колебательных спектров молекул. М., 1960. – 180 с.
4. Darling B. T., Dennison D. M. // Phys. Rev. 1940. Vol. 37. P. 128–139.
5. Wu Ta-You, Kiang A. T. // J. Chem. Phys. 1939. Vol. 7. P. 178–186.
6. Dixon R. N. // J. Mol. Spectr. 1969. Vol. 30. P. 248–252.
7. Marushkevich K., Khriachtchev L., Lundell J. et al. // J. Mol. Spectr. 2010. Vol. 259. P. 105–110.
8. Hadži D., ed. // Theoretical Treatments of Hydrogen Bonding. John Wiley & Sons Ltd, Chichester. 1997. P. 134.

9. Grabovski S. J., ed. // Hydrogen Bonding: New Insights. Springer, Dordrecht. 2006. P. 211.
10. XIX. International Conference on «Horizons in Hydrogen Bond Research» Göttingen, Germany [Electronic resource]. – 2011. – Mode of access: <http://www.hbond.de>.
11. Дорошенко И. Ю., Погорелов В. Е., Пицевич Г. А., Шаблинская В. // Кластерная структура жидких спиртов. Исследование методами колебательной спектроскопии. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH Co & KG. 2012. P. 98.
12. Pitsevich G. A., Doroshenko I. Yu., Pogorelov V. E. et al. // Am. J. of Chem. 2012. Vol. 2. P. 218–227.
13. Asselin M., Belanger G., Sandorfy C. // J. Mol. Spectr. 1969. Vol. 30. P. 96–101.
14. Antony J., G. von Helden, Meijer G., Schmidt B. // J. Chem. Phys. 2005. Vol. 123. P. 014305 1–11.
15. Vener M. V., Kuhn O., Bowman J. M. // Chem. Phys. Lett. 2001. Vol. 349. P. 562–570.
16. Pitsevich G. A., Malevich A. E., Sablinskas V. et al. // J. Spectrosc. Dyn. 2013. Vol. 3, N 19.
17. Becke A. D. // J. Chem. Phys. 1993. Vol. 98. P. 5648–5653.
18. Lee C., Yang W., Parr R. G. // Phys. Rev. B. 1988. Vol. 37. P. 785–792.
19. Stephens P. J., Devlin F. J., Chabalowski C. F., Frisch M. J. // J. Chem. Phys. 1994. Vol. 98. P. 11623–11631.
20. Dunning T. H. // J. Chem. Phys. 1989. Vol. 90. P. 1007–1014.
21. Frisch M. J. et al. // Gaussian 09, Revision A.1. 2009.
22. Mathematica, Wolfram Research, Inc. [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.wolfram.com/mathematica>.
23. Kotelnikov V. A. On the carrying capacity of the ether and wire in telecommunications, Material for the First All-Union Conference on Questions of Communication, Izd. Red. Upr. Svyazi RKKA. Moscow, 1933
24. Pitsevich G. A., Malevich A. E. // OPJ. 2012. Vol. 2. P. 332–337.
25. Pitsevich G. A., Malevich A. E. // Am. J. Chem. 2012. Vol. 2. P. 312–321.
26. Califano S. Vibrational States J. Wiley & Sons, London, New York, Sydney, Toronto. 1976. P. 269.

G. A. PITSEVICH, A. E. MALEVICH, V. SABLINSKAS, I. U. DOROSHENKO,
V. E. POGORELOV, E. N. KOZLOVSKAJA, V. BALEVICIUS

3D CALCULATIONS OF O–H GROUP VIBRATIONS IN THE PYRIDINE N-OXIDE/TRICHLOROACETIC ACID COMPLEX

Summary

On the three-dimensional potential energy surface, associated with the hydroxyl group vibrations in pyridine N-oxide/trichloroacetic acid complex, the energy was calculated in more than 2000 points. It is allowed us to obtain an analytic expression for the potential energy in the form of a power polynomial, and then in the form of three-dimensional Fourier series. As a result of the numerical solution of the Schrödinger equation, the values of frequencies of stretching and bending vibrations of the hydroxyl group were found. This data are compared with the results of earlier 1D and 2D, as well as the calculation of anharmonic vibrational spectra of the complex.

УДК 621.382; 77.001.66

Г. Д. АЛЕКСЕЕВ¹, К. Г. АФАНАСЬЕВ², М. А. БАТУРИЦКИЙ²,
О. В. ДВОРНИКОВ³, И. Ф. ЕМЕЛЬЯНЧИК², В. А. МИХАЙЛОВ⁴, А. А. ПИСКУН¹,
А. А. СОЛИН², А. В. СОЛИН², В. В. ТОКМЕНИН¹, В. А. ЧЕХОВСКИЙ²

КОМПЛЕКТ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА БАЗЕ ПОЛУЗАКАЗНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ИМПУЛЬСНОГО ВИДИМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МАЛОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

¹Лаборатория ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований,
Дубна

²Национальный научно-учебный центр физики частиц и высоких энергий БГУ, Минск

³ОАО «МНИПИ», Минск

⁴Международный государственный экологический университет им. А. Д. Сахарова,
Минск

(Поступила в редакцию 21.02.2013)

На специализированном базовом матричном кристалле АБМК-1.3 разработано четыре варианта интегральной микросхемы (ИМС) усилителя-дискриминатора с набором параметров (полоса пропускания частот f_{-3dB} от 100 до 250 МГц, дифференциальный коэффициент преобразования K_{IU} от 1 до 20 мВ/мкА, среднеквадратическое значение шумового тока I_{noise} от 80 до 170 нА), необходимым для регистрации сигналов от микропиксельных лавинных фотодиодов в мюонных системах, – существующего фотодиода MAPD-1 и предполагаемых новых модификаций лавинных фотодиодов. На основе созданных ИМС изготовлены четырехслойные печатные платы электронных устройств регистрации слабых импульсных световых сигналов: ADB-1.14, ADB-1.15, ADB-1.16, ADB-1.17. Результаты исследования их работы с фотодиодом MAPD-1 (количество пикселей $n = 564$, коэффициент усиления $K = 5 \cdot 10^5$, емкость диода $10 \text{ пФ} \leq C_D \leq 20 \text{ пФ}$) подтвердили возможность регистрации слабых импульсных световых сигналов с интенсивностью от единиц до десятков фотонов, ожидаемой от сцинтилляционных детекторов, планируемых для мюонной системы установки PANDA (ускорительный комплекс FAIR, г. Дармштадт, Германия).

Введение. В последнее время Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ, г. Дубна, Московская обл.) с участием НИУ «Национальный научно-учебный центр физики частиц и высоких энергий» БГУ (НЦ ФЧВЭ БГУ) разрабатывает мюонную систему для эксперимента по физике высоких энергий

\bar{P} ANDA (AntiProton Annihilations at Darmstadt) – представителя следующего поколения детекторов, которые будут установлены на высокоэнергетическом накопительном кольце HESR (High Energy Storage Ring). На создаваемом ускорительном комплексе для исследований антипротонов и ионов FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) таких установок будет несколько. Они будут изучать частицы, которые образуются при взаимодействии пучка охлажденных антипротонов с энергией от 1,5 до 15 ГэВ с внутренними мишенями. Эксперимент \bar{P} ANDA ставит своей целью изучение спектроскопии адронов, в частности, исследование экзотических состояний в области чармония, очарованных адронов в ядерной среде, спектроскопии двойных гиперядер и структуры ядер. Многие из этих структур распадаются с образованием мюонов. Так, мюоны являются важным свидетелем распада J/Ψ , полуплептонного распада D -мезона и процесса Дрелла–Яна. Таким образом, надежная идентификация мюонов чрезвычайно важна для полного достижения физических целей данного эксперимента. Установка \bar{P} ANDA спроектирована для регистрации частиц в 4π -геометрии, высокого разрешения треков, надежной идентификации и совершенной калориметрии. Для достижения хорошего разрешения моментов детектор содержит два магнитных спектрометра: мишенный спектрометр на сверхпроводящем соленоиде и передний спектрометр на дипольном магните.

Мюонная система регистрирует координаты мюонов в слоистом железном поглотителе, она способна идентифицировать первичные мюоны и отделять их от фона, создаваемого, главным образом, первичными пионами с малым моментом. Для измерения координат мюонов используются двухкоординатные минидрейфовые трубки (МДТ) с открытой геометрией катода, которые плотно стыкуются с железным ярмом соленоида мишенного спектрометра. Но в конструкции все же остаются щели, сквозь которые будет проходить незарегистрированная часть потока мюонов. Для увеличения эффективности регистрации их предполагается перекрывать сцинтилляторами с фотоприемниками, в качестве которых будут использованы разработанные в России микропиксельные лавинные фотодиоды (ЛФД) типа MAPD (Micro-pixel Avalanch Photodiodes) со структурой металл-резистивный слой-полупроводник.

В физике частиц высоких, промежуточных и низких энергий сцинтилляционные детекторы составляют значительную часть экспериментального арсенала. Они используются очень широко – от мюонных трековых детекторов до калориметрии. В таких детекторах сигнал несет информацию о координате, времени и выделенной энергии события. Это многообразие возможностей обусловило широкое применение детекторов данного типа и, в свою очередь, жесткие требования к считывающей электронике, включающие в том числе:

надежность, поскольку современные установки, как правило, имеют большое количество каналов регистрации. Единственным способом удовлетворить требованиям надежности является создание заказных или полузаказных (в случае не очень большого количества электронных каналов) ИМС;

быстродействие. Для сцинтилляционных детекторов с MAPD в качестве фотоприемников необходимая полоса пропускания усилителей доходит до 300 МГц;
линейность передаточной характеристики. При измерении энерговыделения в детекторе калориметра коэффициент преобразования входного сигнала в выходной должен быть постоянным в динамическом диапазоне не менее 20 дБ;
наличие как аналогового, так и цифрового (логического) сигнала с детектирующей электроники, что упрощает построение канала обработки сигнала и позволяет создавать многоканальные системы.

В данной статье описывается разработанный в 2009–2011 гг. в НЦ ФЧВЭ БГУ комплект ИМС широкополосных усилителей-дискриминаторов (Amplifier-Discriminator) AD-1.14, AD-1.15, AD-1.16 и AD-1.17 для регистрации сигналов от MAPD. Для минимизации временных и материальных затрат ИМС изготавливались на специализированном аналоговом базовом матричном кристалле АБМК-1.3 [1; 2], предназначенном для создания аналоговых микросхем, используемых в ядерно-физической аппаратуре. Разработанные ИМС удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к современной детекторной электронике, и перекрывают диапазон параметров, определяемый характеристиками существующих и находящихся в стадии проектирования фотодиодов MAPD.

При создании данных ИМС использовались схемотехнические решения восьмиканальных микросхем трансрезистивных усилителей Ampl-8.3 [3] и компараторов Disc-8.3 [4] семейства D0M [5; 6], а также их одноканального варианта AD-1.3 [7].

Микропиксельный лавинный фотодиод MAPD-1. В литературе описано много модификаций микропиксельных лавинных фотодиодов, называемых MAPD или SiPM (Silicon Photomultiplier). Используемый при исследовании работы ADB-1.14–ADB-1.17 образец фотодиода [8] представляет собой микропиксельный ЛФД типа MAPD-1 (рис. 1), предназначенный для работы в годоскопических системах.

В MAPD все элементарные ячейки лавинных фотодиодов работают в гейгеровском режиме. Каждая ячейка регистрирует одиночный фотон, выдавая на выход сигнал стандартной амплитуды, зависящей от приложенного напряжения смещения. Если одновременно срабатывают несколько ячеек от нескольких фотонов, то на выходе появляется суммарный сигнал. Диапазон линейного отклика фотодиода на большое количество фотонов имеет ограничение, обусловленное количеством ячеек в кристалле. К особенностям MAPD следует отнести:

возможность регистрации световых вспышек слабой интенсивности, начиная от одиночных фотонов, в чем MAPD конкурирует с фотоэлектронными умножителями;

малая чувствительность к сильным магнитным полям;

зависимость внутренних шумов от температуры и числа дефектов кристалла, возрастающих под действием ионизирующих излучений;

чувствительность коэффициента усиления и темнового тока к напряжению питания (рис. 2), что приводит к необходимости стабилизации напряжения питания.

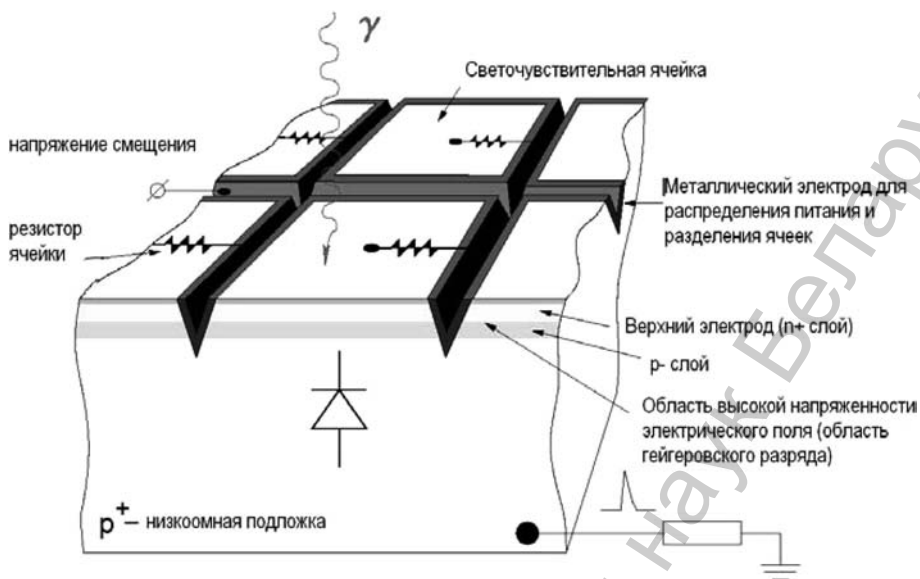


Рис. 1. Структура микропиксельного лавинного фотодиода MAPD-1

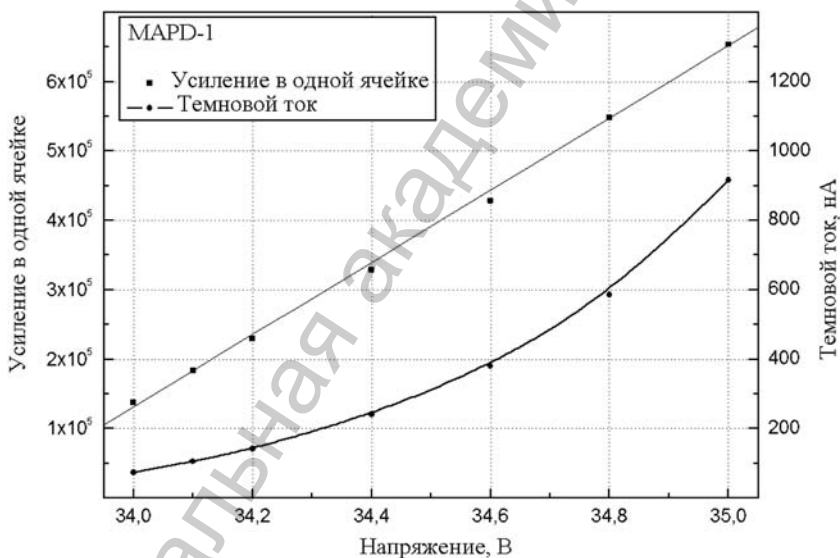


Рис. 2. Зависимость коэффициента усиления и темнового тока используемого образца MAPD-1 от напряжения смещения

Внешний вид использованного MAPD-1 и его устройство представлены на рис. 3.

Осциллограммы работы MAPD-1, снятые в режиме накопления, показаны на рис. 4. На них четко прослеживается срабатывание диода от одного, двух, трех и четырех фотоэлектронов.

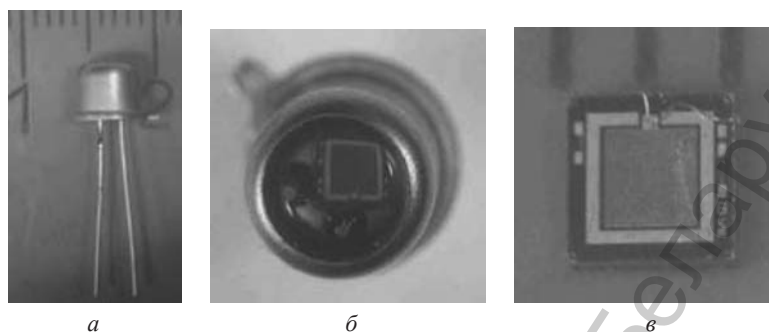


Рис. 3. Внешний вид MAPD-1: корпус (а), входное окно (б), некорпусированный кристалл (в)

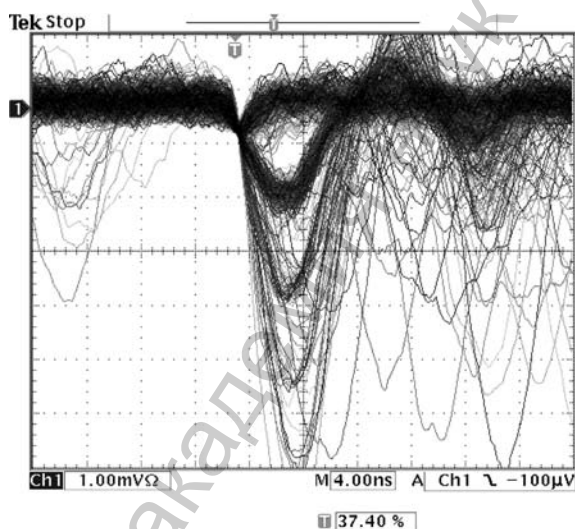


Рис. 4. Осциллограммы работы микропиксельного ЛФД в накопительном режиме

В табл. 1 приведены характеристики лавинного фотодиода MAPD-1 в сравнении с другими фотодиодами данного типа.

Таблица 1. Характеристики микропиксельных лавинных фотодиодов

Параметр	MAPD-1	MAPD-3A	MAPD-3B	MAPD-3N
Размер, мм	1 × 1	3 × 3	3 × 3	3 × 3
Шаг ячеек, мкм	2	8(3)	5(2)	8(5)
Количество ячеек	564	~135000	~360000	~135000
Напряжение питания, В	34–35	~66,5	~70	~90
Усиление, ×10 ⁴	50	2–3	1–1,5	5–7
Однофотозэлектронные шумы, МГц	1	10	10	5
Емкость, пФ	10–20	100–200	100–200	100–200
Квантовая эффективность, % (λ~520 нм)	15–25	12	10	25

Исходные требования к усилителю. Проектирование ИМС транзистивных усилителей проводилось с учетом следующих факторов:

параметров фотоприемника MAPD-1;

геометрии сцинтилляционного детектора, сигналы которого он регистрирует;

требований разработчиков мюонной системы использовать схмотехнические и топологические особенности хорошо зарекомендовавших себя ИМС Ampl-8.3 и Disc-8.3, **а именно: отсутствие общей обратной связи, паразитные элементы** которой способствуют самовозбуждению усилителя; использование только дифференциальных каскадов усиления для подавления синфазных помех; использование опорного каскада, **идентичного входному, для задания рабочего режима второго дифференциального каскада усиления и компенсации синфазной помехи,** которая одинаково воздействует на головной и опорный каскады и вычитается на втором дифференциальном каскаде;

возможностей 3-гигагерцовой биполярно-полевой технологии изготовления ИМС, имеющейся на ОАО «Интеграл»;

структура разрабатываемого усилителя-дискриминатора должна повторять структуру микросхемы AD-1.3 [7], разработанной для газоразрядных дрейфовых трубок [9; 10], **а именно: ИМС должна содержать одноканальный усилитель и компаратор,** соединяемые между собой внешними РС-цепями, **шины питания усилителя и компаратора** должны быть отдельные.

Характеристики MAPD-1 определили требования к динамическому диапазону, коэффициенту преобразования и полосе пропускания усилителя (от 80 до 300 МГц), причем верхняя граница обусловлена возможностями технологии изготовления ИМС. Геометрия сцинтиллятора влияет на количество фотонов, попадающих на MAPD-1, и следовательно, на коэффициент преобразования и динамический диапазон.

В ходе разработки было изучено девять вариантов схем электрических принципиальных (СхЭП) усилителей, различавшихся числом каскадов усиления, размерами головного транзистора, номиналами пассивных элементов и, как следствие, полосой пропускания и коэффициентом преобразования. Главным их отличием является наличие во входном каскаде дополнительного транзистора с общей базой (ОБ), включенного последовательно с головным транзистором. Этот дополнительный транзистор имеет меньшие размеры, и соответственно, меньшую коллекторную емкость, что приводит к резкому увеличению быстродействия.

По результатам моделирования выбраны четыре варианта усилителей, параметры которых (прежде всего коэффициент преобразования K_{IU} и полоса частот пропускания f_{-3dB}) удовлетворяют требованиям уже существующего MAPD-1 и предполагаемым параметрам новых модификаций лавинных фотодиодов.

Схемы электрические принципиальные ИМС усилителей-дискриминаторов. Все ИМС AD-1.14–AD-1.17 имеют одинаковую структуру. Они содержат одноканальные транзистивные усилители Ampl-1.14–Ampl-1.17 и компараторы Disc-1.4, за исключением ИМС AD-1.16, которая содержит компаратор Disc-1.16 с пониженным до $\pm 3,3$ В уровне напряжения питания.

На рис. 5 приведена СхЭП ИМС Ampl-1.14 [11]. Усилитель трехкаскадный. Отличительной особенностью его является входной каскад, построенный по схеме ОБ-ОБ-ОК (Q2, Q3, Q1/1), второй каскад выполнен по каскодной дифференциальной схеме (Q14, Q15 и Q23, Q24) с двумя генераторами тока (Q31 и Q32), эмиттерными резистором R26 и конденсатором C1, корректирующим полосу пропускания в области верхних частот. Коэффициент усиления такого каскада определяется только отношением коллекторного и эмиттерного резисторов ($K_2 = R_{12} / R_{26}$ – для дифференциального выходного сигнала), которое в интегральной схеме задается с точностью порядка 1 % и не зависит от температуры.

Связь между вторым и третьим каскадами усиления осуществляется эмиттерными повторителями Q6/1 и Q6/2 со сдвигающими цепочками диодов Q11, Q16, Q18 и Q12, Q17 и Q19. Третий каскад усиления выполнен по дифференциальной схеме с эмиттерным резистором, образованным последовательным включением R27 и R28. Сигнал с каждого плеча каскада подается на выход через эмиттерные повторители Q8, Q9.

Смещение на базах транзисторов Q3, Q22 формируется цепью Q39, R40, R41, а на базах каскадных транзисторов второго каскада усиления Q14, Q15 задается потенциалом GndS – «земли» источников питания.

Вывод REF1 предназначен для регулировки выходного тока токовых зеркал. При подключении его через внешний резистор Rbias к отрицательному напряжению питания VeeA ток, задаваемый токовыми зеркалами, уменьшается, а при подключении Rbias к положительному питанию VccA – увеличивается.

Для увеличения быстродействия при сохранении прочих характеристик в допустимых пределах разработан усилитель Ampl-1.15, который имеет следующие отличия по сравнению с Ampl-1.14:

усилитель двухкаскадный, исключен третий дифференциальный каскад Q25, Q26;

для увеличения коэффициента усиления второго каскада увеличены номиналы нагрузочных резисторов R12, R13 и ток токовых зеркал Q31, Q32;

исключены резисторы R2 и R5 Ampl-1.14, чтобы обеспечить требуемое положение рабочей точки на выходе второго каскада;

для дополнительной развязки нагрузки и второго каскада на частотах выше 150 МГц выходные эмиттерные повторители сделаны по схеме Дарлингтона.

Перечисленные меры позволили получить длительность фронта выходного сигнала, равную 2,2 нс, практически во всем диапазоне выходных сигналов и динамический диапазон примерно 71 дБ при среднеквадратическом значении шумового тока $I_{noise} = 80$ нА. При этом обеспечивается коэффициент преобразования 10 мВ/мкА при нелинейности менее 0,1 % в диапазоне входных токов 0–250 мкА.

Во время выполнения работы возникла необходимость разработки усилителя AD-1.17 [11] для регистрации сигналов с лавинных диодов MAPD-3A, MAPD-3B и MAPD-3N, которые предполагается использовать в калориметрии, хотя вопрос об их использовании в годоскопах окончательно не закрыт, так как в стадии

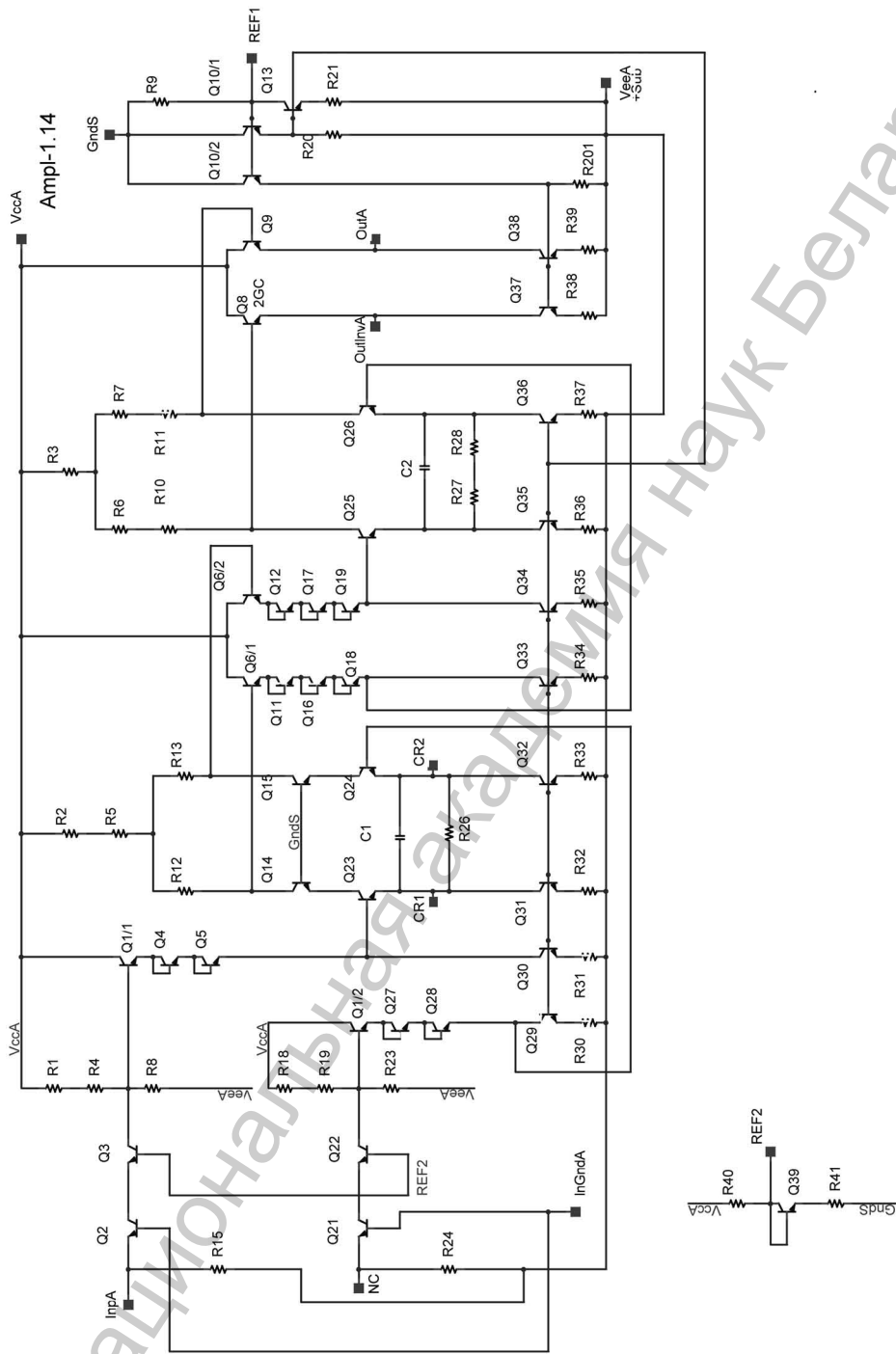


Рис. 5. СхЭП усилителя Ampl-1.14 (условные графические обозначения и наименования электрорадиоэлементов соответствуют принятым в системе проектирования OrCAD)

проектирования находятся быстрые MAPD, которые должны иметь существенно большее усиление.

Диоды MAPD-3A, MAPD-3B и MAPD-3N отличаются от MAPD-1 большими размерами, количеством ячеек (пикселей) элементарных лавинных фотодиодов, большей емкостью и меньшим усилением (табл. 1).

В связи с указанным, к усилителю Ampl-1.17 предъявлялось требование обеспечения динамического диапазона, равного 80 дБ, и интегральной нелинейности порядка 1 %.

Схема усилителя Ampl-1.17 аналогична схеме Ampl-1.15 и отличается отсутствием встроенного дифференцирующего конденсатора C1 (рис. 5), количеством диодов в эмиттерных цепях повторителей Q1/1 и Q1/2 (четыре вместо двух), сопротивлением входных и нагрузочных резисторов.

В результате усилитель Ampl-1.17 оказался рекордным по произведению коэффициента усиления на полосу пропускания для используемой биполярно-полевой технологии [12].

Первоначально по совокупности параметров для изготовления в виде микросхем выбраны усилители Ampl-1.14, Ampl-1.15, Ampl-1.17. Однако в связи с планируемой реализацией восьмиканальной ИМС, требовавшей снижения рассеиваемой мощности, был разработан новый усилитель Ampl-1.16 с пониженным до $\pm 3,3$ В напряжением питания, полосой пропускания около 100 МГц и дифференциальным коэффициентом преобразования, равным 15,6. Его схема отличается от схемы Ampl-1.15 наличием дополнительного диода в сдвигающих цепочках в эмиттерных повторителях, связывающих головной каскад со вторым каскадом усиления, а выходные эмиттерные повторители аналогичны используемым в Ampl-1.14.

Усилители Ampl-1.14, Ampl-1.15, Ampl-1.17 на одном кристалле с компаратором Disc-1.4 [7] образуют ИМС усилителей-дискриминаторов AD-1.14, AD-1.15, AD-1.17. Поскольку компаратор Disc-1.4 не может работать при напряжении питания $\pm 3,3$ В, для совместной работы с Ampl-1.16 принято решение использовать схему компаратора Disc-1.16, который является модификацией компаратора ИМС 8-канального усилителя-дискриминатора AD-8.2 [13].

Компаратор Disc-1.16 выполнен по традиционной для данного класса устройств схеме – на основе дифференциальных усилителей в каскодном включении, выходной каскад – дифференциальная пара с открытым коллектором. Ввиду применения низковольтного питания сдвиг уровней между каскадами осуществляется с помощью цепочек транзисторов в диодном включении, а не стабилитронами, как в Disc-1.4.

По сравнению с предыдущими вариантами компараторов Disc-8.3 и Disc-1.3 для уменьшения задержки срабатывания исключена RC-обратная связь во втором каскаде, задававшая минимальную длительность выходного сигнала около 50 нс при малых превышениях порога срабатывания.

ИМС AD-1.14–AD-1.17 имеют отдельное питание для усилителей и компараторов, что позволяет раздельное их использование при отключении питания неиспользуемой части ИМС.

Т а б л и ц а 2. Характеристики ИМС AD-1.14–AD-1.17

Наименование параметра	Тип ИМС			
	AD-1.14	AD-1.15	AD-1.17	AD-1.16
Состав	Ampl-1.14 и Disc-1.4	Ampl-1.15 и Disc-1.4	Ampl-1.17 и Disc-1.4	Ampl-1.16 и Disc-1.16
Характеристики усилителей	Ampl-1.14	Ampl-1.15	Ampl-1.17	Ampl-1.16
Напряжение питания, В	+5	+5	+5	±3,3
Входное сопротивление, Ом	50,0	50,0	50,0	65
Коэффициент преобразования дифференциальный (на плечо), мВ/мкА	20 (10)	10 (5)	1 (0,5)	15,6 (7,8)
Полоса пропускания по уровню –3 дБ, МГц	150	170	250	100
Среднеквадратическое значение шумового тока, приведенного к входу, при емкости источника сигнала 10 пФ, нА	110	80	170	145
Характеристики компараторов	Disc-1.4		Disc-1.16	
Напряжение питания, В	+5		±3,3	
Ток потребления, мА $I_{see}I_{scc}$	12,3 5,8		9,5 5,6	
Потребляемая мощность, мВт	92		52	
Входной ток, мкА	≤5,0		0,25	
Выходной ток, мА	5,0		3,3	
Задержка включения/выключения, нс	5,9		11,8	
Длительность фронта нарастания/спада, нс	2,2/1,3		1,1/0,9	
Дрожание, нс	0,35		0,35	

Характеристики ИМС усилителей-дискриминаторов приведены в табл. 2.

Электронные устройства ADB-1.14–ADB-1.17. Для работы ИМС AD-1.14–AD-1.17 с диодом MAPD-1 была разработана универсальная четырехслойная печатная плата с размерами 28,4×16,4 мм². На ней смонтированы электронные устройства для регистрации слабых (начиная с одного фотона) импульсных световых потоков в видимом диапазоне.

Сигнал от MAPD-1 подается на вход усилителя через резистор номиналом 10 кОм, прямой и инверсный выходы усилителя подключены к входам компаратора через конденсаторы емкостью 100 нФ. Напряжение порога срабатывания подается на вход дискриминатора через резистор 10 кОм. Дискриминатор имеет встроенную нагрузку 1 кОм в каждом плече, которая используется при пусконаладочных работах, тогда как рабочей нагрузкой являются два резистора номиналом 56 Ом, подключенные на «землю» на другом конце кабеля, передающего цифровой сигнал дискриминатора в устройство обработки.

На разъем выведен аналоговый выход усилителя через буферную схему повторителя на ИМС AD8130, что дает возможность в случае необходимости использовать дополнительно аналоговый сигнал для амплитудного анализа или вообще только одну усилительную часть ИМС усилителя-дискриминатора. Кроме того,

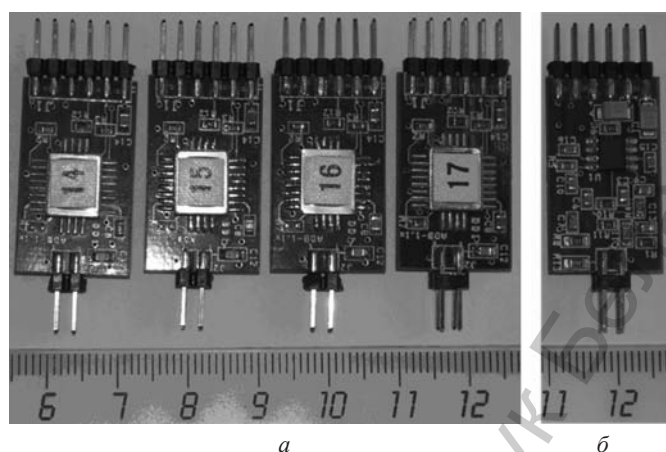


Рис. 6. Внешний вид электронных устройств ADB-1.14–ADB-1.17; *а* – верхняя сторона; *б* – нижняя сторона, одинаковая для всех четырех устройств

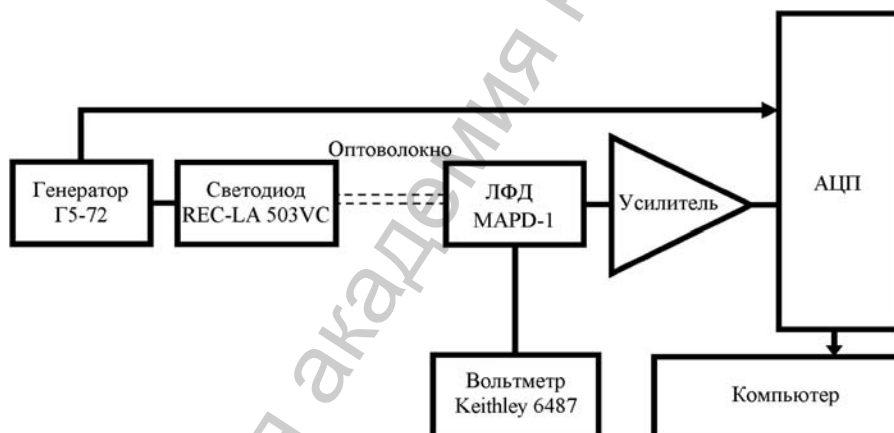


Рис. 7. Стенд для исследования электронных устройств ADB-1.14–ADB-1.17 с лавинным диодом MAPD-1 в режиме регистрации единичных фотонов

для удобства работы с детектором на MAPD-1 через плату подается высокое напряжение питания. Внешний вид электронных устройств показан на рис. 6.

Для исследования работоспособности электронных устройств был собран стенд (рис. 7). Фотодиод MAPD-1 и светодиод были установлены в отдельных светонепроницаемых алюминиевых кожухах, соединенных оптоволоком. Импульс поджига MAPD-1 подавался от генератора Г5-72, длительность его составляла около 10 нс, амплитуда – около 7 В, точные значения подбирались по отклику фотодиода.

Оцифровка сигнала осуществлялась с использованием АЦП Lecroy 2249W, временные ворота для которого формировались с помощью таймера 2255B (в стандарте NIM). Управление измерениями проводилось от персонального компьютера.

Данное оборудование позволило испытать работоспособность канала лавинный диод–усилитель в режиме счета единичных фотонов, т. е. на нижнем пределе чувствительности, требуемой для мюонной системы эксперимента.

Пики наложены на пьедестал, определяемый шумовыми срабатываниями MAPD-1, сильно зависящими от температуры ($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, рис. 8, а). Этот пьедестал существенно ниже на следующем рисунке (рис. 8, б), где показан спектр, снятый при температуре $12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Следует отметить высокое качество работы канала фотодиод–усилитель: в спектре наблюдаются пики от одного до шести фотонов, однако при понижении температуры количество наблюдаемых пиков при этом не увеличилось.

В целом результаты исследования показали, что параметры ИМС AD-1.14 и AD-1.15 удовлетворяют требованиям мюонной системы. Окончательный выбор между вариантами ИМС AD-1.14 (с большим усилением) и AD-1.15 (с более широкой полосой частот) будет сделан после испытаний в полномасштабном прототипе мюонного детектора.

Закключение. Разработаны, изготовлены на базовом матричном кристалле АБМК-1.3 и испытаны четыре микросхемы усилителя-дискриминатора (AD-1.14, AD-1.15, AD-1.16 и AD-1.17) для регистрации сигналов микропиксельных ЛФД типа MAPD-1, предназначенных для работы со сцинтилляционными детекторами прототипа мюонной системы установки PANDA. Каждая ИМС состоит из двух независимых схем: трансрезистивного широкополосного усилителя и компаратора, а именно: AD-1.14 из Ampl-1.14 и Disc-1.4; AD-1.15 из Ampl-1.15 и Disc-1.4; AD-1.16 из Ampl-1.16 и Disc-1.16; AD-1.17 из Ampl-1.17 и Disc-1.4.

Усилители отличаются в основном полосой пропускания f_{-3dB} , коэффициентом преобразования K_{IU} и среднеквадратическим значением шумового тока I_{noise} : AD-1.14 – $f_{-3dB} = 150\text{ МГц}$, $K_{IU} = 20\text{ мВ/мкА}$, $I_{noise} = 110\text{ нА}$, напряжение питания $\pm 5\text{ В}$;

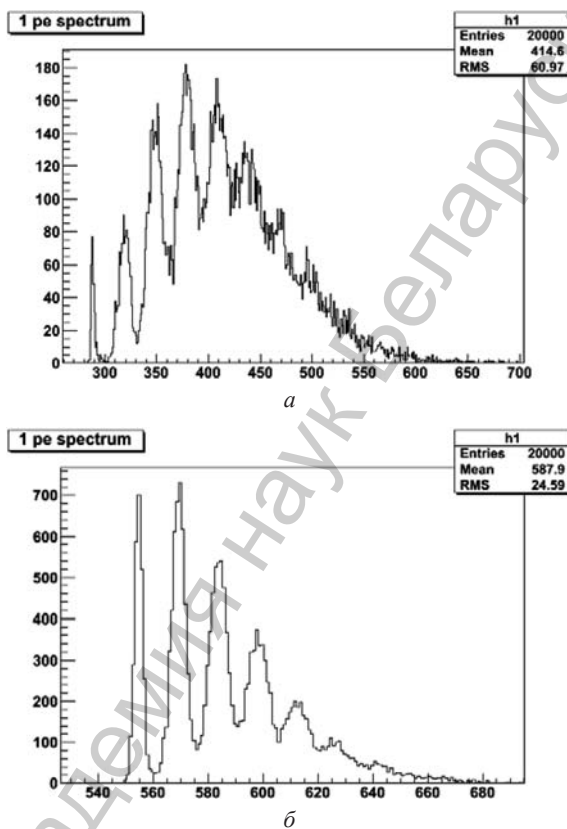


Рис. 8. Спектр отклика лавинного фотодиода MAPD-1 с ИМС AD-1.15 при освещении световыми импульсами от единичных фотонов и выше при температурах: а – $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, б – $12\text{ }^{\circ}\text{C}$

AD-1.15 – $f_{-3dB} = 170$ МГц, $K_{IU} = 10$ мВ/мкА, $I_{noise} = 80$ нА, напряжение питания ± 5 В;

AD-1.16 – $f_{-3dB} = 100$ МГц, $K_{IU} = 15,6$ мВ/мкА, $I_{noise} = 145$ нА, напряжение питания $\pm 3,3$ В;

AD-1.17 – $f_{-3dB} = 250$ МГц, $K_{IU} = 1,0$ мВ/мкА, $I_{noise} = 170$ нА, напряжение питания ± 5 В.

Наличие аналогового и цифрового выходов облегчает возможное применение ИМС как в будущих проектах физики высоких энергий (ILC), так и в текущих (PANDA/FAIR, D0/FNAL, COMPASS/CERN, MPD/NICA и др.).

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ–ОИЯИ (проект № Ф09Д-005) (ИМС AD-1.14, AD-1.15 и AD-1.17) и по ГПНИ «Поля и частицы» на 2006–2010 гг., задание 26 (ИМС AD-1.16).

Литература

1. *Baturitsky M. A., Dvornikov O. V., Tchekhovskiy V. A.* // ICCSC'02.1ST IEEE International Conference on Circuits and Systems for Communications. Proceedings. 26–28 June, 2002. St. Petersburg, Russia.
2. *Baturitsky M. A., Dvornikov O. V., Tchekhovskiy V. A.* // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2003. Vol. A498. P. 443–452.
3. *Alexeev G. D., Baturitsky M. A., Dvornikov O. V.* et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2001. Vol. A462. P. 494–505.
4. *Alexeev G. D., Baturitsky M. A., Dvornikov O. V.* et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 1999. Vol. A423. P. 157–162.
5. *Alexeev G. D., Baturitsky M. A., Dvornikov O. V.* et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2001. Vol. A473. P. 269–282.
6. *Abazov V. M., Acharya B. S., Alexeev G. D.* et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2005. Vol. A552. P. 372–398.
7. *Алексеев Г. Д., Батурицкий М. А., Давыдов Ю. И.* и др. // Вестн. ФФИ. 2010. № 1. С. 24–34.
8. *Sadygov Z., Olshevski A., Chirikov I.* et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2006. Vol. A567. P. 70–73.
9. *Абазов В. М., Алексеев Г. Д., Давыдов Ю. И.* и др. // Приборы и техника эксперимента. 2010. № 3. С. 42–48.
10. *Абазов В. М., Алексеев Г. Д., Давыдов Ю. И.* и др. // Приборы и техника эксперимента. 2010. № 5. С. 32–36.
11. *Дворников О. В., Батурицкий М. А., Чеховский В. А.* // Материалы 3-й Междунар. науч.-техн. конф. Приборостроение-2010, 10–12 ноября 2010 г. БНТУ. Минск, 2010.
12. *Baturitsky M. A., Dvornikov O. V., Reutovich S. I., Solomashenko N. F.* // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 1996. Vol. A378. P. 570–576.
13. *Алексеев Г. Д., Батурицкий М. А., Высоцкий В. Б.* и др. // Материалы 4-й Междунар. науч.-практ. конф. «Вузовская наука, промышленность, международное сотрудничество». Минск, 2002. С. 130–136.

*K. G. AFANACIEV, G. D. ALEXEEV, M. A. BATURITSKY, O. V. DVORNIKOV,
I. F. EMELLANTCHIK, V. A. MIKHAILOV, A. A. PISKUN, A. A. SOLIN,
A. V. SOLIN, V. V. TOKMENIN, V. A. TCHEKHOVSKI*

**THE ELECTRONICS DEVICE SET USING SEMICUSTOM INTEGRATED CIRCUITS
FOR REGISTRATION OF LOW POWER PULSE VISIBLE IRRADIATION**

Summary

Four versions of the amplifier-discriminator integrated circuits (ICs) on the basis of the specialized Analogous Master Slice Array ABMK-1.3 were developed. Their parameters (frequency band f_{-3dB} from 100 to 250 MHz, differential gain K_{IU} from 1 to 20 mV/ μ A, and noise current I_{noise} from 80 to 170 nA r. m. s.) are required for registration of signals of micro-pixel avalanche photodiodes in muon systems – currently available MAPD-1 and new future modifications of MAPD. Four versions of electronic devices for detection of low power pulse light signals were designed on the universal four-layer printed circuit amplifier-discriminator board using these ICs: ADB-1.14, ADB-1.15, ADB-1.16, and ADB-1.17. Performance of the electronic devices with MAPD-1 (number of pixels $n = 564$, amplification $K = 5 \cdot 10^3$, diode capacity $10 \text{ pF} \leq C_D \leq 20 \text{ pF}$) was investigated. The investigation results confirmed ability of this devices to detect light signals from one to a few tens of photons, which are supposed to be generated by scintillation detectors, which are planned to be used in the Muon System of PANDA setup (accelerator set FAIR, Darmstadt, Germany).

ВЕСТНИК ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, № 1, 2013

на русском и белорусском языках

Редактор Т. П. Петрович

Компьютерная верстка С. Н. Костюк

Подписано в печать 22.03.2013. Выход в свет 27.03.2013. Формат 70 × 100^{1/16}. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 8,29. Уч.-изд. л. 6,8. Тираж 128 экз. Заказ 61.

Цена номера: индивидуальная подписка – 27350 руб.; ведомственная подписка – 27563 руб.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука».

ЛИ № 02330/0494405 от 27.03.2009. Ул. Ф. Скорины, 40, 220141, Минск.