

РОССИЙСКИЙ
ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ISSN 1605-8070

ВЕСТНИК РФФИ

2–3 (74–75) апрель – сентябрь 2012



ВЕЕСТНИК
РФФИ

№ 2–3 (74–75) апрель–сентябрь 2012 года

Основан в 1994 году
Зарегистрирован Комитетом РФ по печати,
рег. № 012620 от 03.06.1994 г.

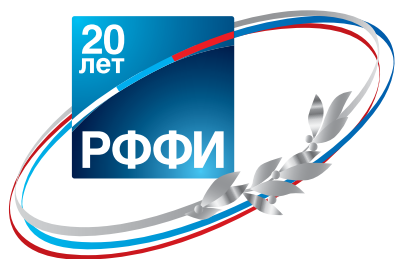
Учредитель
федеральное государственное бюджетное учреждение
«Российский фонд фундаментальных исследований»

Главная редакция:
главный редактор В.Я. Панченко, академик, председатель Совета РФФИ,
заместитель главного редактора В.В. Квардаков, член-корреспондент РАН, заместитель
председателя Совета РФФИ

Редакционная коллегия:
академики: В.А. Геловани, Ю.В. Копаев, Ю.Н. Кульчин, В.П. Матвеев, Е.И. Моисеев,
А.М. Музафаров, Р.В. Петров, И.Б. Федоров, В.В. Ярмолюк,
члены-корреспонденты РАН: П.П. Пашинин, Е.Н. Черных, В.А. Шахнов
Редактор тематического блока В.П. Матвеев, академик

Редакция:
В.И. Елисеев, директор РФФИ
А.П. Локтев, начальник издательского управления РФФИ
А.О. Тимофеева, заместитель начальника издательского управления РФФИ

Адрес редакции:
119991, Москва, Ленинский проспект, 32а
Тел.: (495) 952 6053, факс: (495) 952 5541
e-mail: pressa@rfbr.ru



РОССИЙСКИЙ
ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ISSN 1605-8070

ВЕСТНИК РФФИ

2–3 (74–75) апрель – сентябрь 2012

«Вестник РФФИ»

№ 2–3 (74–75), апрель–сентябрь 2012 г.

(Приложение к «Информационному бюллетеню» № 20)

РЕГИОНЫ

Родин А.Е., Шаров А.Н.

Дальневосточное направление в деятельности РФФИ7

НАУЧНЫЙ АВАНГАРД

Рубаков В.А.

К открытию новой частицы со свойствами бозона Хиггса 12

ОПЫТ И РЕЗУЛЬТАТ

Мушников Н.В.

Региональный конкурс РФФИ-«Урал»25

Бычков И.В., Кузнецова А.Н.

Байкальский конкурс РФФИ – всегда в развитии36

ИНТЕРВЬЮ

Интервью В.Н. Чарушина в журнале Большой «Урал»

Одна из государственных премий уехала на Урал44

Интервью Е.А. Егорова

Первый межрегиональный конкурс — проектные задачи, проблемы, организации, опыт решения48

Интервью А.Г. Литвака и С.Г. Псахье в газете «Поиск»

Паритет приоритетов.....51

ФОТОАЛЬБОМ

Взаимодействие РФФИ с регионами55

ТЕМАТИЧЕСКИЙ БЛОК

Аннотация к тематическому блоку57

О редакторе тематического блока В.П. Матвеевко58

Насибуллаева Э.Ш., Денисова Е.В.

Динамическая модель агрегата дозирования топлива в силовую установку беспилотного летательного аппарата60

Санеев Б.Г., Соколов А.Д., Платонов Л.А., Музычук С.Ю., Иванова И.Ю.

Энергетика Байкальского региона: современное состояние и взгляд в будущее69

Плотникова Е.Г., Егорова Д.О., Демаков В.А.

Использование бактерий-деструкторов для детоксикации стойких органических загрязнителей (полихлорированных бифенилов).....82

<i>Гилева О.С., Фрейнд Г.Г., Орлов О.А., Либик Т.В., Герасимова Е.И., Плехов О.А., Баяндин Ю.В., Пантелеев И.А.</i> Междисциплинарные подходы к ранней диагностике и скринингу опухолевых и предопухолевых заболеваний (на примере рака молочной железы)	93
<i>Бачурин Б.А., Борисов А.А.</i> Газовое «дыхание» калийных недр	100
<i>Кузьмин М.И., Безрукова Е.В., Кострова С.С.</i> Палеоклиматические записи высокого разрешения из озера Котокель	110
<i>Ильина И.А., Супрун И.И.</i> Роль РФФИ в развитии индустрии знаний (Фундаментальная составляющая методологических аспектов селекции)	126
ФОТОАЛЬБОМ	
Фоторепортаж с совместного заседания в г. Перми Совета по координации деятельности региональных отделений и региональных научных центров РАН и Президиума Уральского отделения РАН.	132
КОНФЕРЕНЦИИ	
<i>Садовская Е.Ю.</i> Как было и как есть: исторический экскурс о проведении научно-практических конференций по итогам конкурса РФФИ-«Урал» разных лет	134
ЭЛЕКТРОННАЯ ИНФОРМАЦИЯ	
<i>Зибарева И.В., Круковская Н.В.</i> РФФИ и информационное обеспечение отечественной химии (опыт работы с системой SciFinder)	137
КНИЖНАЯ ПОЛКА	
Старинные города Орловской земли XII-XVII века. Болхов, Мценск, Новосиль, Ливны, Кромы, исчезнувшие грады	141

«RFBR Journal»

No2–3 (74–75), April–September 2012

(Supplement to RFBR Information Bulletin No 20)

REGIONS

Rodin A. Y., Sharov A. N.

Far East Direction of RFBR Activity.....7

SCIENTIFIC VANGUARD

Rubakov V. A.

On the Discovery of the New Particle with Properties of Higgs Boson 12

EXPERIENCE AND RESULT

Mushnikov N. V.

RFBR Regional Contest “Ural”25

Bychkov I. V., Kuznetsova A. N.

RFBR Baikal Contest – Always in Progress36

INTERVIEWS

An interview with V. N. Charushin in “Bolshoi Ural” Magazine

One of State Prizes Found its Winner in Urals Region44

An interview with E. A. Yegorov

The First Transregional Contest – Project Objectives, Organizational Challenges and Solutions48

An interview with Litvak L. and Psakhye S. in “Poisk” Newspaper

Parity of Priorities51

PHOTO REPORTAGE

RFBR Interaction with Regions55

THEMATIC SECTION

Abstract to the Thematic Section.....57

About the Editor of the Thematic Section V. P. Matveenko58

Nasbibullayeva E. Sh., Denisova E. V.

The Dynamic Model of the Fuel Metering Unit for the Power Plant of the Air Drone.....60

Saneyev B. G., Sokolov A. D., Platonov L. A., Muzychuk S. Yu., Ivanova I. Yu.

Power Economy of Baikal Region: Its Contemporary Condition and Prospects69

Plotnikova E. G., Yegorova D. O., Demakov V. A.

Usage of Bacteria-Destructors for Detoxication of Persistent Organic
Pollutants (Polychlorinated Biphenyls).....82

<i>Gileva O.S., Freyndt G.G., Orlov O.A., Libik T.V., Gerasimova E.I., Plekhov O.A., Bayandin Yu.V., Panteleyev I.A.</i> Interdisciplinary Approaches to Early Detection and Screening of Malignancies and Premalignancies (the Case of Breast Cancer).....	93
<i>Bachurin B.A., Borisov A.A.</i> Gas “Breathing” of Potassium Depths	100
<i>Kuzmin M.I., Bezrukova E.V., Kostrova S.S.</i> Palaeoclimatic Records of High Resolution from Lake Kotokel	110
<i>Ilyina I.A., Suprun I.I.</i> The Role RFBR Plays in the Development of the Knowledge Industry (The Fundamental Component of Methodological Aspects of Selection).....	126
<i>PHOTO REPORTAGE</i>	
Photo reportage of the joint meeting of the Council for Coordination of Activity of Regional Divisions and Regional Scientific Centers of the Russian Academy of Sciences (RAS) and the Presidium of the Ural RAS Division.....	132
<i>CONFERENCES</i>	
<i>Sadovskaya E. Yu.</i> As It Was and As It Is Now: A Retrospective Journey into the History of Research and Practice Conferences Following the Results of RFBR Contest “Ural” Over the Years	134
<i>ELECTRONIC INFORMATION</i>	
<i>Zibareva I.V., Krukovskaya N.V.</i> RFBR and Information Support of Russian Chemistry (Experience of Working with SciFinder System)	137
<i>BOOKSHELF</i>	
Ancient Towns of Orlovsky Region. XII-XVII cc. Bolkhov, Mtsensk, Novosil, Livny, Kromy, Vanished Towns	141

ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РФФИ



А.Е. Родин



А.Н. Шаров

Председательство России в организации «Азиатско-Тихоокеанское экономическое сотрудничество» (АТЭС) в текущем году без всякого преувеличения стимулировало дальневосточное направление в деятельности РФФИ.

Прежде всего была выдвинута инициатива, предусматривающая создание в структуре АТЭС специализированного форума по развитию фундаментальных исследований как площадки для сотрудничества научных фондов и исследовательских организаций. Предложение было поддержано Советом фонда и в дальнейшем обсуждено и одобрено в ходе проведенного в апреле 2012 г. совместно с Российским центром

исследований АТЭС круглого стола. В дальнейшем, на встрече уполномоченных представителей научных фондов стран АТЭС (рис. 1), которая была организована РФФИ совместно с Дальневосточным федеральным университетом (ДВФУ) и Дальневосточным отделением РАН в мае 2012 г. во Владивостоке, инициатива была единогласно одобрена участниками встречи. Соответствующий параграф был внесен в итоговую декларацию, которая была подписана в торжественной обстановке и передана в Министерство образования и науки Российской Федерации для использования при подготовке итоговых документов саммита АТЭС.



Рис. 1. Встреча уполномоченных представителей научных фондов стран АТЭС.

Одновременно РФФИ инициирует сотрудничество научных фондов в регионе АТЭС с целью поддержки ими многосторонних исследований, ориентированных на инновационный рост экономики региона. Эта инициатива базируется на уже имеющемся опыте взаимодействия с партнерами в таких странах как КНР, США, Япония, Республика Корея, Тайвань, Вьетнам. Совместно с ними РФФИ поддерживал в 2012 г. свыше 250 международных исследовательских проектов с участием российских ученых. Кроме того, фонд принимает вместе с некоторыми из них (США, Япония, Канада) участие в ряде многосторонних научных программ. Прошедшая во Владивостоке встреча представителей научных фондов-участников АТЭС показала глубокий интерес участников к инициативе РФФИ и готовность продолжить обсуждение путей и методов ее реализации. Наиболее важным и сложным является выбор тематики многосторонних исследований, отвечающей интересам инновационного развития региона.

Пока в странах АТЭС нет единого мнения о совпадающих приоритетах научных исследований. Существующие варианты научного

сотрудничества преимущественно имеют характер договоренности «по случаю», отвечают за «текущий момент», имеют отдаленное отношение к фундаментальным исследованиям, отсутствует специальный механизм, который позволял бы создавать и координировать научные заделы.

Согласно данным SCOPUS за 2010 г., полученным на основе анализа общего числа публикаций в странах АТЭС, лидирующими областями знаний в регионе являются компьютерные исследования, медицина, инженерные науки, биология, физика и математика. Пока в АТЭС нет единого мнения о совпадающих приоритетах научных исследований. Есть области науки универсальные, привлекательные для большинства стран, и есть области научной специализации отдельных стран. Проведенный в РФФИ анализ показал, что наиболее перспективными областями совместных исследований в регионе могли бы стать:

- экология, прогнозирование и противодействие природным катастрофам. Здесь наибольший интерес представляют природные и антропогенные воздействия на окружающую среду, потепление и изменение клима-



Рис. 2. Председатель совета РФФИ академик В.Я. Панченко и губернатор Приморского края В.В. Миклушевский подписали Меморандум о сотрудничестве.

та, космическая погода, экологические проблемы урбанизации, экологический мониторинг вод и суши, проблемы ограниченности водных ресурсов;

- экономические исследования, изучение социально-экономических и экономико-географических процессов, экономических проблем модернизации, инновационного развития и безопасности человека и общества;
- создание новых многофункциональных материалов и технологий. Интерес вызывают неорганические функциональные и наноразмерные материалы, органические и гибридные функциональные материалы, металлические, керамические и композитные материалы;
- протеомика, где важное место отводится изучению белков, искусственному выращиванию белковых структур с заданными свойствами, исследования в области геномики;
- робототехника и мехатроника с исследованиями в области создания и внедрения нано-, микро- и макророботов, в т.ч. адаптивных и интеллектуальных роботов, космической и подводной робототехники, а

также в области искусственного интеллекта, применения биологических материалов в робототехнике.

Для обсуждения и отбора тематик совместных исследований в масштабе АТЭС нужны встречи экспертов стран этого региона, на основе рекомендаций которых национальными научными фондами, финансирующими такие многосторонние исследовательские проекты, могут быть приняты решения о проведении совместного конкурса. Все эти вопросы планируется обсудить и согласовать в дальнейших контактах РФФИ с представителями указанных фондов АТЭС.

В течение 2012 г. интенсивно развивалось взаимодействие РФФИ и Администрации Приморского края. Подписан совместный меморандум о сотрудничестве, который предусматривает проведение конкурса проектов фундаментальных исследований по проблемам, представляющим интерес для этого региона. Конкурс будет проводиться на условиях паритетного финансирования РФФИ и Администрацией Приморского края. Стороны договорились о тесном взаимодействии по вопросам экспертной оценки результатов научных иссле-



Рис. 3. Набережная Дальневосточного федерального университета, о. Русский.

дований с использованием технологий, разработанных и успешно апробированных РФФИ при проведении конкурсов научных проектов (рис. 2). Этим же документом предусмотрено создание Регионального экспертного совета для проведения экспертизы проектов фундаментальных исследований, которые будут реализованы в рамках совместного конкурса.

Такое сотрудничество может стать органичной и необходимой частью будущих инновационных кластеров, которые в скором времени начнут развиваться на базе ДВФУ, что предусмотрено «Программой развития ДВФУ до 2019 г.» (рис. 3). В качестве приоритетных для Дальневосточного университета были выбраны такие направления исследований, как ресурсы мирового океана; энергоресурсы и энергосберегающие технологии; индустрия наносистем и наноматериалов; транспортно-логистический комплекс; экономическое, технологическое, культурное взаимодействие со странами Азиатско-Тихоокеанского региона и биолого-медицинские технологии. Выступая перед преподавателями и студентами ДВФУ во время своей поездки во Владивосток в мае 2012 г., председатель Совета РФФИ призвал шире использовать возможности финансирования подобных исследований со стороны фонда путем участия в конкурсах РФФИ.

В РФФИ изучаются и другие возможности активизации роли фонда в международном научном сотрудничестве в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Такую возможность открывают результаты проведенного в мае 2012 г. во Владивостоке первого Инновационного технологического диалога АТЭС «Нанотехнологии в области энергоэффективности». Планируется, что страны АТЭС продолжат работать над решением проблем повышения энергоэффективности. К поддержке фундаментальных исследований в этой области мог бы подключиться и РФФИ совместно с научными фондами стран АТЭС.

В ходе саммита АТЭС между Россией и США был подписан меморандум о сотрудничестве в Антарктике, предполагающий расширение спектра совместных исследовательских проектов в этом регионе. Помимо этого, было сделано заявление о сотрудничестве России и США в регионе Берингова пролива. Здесь речь идет о создании трансграничного резервата, который будет состоять из национального парка «Берингия», расположенного в восточной части Чу-

котского полуострова, на российской территории, и национального парка Bering Land Bridge на территории США. В будущей совместной заповедной зоне объединенными силами американских и российских специалистов планируется проводить исследование существующих там экосистем, а также культурных традиций и языков местных этнических групп.

В настоящее время фундаментальные исследования, осуществляемые Россией в Арктике и Антарктике, проводятся в основном в рамках Федеральной целевой программы «Мировой океан», рассчитанной на 1998–2013 гг., и финансируются из бюджета Министерства экономического развития РФ. Очевидно, что РФФИ, обладающий прочными связями с Национальным научным фондом США, может подключиться к этой большой и нужной работе в части организации совместной поддержки указанных исследований.

Анализируя итоги прошедшего саммита АТЭС, необходимо упомянуть еще один существенный факт, нашедший свое отражение в итоговой декларации лидеров экономик АТЭС. Речь идет о повышении мобильности студентов, ученых и преподавателей внутри Азиатско-Тихоокеанского региона, в том числе, путем развития кооперации между учреждениями высшего образования, а также о создании здесь единого образовательного пространства. Все это проекты, в которых РФФИ традиционно принимал самое активное участие, финансируя конкурсы, направленные на повышение мобильности российских исследователей, особенно молодых ученых.

РФФИ планирует принять участие в решении проблем, обозначенных на международной конференции «Новая экономика – новые подходы», прошедшей в рамках Байкальского международного экономического форума в сентябре 2012 г. в Улан-Удэ. Конференция стала во многом продолжением саммита АТЭС, который завершился несколькими днями ранее во Владивостоке. Представители РФФИ выступили на ней с докладами, посвященными актуальной проблематике форума и приоритетам инновационного развития Дальнего Востока.

Одной из тем, обсуждаемых на конференции, была роль территориальных кластеров как ключевого механизма реализации приоритетов инновационного развития Сибири и Дальнего Востока. К этой теме РФФИ имеет прямое отношение и как ведущая организация, занима-



Рис. 4. Главы и представители ведущих организаций региона, финансирующих фундаментальную науку.

ющаяся финансированием фундаментальной науки, без которой невозможно инновационное развитие, и как авторитетный научный фонд, широко известный в странах Азиатско-Тихоокеанского региона, имеющий прочные деловые связи и масштабный опыт успешной реализации совместных проектов с зарубежными партнерами.

Таким образом, к своему 20-летию Российский фонд фундаментальных исследований подходит, имея в активе не только сотни ежегодно реализуемых совместно с партнерами из АТР проектов, но также наработанные связи

с финансирующими фундаментальную науку ведущими организациями региона (рис. 4): Национальным научным фондом США, Японским обществом содействия науке, Исследовательским советом естественных и инженерных наук Канады, Государственным фондом естественных наук Китая, Вьетнамской академией наук и технологий, Национальным исследовательским фондом Кореи и Национальным научным советом Тайваня. А в планах на будущее – реализация новых интересных, перспективных и значимых для всей России проектов и инициатив.

К ОТКРЫТИЮ НОВОЙ ЧАСТИЦЫ СО СВОЙСТВАМИ БОЗОНА ХИГГСА

Рубаков В.А.¹

Что известно про новую частицу

Прежде всего, скажем, что минимальная теория микромира носит название Стандартной модели. Эта теория описывает все известные элементарные частицы и все известные взаимодействия между ними (рис. 1).

Минимальная она потому, что в ней, помимо известных до последнего времени частиц, есть еще всего одна – бозон Хиггса, и он является элементарной, а не составной частицей (мы еще коротко поговорим о других возможностях). Таким образом, бозон Хиггса был единственной неоткрытой частицей Стандартной модели.

Большинство аспектов Стандартной модели – за исключением нового сектора, к кото-

рому принадлежит бозон Хиггса, – проверены в многочисленных экспериментах, и главная задача Большого адронного коллайдера – выяснить, действительно ли в природе реализуется минимальный вариант теории и насколько полно эта теория описывает микромир².

Вполне естественно, что программа поиска бозона Хиггса была с самого начала одной из главных, если не самой главной, на Большом адронном коллайдере в ЦЕРНе. Большой адронный коллайдер мы коротко опишем в разделе 6, а здесь скажем, что в ходе выполнения этой программы и была открыта новая частица. Она довольно тяжелая по меркам физики микромира. В этой области физики массу измеряют в единицах энергии, имея в виду связь

$$\text{лептоны} \quad \begin{pmatrix} e \\ \nu_e \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} \mu \\ \nu_\mu \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} \tau \\ \nu_\tau \end{pmatrix}$$

три семейства частиц

$$\text{кварки} \quad \begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$$

+ АНТИЧАСТИЦЫ e^+ : позитрон, ...
 $\bar{\nu}_e$: антинейтрино, ...
 \bar{u} : антикварки, ...

+ частицы, ответственные за взаимодействия: фотон, глюоны,
 W, Z , гравитон + бозон Хиггса

Рис. 1. Все частицы Стандартной модели.



¹ Рубаков Валерий Анатольевич, академик, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института ядерных исследований РАН, г. Москва, e-mail: rubakov@ms2.inr.ac.ru.

² Стандартная модель на самом деле заведомо неполна. О ее неполноте свидетельствуют данные космологии [3, 4]. Проявится ли неполнота Стандартной модели при энергиях Большого адронного коллайдера – открытый и интригующий вопрос.

$E_0 = mc^2$ между массой и энергией покоя. В качестве единицы энергии используют электрон-вольт (эВ) и производные – МэВ, ГэВ, ТэВ (10^6 , 10^9 и 10^{12} эВ, соответственно). Масса электрона в этих единицах равна 0,5 МэВ, протона – примерно 1 ГэВ, масса самой тяжелой известной элементарной частицы, t -кварка – 173 ГэВ. Масса нового бозона составляет 125–126 ГэВ (точнее, $125,3 \pm 0,4$ (стат.) $\pm 0,5$ (сист.) ГэВ по данным CMS [1] и $126,0 \pm 0,4$ (стат.) $\pm 0,4$ (сист.) ГэВ по данным ATLAS [2], где указаны статистические и систематические погрешности). Эта новая частица, для нее принято обозначение H , не имеет электрического заряда. Она нестабильна и может распадаться по-разному. На Большом адронном коллайдере ее открыли [1, 2], изучая распады на два фотона, $H \rightarrow \gamma\gamma$, и на две пары электрон-позитрон и/или мюон-антимюон $H \rightarrow e^+e^-e^+e^-$, $H \rightarrow e^+e^-\mu^+\mu^-$, $H \rightarrow \mu^+\mu^-\mu^+\mu^-$. Второй тип процессов проходит в две стадии: сначала новая частица распадается на две известные тяжелые нейтральные частицы: два Z -бозона, один из которых виртуальный, а затем каждый из Z -бозонов распадается на e^+e^- или $\mu^+\mu^-$ пару. Это записывают как $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$, где звездочка обозначает виртуальную частицу, а l – один из лептонов e^+ , μ^+ . Обе коллаборации CMS и ATLAS сообщают также о некотором избытке событий, который можно объяснить распадами $H \rightarrow WW^* \rightarrow l\nu l\nu$, где W -бозон – еще одна известная тяжелая частица, обладающая электрическим зарядом (так что сначала рождается пара W^+W^-), а ν – электронное или мюонное нейтрино. Этот избыток, впрочем, пока не имеет высокой статистической значимости.

Напомним, что элементарные частицы характеризуются спином – внутренним угловым моментом, который может быть полуцелым (фермионы) или целым (бозоны) в единицах постоянной Планка \hbar . Все известные до последнего времени элементарные частицы имеют ненулевой спин, равный $1/2$ для заряженных лептонов (электрон, мюон, τ -лептон), нейтрино, кварков и 1 для фотона, W^\pm - и Z -бозонов и глюонов³. Из существования обсуждавшихся распадов следует, что спин новой частицы целый – она является бозоном. Кроме того, ее спин не может быть равным единице (частица спина 1 не может распадаться на два фотона). Остается спин 0 , 2 или выше. Хотя прямого экспериментального измерения спина новой

частицы пока нет, крайне маловероятно, что мы имеем дело с частицей спина 2 или больше. Почти наверняка спин H равен нулю. Именно таким должен быть бозон Хиггса.

Вообще все, что сейчас известно о новой частице, согласуется с ее интерпретацией как бозона Хиггса Стандартной модели (обсуждение Стандартной модели см., например, в [4], детали – в [5]). В рамках Стандартной модели можно вычислить как вероятность рождения бозона Хиггса в протон-протонных столкновениях на Большом адронном коллайдере, так и вероятности его распадов $H \rightarrow \gamma\gamma$ и $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$, и тем самым предсказать число ожидаемых событий. Эти предсказания и подтверждаются экспериментом, конечно, в пределах экспериментальных погрешностей (рис. 2, 3) (отметим, что CMS и ATLAS используют несколько разные величины для того, чтобы охарактеризовать сигнал).

Эти погрешности пока велики, да и измененных величин, как мы видим, пока совсем немного. Тем не менее, трудно сомневаться в том, что открыт именно бозон Хиггса Стандартной модели или что-то очень похожее на него, особенно если учесть, что распады $H \rightarrow \gamma\gamma$ и $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$ должны быть очень редкими⁴: в Стандартной модели на два фотона распадается 2 из $1\,000$ бозонов Хиггса, а на две e^+e^- и/или $\mu^+\mu^-$ пары – 1 из $10\,000$ [6] (точнее, Стандартная модель предсказывает, что относительные вероятности распадов $H \rightarrow \gamma\gamma$ и $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$ равны $2,3 \cdot 10^{-3}$ и $1,3 \cdot 10^{-4}$; здесь и далее численные значения приведены для $m_H = 125$ ГэВ).

Более чем в половине случаев бозон Хиггса должен распадаться на пару b -кварк– b -антикварк, $H \rightarrow Vb\bar{b}$. Рождение пары $b\bar{b}$ в протон-протонных (и протон-антипротонных) столкновениях – явление, очень частое независимое от бозона Хиггса, и выделить сигнал от бозона Хиггса из этого фона трудно. Поэтому исследуется процесс, в котором в столкновении протонов бозон Хиггса рождается вместе с W -бозоном, а затем H распадается на пару $b\bar{b}$, а W – на пару $l\nu$, где l – это снова e^\pm или μ^\pm . Распад W приводит к появлению высокоэнергичного лептона и дисбалансу энергии

³ Спин гравитона должен быть равен 2 .

⁴ Трудности, которые пришлось преодолеть в процессе открытия новой частицы, иллюстрирует тот факт, что в эксперименте CMS зарегистрировано всего около 5 событий от распада $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$. Аналогичная ситуация имеется и в эксперименте ATLAS.

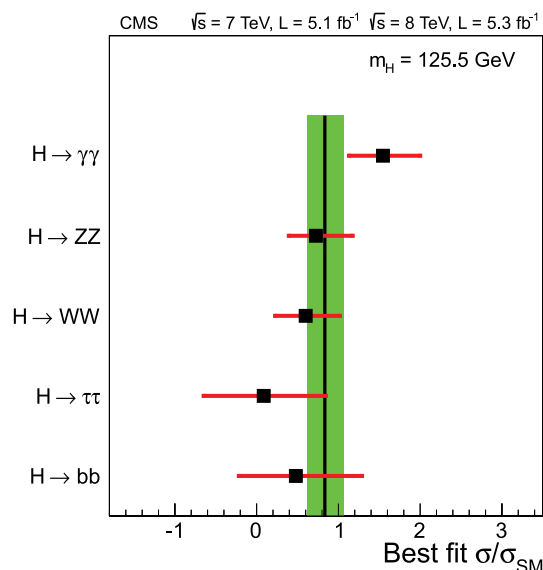


Рис. 2. Отношения сигналов к предсказаниям Стандартной модели, полученные в эксперименте CMS[1]. Приведены отношения $(\sigma \cdot Br) / (\sigma \cdot Br)_{SM}$, где числитель – измеренное произведение сечения рождения новой частицы на относительную вероятность ее распада по указанному каналу, знаменатель – значение этого произведения, вычисленное для бозона Хиггса Стандартной модели. Обозначения $H \rightarrow ZZ$ и $H \rightarrow WW$ относятся к обсуждаемым в тексте распадам $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$ и $H \rightarrow WW^* \rightarrow l\nu l\nu$. Показаны также результаты для распада $H \rightarrow \tau^+\tau^-$ и процесса $pp \rightarrow VH \rightarrow Vb\bar{b}$, где V – это W или Z -бозон (см. конец раздела 2). Вертикальная полоса показывает усредненную величину $0,87 \pm 0,23$. Значение 1 соответствует Стандартной модели, нулевое значение – отсутствию новой частицы. Видны как общее согласие со Стандартной моделью, так и большие величины погрешностей. Вверху указаны полные энергии столкновения протонов $\sqrt{s} = 7$ ТэВ и 8 ТэВ и соответствующие интегральные светимости L .

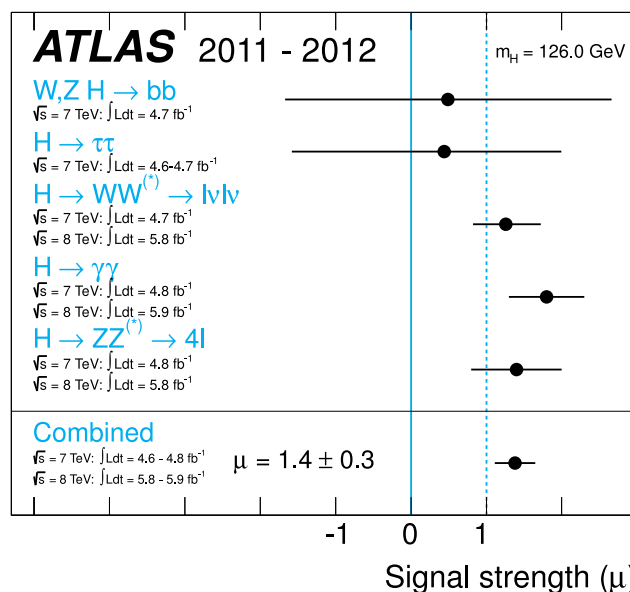


Рис. 3. Отношения сигналов к предсказаниям Стандартной модели, полученные в эксперименте ATLAS [2]. Показана величина μ , равная отношению сечения рождения новой частицы к предсказанию Стандартной модели. Относительные вероятности распадов H считаются такими же, как в Стандартной модели. Значение $\mu = 1$ соответствует Стандартной модели, нулевое значение – отсутствию новой частицы. Результаты представлены для тех же процессов, что на рис. 2. Внизу показана усредненная величина $\mu = 1,4 \pm 0,3$. Для каждого процесса указаны энергии столкновения и интегральные светимости, при которых получены данные, использованные в анализе.

(нейтрино не наблюдается). Эта особенность позволяет сильно подавить фон. Используется и аналогичный процесс $pp \rightarrow ZH$ с последующим распадом $H \rightarrow b\bar{b}$ и $Z \rightarrow 2l$ или $Z \rightarrow 2\nu$. В экспериментах на Большом адронном коллайдере выделить эти процессы из фона пока не удалось (рис. 2, 3). Это отчасти получилось в эксперименте CDF на коллайдере Tevatron [7], хотя статистическая достоверность там составляет 2,7 стандартных отклонений, что заметно ниже, чем достигнуто в ЦЕРНе для процессов $H \rightarrow \gamma\gamma$ и $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$. Данные CDF также согласуются с предсказаниями Стандартной модели.

Заканчивая описание известных свойств новой частицы, скажем, что живет она довольно долго по меркам физики микромира. На основе имеющихся экспериментальных данных можно получить оценку снизу на ее время жизни $\tau_H \gtrsim 10^{-24}$ с, что не противоречит предсказанию Стандартной модели $\tau_H = 1,6 \cdot 10^{-22}$ с [6]. Для сравнения, время жизни t -кварка составляет $\tau_t = 3 \cdot 10^{-25}$ с [8]. Отметим, что прямое измерение времени жизни новой частицы на Большом адронном коллайдере вряд ли возможно.

Зачем нужен бозон Хиггса?

Теория, предсказывающая бозон Хиггса, детально разработана и подробно описана (см., например, [5,9]). Мы здесь попытаемся дать пояснения на качественном уровне. Начнем с того, что в квантовой физике каждая элементарная частица является квантом некоторого поля, и наоборот, каждому полю соответствует своя частица-квант; наиболее известный пример — электромагнитное поле и его квант, фотон. Поэтому вопрос, поставленный в заголовке этого раздела, можно переформулировать так:

Зачем нужно новое поле и каковы его ожидаемые свойства?

Краткий ответ состоит в том, что симметрии теории микромира — будь то Стандартная модель или какая-то более сложная теория — запрещают элементарным частицам иметь массы, а новое поле нарушает эти симметрии и обеспечивает существование масс частиц. В Стандартной модели — простейшем варианте теории (но только в ней!) — все свойства нового поля и, соответственно, нового бозона, за исключением его массы, однозначно предсказываются опять-таки на основе соображений симметрии.

Расшифровка этого короткого абзаца требует, конечно, рассмотрения, хотя бы в общих чертах, роли симметрий в физике микромира.

Симметрии, законы сохранения и запреты

Каждой симметрии соответствует свой закон сохранения. Например, симметрии относительно сдвигов во времени (т.е. тому обстоятельству, что законы физики одинаковы в каждый момент времени) соответствует закон сохранения энергии, симметрии относительно сдвигов в пространстве — закон сохранения импульса, а симметрии относительно поворотов в пространстве — закон сохранения углового момента. Законы сохранения можно интерпретировать и как запреты: перечисленные симметрии запрещают изменение энергии, импульса и углового момента замкнутой системы при ее эволюции.

Наоборот, каждому закону сохранения соответствует своя симметрия; это утверждение является точным в квантовой теории. Спрашивается, какая же симметрия соответствует закону сохранения электрического заряда? Ясно, что симметрии пространства и времени, о которых мы только что упомянули, здесь ни при чем. Тем не менее, такая симметрия имеется. Дело в том, что помимо очевидных, пространственно-временных симметрий существуют неочевидные, «внутренние» симметрии. Одна из них и приводит к сохранению электрического заряда. Для нас важно, что эта же внутренняя симметрия, только понимаемая в расширенном смысле как калибровочная (градиентная) инвариантность, объясняет и тот факт, что масса фотона равна нулю.

Особенности слабых взаимодействий

В отличие от фотона, отвечающего за электромагнитные взаимодействия, переносчики слабых взаимодействий — W^\pm - и Z -бозоны — обладают массами. Эти частицы, открытые в 1983 г. на протон-антипротонном коллайдере $Spp\bar{S}$ в ЦЕРНе и задолго до этого предсказанные теоретиками, имеют спин 1, а их массы довольно велики: W^\pm -бозоны имеют массу 80 ГэВ, Z -бозон — 91 ГэВ. Свойства W^\pm - и Z -бозонов сейчас хорошо известны благодаря в основном экспериментам на электрон-позитронных коллайдерах LEP (ЦЕРН) и SLC (SLAC, США) и

протон-антипротонном коллайдере Tevatron (Fermilab, США): точность измерений целого ряда величин, относящихся к W^\pm - и Z -бозонам, лучше 0,1 %. Эти свойства, как и свойства других частиц, прекрасно описываются Стандартной моделью [10]. Последнее относится и к слабым взаимодействиям, то есть взаимодействиям W^\pm - и Z -бозонов с электроном, нейтрино, кварками и другими частицами (рис. 4).

Несмотря на то, что W^\pm - и Z -бозоны имеют массы, теория W^\pm - и Z -бозонов обладает внутренней симметрией, аналогичной калибровочной инвариантности электродинамики⁵. В полной аналогии с фотоном, эта внутренняя симметрия запрещает W^\pm - и Z -бозонам иметь массу. Таким образом, симметричный запрет на массу частицы спина 1 действительно работает в случае фотона, а в случае W^\pm - и Z -бозонов он не работает. Аналогично обстоит дело и с массами фермионов (электрона, мюона, кварков и т.д.): они также должны были бы быть запрещены симметриями слабых взаимодействий.

Таким образом, в мире, где все симметрии Стандартной модели реализовывались бы так же, как в электродинамике, все элементарные частицы имели бы нулевые массы. В реальном мире эти массы есть, значит, с симметриями Стандартной модели что-то должно происходить.

⁵ Мы здесь несколько упрощаем ситуацию, не греша, впрочем, против существа дела. В действительности фотоны, W^\pm - и Z -бозоны вместе описываются единой теорией с общей, довольно широкой внутренней симметрией, соответствующей калибровочной группе $SU(2) \times U(1)$.

Нарушение симметрии

Говоря о связи симметрий с законами сохранения и запретами, мы упустили из виду одно обстоятельство. Оно заключается в том, что законы сохранения и симметричные запреты выполняются только тогда, когда симметрия присутствует явно. Однако симметрии могут быть и нарушенными. Например, в однородном образце железа при комнатной температуре всегда имеется магнитное поле, направленное в какую-то сторону; образец представляет собой магнит. Внутри магнита не все направления пространства равноправны: на электрон, летящий поперек магнитного поля, действует сила Лоренца, а на электрон, летящий вдоль поля, сила не действует. Стало быть, магнитное поле внутри образца нарушает симметрию относительно вращений в пространстве. В связи с этим внутри магнита не выполняется и закон сохранения углового момента.

Здесь мы имеем дело со спонтанным нарушением симметрии. В отсутствие внешних воздействий (например, магнитного поля Земли) в разных образцах железа магнитное поле может быть направлено в разные стороны, и ни одно из этих направлений не будет предпочтительнее другого. Исходная симметрия относительно вращений по-прежнему имеется, а проявляется она в том, что магнитное поле в образце может быть направлено куда угодно. Но раз уж магнитное поле возникло, появилось и выделенное направление, и симметрия внутри магнита оказалась нарушенной. На более формальном уровне уравнения, управляющие вза-

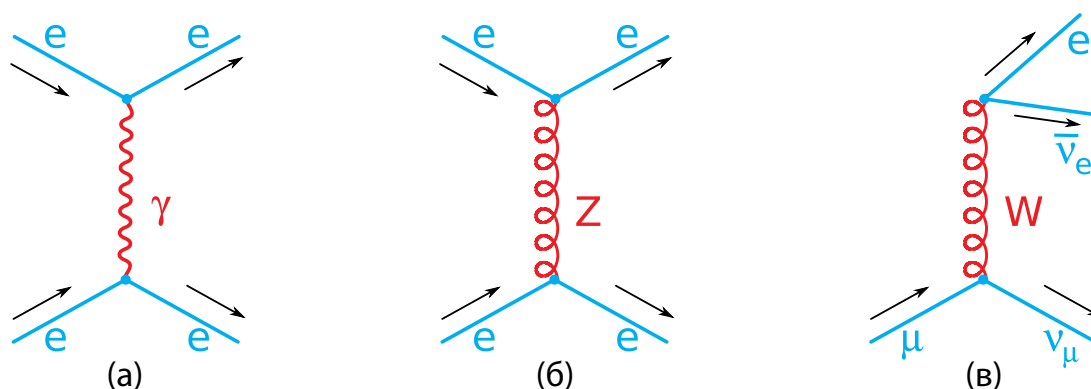


Рис. 4. Электромагнитные взаимодействия возникают благодаря излучению и поглощению фотонов (а). Слабые взаимодействия имеют похожую природу: они обусловлены излучением и поглощением (или распадом) Z -бозонов (б) и W -бозонов (в). В последнем случае меняется и тип фермиона. На рис. (в) показан процесс, приводящий к β -распаду мюона: $\mu \rightarrow e \nu_{\mu} \bar{\nu}_e$. Он происходит путем рождения и распада виртуального W -бозона. Аналогичный процесс приводит к β -распаду нейтрона и некоторых атомных ядер.

имодействием атомов железа между собой и с магнитным полем, симметричны относительно вращений в пространстве, но состояние системы этих атомов — образца железа — несимметрично. В этом и состоит явление спонтанного нарушения симметрии. Отметим, что мы здесь говорим об основном состоянии, имеющем наименьшую энергию. Именно в нем окажется в конце концов образец железа, даже если изначально он был ненамагниченным.

В общих чертах ситуация в физике элементарных частиц похожа на ту, что мы только что описали. Но есть и важные отличия. Во-первых, ни о какой среде наподобие кристаллической решетки атомов железа говорить уже не приходится. Состоянием с наименьшей энергией в природе является вакуум (по определению!). Это не означает, что в вакууме не может быть однородно «разлитых» полей. Наоборот, свойства, о которых мы говорили в разделе 2, свидетельствуют о том, что симметрии Стандартной модели должны быть спонтанно нарушенными, а это предполагает, что в вакууме имеется какое-то поле, обеспечивающее это нарушение. Во-вторых, речь идет не о пространственно-временных, а о внутренних симметриях. Пространственно-временные симметрии, наоборот, не должны нарушаться из-за присутствия поля в вакууме. Отсюда следует вывод о том, что в отличие от магнитного, это поле не должно выделять никакого направления в пространстве. Поля с таким свойством называют скалярными; им соответствуют частицы спина 0. Стало быть, поле, «разлитое» в вакууме и приводящее к нарушению симметрии, должно быть новым: полям, о которых мы явно или неявно упоминали выше: электромагнитному полю, полям W^\pm - и Z -бозонов, глюонов — соответствуют частицы спина 1, такие поля выделяют направления в пространстве-времени и называются векторными, а нам требуется скалярное. Поля, соответствующие фермионам (спин 1/2), тоже не годятся. Наконец, и это самое главное, взаимодействие нового поля, «разлитого» в вакууме, с W^\pm - и Z -бозонами, электронами и другими фермионами должно приводить к появлению масс у этих частиц.

Механизм генерации масс частиц со спином 1 — в природе это W^\pm - и Z -бозоны — за счет спонтанного нарушения симметрии был предложен в контексте физики элементарных

частиц⁶ теоретиками из Брюсселя Франсуа Энглером и Робертом Браутом [11] и чуть позже — физиком из Эдинбурга Питером Хиггсом [12,13]. Произошло это в 1964 г. Они опирались на представление о спонтанном нарушении симметрии (но в теориях без векторных полей, т.е., без частиц спина 1), которое было введено в физику элементарных частиц в 1960–61 гг. в работах Й. Намбу [14], Й. Намбу и Дж. Йона-Лазинио [15], В.Г. Вакса и А.И. Ларкина [16], Дж. Голдстоуна [17]. В отличие от предыдущих авторов, Энглер, Браут и Хиггс рассмотрели теорию (в то время умозрительную), в которой присутствует как скалярное (спин 0), так и векторное поле (спин 1). В этой теории имеется внутренняя симметрия, вполне аналогичная калибровочной инвариантности электродинамики, но в отличие от электродинамики внутренняя симметрия спонтанно нарушена однородным скалярным полем, имеющимся в вакууме. Замечательным результатом Энглера, Браута и Хиггса стала демонстрация того факта, что это нарушение симметрии автоматически влечет за собой появление массы у частицы спина 1 — кванта векторного поля.

Довольно прямолинейное обобщение механизма Энглера–Браута–Хиггса, связанное с включением в теорию фермионов и их взаимодействием с нарушающим симметрию скалярным полем, приводит к тому, что массы появляются и у фермионов. Стандартная модель получается в результате дальнейшего обобщения путем включения не одного, а нескольких векторных полей: фотона, W^\pm - и Z -бозонов (глюоны — это отдельная история, они к механизму Энглера–Браута–Хиггса отношения не имеют) и разных типов фермионов. Последнее обобщение на самом деле весьма нетривиально; оно было начато Ш. Глэшоу [18] и завершено С. Вайнбергом [19] и А. Саламом [20].

Вернемся в 1964 г. Для исследования свойств своей теории Энглер и Браут использовали довольно вычурный по сегодняшним меркам подход. В результате они не заметили, что наряду с массивной частицей спина 1 эта теория предсказывает существование еще одной частицы — бозона со спином 0. А вот Хиггс заметил [13],

⁶ Оговорки здесь и ниже связаны с тем, что довольно похожие механизмы были известны до этого в физике конденсированных сред благодаря работам Лондона, Гинзбурга–Ландау, Боголюбова, Бардина–Купера–Шриффера, Андерсона и других.

и сейчас эту новую бесспиновую частицу часто называют бозоном Хиггса. Как я отметил в начале статьи, такая терминология представляется не вполне корректной: ключевое предложение использовать скалярное поле для спонтанного нарушения симметрии и генерации масс частиц спина 1 впервые сделали все же Энглер и Браут. Не вдаваясь больше в терминологию, подчеркнем, что новый бозон с нулевым спином является квантом того самого скалярного поля, которое нарушает симметрию. И в этом его уникальность.

А действительно ли нужен бозон Хиггса?

Сегодня мы понимаем: механизм Энглера–Браута–Хиггса – отнюдь не единственный возможный механизм нарушения симметрий в физике микромира и генерации масс элементарных частиц, а бозон Хиггса мог бы и не существовать. Этому нас учит, в частности, физика конденсированных сред. В ней имеется множество примеров спонтанного нарушения симметрии и разнообразия механизмов этого нарушения. И в большинстве случаев ничего похожего на бозон Хиггса в этих примерах нет.

Ближайшим твердотельным аналогом спонтанного нарушения симметрий Стандартной модели в вакууме является спонтанное нарушение внутренней симметрии электродинамики в толще сверхпроводника. Оно приводит к тому, что в сверхпроводнике фотон в определенном смысле обладает массой (аналогия с W^\pm - и Z -бозонами в вакууме). Проявляется это в эффекте Мейсснера – выталкивании магнитного поля из сверхпроводника.

Эффективная теория сверхпроводимости Гинзбурга–Ландау чрезвычайно похожа на теорию Энглера–Браута–Хиггса (точнее, наоборот: теория Гинзбурга–Ландау на 14 лет старше). В теории Гинзбурга–Ландау тоже есть скалярное поле, которое однородно «разлито» по сверхпроводнику и приводит к спонтанному нарушению симметрии. Однако теорию Гинзбурга–Ландау недаром называют эффективной: она правильно описывает многие свойства сверхпроводников, но неадекватна для понимания микроскопических причин возникновения сверхпроводимости. Никакого скалярного поля в сверхпроводнике на самом деле нет, в нем есть электроны и кристаллическая решетка, а сверхпроводимость обусловлена особы-

ми свойствами основного состояния системы электронов, возникающими благодаря взаимодействию между ними.

Не может ли подобная картина иметь место и в микромире? Не может ли быть так, что никакого фундаментального скалярного поля, «разлитого» в вакууме, нет, а спонтанное нарушение симметрий вызвано совершенно иными причинами? Теоретический ответ на этот вопрос – утвердительный. Примером может служить так называемая модель техницвета, предложенная в 1979 г. уже упоминавшимся С. Вайнбергом [21], и Л. Саскиндом [22]. В ней нет никаких фундаментальных скалярных полей, нет и бозона Хиггса. Вместо этого есть много новых элементарных частиц, по своим свойствам напоминающих известные кварки. Взаимодействие между этими новыми частицами и приводит к спонтанному нарушению симметрий и генерации масс W^\pm - и Z -бозонов. С массами фермионов дело обстоит хуже, но и эту проблему можно решить за счет усложнения теории.

Это, казалось бы, противоречит аргументам раздела 3, говорящим, что нарушать симметрию должно именно скалярное поле. Лазейка здесь в том, что это скалярное поле может быть составным, в том смысле, что соответствующие ему кванты не элементарны, но состоят из других, элементарных частиц. При низких энергиях (грубо говоря, малых по сравнению с энергией связи) составная частица выглядит как элементарная. Для эффективного описания таких частиц при низких энергиях вполне можно считать, что они являются квантами некоторого поля. Если спин составной частицы равен нулю, то это поле будет скалярным.

Подобная ситуация реализуется, например, в физике π -мезонов, частиц со спином 0. До середины 60-х гг. не было известно, что π -мезоны состоят из кварков и антикварков. Тогда π -мезоны описывались элементарными скалярными⁷ полями. Теперь мы знаем, что π -мезоны – составные частицы, но «старая» полевая теория π -мезонов остается в силе постольку, поскольку рассматриваются процессы при низких энергиях. Лишь при энергиях порядка 1 ГэВ и выше начинает проявляться кварковая структура π -мезонов, и эта теория

⁷ Точнее, псевдоскалярными, но эта тонкость для нас несущественна.

перестает работать. Энергетический масштаб 1 ГэВ здесь появился не случайно: это масштаб сильных взаимодействий, связывающих кварки в π -мезоны, протон, нейтрон и другие адроны, это масштаб масс сильновзаимодействующих частиц, например, протона.

Итак, скалярные поля, ответственные за спонтанное нарушение симметрий, могут в принципе быть составными. Именно такая ситуация предполагается в модели техницвета. В этой модели спонтанное нарушение симметрий Стандартной модели обусловлено явлениями, аналогичными взаимодействиям кварков, связывающим их в π -мезоны. Только соответствующий энергетический масштаб — не 1 ГэВ, а несколько ТэВ. В такой картине ожидается существование множества новых составных частиц — аналогов протона, нейтрона, ρ -мезона и т.д. — с массами в области нескольких ТэВ. Сравнительно легкий бозон Хиггса в ней, наоборот, отсутствует.

Модель техницвета (по крайней мере в ее изначальной формулировке) была отвергнута задолго до недавнего экспериментального обнаружения нового бозона: точные измерения свойств W^\pm - и Z -бозонов на LEP и SLC не согласуются с предсказаниями модели. Открытие же нового бозона окончательно поставило на ней крест. Однако модель техницвета — далеко не единственная модель с составными скалярными полями, и идея о составленности представляется не менее привлекательной, чем теория Энглера–Браута–Хиггса, использующая элементарные скалярные поля (общий анализ предсказаний составных моделей приведен в [23]). Конечно, после открытия в ЦЕРНе нового бозона идея о составленности оказалась в более трудном положении, чем раньше: если эта частица составная, она должна достаточно успешно мимикрировать под элементарный бозон Хиггса. И все же вопрос не закрыт, требуются новые данные с Большого адронного коллайдера, в первую очередь более точные измерения свойств нового бозона.

Открытие сделано. Что дальше?

Вернемся в качестве рабочей гипотезы к минимальной версии теории — Стандартной модели с одним элементарным бозоном Хиггса. Поскольку в этой теории именно поле Энглера–Браута–Хиггса дает массы всем элементарным частицам, взаимодействие каждой из этих

частиц с бозоном Хиггса жестко фиксировано. Чем больше масса частицы, тем сильнее взаимодействие; чем сильнее взаимодействие, тем более вероятен распад бозона Хиггса на пару частиц данного сорта. Распады бозона Хиггса на пары реальных тяжелых частиц $t\bar{t}$, ZZ и W^+W^- запрещены законом сохранения энергии. Следующим по массе стоит b -кварк с $m_b=4$ ГэВ, и именно поэтому, как мы говорили, бозон Хиггса охотнее всего распадается на пару $b\bar{b}$. Интересен и распад бозона Хиггса на пару довольно тяжелых τ -лептонов $H \rightarrow \tau^+\tau^-$ ($m_\tau=1,8$ ГэВ); он должен происходить с вероятностью 6 % [6]. Помимо обсуждавшихся выше распадов $H \rightarrow \gamma\gamma$, $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$ и $H \rightarrow WW^* \rightarrow l\nu l\nu$, отметим еще распад $H \rightarrow Z\gamma$, вероятность которого должна составлять 0,15 %. Эти вероятности можно будет измерить на Большом адронном коллайдере, и любое отклонение от указанных предсказаний будет означать, что Стандартная модель неверна (оценки этих отклонений для некоторых классов теорий, расширяющих Стандартную модель, см. в [24]). И наоборот, согласие с предсказаниями Стандартной модели будет все больше и больше убеждать нас в ее справедливости.

То же можно сказать и о рождении бозона Хиггса в столкновениях протонов на Большом адронном коллайдере. Бозон Хиггса может рождаться в одиночку, или вместе с парой легких кварков высоких энергий, или вместе с одним W - или Z -бозоном, или, наконец, вместе с парой $t\bar{t}$. Частицы, рождающиеся вместе с бозоном Хиггса, можно отождествлять, поэтому разные механизмы рождения можно изучать на Большом адронном коллайдере по отдельности. Тем самым можно извлекать информацию о взаимодействии бозона Хиггса с W^\pm -, Z -бозонами и t -кварком.

Наконец, важным свойством бозона Хиггса является его взаимодействие с самим собой. Оно должно проявляться в процессе $H^* \rightarrow HH$, где H^* — виртуальная частица. В Стандартной модели свойства этого взаимодействия тоже однозначно предсказываются. Впрочем, его изучение — дело отдаленного будущего.

Итак, на Большом адронном коллайдере имеется обширная программа исследования взаимодействий нового бозона. В результате ее выполнения станет более или менее ясно, описывается ли природа Стандартной моделью или мы имеем дело с какой-то другой, более сложной (а может быть, и более простой) теорией.

Однако оценки, приведенные, например, в [24], показывают, что точность определения констант связи нового бозона с другими частицами в экспериментах на Большом адронном коллайдере вполне может оказаться недостаточной для решения этого вопроса. Дальнейшее продвижение, связанное с существенным повышением точности измерений [25], потребует строительства нового ускорителя — e^+e^- -коллайдера с рекордной для этого типа машин энергией.

В поисках «новой физики»

С «технической» точки зрения Стандартная модель внутренне непротиворечива. Это означает, что в ее рамках можно — хотя бы в принципе, а как правило, и на практике — вычислить любую физическую величину (разумеется, относящуюся к тем явлениям, которые призвана описывать Стандартная модель, см. сноску 1), и результат не будет содержать неопределенностей. Тем не менее, многие, хотя и не все, теоретики считают положение дел в Стандартной модели не вполне удовлетворительным. И связано это в первую очередь с проблемой ее энергетического масштаба.

Как ясно из предыдущего, энергетический масштаб Стандартной модели имеет порядок⁸ $M_{SM}=100$ ГэВ. Это — масштаб масс W^\pm - и Z -бозонов и бозона Хиггса. Много это или мало?

В физике имеется еще один масштаб энергий. Он связан с гравитацией и равен массе Планка $M_{Pl}=10^{19}$ ГэВ. При низких энергиях гравитационные взаимодействия между частицами пренебрежимо слабы, но они усиливаются с ростом энергии, и при энергиях порядка M_{Pl} гравитация становится сильной. Область энергий выше M_{Pl} — это область квантовой гравитации, что бы она из себя ни представляла. Для нас важно, что гравитация — самое, пожалуй, фундаментальное взаимодействие, и гравитационный масштаб M_{Pl} — самый фундаментальный масштаб энергий. Почему же тогда масштаб Стандартной модели $M_{SM}=100$ ГэВ так далек от $M_{Pl}=10^{19}$ ГэВ?

У обозначенной проблемы есть еще один, более тонкий аспект. Он связан с тем, что все параметры, изначально закладываемые в теорию, получают радиационные поправки, связанные

с взаимодействием с виртуальными частицами. В квантовой электродинамике эти поправки (например, аномальный магнитный момент электрона) малы, а вот в секторе Энглера—Брауты—Хиггса они огромны. Такова особенность элементарных скалярных полей, составляющих этот сектор; у других полей этого свойства нет. Главный эффект здесь состоит в том, что радиационные поправки стремятся «подтянуть» энергетический масштаб Стандартной модели M_{SM} к гравитационному масштабу M_{Pl} . Если оставаться в рамках Стандартной модели, то единственный выход — подобрать изначальные параметры теории так, чтобы вместе с радиационными поправками они приводили к правильному значению M_{SM} . При этом точность подгонки должна составлять величину, близкую к $M_{SM}^2 / M_{Pl}^2 = 10^{-34}$! В этом и состоит второй аспект проблемы энергетического масштаба Стандартной модели: представляется неправдоподобным, что такая подгонка имеет место в природе.

Многие (хотя, повторим, не все) теоретики считают, что эта проблема однозначно свидетельствует о необходимости выхода за рамки Стандартной модели. Если Стандартная модель перестает работать или существенно расширяется на энергетическом масштабе M_{NP} , то аргумент о радиационных поправках модифицируется. Требуемая точность подгонки параметров в этом случае составляет, грубо говоря, M_{SM}^2 / M_{NP}^2 , а на самом деле на пару порядков слабее. Значит, тонкая подстройка параметров не требуется, если масштаб «новой физики» лежит в области 1–2 ТэВ, то есть как раз в области, доступной для исследования на Большом адронном коллайдере.

Какой могла бы быть «новая физика»? Единства у теоретиков по этому поводу нет. Один вариант — составная природа скалярных полей, обеспечивающих спонтанное нарушение симметрии. О нем мы говорили в разделе 4. Другая, еще более популярная (пока?) возможность — суперсимметрия, которая предсказывает целый зоопарк новых частиц с массами в области сотен ГэВ — нескольких ТэВ [26]. Обсуждаются и весьма экзотические варианты вроде дополнительных измерений пространства [27, 28].

Несмотря на все усилия, до сих пор никаких экспериментальных указаний на «новую физику» получено не было. Вполне возможно, однако, что мы еще не добрались до «новой физики» по энергии и по количеству набранной

⁸ Мы здесь не говорим о сильных взаимодействиях с масштабом 1 ГэВ, с этим масштабом все проще.

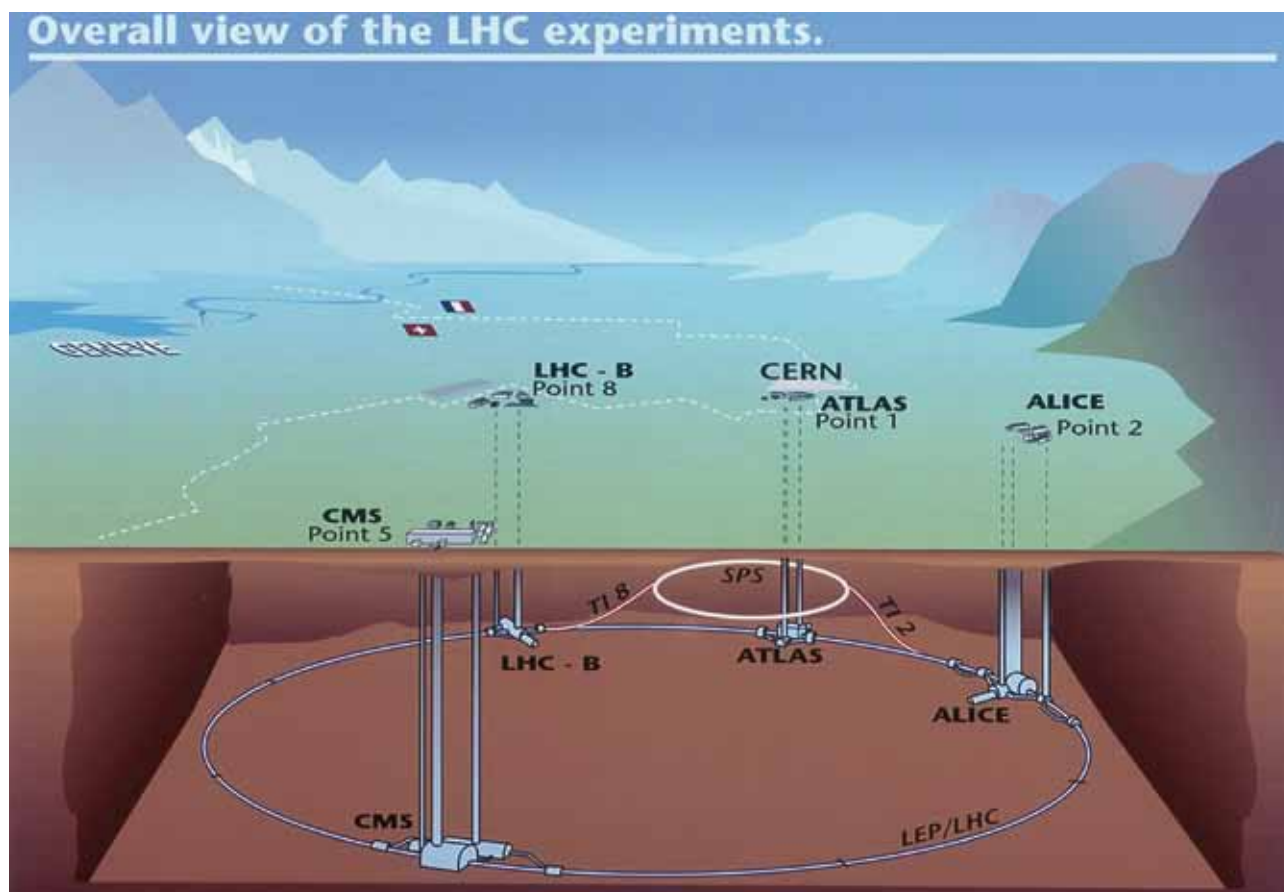


Рис. 5. Схематическое изображение Большого адронного коллайдера с четырьмя детекторами.

статистики, и что именно с ней будут связаны новые, революционные открытия. Основные надежды здесь возлагаются опять-таки на Большой адронный коллайдер, который через полтора года начнет работать на полную энергию 13–14 ТэВ и быстро набирать данные.

Коллайдеры высоких энергий

Несколько слов о Большом адронном коллайдере и предыдущих коллайдерах высоких энергий.

Коллайдер – ускоритель со встречными пучками частиц, в котором частицы сталкиваются «лоб в лоб». В электрон-позитронных коллайдерах (другое название – e^+e^- -коллайдеры) сталкиваются электроны и позитроны. До настоящего времени были созданы также протон-антипротонные, протон-протонные, электрон-протонные и ядро-ядерные (или тяжелоионные) коллайдеры. Остальные возможности, например, $\mu^+\mu^-$ -коллайдер, пока только обсуждаются. Среди всех типов коллайдеров основными для физики элементарных частиц являются протон-антипротонные, протон-протонные и электрон-позитронные. Некоторые из них перечислены ниже.

О различиях между протон-антипротонными и протон-протонными коллайдерами, с одной стороны, и электрон-позитронными коллайдерами, с другой, см. в конце этого раздела. Отметим еще, что результаты, важные с точки зрения исследования структуры протона и свойств сильных взаимодействий, были получены на электрон-протонном коллайдере HERA (см. о нем ниже).

Большой адронный коллайдер – протон-протонный, он ускоряет два пучка протонов друг навстречу другу⁹. Проектная энергия протонов в каждом из пучков составляет 7 ТэВ, так что полная проектная энергия столкновения – 14 ТэВ. В 2011 г. Большой адронный коллайдер работал на половине этой энергии, т.е. полная энергия столкновения составляла 7 ТэВ, а в 2012 г. – на полной энергии 8 ТэВ. Большой адронный коллайдер представляет собой кольцо длиной 27 км (рис. 5), в котором протоны ускоряются и удерживаются магнитным полем, создаваемым сверхпроводящими

⁹ Предусмотрена и его работа как тяжелоионного коллайдера, но это к теме статьи отношения не имеет.



Рис. 6. В туннеле Большого адронного коллайдера.

магнитами (рис. 6). Столкновения протонов происходят в четырех местах, где расположены детекторы, регистрирующие частицы, рождающиеся в этих столкновениях. Два из этих детекторов – ATLAS и CMS – предназначены для исследований в области физики элементарных частиц при высоких энергиях (рис. 7, 8, 9), а два других – LHCb и ALICE – для исследований частиц, в составе которых имеются *b*-кварки, и для исследований горячей и плотной кварк-глюонной материи, соответственно.

Преыдушие коллайдеры наиболее высоких энергий:

- Протон-антипротонный коллайдер в ЦЕРНе. Длина кольца – 6,9 км, максимальная энергия столкновения – 630 ГэВ. Работал с 1981 по 1990 гг.

- LEP – кольцевой электрон-позитронный коллайдер с максимальной энергией столкновения 209 ГэВ, расположенный в том же туннеле, что и Большой адронный коллайдер. Работал с 1989 по 2000 гг.

- SLC – линейный электрон-позитронный коллайдер в SLAC, США. Энергия столкновения – 91 ГэВ (масса *Z*-бозона). Работал с 1989 по 1998 гг.

- Tevatron – кольцевой протон-антипротонный коллайдер в Fermilab, США. Длина кольца 6 км, максимальная энергия столкновения – 2 ТэВ. Работал с 1987 по 2011 гг.

- HERA – кольцевой электрон-протон коллайдер в DESY, Германия. Длина протонного кольца 6,3 км, максимальная энергия протонов – 920 ГэВ, энергия электронов – 27,5 ГэВ. Работал с 1990 по 2007 гг.

Сравнивая протон-протонные и протон-антипротонные коллайдеры с электрон-позитронными,



Рис. 7. Схематическое изображение детектора ATLAS. Разными цветами помечены отдельные части детектора, предназначенные для регистрации частиц разных типов, точного определения треков заряженных частиц и т.д. Стоит обратить внимание на фигурки людей внизу и слева, они показывают масштаб.

ми, нужно иметь в виду, что протон – составная частица, он содержит в себе кварки и глюоны. Каждый из этих кварков и глюонов несет лишь часть энергии протона. Поэтому в случае Большого адронного коллайдера, например, энергия элементарного столкновения (между двумя кварками, между двумя глюонами или кварка с глюоном) заметно ниже суммарной энергии сталкивающихся протонов (14 ТэВ при проектных параметрах). Из-за этого область энергий, доступных для изучения на Большом адронном коллайдере, достигает «всего» 2–4 ТэВ, в зависимости от изучаемого процесса. Такой особенности у электрон-позитронных коллайдеров нет: электрон – элементарная частица.

Плюс протон-протонных (и протон-антипротонных) коллайдеров в том, что даже с учетом этой особенности достичь высоких энергий столкновений на них технически проще, чем на электрон-позитронных. Есть и минус. Из-за составной структуры протона, а также из-за того, что кварки и глюоны взаимодействуют между собой гораздо сильнее, чем электроны с позитронами, в столкновениях протонов происходит гораздо больше событий, не имеющих интереса с точки зрения поиска бозона Хиггса или других новых частиц и явлений. Интересные же события выглядят в протонных столкновениях более «грязными», в них рождается много «посторонних», неинтересных частиц. Это создает фон, выделить из которого сигнал в случае протон-протонных коллайдеров сложнее, чем в случае электрон-позитронных. Соответственно, ниже и точность измерений. Из-за этих плюсов-минусов протон-протонные

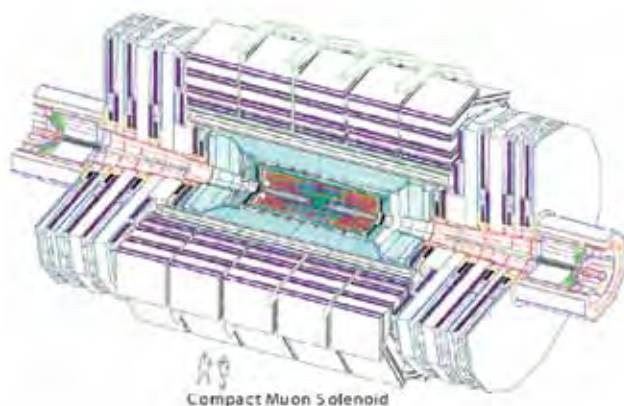


Рис. 8. Схематическое изображение детектора CMS.



Рис. 9. Детектор CMS с торца.

(и протон-антипротонные) коллайдеры иногда называют машинами открытий, а электрон-позитронные — машинами точных измерений.

О поддержке со стороны РФФИ

В РФФИ давно была осознана важность сотрудничества России и ЦЕРНа. Это проявилось, в частности, в организации двух совместных конкурсов РФФИ–ЦЕРН. Проекты, победившие в этих конкурсах, финансировались в 2008–2010 гг. и будут финансироваться в 2012–2014 гг., соответственно. Эти проекты охватывают весь спектр совместных работ ученых России и ЦЕРНа, который, помимо экспериментов ATLAS и CMS, включает эксперименты LHCb, ALICE, эксперименты на фиксированной мишени, на длиннобазовом нейтринном пучке ЦЕРН–Гран Сассо, разработки детекторов нового поколения и т.д. Среди поддержанных проектов треть составляют проекты, имеющие непосредственное отношение к тематике данной статьи. К ним относятся гранты 08-02-91000-ЦЕРН, 08-02-91002-ЦЕРН, 08-02-91003-ЦЕРН, 08-02-91007-ЦЕРН, 08-02-91020-ЦЕРН, 08-02-91024-ЦЕРН, 12-02-91502-ЦЕРН, 12-02-91504-ЦЕРН, 12-02-91512-ЦЕРН, 12-02-91526-ЦЕРН, 12-02-91532-ЦЕРН, 12-07-91501-ЦЕРН. Их основная направленность — разработка, создание и оптимизация частей детекторов ATLAS и CMS, развитие методов анализа данных, получаемых с этих детекторов, обработка этих данных и получение физических результатов. Руководители этих проектов рабо-

тают в ОИЯИ, ФИ РАН, МГУ, МИФИ, ИЯИ РАН, ПИЯФ, ИФВЭ, ИЯФ СО РАН.

Проекты, тематика которых имеет прямое отношение к поиску и исследованию бозона Хиггса и, более широко, новой физики на Большом адронном коллайдере, регулярно побеждают и в конкурсе инициативных проектов РФФИ. Вот далеко не полный перечень таких проектов за последние 5 лет: 08-02-00334, 08-02-00473, 08-02-00856, 08-02-01184, 08-02-00334, 08-02-01451, 09-02-00263, 09-02-00725, 10-02-00468, 10-02-00903, 10-02-01030, 10-02-01259, 11-02-00120, 11-02-00242, 11-02-00441, 11-02-00769, 11-02-01177, 11-02-01196, 12-02-00412, 12-02-00613, 12-02-01203. Наряду с исследованиями в области экспериментальной физики, среди них широко представлены теоретические исследования, связанные с разработкой новых моделей, предсказания которых подлежат проверке на Большом адронном коллайдере, новых методов прецизионных вычислений и т.д. Здесь представлены как уже упоминавшиеся научные центры, так и институты и университеты, где ведутся в основном теоретические исследования, например, Институт математики СО РАН, Санкт-Петербургский, Новосибирский, Самарский университеты.

Таким образом, РФФИ вносит исключительно важный вклад в развитие передового направления физики, о котором шла речь в этой статье, как по линии международного сотрудничества, так и в плане поддержки работ, выполняемых собственно российскими коллективами. Открытие новой частицы — бозона Хиггса — РФФИ может смело занести себе в актив.

Литература

1. *S. Chatrchyan et al.* [CMS Collaboration], “Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC,” [arXiv:1207.7235 [hep-ex]].
2. *G. Aad et al.* [ATLAS Collaboration], “Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC,” [arXiv:1207.7214 [hep-ex]].
3. *В.А. Рубаков*, УФН (2011) 655.
4. *С.В. Троицкий*, УФН (2012) 187.
5. *Л.Б. Окунь*, Лептоны и кварки (Москва, Наука, 1990).
6. *S. Dittmaier et al.* [LHC Higgs Cross Section Working Group Collaboration], “Handbook of LHC Higgs Cross Sections: 1. Inclusive Observables,” arXiv:1101.0593 [hep-ph].
7. *T. Aaltonen et al.* [CDF Collaboration], “Combined search for the standard model Higgs boson decaying to a bb pair using the full CDF data set,” arXiv:1207.1707 [hep-ex].
8. *J. Beringer et al.* [Particle Data Group Collaboration], “Review of Particle Physics (RPP),” Phys. Rev. D (2012) 010001.
9. *В.А. Рубаков*, Классические калибровочные поля. (Москва, Эдиториал УРСС, 1999).
10. *М.И. Высоцкий, В.А. Новиков, Л.Б. Окунь и А.Н. Розанов*, УФН (1996) 539.
11. *F. Englert and R. Brout*, Phys. Rev. Lett. (1964) 321.
12. *P. W. Higgs*, Phys. Lett. (1964) 132.
13. *P. W. Higgs*, Phys. Rev. Lett. (1964) 508.
14. *Y. Nambu*, Phys. Rev. Lett. (1960) 380.
15. *Y. Nambu and G. Jona-Lasinio*, Phys. Rev. (1961) 345; Phys. Rev. (1961) 246.
16. *В.Г. Вакс и А.И. Ларкин*, ЖЭТФ (1961) 1392.
17. *J. Goldstone*, Nuovo Cim. (1961) 154; *J. Goldstone, A. Salam and S. Weinberg*, Phys. Rev. (1962) 965.
18. *S. L. Glashow*, Nucl. Phys. (1961) 579.
19. *S. Weinberg*, Phys. Rev. Lett. (1967) 1264.
20. *A. Salam*, “Weak and Electromagnetic Interactions,” in Elementary Particle Physics, Proc. 8th Nobel Symposium, ed. N. Svartholm (Almqvist and Wiksell, 1968), p. 367.
21. *S. Weinberg*, Phys. Rev. D (1979) 1277.
22. *L. Susskind*, Phys. Rev. D (1979) 2619.
23. *G. F. Giudice, C. Grojean, A. Pomarol and R. Rattazzi*, JHEP (2007) 045 [hep-ph/0703164].
24. *R. S. Gupta, H. Rzehak and J. D. Wells*, “How well do we need to measure Higgs boson couplings?,” arXiv:1206.3560 [hep-ph].
25. *M. E. Peskin*, “Comparison of LHC and ILC Capabilities for Higgs Boson Coupling Measurements,” arXiv:1207.2516 [hep-ph].
26. *М.И. Высоцкий и Р.Б. Невзоров*, УФН (2001) 939; *Н.В. Красников и В.А. Матвеев*, УФН (2004) 697.
27. *В.А. Рубаков*, УФН (2001) 913; УФН (2003) 219.
28. *К. Грожан*, УФН (2007) 3.

РЕГИОНАЛЬНЫЙ КОНКУРС РФФИ-«УРАЛ»

Мушников Н.В.¹

В 2011 г. исполнилось 10 лет региональному конкурсу РФФИ-«Урал». На протяжении этих лет основной его целью являлась поддержка научно-исследовательских работ по всем направлениям фундаментальной науки на конкурсной основе, причем приоритетные направления научных исследований в рамках конкурса определяет сам регион. Преимущества такого подхода очевидны. Конкурс выдерживают проекты фундаментальных исследований, ориентированные на решение проблем, особо важных для конкретного региона.

Региональный конкурс РФФИ как новая форма научного сотрудничества в области фундаментальных научных исследований появился в 1997 г. Отличительными особенностями региональных конкурсов стали многоэтапная независимая экспертиза и вовлечение в финансирование научных проектов средств региональных бюджетов. Идея паритетного финансирования научных проектов из средств федерального и регионального бюджетов оказалась весьма привлекательной и конструктивной. Конкурс также был призван сыграть важную роль в построении новых отношений между учеными, Федеральным центром и администрациями областей и республик, присоединившихся к региональным конкурсам.

Инициатива организации регионального конкурса РФФИ-«Урал» при совместном участии нескольких регионов Урала была выдвинута в 1999 г. академиком Л.И. Леонтьевым. Тогда же, в 1999 г. Фонд назначил своим представителем в Уральском регионе кандидата технических наук Е.Ю. Садовскую. Годом позже она возглавила Региональный научно-технический центр, который до настоящего времени осуществляет сопровождение регионального конкурса РФФИ в Свердловской области.

Проведению конкурса препятствовали особенности действующего законодательства. Попытки объединить бюджетные средства различных областей и республик Уральского региона с целью их дальнейшего распределения по проектам-победителям оказались неправомерными, что сделало невозможным реализацию идеи единого уральского конкурса с общим финансированием.

В 2000 г. работу по организации регионального конкурса РФФИ-«Урал» возглавил В.Н. Чапушин. Благодаря его энергии, напористости, организаторским способностям идея конкурса обрела новое дыхание. Вопрос финансирования конкурса в регионах был решен. В соответствии с действующим законодательством каждая область финансировала свою часть конкурса отдельно.

Нельзя не отметить большое внимание и поддержку, оказанную конкурсу на всех уровнях законодательной и исполнительной власти. В Свердловской области активную поддержку конкурсу оказали губернатор Э.Э. Россель, председатель Правительства Свердловской области А.П. Воробьев, начальник управления науки Е.Г. Кремко, а также представители законодательного собрания Свердловской области (Е.Н. Порунов, Н.И. Воронин, Н.З. Шаймарданов, Б.Л. Чойнзонов). В Челябинской области конкурс был поддержан губернатором П.И. Суминым и начальником управления образования и науки В.В. Садыриным. Губернатор Пермской области Ю.П. Трутнев, губернатор Курганской области О.А. Богомолов, губернатор Оренбургской области А.А. Чернышев, глава Республики Коми В.А. Спиридонов, председатель Правительства Удмуртской республики Ю.С. Питкевич активно поддержали конкурс РФФИ-«Урал» в регионах.



¹ Мушников Николай Варфоломеевич, член-корреспондент РАН, заместитель председателя Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, e-mail: mushnikov@prm.uran.ru.

Большую поддержку конкурсу оказывали представители Уральского отделения РАН и высших учебных заведений Уральского региона. Большую поддержку конкурсу в Челябинске оказали член-корреспондент РАН Г.П. Вяткин. Активно поддержали конкурс академики О.В. Бухарин в Оренбургской области, М.П. Рощевский в Республике Коми, А.М. Липанов в Республике Удмуртия.

Для проведения конкурса был сформирован Региональный экспертный совет, имевший отделения в каждой области. При подготовке конкурса были разработаны Положения о региональном экспертном совете и порядке проведения экспертизы проектов, была сформирована многочисленная группа региональных экспертов. В Свердловской области в состав Регионального экспертного совета под председательством академика Н.А. Ватолина вошли представители Уральского отделения РАН, вузов Уральского региона и Правительства Свердловской области.

Региональный конкурс Российского фонда фундаментальных исследований «Урал» впервые был проведен в 2001 г. Благодаря большому вниманию и поддержке, оказанной конкурсу в Уральском регионе, конкурс сразу стал самым крупным региональным проектом (рис. 1).

В первый год проведения регионального конкурса «Урал» научные коллективы высших учебных заведений, академических и отраслевых институтов Уральского региона представили на конкурс более 600 заявок. Помимо региональной экспертизы проекты получали оценки экспертов РФФИ – специалистов высокого уровня, имеющих большой опыт работы в экспертных советах, а также международный авторитет, – что подтверждало высокий статус

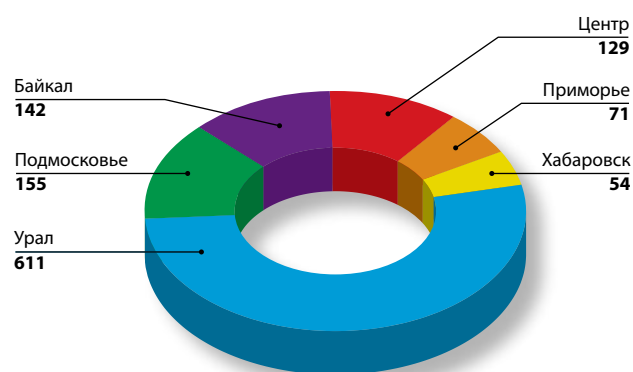


Рис. 1. Региональные конкурсы 2001 г. Количество поданных заявок.

конкурса. Барьер экспертизы преодолели 230 проектов, общая сумма финансирования которых составила свыше 27 млн руб.

Первый конкурс РФФИ-«Урал» (2001–2003 гг.) прошел организованно, его задачи были выполнены. Второй региональный конкурс РФФИ-«Урал» (2004–2006 гг.) проводился в новых условиях: вместе с расширением географии региональных конкурсов увеличился и объем их финансирования. Доля Уральского региона по числу поданных заявок и числу полученных грантов по-прежнему оставалась достаточно высокой. Конкурс становился все более популярным, росли объемы его финансирования, увеличивалось количество участников.

РФФИ неизменно отмечал высокий научный уровень проектов, выполняемых учеными Уральского региона, их практическую значимость. За прошедшие годы уральскими учеными и организаторами конкурса был накоплен значительный опыт, который позволил перейти к практической реализации результатов исследований, выполненных в рамках проектов. Региональным научно-техническим центром и Уральским региональным центром трансфера технологий были проведены научно-практические семинары, на которых исполнители проектов РФФИ-«Урал» выступали с предложениями практического использования полученных результатов перед представителями промышленных предприятий.

На примере Свердловской области можно видеть высокую активность в подготовке заявок на получение грантов регионального конкурса РФФИ-«Урал». Статистика распре-

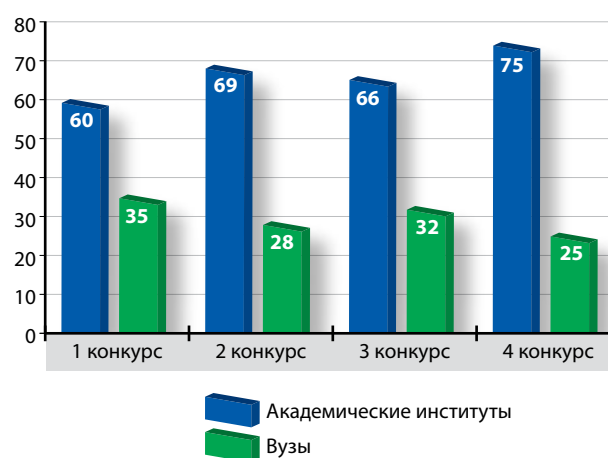


Рис. 2. Показатели соотношения поддержанных проектов академических институтов и вузов, в процентах.

Таблица 1. Распределение проектов регионального конкурса РФФИ «Урал» по научным направлениям

Научное направление		1 конкурс (2001–2003 гг.)		2 конкурс (2004–2006 гг.)		3 конкурс (2007–2009 гг.)		4 конкурс (2010–2012 гг.)	
		Заявки		Заявки		Заявки		Заявки	
		подано	поддержано	подано	поддержано	подано	поддержано	подано	поддержано
01	Математика, информатика, механика	32	12	23	11	16	9	7	7
02	Физика, астрономия	60	24	45	22	21	14	21	12
03	Химия и науки о материалах	129	52	79	40	66	30	70	20
04	Биология и медицинская наука	55	24	53	26	31	19	34	13
05	Науки о Земле	37	16	31	11	12	4	12	2
06	Науки о человеке, природе и обществе	29	13	32	19	14	2	14	5
07	Инфокоммуникационные технологии и вычислительные системы	16	5	11	5	2	2	2	0
08	Фундаментальные основы инженерных наук	-	-	-	-	-	-	26	10
Всего:		358	146	274	134	162	80	186	69

деления проектов по областям знаний дает представление о том, какие направления фундаментальных исследований наиболее развиты в регионе (таблица 1).

В первом конкурсе РФФИ-«Урал» (2001–2003 гг.) количество поддержанных проектов ученых высших учебных заведений Уральского региона составило 35 % от общего числа. На протяжении последующих конкурсов процент поддержанных проектов представителей вузовской науки незначительно снизился, но в целом оставался достаточно высоким (рис. 2).

Стоит отметить, что финансирование регионального конкурса РФФИ со стороны области на протяжении всех лет проведения конкурса было стабильным (таблица 2).

В 2007 г. Свердловская область поддержала проведение еще одного регионального конкурса, предложенного РФФИ – научных проектов ориентированных фундаментальных исследований (ОФИ). В рамках этого конкурса в первый год его проведения (2007 г.) финансировалось 6 проектов, во второй (2008 г.) – 31 проект, в третий (2009 г.) – 26 проектов. В таблице 3 показано распределение финансирования бюджетных средств области по годам проведения конкурса ориентированных фундаментальных исследований. По сравнению с инициативными проектами РФФИ-«Урал», проекты ОФИ отличались увеличенным финансированием и направленностью на получение практического результата, важного для экономики региона.

Таблица 2. Финансирование конкурса РФФИ «Урал» со стороны Свердловской области

	1 конкурс (2001–2003 гг.)	2 конкурс (2004–2006 гг.)	3 конкурс (2007–2009 гг.)	4 конкурс (за 2010 г.)
Сумма финансирования из областного бюджета за весь период конкурса, тыс. руб.	20286,71	24819,9	36057,5	12133,0
В том числе академические институты	13033,0	17569,0	23987,5	9053,0
Вузы	6508,71	564,15	11570,0	3080,0

Таблица 3. Конкурс ориентированных фундаментальных исследований в Свердловской области

	2007 г.	2008 г.	2009 г.
Количество финансируемых проектов	6	31	26
Сумма финансирования из областного бюджета, тыс. руб.	2225,0	15375,0	9050,0

Результаты работы по этим проектам получили высокую оценку в Свердловской области. К сожалению, из-за экономического кризиса областной бюджет был сокращен в части поддержки научных исследований, и эта положительная инициатива не получила дальнейшего продолжения.

Что касается содержательной стороны исследований, выполняемых в рамках конкурса РФФИ-«Урал», следует отметить, что представлены все 8 направлений, по которым РФФИ финансирует основной конкурс инициативных проектов. Наиболее интересные результаты научных исследований докладывались на ежегодно проводимых отчетных научно-практических конференциях РФФИ-«Урал». Ниже приводятся краткие аннотации некоторых проектов, вызвавшие интерес с точки зрения возможностей использования полученных результатов.

В области знаний «01 – Математика, информатика, механика» заслуживает внимания грант РФФИ-«Урал» № 01-01-96465, выпол-

ненный в Институте машиноведения УрО РАН под руководством А.Г. Залазинского. В рамках проекта решались фундаментальные проблемы машиностроения, связанные с развитием механики деформации структурно-неоднородных материалов с жесткопластическим каркасом и вязко-пластичным наполнителем. Целью исследования являлась разработка новых технологий изготовления тончайшей проволоки и фильтров тонкой очистки жидкостей и газов. Разработана технология изготовления металлической нити и фильтров, основные элементы которой показаны на рисунке 3.

Важное место в исследовательских работах ученых в рамках конкурса РФФИ-«Урал» занимают проекты по направлению «02 – Физика, астрономия». Проект РФФИ-«Урал» № 10-02-96042, принятый к финансированию в 2010 г., выполняется представителями Уральского федерального университета под руководством В.Я. Шура. Исследования по-

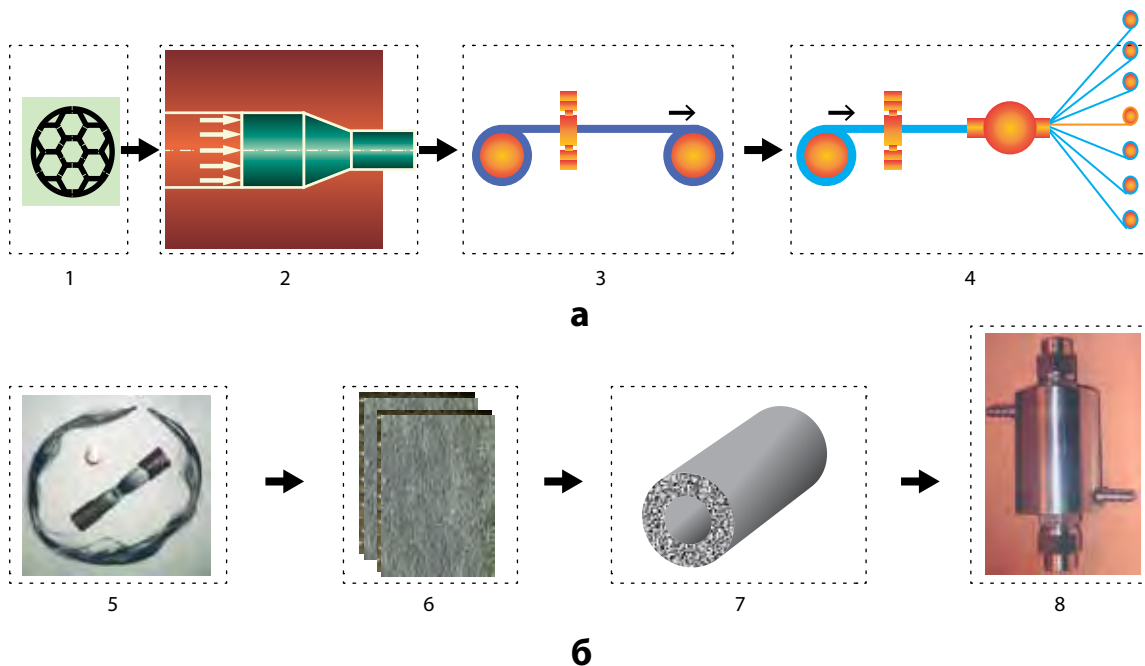


Рис. 3. Основные элементы технологии изготовления металлической нити (а) и фильтров (б). 1 – сборка композитной заготовки; 2 – выдавливание композитной заготовки; 3 – многократное волочение композита; 4 – разделение на нити; 5 – металлическая нить; 6 – изготовление сетки; 7 – изготовление фильтрующего элемента; 8 – фильтр с регенерацией фильтрующих элементов.

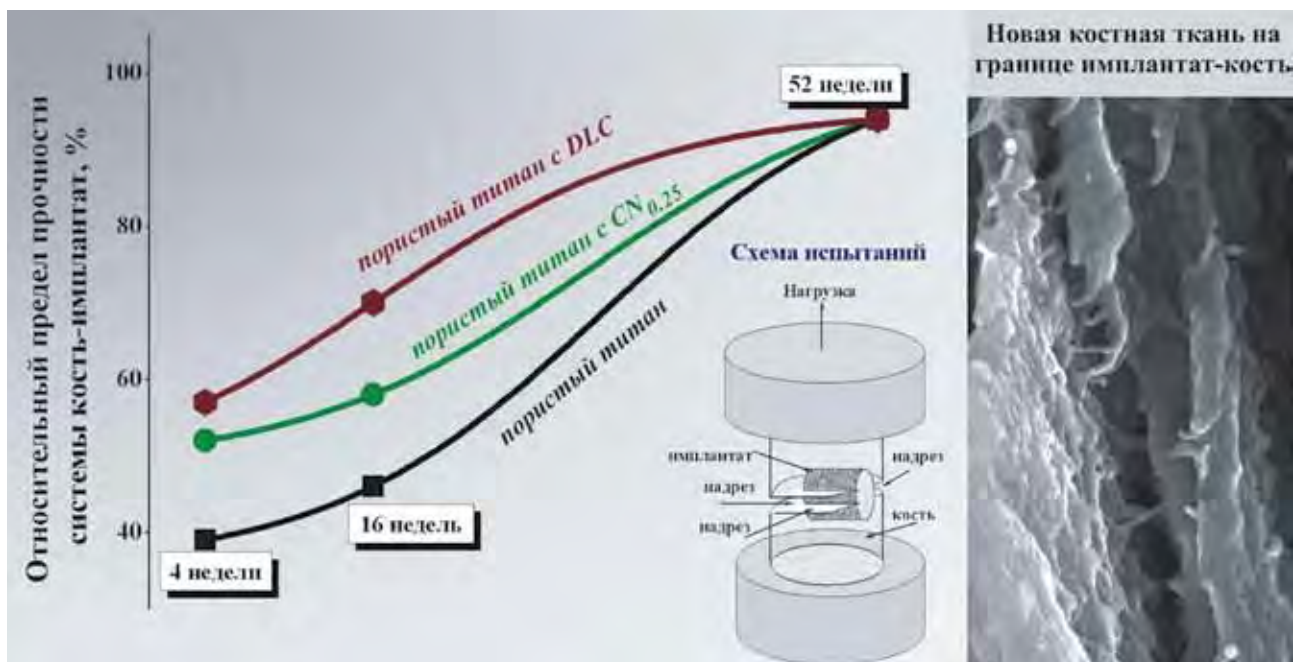


Рис. 4. Прочность на разрыв системы кость-имплантат.

священы разработке научных основ технологии улучшения нелинейно-оптических характеристик монокристаллов ниобата лития и танталата лития методами доменной инженерии. Выявленные особенности кинетики сегнетоэлектрических доменов в конгруэнтных, стехиометрических и легированных MgO монокристаллах в электрическом поле, создаваемом системой электродов, представляют исключительный интерес для развития технологий изготовления прецизионных периодических доменных структур. Они будут использованы для совершенствования методов доменной инженерии, применяемых при изготовлении периодических и квазипериодических микро- и нанодоменных структур для нелинейно-оптических элементов, изменяющих частоту лазерного излучения в широком спектральном диапазоне. Результаты работы опубликованы в высокорейтинговых журналах (V.Ya. Shur, et al., Appl. Phys. Lett., 2011, V.99, No.8, pp.082901-1-3).

Практически важный результат был получен в рамках проекта РФФИ-«Урал» № 08-03-99080. В Институте физики металлов под руководством И.Ш. Трахтенберга велись работы по разработке технологии изготовления эффективных биоимплантатов для восстановительной хирургии. Были получены биосовместимые композитные имплантаты из пористого титана с покрытиями на основе алмазоподоб-

ного углерода. Экспериментально показано, что такие имплантаты способны образовывать прочную систему кость-имплантат за счет формирования функционально-полноценной костной ткани на границе имплантата с костью реципиента и во внутреннем объеме пористой структуры. На рисунке 4 представлены результаты испытаний прочности на разрыв системы кость-имплантат через 4, 16 и 52 недели после введения имплантатов в кости опытных животных и структура костной ткани на границе имплантата с костью.

Этот результат достигнут за счет оригинальной разработки получения пористого титана с двухуровневой системой пор из гранул титана губчатого и осаждения на его поверхность алмазоподобных углеродных пленок толщиной менее 50 нм (патент № 90678). Двухуровневая система пор обеспечивает беспрепятственную миграцию клеток в поровое пространство имплантата, непрерывную циркуляцию в нем физиологической жидкости, а также врастание кровеносных сосудов. Пленки на основе алмазоподобного углерода (DLC и CN_{0,25}) интенсифицируют образование зрелой костной ткани, что сопровождается более быстрым образованием прочной системы кость-имплантат.

Большую долю поддержанных в рамках регионального конкурса РФФИ-«Урал» проектов занимают гранты по направлению «03 – химия и

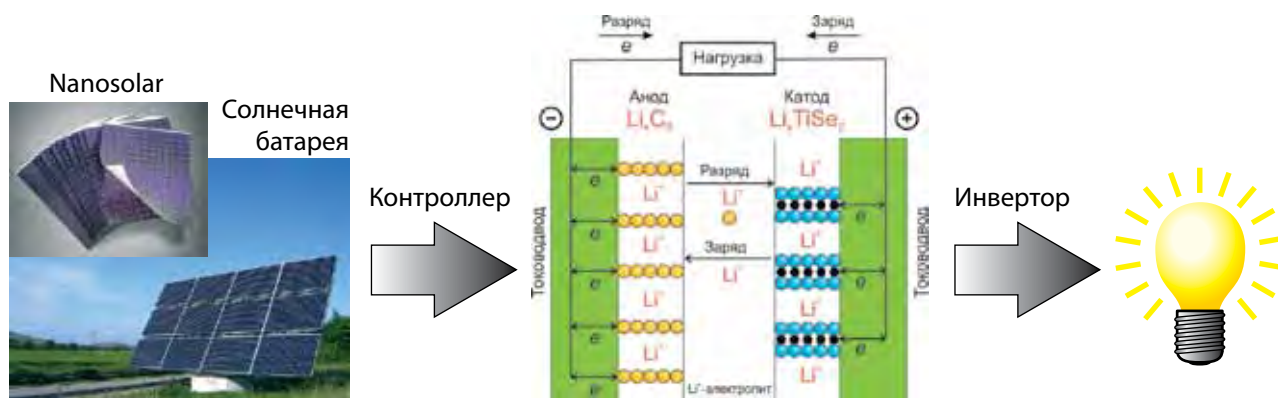


Рис. 5. Солнечные батареи на основе CuInGaSe_2 и аккумулятор электроэнергии с использованием катодного материала из слоистого дихалькогенида титана.

науки о материалах», что объясняется большим количеством научных коллективов, работающих в этой области знаний, а также интеграцией ученых-химиков со своими коллегами из других областей знаний: физики, энергетики, экологии и т.д. В этом плане интересен проект, посвященный перспективным материалам для солнечной энергетики и источников тока (РФФИ-«Урал» грант № 10-03-96047, руководитель доктор химических наук М.В. Кузнецов). Он объединяет творческий коллектив ученых ряда академических институтов УрО РАН (ИХТТ УрО РАН, ИВТЭ УрО РАН, ИФМ УрО РАН), Уральского федерального университета и Университета Страфклайда (г. Глазго, Великобритания). В качестве объектов исследования выступают халькогениды – соединения металлов с серой, селеном и теллуrom. На их основе создаются удивительные структуры, которые в ряде случаев позволяют эффективно преобразовывать солнечный свет в электричество, а в других – работают в качестве катодных материалов в литиевых источниках тока. В рамках проекта ученые исследуют фундаментальные свойства халькогенидов, для этого выращиваются и всесторонне изучаются совершенные монокристаллы соединений $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{X}_2$ и TiX_2 (где X:S,Se,Te). Параллельно разрабатываются новые технологии производства данных материалов в виде тонких пленок и порошков, которые используются в реальных солнечных элементах и аккумуляторах. Конечная цель исследований – создание автономных источников электроэнергии, включающих в себя солнечных батареи на гибких носителях и аккумуляторы электроэнергии высокой емкости (рис. 5). Уровень проводимых научных исследований демонстрирует изображение поверхности слоистого материала на основе

TiSe_2 , выполненное с атомным разрешением на сканирующем туннельном микроскопе (рис. 6). Подобные эксперименты позволяют изучать дефекты в структуре дихалькогенидов и использовать полученную информацию для оптимизации условий их получения.

Другим примером может служить проект, который выполнялся представителями вузовской науки Уральского региона. В работе под руководством Х.З. Брайниной (РФФИ-«Урал» грант № 07-03-96068) были предложены элек-

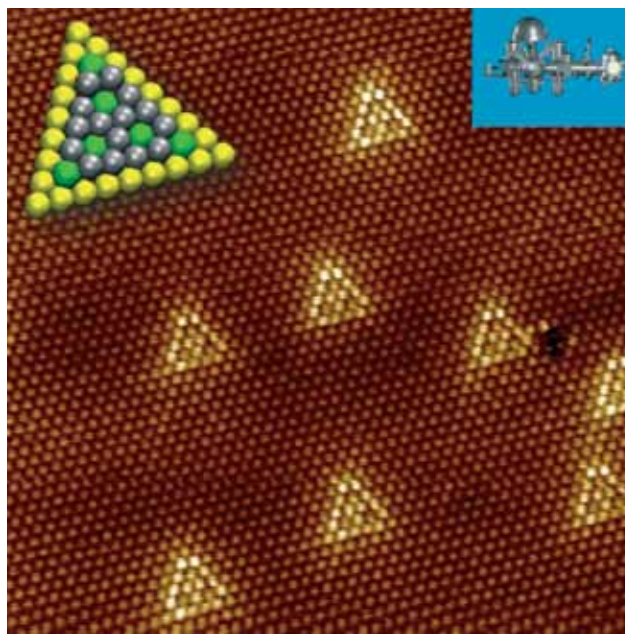


Рис. 6. Изображение поверхности кристалла TiSe_2 , полученное на сканирующем туннельном микроскопе с атомным разрешением. Упорядоченные «треугольные» структуры построены из атомов Se, приподнятых над поверхностью на 0,03 нм. Эти структуры связаны с дефектами решетки дихалькогенида титана.

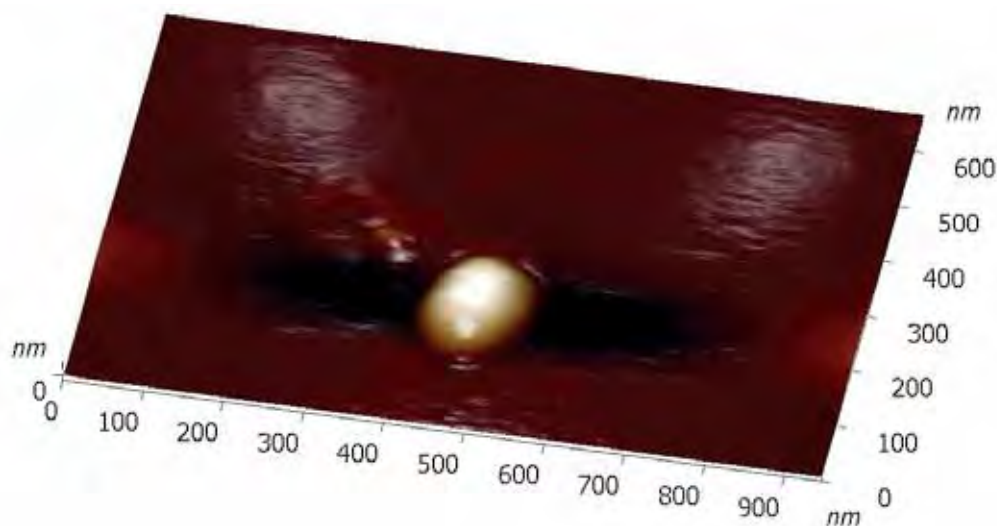


Рис. 7. Изображение отдельной частицы медного порошка в режиме топографии, полученное с помощью атомного силового микроскопа.

трохимические методы определения мочевины и креатинина, содержание которых в сыворотке крови и в моче человека являются общепризнанными диагностическими показателями функциональной способности почек. Разработан новый класс амперометрических сенсоров с использованием в качестве чувствительного элемента наночастиц NiO или макроциклических комплексов никеля (II). Электрокаталитическое окисление мочевины и креатинина происходит через стадию образования каталитически активных частиц Ni (III), являющихся сильными окислителями. Разработанные сенсоры не требуют особых условий хранения, обеспечивают устойчивость сигнала в течение длительного времени, дешевы, просты и доступны в использовании. Селективность определения обеспечивается применением либо анионообменной колонки (в случае мочевины), либо полимеров с молекулярными отпечатками (в случае креатинина). Разработаны приборное и методическое обеспечение метода диагностики мочевины и креатинина. Метод не уступает по чувствительности и селективности известным фотометрическим методам, но существенно дешевле и проще последних, что позволяет широко использовать его в медицинских учреждениях различного уровня.

Грантом РФФИ-«Урал» № 08-03-99077 были поддержаны исследования авторского коллектива под руководством Л.В. Золотухиной и А.Я. Фишмана, связанные с получением нанодисперсных металлических порошков в промышленном масштабе газофазным способом (рис. 7). Предлагаемый авторами алгоритм по-

лучения порошков с заранее заданными характеристиками позволяет получать на их основе изделия порошковой металлургии, тепло- и электропроводящие пасты, электромагнитные экраны. Полученные в рамках исследований результаты внедрены на заводе ЗАО НПХ «Высокодисперсные металлические порошки» (Инновационно-технологический центр УрО РАН, г. Екатеринбург) и позволили совершенствовать процесс газофазного синтеза нанодисперсных порошков меди и ее сплавов для создания на их основе конструкционных наноматериалов различного целевого назначения.

В Институте высокотемпературной электрохимии в сотрудничестве с Институтом физики металлов и Уральским государственным университетом им. А.М. Горького велись работы по созданию нового поколения полностью твердофазных малогабаритных перезаряжаемых литиевых источников тока (РФФИ-«Урал» грант № 01-03-96502, руководитель – О.В. Бушкова). Ключевым компонентом таких аккумуляторов являлся твердый полимерный электролит, представляющий собой раствор соли лития в полимере, играющем роль макромолекулярного растворителя. Замена традиционных жидких или гелевых электролитов, основным компонентом которых является смесь органических растворителей, на твердый полимерный электролит обеспечивает повышенную пожаро- и взрывобезопасность аккумуляторов, т.к. твердый полимерный электролит не содержит низкомолекулярных органических компонентов. В ходе работы были получены и исследованы новые пленочные твердые полимерные электролиты

с литий-ионной проводимостью и определены составы, перспективные для использования в источниках тока. На основе дихалькогенидов титана, интеркалированных переходными металлами M_yTiX_2 , а также традиционных кобальтита и ванадата лития, были получены пленочные композиционные катоды и разработана лабораторная методика их приготовления. Композиционные аноды для литий-ионных аккумуляторов были приготовлены на основе графита. Исследования электрохимического поведения ячеек с композиционным катодом, твердым полимерным электролитом и анодом на основе металлического лития, а также с композиционным углеродным анодом позволило установить работоспособность прототипов аккумуляторов. Полученные результаты являются важной ступенью на пути создания нового поколения литиевых и литий-ионных аккумуляторов.

Интересные результаты были получены в ходе выполнения проектов, поддержанных Фондом в области знаний «04 — биология, медицинская наука». Так, в рамках проекта № 10-04-96075 под руководством доктора физико-математических наук О.Э. Соловьевой сотрудники лаборатории математической физиологии Института иммунологии и физиологии (ИИФ) УрО РАН совместно с клиницистами Областной клинической больницы №1, Института охраны материнства и младенчества и Уральской медицинской академии проводят исследования сократительной функции сердца человека. При помощи оригинального программного обеспечения, разрабатываемого в ИИФ, анализируется движение стенки левого желудочка сердца человека, полученное в ходе УЗИ исследования сердца, и вычисляется ряд количественных характеристик движения различных регионов стенки желудочка. Полученные результаты позволяют поставить задачу создания онтогенетического атласа характеристик движения стенки желудочка для различных возрастных периодов жизни человека: от внутриутробного до пожилого возраста, что важно для контроля функции сердца с учетом возрастных особенностей человека в педиатрии, терапии, кардиохирургии, при профессиональном отборе, для возрастной физиологии и физиологии спорта. Основные результаты, полученные за время выполнения проекта, опубликованы в журнале Доклады академии наук, 2011, т. 439, №4, с. 566—569.

Изучение природных ресурсов Урала занимает важное место в исследовательских работах

ученых в рамках конкурса РФФИ-«Урал» по направлению «05 — Науки о Земле». Так, в ходе исследований особенностей теплового поля и строения земной коры Урала (РФФИ-«Урал» грант № 02-05-96416, руководитель — Ю.В. Хачай) была разработана методика локализации перспективных нефтегазовых площадей по результатам взаимно согласованной интерпретации тепловых, сейсмических и гравиметрических данных. При проведении исследований по международному геотраверсу «ГРАНИТ» было отмечено, что в пределах этого более чем 4000 километрового профиля только в двух региональных участках: Татарском своде и Тюменском Зауралье, где сосредоточены крупные и уникальные месторождения углеводородов, — экспериментально измеренные плотности геотермического потока существенно превышают теоретически ожидаемые. Опираясь на этот результат, авторы проекта выполнили переинтерпретацию гравиметрических данных по сети региональных широтных профилей через Урал и сопредельные участки платформ, путем решения обратной задачи в двумерной модели, согласованной с результатами интерпретации сейсмических данных и геотермической модели по Красноуральскому, Свердловскому профилям ГЦЗ и геотраверсу «ГРАНИТ». На основе этих результатов построена пространственная модель распределения теплофизических параметров, и путем решения прямой трехмерной задачи получен трехмерный вариант температурной модели для района Предуралья, ограниченного координатами 56—58° с.ш. и 54—60° в.д. Оказалось, что Нефтекамская нефтяная площадь, так же, как и исследованный участок на Татарском своде, выделяется аномалией между теоретическим и наблюдаемым тепловыми потоками, но меньшей амплитуды. Подобных аномалий на проанализированной площади больше не обнаружено. Выделены две зоны, которые могут представлять поисковый интерес и заслуживают более детального исследования.

Направление «06 — Науки о человеке, природе и обществе» может быть проиллюстрировано работой А.А. Куклина, очень актуальной, как в момент ее проведения, так и в настоящее время. В работе исследовалось явление теневого сектора в экономике региона (РФФИ-«Урал» грант № 02-06-96416). Коллективу авторов впервые удалось не только оценить масштаб теневого сектора и его качественные параметры, но также определить фактические размеры ущерба, кото-

рый был нанесен различным сферам экономики региона в результате теневой деятельности на его территории (рис. 8). Этому удалось добиться благодаря специально разработанной комплексной методике, учитывающей многоаспектный характер проявления теневой деятельности в экономической жизни (уклонение от уплаты налогов, коррупция, нарушения на потребительском рынке, нелегальная деятельность и т.д.). Отличительными особенностями проекта являются полученные данные о характере и силе влияния на теневую экономику таких социальных и экономических факторов, как уровень социальной ответственности государства, бюрократическое бремя на налогоплательщиков, уровень налоговой нагрузки и ряда других.

Итогом научно-исследовательской работы стала концепция нейтрализации негативного

доктора биологических наук А.Г. Васильева была разработана единая информационно-поисковая система «ЭКОИНФОРМ» для Уральского региона. Поисковая система нацелена на интенсификацию и координацию фундаментальных совместных экологических исследований академических научных учреждений и заповедников (РФФИ-«Урал» грант № 01-07-96504). При поиске информации на сайте использована полнотекстовая поисковая машина, выполненная в соответствии со стандартом на полнотекстовые поисковые системы Библиотеки Конгресса США - Z39.50. Поисковая машина реализована на языке Perl, а в качестве библиотеки доступа использована библиотека Berkeley DB. ИПС «ЭКОИНФОРМ» состоит из сформированных информационных блоков. Так, в разделе по млекопитающим собра-

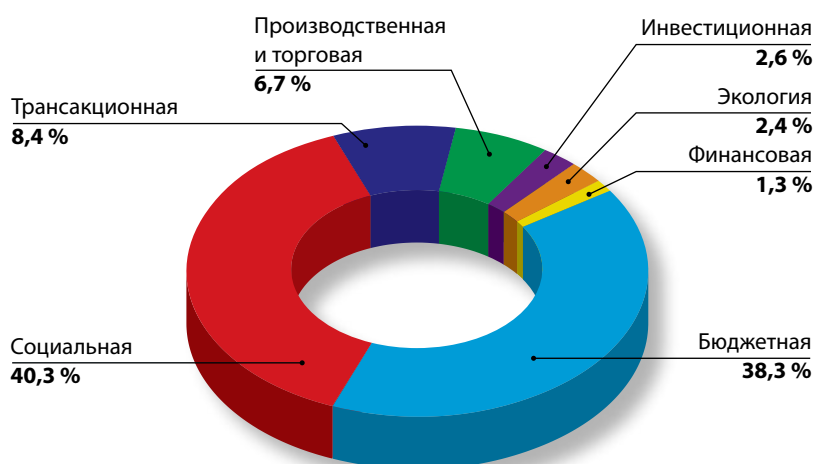


Рис. 8. Структура ущерба по сферам жизнедеятельности Уральского федерального округа, в процентах (данные по состоянию на 2010 г.).

влияния теневой экономики на хозяйственный комплекс региона. На основе сценарного подхода авторам проекта удалось спрогнозировать возможные последствия внедрения различных мероприятий, нацеленных на противодействие теневой экономике и тем самым сформулировать оптимальную стратегию нейтрализации теневого сектора за счет комплекса экономических и административных мер.

В рамках раздела «07 – Инфокоммуникационные технологии и вычислительные системы» за годы проведения регионального конкурса РФФИ-«Урал» также были получены интересные результаты. В Институте экологии растений и животных УрО РАН под руководством

на почти исчерпывающая информация о видовом составе млекопитающих Свердловской области, разработан оригинальный электронный определитель отрядов, семейств и видов. Создан электронный музей, содержащий фотографии млекопитающих, их рисунки и изображения научных коллекций черепов и шкур (рис. 9). Разработан аналогичный определитель птиц Уральского региона. Информационные материалы полезны как при обучении, так и при определении видов для сотрудников заповедников, студентов, а также специалистов, интересующихся вопросами экологии млекопитающих. В библиографической БД ИПС «ЭКОИНФОРМ» (<http://ecoinf.uran.ru/>) аккумуля-

лирована информация по тематике «Проблемы экологии Уральского региона», содержащая более 30 000 библиографических ссылок (с 1987 г. по настоящее время).

Другой проект в этой же области знаний был посвящен разработке системы пространственного анализа депонирования углерода лесными экосистемами Урала (РФФИ-«Урал» грант № 07-07-96010, руководитель

расчета и картографирования биологической продуктивности лесного покрова необходимо переводить с существующей примитивной системы многоэтапных громоздких расчетов в режим их автоматизации на основе последних достижений в области информационных технологий. Разработанная информационная система полностью автоматизирует процедуру оценки углероддепонирующей способно-

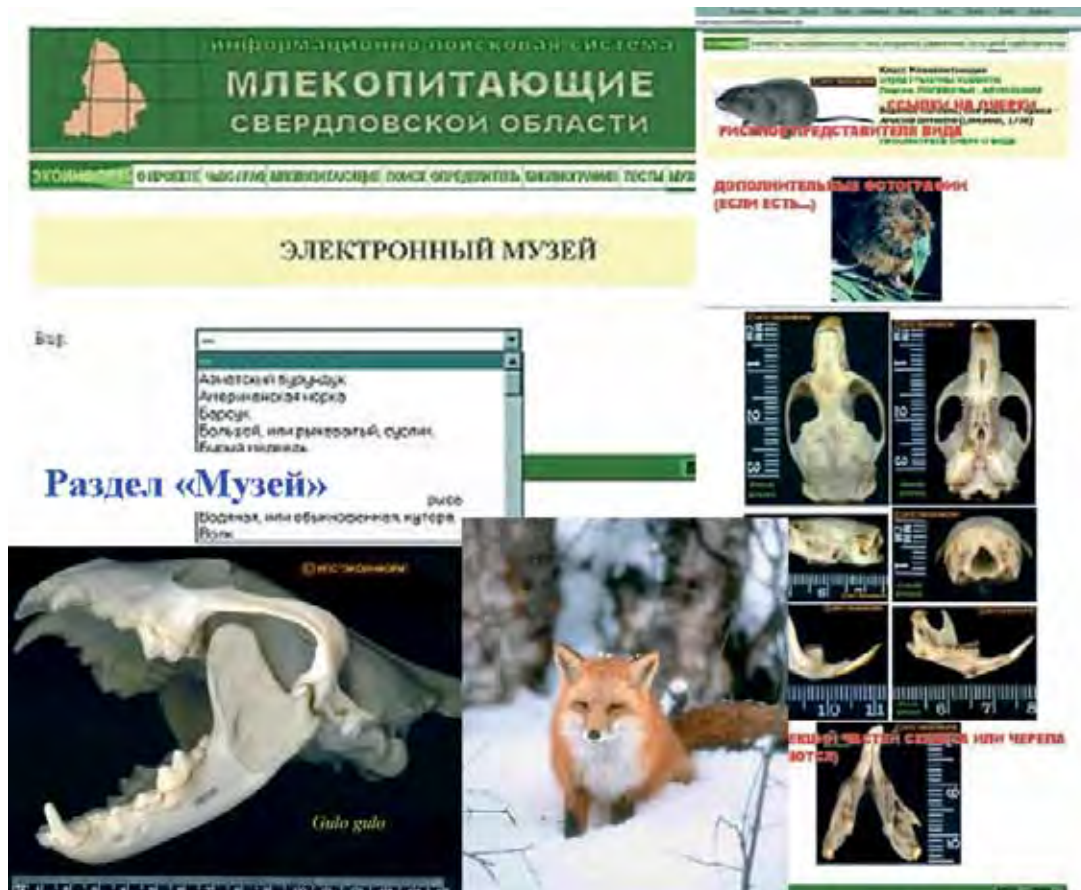


Рис. 9. Элементы интерфейса ИПС «ЭКОИНФОРМ» и информационного сопровождения подраздела «Электронный музей» в разделе «Млекопитающие Свердловской области».

— В.А. Усольцев). Полученные результаты являются исходной основой для выявления возможностей компенсации лесным покровом Уральского региона выбросов парниковых газов от хозяйственной деятельности и определения объемов годичного выделения кислорода лесным покровом. Оценка углероддепонирующей способности лесов связана с трудоемкой процедурой совмещения традиционной базы данных лесоустройства с базой эмпирических данных фитомассы (депонируемого углерода) лесов, которая осложняется тем, что обе базы непрерывно пополняются и модифицируются. Поэтому алгоритм

сти лесов и актуализирует результат. Участие оператора предполагается лишь на этапах ввода и корректировки исходных баз данных. Передача итоговых значений в среду отображения осуществляется в формате ГИС «Карта 2008» (рис. 10).

Направление работ «08 – Фундаментальные основы инженерных наук» может быть представлено проектом РФФИ-«Урал» № 10-08-96037, руководитель – кандидат физико-математических наук С.Н. Цыранов. В рамках проекта проведены экспериментальные и теоретические исследования SOS-эффекта в режиме предельно высоких плотностей тока. В ходе работы был экспе-



Рис. 10. Отображение на электронной карте значений фитомассы и углерода по фракциям для каждой породы по каждому лесничеству.

риментально реализован режим отключения тока плотностью до 43 кА/см^2 в кремниевых диодах с глубиной залегания p-n-перехода до 180 мкм. При характерной длительности процесса отключения тока $\sim 20 \text{ нс}$ амплитуда импульса напряжения на диоде составляла $\sim 1 \text{ кВ}$. Методами численного моделирования исследованы процессы динамики электронно-дырочной плазмы в диоде. Показано, что отключение тока связано с образованием быстро расширяющейся области сильного электрического поля в тонком ($\sim 45 \text{ мкм}$) слое высоколегированной p-области структуры, а процесс отключения тока слабо зависит от глубины залегания p-n-перехода. При этом область сильного поля локализована в части структуры, где концентрация акцепторов превышает 10^{16} см^{-3} , а границы области при своем движении не достигают плоскости p-n-перехода. Изучение процесса отключения токов плотностью в десятки кА/см^2 за наносекундные времена в полупроводниковых диодах ранее не проводилось и является важным с научной точки зрения. В практическом плане реализация данного проекта позволит резко увеличить удельные характеристики прерывателей тока, что поможет при создании компактных наносекундных генераторов гигаваттного уровня мощности. Такие генераторы необходимы для развития промышленных применений, таких как генерация микроволнового и рентгеновского излучения, инициирование объемных разрядов для накачки мощных газовых лазеров, дефектоскопия, медицинская рентгеновская техника, очистка воды и воздуха.

В заключение стоит отметить, что организация регионального конкурса РФФИ не только способствовала решению важных для Уральского региона научно-технических и социально-экономических задач, но и инициировала развитие фундаментальных исследований по широкому спектру научных дисциплин. Организация конкурса способствовала формированию новых отношений с представителями региональных органов власти, которые стали активными участниками трехсторонних соглашений «РФФИ – регионы – научные коллективы». Такое взаимодействие способствовало развитию контактов ученых с региональными структурами, и не только в рамках конкурса. Кроме того, конкурс оказался важным в научно-методическом плане, поскольку в сферу экспертизы региональных проектов были вовлечены большие группы ученых, которые стали лучше понимать специфику конкурса и требования РФФИ, что позволило повысить результативность заявок.

Следует обратить внимание на то, что задачи РФФИ и региональных правительств в части развития научных исследований в регионах совпадают не полностью. Фонд поддерживает фундаментальные исследования, результаты которых находят практическое применение, как правило, в отдаленной перспективе. Регион же заинтересован в быстрой практической применимости результата, полученного в ходе выполнения проекта. Поэтому идея поддержки фундаментальных исследований, ориентированных на применение результатов в регионах, наиболее близко отвечает потребностям обеих сторон. К сожалению, такой важный вид деятельности Фонда, как поддержка региональных ориентированных фундаментальных исследований, прекратил свое существование.

В последние годы проведения регионального конкурса РФФИ-«Урал» в Свердловской области была создана областная целевая программа «Развитие инфраструктуры наноиндустрии и инноваций в Свердловской области на 2011–2015 гг.», направленная на поддержку науки в области. В рамках этой программы предполагается финансирование регионального конкурса РФФИ-«Урал». Благодаря региональному конкурсу РФФИ сформирована новая традиция региональной поддержки фундаментальных научных исследований.

БАЙКАЛЬСКИЙ КОНКУРС РФФИ – ВСЕГДА В РАЗВИТИИ

Бычков И.В., Кузнецова А.Н.¹

С 2001 г. Иркутский научный центр Сибирского отделения РАН выполняет обязательства базового учреждения по организации и проведению регионального конкурса проектов РФФИ «Приоритетные научные исследования по проблемам озера Байкал и Байкальского региона» с первым названием «РФФИ-Байкал», а с 2008 г. – «РФФИ-Сибирь» (Иркутская область). Сегодня на основании более чем десятилетнего опыта можно обсудить необходимые меры и направления развития конкурса с целью более эффективного решения задач социально-экономического развития территории при сохранении высокого научного уровня фундаментальных исследований.

Особенности Байкальского конкурса во многом определяются уникальностью объекта научных исследований – озера Байкал. По объему воды Байкал занимает первое место среди пресноводных озер в мире. Озеро заполняет одну из центральных впадин Байкальской рифтовой зоны, возраст которой более 25 млн лет. Запасы воды Байкала составляют примерно 20 % от запасов всех поверхностных вод в мире, исключая ледники. Байкальская вода уникальна по чистоте, ее общая минерализация в 10 раз меньше, чем в стандартном состоянии питьевой воды. Экосистемы озера Байкал и его бассейна отличаются особенными природными свойствами, уникальностью водного объекта и природных ландшафтов, богатством культурных традиций коренного населения. Не случайно еще в 1916 г. здесь был создан первый в России Баргузинский государственный заповедник. Сегодня «Озеро Байкал» – самый большой по

площади в нашей стране участок всемирного природного наследия ЮНЕСКО (рис. 1).

Наличие такого уникального объекта научных исследований, как озеро Байкал, позволяет не только реализовать научную интеграцию различных организаций Сибирского отделения Российской академии наук (СО РАН), Сибирского отделения Российской академии медицинских наук (СО РАМН), вузов, но и привлечь ученых ведущих научных школ России и всего мира. Основная задача Байкальского конкурса – консолидация усилий ученых для проведения междисциплинарных приоритетных научных исследований по проблемам озера Байкал и Байкальского региона, поддержка научных коллективов, научных школ и отдельных ученых, выполняющих такие исследования в регионе.

Конкурс проводится на основе периодически возобновляемых соглашений о взаимодействии между Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Иркутской области. Активно работает Региональный экспертный совет конкурса (РЭС), состав которого утверждается для каждого цикла конкурса. В составе совета работают руководители академических институтов, ведущих вузов г. Иркутска, представители двух министерств Правительства Иркутской области: министерства экономического развития, труда, науки и высшей школы и министерства природных ресурсов и экологии.

При проведении первых трех циклов конкурса региональный экспертный совет возглавлял академик М.И. Кузьмин. Самых ярких слов благодарности заслуживает его вклад в

¹



Бычков Игорь Вячеславович, академик, доктор технических наук, член Совета РФФИ, председатель Президиума Иркутского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, директор Института динамики систем и теории управления Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, e-mail: bychkov@icc.ru.



Кузнецова Анна Николаевна, кандидат экономических наук, ученый секретарь Иркутского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, e-mail: an@isc.irk.ru.



Рис. 1. Озеро Байкал – уникальный объект фундаментальных научных исследований (фото В.А. Короткоручко).

поддержку и развитие регионального конкурса РФФИ в нашем регионе. Он привлек к работе в совете ведущих ученых иркутских организаций, всегда отстаивал принципы научной объективности и непредвзятости экспертной работы и много раз выступал личным гарантом разрешения тех или иных затруднительных ситуаций, возникавших во взаимоотношениях РФФИ и региона. В течение всего периода проведения конкурса высокую планку научного уровня конкурсных проектов устанавливал ведущий исследователь Байкала в Иркутском научном центре – директор Лимнологического института СО РАН академик М.А. Грачев. В составе совета много лет работали академик Ф.А. Летников, академик Б.А. Трофимов, член-корреспондент РАН Р.К. Саляев, член-корреспондент РАН Е.В. Скляров, член-корреспондент РАМН В.С. Рукавишников, заместитель министра природных ресурсов и экологии Иркутской области Н.Г. Абаринова, доктор физико-математических наук А.В. Аргучинцев, доктор биологических наук В.К. Войников, доктор геолого-минералогических наук К.Г. Леви, доктор исторических наук Г.И. Медведев, доктор географических

наук В.М. Плюснин, доктор технических наук Б.Г. Санеев, доктор химических наук В.К. Станкевич, доктор географических наук Т.В. Ходжер. От всех участников конкурса и членов РЭС выражаем искреннюю признательность члену регионального экспертного совета Байкальского конкурса, начальнику управления региональных и межгосударственных программ РФФИ доктору химических наук О.Н. Обрезкову, без постоянной помощи которого конкурс просто не состоялся бы.

Начинался конкурс совместно с Республикой Бурятия и Читинской областью, то есть конкурс был изначально межрегиональным по своим задачам, но ориентировался не столько на общие направления социально-экономического развития субъектов Федерации, сколько на комплексное изучение Байкальской природной территории в целях ее устойчивого развития. При проведении первого цикла конкурса 2001–2003 гг. в региональном экспертном совете были представители трех субъектов Федерации, что вызывало дополнительные трудности в его работе, особенно в части взаимодействия с органами государственной власти субъектов Байкальского региона.

Таблица 1. Сведения о циклах конкурса РФФИ-«Сибирь»

Показатели	2001-2003 гг.	2005-2007 гг.	2008-2010 гг.	2012-2013 гг.
Порядковый номер цикла конкурса	1	2	3	4
Подано заявок по Иркутской области	95 (142 -включая РБ, Чит.обл.)	143	103	121
Финансировалось проектов/в том числе проектов учреждений СО РАН	47/44	68/55	33/29	25/21
Средний грант, тыс. руб.	43,0	180,0	240,9	240,0
Годовой фонд конкурса, млн руб.	2,0	12,30	7,95	6,0

В 2004 г. второй цикл конкурса проходил по отдельным субъектам Федерации Байкальского региона и, как показывает таблица 1, число участников при этом не уменьшилось. Иркутская область обладает одним из самых крупных за Уралом научно-образовательным потенциалом, включающим 10 академических институтов Иркутского научного центра СО РАН (второго по величине после Новосибирского научного центра), 5 институтов Восточно-Сибирского научного центра СО РАН, научно-исследовательские организации сельскохозяйственного направления, более 20 прикладных научно-исследовательских и проектных институтов. В 34 вузах Иркутской области работают более 5 тыс. преподавателей, обучаются около 130 тыс. студентов по 200 специальностям.

Закономерно, что за последние 10 лет Иркутская область неизменно входила в первую десятку наиболее представительных регионов России по числу проектов инициативных исследований РФФИ (в 2011 г. – 9 место).

Тематика Байкальского конкурса во многом определила те области знаний, в рамках которых преимущественно реализуется конкурс (рис. 2): науки о Земле и биологические науки. Доминирующее положение природоведческого направления в целом характерно для иркутских институтов Сибирского отделения РАН, сотрудники которых представляли большинство заявок на конкурс (76–78 % от общего числа заявок в последних двух циклах конкурса). В текущем цикле конкурса 2012–2013 гг. из 18 организаций, представители которых подали заявки, 5 орга-



Рис. 2. Сведения о распределении заявок участников регионального конкурса РФФИ-«Сибирь» 2012–2013 гг. по областям знаний.



Рис. 3. Исследование выходов газовых гидратов на дне Байкала ведут сотрудники Лимнологического института СО РАН (фото В.А. Короткоручко).

низаций обеспечили 70 % от общего числа заявок. Это самые активные участники конкурса: Институт земной коры СО РАН, Лимнологический институт СО РАН, Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, НИИ биологии ИГУ (рис. 3).

Но с Байкальской природной территорией связаны исследования практически всех иркутских научно-исследовательских институтов СО РАН. И это понятно: мы живем здесь и изучаем свою малую родину. Институт систем энергетики имени Л.А. Мелентьева СО РАН занимается программами развития ТЭК Байкальского региона, как основой комплексного социально-экономического развития территории; Иркутский институт химии имени А.Е. Фаворского занят проблемами переработки природных ресурсов и развития регионального нефтегазохимического комплекса, Институт динамики систем и теории управления занимается проблемами управления техническими и социальными системами в Прибайкалье, создает новые информационные технологии для развития общества и производства. Мы надеемся, что

доля участия в конкурсе институтов физико-технического, математического, химического профиля в будущем будет постоянно расти. Это обеспечит системный, комплексный подход к исследованию перспектив развития Байкальского региона.

Самой большой и постоянной проблемой является недостаточное финансирование конкурса. В своих заявках претенденты на грант всегда ориентировались на уже сложившийся средний объем гранта РФФИ по стране. По Байкальскому конкурсу 2008–2010 гг. были поданы 103 заявки с запрошенной средней суммой гранта 313,5 тыс. руб. По конкурсу 2012–2013 гг. была подана 121 заявка на общую сумму около 47 млн руб. (средний запрашиваемый грант – около 400 тыс. руб.). Фактический средний объем гранта составил по обоим циклам конкурса 240 тыс. руб. А причина одна – высокое качество заявленных проектов, получивших практически максимальные экспертные оценки как регионального совета, так и РФФИ, увеличивало число победителей, что неизбежно приводило к «удешевлению» гранта. На фоне других субъектов РФ, выделяющих по

30 млн руб. на региональный конкурс РФФИ ежегодно (Нижегородская, Томская области), Иркутская область с ее валовым региональным продуктом порядка 600 млрд руб. и выделяющая всего 3 млн руб. на научный конкурс выглядит, мягко говоря, странно. Казалось бы, при заинтересованности региональной власти в эффективном использовании своих преимуществ в виде богатейших научных ресурсов, лучшего инструмента, чем совместные региональные научные конкурсы с ведущими научными фондами страны, трудно найти. Во-первых, это финансирование научных исследований на своей территории совместно с РФФИ на паритетной основе. Во-вторых, это гарантированно высокий научный уровень финансируемых работ: РФФИ организует квалифицированную экспертизу проектов и, как ведущий научный фонд фундаментальных исследований, по сути, определяет передний край отечественной науки, отслеживает современные тенденции, тренды развития фундаментальных исследований в мире. В-третьих, механизм реализации региональных конкурсов предусматривает возможность самого непосредственного участия представителей администрации области в выборе основных направлений научных исследований в регионе, а также в отборе конкурсных проектов. Игнорирование этих очевидных истин во многом объясняется непростыми взаимоотношениями региональной власти и научного сообщества, в том числе связанными с тем, что за последние 7 лет в Иркутской области произошла четвертая смена губернатора и, как следствие, постоянные изменения в штате администрации области. Сегодня наши надежды на придание нового импульса развитию Байкальского конкурса связаны с приходом в 2012 г. нового губернатора Иркутской области С.В. Ерошенко, в отличие от своих предшественников, уроженца Иркутской области, работавшего в начале своей карьеры в академическом научном учреждении и пришедшего во власть из местной бизнес-элиты.

Главной задачей совершенствования организации и проведения Байкальского конкурса является существенное увеличение размеров его общего фонда. Это позволит грантам РФФИ в большей мере обеспечивать законченные фундаментальные исследования, а не быть «добавкой» к другим источникам финансирования НИР. Увеличение фонда положительно скажется и на стадии отбора проектов по резуль-

татам экспертизы. Трудно объяснить исполнителю, почему при равнозначной экспертной оценке выбрали не его проект. И это особенно актуально сейчас, когда ведущие научные фонды перешли на систему открытого доступа к заключениям рецензентов и к информации по поддержанным проектам.

Представляется, что с ростом информационной открытости конкурсов РФФИ возрастает и значение региональных экспертных советов. И если экспертиза РФФИ, безусловно, обеспечивает высокий научный уровень и фундаментальность исследований, то задачей регионального экспертного совета является выбор тех проектов (не противореча приоритетам РФФИ), которые наиболее точно соответствуют приоритетным направлениям социально-экономического развития региона и практические результаты которых можно ожидать в обозримом будущем.

Многолетняя деятельность РЭС регионального конкурса РФФИ-«Сибирь» подтверждает правильность такого предположения. В рамках первого цикла конкурса функции РЭС на этапе предварительной экспертизы проектов ограничивались двузначным определением: «рекомендовать», «не рекомендовать». При организации второго цикла конкурса 2005–2007 гг. бюро РЭС осуществило предварительную экспертную оценку проектов, выделив 3 категории проектов: А – наиболее значимые проекты (наиболее перспективные в плане получения новых научных результатов, а также их использования для решения социально-экономических задач развития Иркутской области); В – значимые проекты (уступающие по приведенным характеристикам проектам категории А); С – менее значимые проекты по сравнению с группами А и В. В этих циклах конкурса РФФИ самостоятельно принимал окончательное решение о перечне поддержанных проектов и объемах их финансирования, ориентируясь в спорных случаях на рекомендации РЭС.

В рамках текущего цикла конкурса 2012–2013 гг. РЭС, используя технологию РФФИ по оценке проектов, провел собственную предварительную экспертизу, привлекая в качестве экспертов ведущих специалистов научных и образовательных организаций г. Иркутска. При этом по проекту формировалось письменное экспертное заключение и выставлялась оценка по 9-балльной шкале. Показательно, что Министерство природных ресурсов и экологии

Иркутской области, представители которого входят в состав РЭС, по собственной инициативе определило выборочный перечень проектов, направленных на решение приоритетных экологических проблем региона и проблем в сфере недропользования. Все рекомендации РЭС были переданы в РФФИ. После проведения традиционной экспертизы РФФИ впервые право рекомендации проектов для финансирования в 2012–2013 гг. было предоставлено региональному совету, но при условии учета экспертных оценок РФФИ, которые были представлены по всем конкурсным заявкам. Это был непростой выбор для регионального совета, и в итоге компромисс был найден, хотя надо признать, опять в ущерб финансовому обеспечению гранта. Тем не менее, такой итерационный механизм выбора проектов, достойных совместного финансирования РФФИ и правительством субъекта Федерации, представляется нам перспективным.

По мере накопления опыта организации Байкальского конкурса эволюционно изменялся и перечень основных научных направлений, основных проблем, по которым предлагалось проводить научные исследования в рамках конкурса. Первоначальный перечень можно было упрекнуть в излишней конкретности и академичности тематик, иногда явно отражающих научные направления ведущих иркутских академических институтов. Не нашлось места и исследованиям социогуманитарного направления.

Сегодня перечень проблем региона, на решение которых должны быть направлены проекты, поддержанные по итогам конкурса РФФИ-«Сибирь» (Иркутская область) на 2012–2013 гг. включает:

- исследование современного состояния экосистемы озера Байкал и механизмов ее функционирования методами физики, химии, биологии, прикладной математики и др.;
- изучение с использованием новейших технологий техногенного и антропогенного загрязнения окружающей среды озера Байкал и территорий Байкальского региона;
- формирование компонент инфраструктуры пространственных данных Байкальской природной территории как основа поддержки междисциплинарных научных исследований;
- изучение современной геодинамики, геохимии, петрологии, геофизики, сейсмичности

и нефтегазоносности Байкальской рифтовой системы;

- исследование геологической истории, глубинного строения, магматизма и осадконакопления озера Байкал и Байкальского региона;
- исследование изменений климата и природной среды Байкальского региона в контексте глобальных изменений;
- исследование географических особенностей и динамики изменения природных комплексов и ландшафтов, а также геохимических, радиофизических, метеорологических характеристик бассейна озера Байкал;
- исследование проблем энергоснабжения Байкальского региона, разработка рациональных (в том числе с использованием возобновляемых источников энергии) схем энергоснабжения потребителей;
- исследование рациональных направлений хозяйственного использования водных ресурсов Байкальского региона;
- изучение текущего состояния, динамики и механизмов устойчивости растений Байкальского региона, разработка стратегии сохранения и восстановления биоразнообразия;
- изучение структурно-функциональной организации и устойчивости наземных экосистем Байкальского региона, природной динамики и антропогенной трансформации, способов повышения их продуктивности;
- исследование возможности рационального использования растений Байкальского региона в интересах развития биотехнологии, фармакологии и медицины;
- разработка моделей устойчивого социально-экономического развития Байкальского региона и совершенствование методов управления рациональным природопользованием в условиях экологических ограничений;
- исследование становления и развития человеческих популяций в Байкальском регионе;
- комплексные фундаментальные исследования и мониторинг общественных процессов в Байкальском регионе.

Принятый перечень направлений исследований подтверждает, что конкурс открыт для всех научных коллективов Иркутской области, включая вузы, академические учреждения РАН и РАМН, отраслевую науку. Но что принесет этот широкий спектр исследований в рамках конкурса в копилку знаний о Байкале и Байкальской природной территории? Как под-

тверждает многолетняя практика подведения научных итогов проведенных конкурсов, это будут очень интересные и полезные результаты, но калейдоскопического характера, которые трудно сложить в целостную картину научного исследования. Более полезным и целесообразным для любого субъекта Федерации было бы определение нескольких мультидисциплинарных научных проблем, направленных на решение крупной задачи развития региона. Такие интеграционные проекты согласуются с методологией конкурса РФФИ «ОФИ» — ориентированных фундаментальных междисциплинарных исследований, который, на наш взгляд, будет способствовать развитию именно региональных конкурсов. Целесообразным представляется использование других видов региональных конкурсов: проектов развития материально-технической базы научных исследований; проектов организации российских и международных научных мероприятий на территории России; проектов по изданию книг российских авторов; по организации экспедиций (и полевых исследований); научно-популярных статей среди держателей грантов РФФИ.

Будущее конкурса неразрывно связано с итогами совершенствования федерального (пресловутый федеральный закон о госзакупках № 94-ФЗ от 21.07.2005 г.) и регионального законодательства в сфере научной деятельности. В июле 2012 г. были внесены изменения в закон Иркутской области «Об областной государственной поддержке научной, научно-технической и инновационной деятельности». Эти изменения коснулись самого названия закона (добавлено слово «научной») и содержат дополнительные статьи и положения по вопросам регламентации поддержки научной деятельности в регионе (а не только научно-технической и инновационной, как было в прежней редакции). Безусловно, это положительный сдвиг в правовом обеспечении поддержки региональной науки. К сожалению, узаконенной рациональной формы финансирования научного конкурса РФФИ из регионального бюджета у нас до сих пор нет. Организация конкурса (в части софинансирования проектов со стороны администрации Иркутской области) во все годы вызывала массу нареканий от исполнителей проектов. Это и проведение дополнительных областных конкурсов на финансирование уже выигранных по региональному конкурсу РФФИ проектов, и финансирование проектов

в конце календарного года, и большой объем сопроводительных документов, и неоправданные ограничения по перечню сметных затрат и многое другое. Конечно, эти обстоятельства не способствовали увеличению числа желающих участвовать в региональном конкурсе, особенно на фоне успешно реализуемого основного конкурса РФФИ. В настоящее время Бюджетный кодекс РФ запрещает предоставлять субсидии из регионального бюджета федеральным и муниципальным учреждениям, что служит барьером для финансирования научной деятельности. Совету РФФИ и правительствам субъектов РФ необходимо активнее сотрудничать с Правительством РФ с целью изменения федерального законодательства в сфере поддержки науки.

В целом мы с оптимизмом оцениваем развитие регионального конкурса проектов РФФИ «Приоритетные научные исследования по проблемам озера Байкал и Байкальского региона». Открытие и освоение крупных нефтяных и газовых месторождений в Восточной Сибири для Иркутской области означает реализацию в самом ближайшем будущем крупных проектов по добыче, транспортировке и переработке углеводородов.

Одним из решающих факторов роста экономики Иркутской области будет создание крупных центров нефтегазохимии на ее территории. Обозначены и другие важные направления регионального развития: вовлечение в хозяйственный оборот месторождений других полезных ископаемых, которыми богата Иркутская область, развитие зон рекреации и туризма. Но любая хозяйственная деятельность в регионе, особенно на Байкальской природной территории, находится в условиях дополнительных экологических ограничений, связанных с наличием участка всемирного природного наследия — озера Байкал. Любое хозяйственное вмешательство в экосистемы озера и прилегающих территорий требует тщательного изучения его возможных последствий, а также постоянного мониторинга окружающей среды. Единственным возможным путем устойчивого развития нашего региона является принятие любых хозяйственных решений на прочной научной основе. Символом альтернативного подхода является БЦБК, закрытие и ликвидация последствий его деятельности сегодня признаны необходимыми условиями дальнейшего развития Иркутской области.

Поэтому мы оцениваем как наиболее перспективные в рамках регионального конкурса РФФИ–«Сибирь» проекты «ОФИ» и системные комплексные проекты, реализующие задачи развития нефте- и газохимии, ТЭК, минерально-сырьевого комплекса, разработки «электронного правительства» и других актуальных направлений развития Иркутской области.

С учетом опыта проведения регионального конкурса «Приоритетные научные исследования по проблемам озера Байкал и Байкальского региона» нам представляется целесообразной организация нового типа конкурса РФФИ – конкурса междисциплинарных фундаментальных исследований уникальных объектов: природных, общественных, технических и иных комплексных систем («мфи»). В задачи такого конкурса должно входить исследование всех основных аспектов уникального объекта,

включая особенности его создания, жизнедеятельности, использования, а также перспективы развития. По сути, это научное обобщение итогов большого пласта разноплановых исследований, выполненных различными российскими и зарубежными учеными на данном объекте, приведение в стройную систему знаний огромного спектра полученных научных результатов, а также постановка ключевых вопросов, которые определяют программу дальнейших действий.

На наш взгляд, первым из таких конкурсов мог бы стать конкурс «мфи» по исследованию актуальных фундаментальных проблем, связанных с озером Байкал и Байкальской природной территорией в целом. Это был бы новый виток спирали в получении системных знаний о Байкале и БПТ на базе уже накопленного опыта и логичное развитие Байкальского конкурса.

ОДНА ИЗ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПРЕМИЙ УЕХАЛА НА УРАЛ
(интервью с В.Н. Чарушиным в журнале «Большой Урал»)



В День России, 12 июня, Президент РФ Владимир Путин по традиции вручил в Кремле Государственные премии в области науки и технологий, литературы и искусства, а также за достижения в области гуманитарной деятельности. В числе лауреатов госпремии нынешнего года — уральские академики, председатель УрО РАН, директор Института органического синтеза им. Постовского УрО РАН Валерий Чарушин и главный научный сотрудник Института органического синтеза им. Постовского УрО РАН Олег Чупахин. Они отмечены за крупный вклад в развитие органического синтеза, разработку инновационных технологий, производство лекарственных средств и материалов, в том числе специального назначения. Мы встретились с Валерием Николаевичем и задали ему несколько вопросов.

— Валерий Николаевич, 12 июня Президент РФ Владимир Путин вручил Вам Государственную премию РФ. В формулировке говорится об инновационных технологиях производства лекарственных средств и материалов. Что это за технологии?

— Основное содержание работы нашего творческого коллектива, в состав которого кроме меня входят академики Б.А. Трофимов и О.Н. Чупахин, связано с фундаментальными исследованиями в области органической химии и разработкой новых методов тонкого органического синтеза, в основе которых лежат атомно-экономные приемы построения новых химических связей, в том числе бесхлорные методы прямой C–H функционализации органических соединений. А инновационные технологии производства лекарственных средств и материалов, в том числе специального назначения, о которых идет речь в Указе Президента России В.В. Путина — это яркая иллюстрация возможностей применения разработанных методов синтеза. Речь идет о технологиях получения «ацизола» — антидота

угарного газа, используемого в чрезвычайных ситуациях, противовирусного препарата «триазавирина», противоопухолевого «лизомустина», антибактериального «левофлоксацина», для получения которого в Институте органического синтеза разработана оригинальная технология кинетического разделения рацематов и других препаратов.

Хочется отметить, что разработки неоднократно поддерживались Российским фондом фундаментальных исследований. Авторский коллектив не раз получал поддержку своих проектов по данной тематике.

— Какими еще инновационными разработками, проектами занимаются институты УрО РАН и как часто результаты исследований находят свое применение?

— Инновационные разработки имеются практически во всех научных организациях Отделения. Ежегодно в Екатеринбурге мы издаем перечень важнейших законченных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, готовых к практическому использова-

нию, в который включаем около ста разработок. В качестве примера можно привести установку импульсного рентгеновского излучения, разработанную в Институте электрофизики УрО РАН. На ее базе создан миниатюрный передвижной рентгеновский аппарат для медицинских учреждений, который можно доставить в палату к больному. Разработка уникальна, аналогов нет ни в стране, ни за рубежом.

Другой пример. Как вы знаете, на Урале серьезную экологическую угрозу представляют отходы алюминиевого производства, так называемые красные шламы. В Институте химии твердого тела разработана технология извлечения скандия из красных шламов. Создана опытно-промышленная установка, которая позволяет получать чистый оксид скандия. Известно, что добавки скандия в небольших количествах в алюминиевые сплавы, используемые в авиакосмической промышленности, кардинально улучшают их прочность и другие характеристики. Еще одним примером успешного применения результатов фундаментальных исследований является технология электрохимического получения порошков тугоплавких металлов, разработанная в институтах высокотемпературной электрохимии и металлургии. На основе этой технологии создано промышленное производство порошков тантала для конденсаторной промышленности.

Есть интересные фундаментальные результаты, которые пока нельзя назвать инновационными разработками, но они имеют серьезный потенциал практического использования. Так, к примеру, Институтом механики сплошных сред УрО РАН разработаны магнитные эластомеры – материалы, которые изменяют свою форму при действии магнитного поля. Они могут быть использованы, например, в двигателях микроскопических перемещений, используемых в современных электромеханических устройствах. Работа сотрудников института, опубликованная в престижном научном журнале «Soft Matter», была признана лучшей статьей номера. Отмечу также, что сотрудниками ИХТТ УрО РАН в прошедшем году впервые в мире реализован метод рентгеновской фотоэлектронной голографии, который позволяет получать трехмерную картину поверхности твердых тел – своего рода «3D-телевизор» для нанообъектов.

Среди приоритетов Отделения – северное направление развития России. В этом году мы

сформировали программу «Арктика», которая объединяет усилия представителей разных наук, от математиков до гуманитариев и экономистов, и затрагивает широкий спектр комплексных проблем освоения северных территорий.

– Какое место в работе Отделения в целом занимает инновационная деятельность?

– Безусловно, это один из приоритетов, не менее важный, чем проведение научных исследований. Однако, для того, чтобы довести наши разработки до практического внедрения, требуется на порядок больше средств, чем на поисковые исследования. Поэтому при реализации инновационных проектов академические институты вынуждены искать адресную поддержку в виде государственных заказов, принимать участие в конкурсах, проводимых в рамках федеральных целевых программ, вступать в кооперацию с промышленными предприятиями либо создавать собственные хозяйственные общества.

– На ваш взгляд, в чем принципиальная разница между инновацией, ноу-хау и новшеством? Можно ли любое научное открытие назвать инновацией?

– Новшество – это неизвестное ранее явление, открытие, изобретение либо новый способ применения известных явлений, процессов. Любая научная работа – это процесс генерирования новых знаний, то есть привнесения новшеств. Однако, с точки зрения бизнеса, новшество – это только «полуфабрикат», с помощью которого возможно создать новый товар или технологический процесс. Результат успешно реализованного на практике новшества и есть инновация. Инновации должны обладать новизной, удовлетворять рыночному спросу, приносить прибыль инноваторам. Ноу-хау – это сведения, которые могут быть предметом купли-продажи и которые охраняются режимом коммерческой тайны, это способ охраны инноваций.

– Сегодня говорят об оторванности академической науки от отраслевой. На ваш взгляд, насколько этот отрыв значителен?

– Скорее надо говорить о достаточно резком сокращении потенциала отраслевой науки. Там, где есть отраслевые научные центры, о такой оторванности говорить не приходится. У нас налажены тесные взаимоотношения с целым рядом научно-производственных объединений, среди которых Российский федераль-

ный ядерный центр (РФЯЦ-ВНИИТФ), ОКБ «Новатор», НПО автоматики им. академика Н.А. Семихатова, Государственный ракетный центр им. академика В.П. Макеева и многие другие. Реализуем программы совместных работ, регулярно проводим встречи, на которых обсуждаем полученные результаты и намечаем пути продолжения исследований. В частности, 8 июня делегация Отделения участвовала в работе научно-технического совета в ГРЦ им. академика В.П. Макеева, 11 июля программа совместных работ будет обсуждаться на научно-техническом совете в Снежинске.

– *В последние годы непрерывно, на всех уровнях и власти, и бизнеса, звучат слова «модернизация», «реиндустриализация»... Насколько востребован потенциал УрО РАН промышленными предприятиями Урала? Много ли заказов на прикладные исследования?*

– Объем НИР и НИОКР, выполняемых институтами Отделения в интересах промышленных предприятий, не очень высок и составляет 20–25 % от объема бюджетных ассигнований на фундаментальные исследования. Это не позволяет говорить о высокой востребованности работ со стороны предприятий. Мы могли бы значительно, в 2–3 раза, увеличить объемы прикладных исследований для предприятий Урала. К сожалению, заказов со стороны предприятий, выпускающих гражданскую продукцию, крайне мало. Наиболее активны оборонные предприятия, даже в части гражданской продукции. Крупные корпорации ориентированы на закупку западных технологий «под ключ», и НИР и НИОКР им практически не нужны. В Уральском отделении уже третий год выполняется программа фундаментальных исследований, ориентированных на нужды промышленных предприятий. Она призвана повысить инновационную активность в регионе. На средства Отделения научные коллективы выполняют работы, которые отобраны на конкурсной основе с участием предприятий; результаты этих работ передаются на предприятия для дальнейшего развития и использования.

– *Насколько способствует продвижению научных достижений «от идеи до продукции» инновационно-технологический центр «Академический»?*

– ИТЦ «Академический» представляет собой сложившуюся структуру и состоит из ряда малых предприятий научно-технической сферы.

Они используют технологии, которые родились в академических учреждениях и не прекращают взаимодействие с институтами. Сегодня это не только фабрика малых компаний. Некоторые некогда малые предприятия, например ЗАО ВМП (высокодисперсные металлические порошки) переросли в крупные производственные коллективы, являются лидерами рынка и уже всерьез задумываются о создании прикладных институтов совместно с УрО РАН.

– *Как складываются взаимоотношения с властью? Какова доля участия ученых в планировании социально-экономического, инновационного развития регионов, где работают институты УрО РАН?*

– Со многими администрациями регионов у нас сложились партнерские отношения. Только в 2011 г. подписаны соглашения о совместной деятельности с органами власти Оренбургской и Архангельской областей, а также с республикой Коми. Институты Отделения тесно взаимодействуют с министерствами Свердловской области. Так, к примеру, Институт экономики УрО РАН по заказу Министерства промышленности и науки разработал концепцию комплексного развития промышленности Свердловской области. Ученые Института философии и права участвуют в подготовке и экспертизе региональных законов. Среди наших партнеров Свердловский областной союз промышленников и предпринимателей, Торгово-промышленная палата, ассоциация «Большой Урал» и другие организации.

– *Какие из регионов присутствия УрО РАН являются наиболее инновационно активными? Есть ли, если можно так сказать, двигатели инновационной деятельности?*

– Среди инновационно-активных регионов следует отметить Пермский край, где локомотивами развития являются такие предприятия, как Пермская научно-производственная приборостроительная компания, ОАО «Авиадвигатель», НПО «Искра». В Челябинской области это уже отмеченные выше РФЯЦ-ВНИИТФ и ГРЦ им. академика В.П. Макеева.

– *Как за последние годы изменилось отношение к работе ученых со стороны государства? Как финансируются фундаментальные исследования?*

– Одна из характерных черт государственной политики в научной сфере заключается в том, что в последние годы происходит постепенное увеличение доли конкурсного финансирова-

ния фундаментальных исследований при сокращении базовых объемов финансирования. В целом, усиление конкурсного начала – это правильный подход. Отделение достаточно активно участвует в федеральных целевых программах (в 2011 г. выполнялось 55 проектов). Однако, очевидно, что практика формирования заказов на выполнение работ на основе лотов несовершенна. Многие приоритетные темы формируются без участия ученых, победителями конкурса зачастую оказываются малоизвестные околонуточные структуры, которые декларируют, что готовы выполнить работу за меньшие средства и в более короткие сроки. При этом качество работы оказывается формально несущественным параметром.

Что касается финансирования Российской академии наук и Уральского отделения, то при общей тенденции роста общего объема выделяемых государством средств на исследования, все-таки есть серьезные проблемы. Институты Отделения получают весьма приличные средства для выплаты заработной платы, но не имеют достаточных средств для развития материально-технической базы, приобретения научного оборудования и расходных материалов.

Здесь же стоит отметить Российский фонд фундаментальных исследований, который осуществляет поддержку научно-исследовательских работ по всем направлениям фундаментальной науки на конкурсной основе. В 1997 г. появилась новая форма научного

сотрудничества в области фундаментальных научных исследований – региональный конкурс РФФИ. Отличительными особенностями региональных конкурсов являются многоэтапная независимая экспертиза и вовлечение в финансирование научных проектов средств региональных бюджетов. Идея паритетного финансирования научных проектов из средств федерального и регионального бюджетов оказалась весьма привлекательной и конструктивной.

– *Насколько тесно УрО РАН взаимодействует с вузовской наукой?*

– Противоречия между РАН и вузами, о которых часто сообщается в прессе, в значительной степени надуманы. Мы давно являемся стратегическими партнерами. Наши научные кадры – это выпускники вузов, и академия заинтересована в качестве их образования. С другой стороны, примерно 30 % научных сотрудников Уральского отделения РАН преподают в вузах, а в некоторых наших институтах процент преподавателей доходит до 70 %. Формы сотрудничества включают организацию базовых кафедр, научно-образовательных центров, координацию в приобретении и использовании оборудования. В институтах созданы условия для прохождения практики и обучения студентов, в учебном процессе широко используется материальная и интеллектуальная база институтов. Интеграция академической и вузовской науки позволяет более успешно двигаться к общим целям инновационного развития страны.

*Печатается с разрешения журнала
«Большой Урал»*

ПЕРВЫЙ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫЙ КОНКУРС — ПРОЕКТНЫЕ ЗАДАЧИ, ПРОБЛЕМЫ, ОРГАНИЗАЦИИ, ОПЫТ РЕШЕНИЯ

(интервью с членом-корреспондентом Россельхозакадемии, председателем межрегионального экспертного совета РФФИ Е.А. Егоровым)

В 2008 г. Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) совместно с администрациями Краснодарского края, Орловской и Тамбовской областей, в соответствии с заключенными между ними соглашениями и Положением о межрегиональном конкурсе, организовали и провели конкурс межрегиональных специализированных проектов фундаментальных научных исследований «Приоритетам развития агропромышленного комплекса — фундаментальное научное обеспечение».

В конкурсе приняли участие научные коллективы семи государственных научных учреждений Россельхозакадемии, среди которых пять институтов, две опытные станции, а также одно малое инновационное предприятие.

География участников достаточно обширная — исследовательские коллективы представлены городами Мичуринск, Орел, Краснодар, Крымск, Анапа, Сочи, а также отдельными исследователями из Республики Абхазия, участвующими в разработке проектов.

На конкурс поступило 32 заявки (проекта). В результате трехэтапной экспертизы было поддержано 13 проектов (40,6 %).

Общий ежегодный бюджет конкурса составлял 17 650 тыс. руб., в том числе 8 825 тыс. руб. — доля Российского фонда фундаментальных исследований.

В рамках грантовой тематики в течение 2009 и 2010 гг. осуществлялись исследования, ориентированные на разработку методологических подходов ускоренного создания устойчивых генотипов растений (плодовых культур и винограда), в т.ч. на основе молекулярно-генетического анализа; выявление особенностей и закономерностей реализации адаптивного потенциала растений, установление закономерностей и зависимостей в системе «генотип-среда» при организации управления продукционным процессом, разработку методологических аспектов формирования высокопродуктивных агроценозов, разработку методов снижения вредоносности болезней и вредителей, направленного регулирования минерального состава плодов, управления процессами фитосанитарного оздоровления экосистем, отдельных химико-технологических аспектов производства функциональных продуктов питания.

Мы попросили прокомментировать этот конкурс члена-корреспондента Россельхозакадемии, председателя межрегионального экспертного совета РФФИ Е.А. Егорова.

— Евгений Алексеевич, чем обусловлена общая тематическая направленность конкурса?

— Содержательная основа общей тематической направленности заложена в названии конкурса «Приоритетам развития агропромышленного комплекса — фундаментальное научное обеспечение». Данная направленность обусловлена:

Во-первых, принятием ряда законодательно-нормативных актов по развитию сферы аграрного производства и производства продуктов питания, в частности, Государственной Программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, Доктриной продовольствен-



ной безопасности Российской Федерации.

Во-вторых, тем, что фундаментальные научные исследования, базируясь на определенных теоретических и эмпирических заделах, формируют многофункциональные базы знаний, которые служат основой создания конкретных научно-технических разработок, диверсификации научно-технической продукции в профильных сегментах

рынка, а также основой технологического развития продуктовых подкомплексов.

В-третьих, тем, что для региональных субъектов-организаторов конкурса (Краснодарского края, Тамбовской и Орловской областей) развитие плодово-ягодных подкомплексов

АПК является одним из экономических приоритетов.

Выбор регионов также был не случаен. В Тамбовской области создан и функционирует единственный в Российской Федерации нацпроект сельскохозяйственного направления, Краснодарский край является крупнейшим агропромышленным регионом, где успешной деятельности сельхозпредприятий в немалой степени способствуют научные учреждения, предприятия Орловской области также отличаются высоким уровнем сельскохозяйственного производства, немаловажную роль в котором играет отраслевая наука.

— **Какие ставились цели и задачи в организации подобного рода конкурса?**

— Основной целью конкурса являлась интеграция знаний по различным областям науки и консолидация финансовых и интеллектуальных ресурсов для разработки научно-технической продукции, имеющей комплексный характер и практическое значение для секторов экономики, являющихся приоритетными в региональных субъектах.

К приоритетным инновационным направлениям агропромышленного комплекса относят разработки и широкое освоение новых перспективных способов производства, хранения, транспортировки и переработки сельскохозяйственной продукции.

Для достижения целей конкурса необходимо было решить целый ряд задач: объединить интеллектуальный потенциал, сконцентрированный в научных и образовательных учреждениях-участниках конкурса, для осуществления совместных ориентированных фундаментальных исследований; осуществить предметную интеграцию ведущих научных школ и отдельных ученых в различных областях знаний; обеспечить корпоративное использование современного приборно-инструментального парка различных учреждений; использовать базы сельскохозяйственного производства и предприятий пищевой промышленности; ориентировать результаты исследований на решение важнейших отраслевых задач.

Безусловно, одной из ключевых задач была отработка организационной модели, которая бы обеспечивала конструктивную взаимосвязь фонда, органов отраслевого управления регионов, научных и образовательных учреждений, самих исследователей в решении вопросов организации конкурса, размещения и испол-

нения проектов, осуществление необходимых согласований, экспертиз, отчетности. Одним словом, организовать и обеспечить дееспособность этой локальной системы в существующем правовом поле.

— **Пока конкурс шел, как решались организационные проблемы?**

— Отбор регионов для участия в конкурсе осуществлялся по наличию Соглашений между Фондом и администрациями субъектов.

Ограниченность временного периода на организацию конкурса была существенным препятствием — необходимо было согласовать разработанное Положение о конкурсе с профильными структурами исполнительной власти субъектов, сформировать на основе их рекомендаций межрегиональный экспертный совет в равных долях от регионов, принимающих участие в конкурсе и утвердить его в Фонде. Ввиду отсутствия системы электронного документооборота пришлось все вопросы решать через спецпочту.

Началу конкурса предшествовала большая предварительная работа по анализу научных школ в научных и образовательных учреждениях потенциальных участников конкурса, развивающихся в рамках этих школ доминирующих научных направлений.

Эта работа была необходима не только для анализа потенциальных возможностей, но и для определения основного исполнителя и соисполнителей того или иного проекта, доли участия каждого, так как в дальнейшем их отношения будут связаны с финансами, и изначально требовалось устранить возможные конфликты.

Требовалось также нивелировать отсутствие достаточного опыта участия в конкурсах РФФИ у отдельных партнеров.

Одним из обязательных требований межрегионального конкурса являлось участие в одном проекте двух и более коллективов научных учреждений из различных регионов-участников конкурса. Объединение их в единые тематические направления также осуществлялось в подготовительный период.

И одна из существенных проблем — это гарантии организаторов конкурса о паритетном софинансировании разрабатываемого проекта, так как ввиду изменения законодательства возможности региональных бюджетов по софинансированию науки вообще существенно ограничены. К удовлетворению всех, финансовые обязательства были выполнены в полном объеме.

– Какие ожидаются эффекты от реализации проектных разработок, наработанного опыта организации конкурса?

– К оценке эффектов и эффективности реализованных проектов и самого конкурса я бы подошел с позиции их комплексной оценки — результативности в плане дельнейшей трансформации результатов исследований в приоритетно-прикладные разработки, необходимые отраслевому производству, эффективности отработанной организационной модели, и полученных сопутствующих результатов.

Если кратко охарактеризовать результативность проектов, то следует отметить, что уже в ходе их реализации были установлены определенные зависимости и взаимосвязи, позволяющие: более полно использовать природные ресурсы регионов за счет мобилизации адаптивного потенциала важнейших биологических компонентов агроценозов; уточнить системы защиты, обеспечивающие соответствие химической нагрузки уровню адаптивного потенциала агробиоценоза; сохранить полезную фауну и экологическое равновесие; производить плодово-ягодную продукцию и продукты ее переработки с повышенными показателями экологической безопасности и качества, в том

числе для функционального назначения и для детского питания.

Отработанная организационная модель, по сути, служит аналогом формируемой системы конкурсной финансовой поддержки в сочетании с целевым финансированием конкретных программ и проектов, т.е. практической реализацией принципа финансирования научно-технической деятельности.

Организация и осуществление этого конкурса реально продемонстрировало эффективность новых подходов к организации процесса координации исследований — не по отраслевому устройству или области знаний того или иного научного учреждения, а по актуальности проблем, требующих научного разрешения, имеющимся в учреждениях научным заделам, сформированным базам знаний.

В процессе организации конкурса были четко определены организации-исполнители и соисполнители, разграничены объемы участия, скорректированы мероприятия по совместному выполнению исследований, обозначены параметры предполагаемых завершенных разработок и ориентация в дальнейшем на их трансформацию в плоскость научно-технической продукции приоритетно-прикладного уровня.

ПАРИТЕТ ПРИОРИТЕТОВ

(интервью с А.Г. Литваком и С.Г. Псахье в газете «Поиск»)

Региональные конкурсы Российского фонда фундаментальных исследований на пять лет моложе РФФИ и, значит, тоже отмечают в этом году свой небольшой юбилей. Идея паритетного финансирования из средств фонда и региональных бюджетов научных изысканий, ориентированных на решение важных для конкретных территорий проблем, оказалась весьма плодотворной. Число областей и республик, заключивших соглашения с РФФИ, постоянно растет: у фонда уже около 60 партнеров.

Чем такая форма сотрудничества привлекает регионы? Удастся ли сохранить баланс между фундаментальным характером и практической ценностью работ? Как используются результаты исследований? Обо всем этом «Поиску» рассказали те, кто непосредственно организует конкурсы на местах, — руководители региональных экспертных советов.

ВРЕМЕНИ В ОБРЕЗ

Нижегородская область заключила соглашение о сотрудничестве с РФФИ в 2007 г., когда новый губернатор Валерий Шанцев обжился на своем посту и стал укреплять отношения с научным сообществом, рассказал председатель Регионального экспертного совета конкурса, член Совета РФФИ, председатель Нижегородского научного центра РАН, директор Института прикладной физики РАН, академик Александр Литвак.

Администрация Нижегородской области обязалась на паритетной основе с фондом ежегодно выделять на проведение конкурса 30 млн руб. и добросовестно выполняет свои обязательства. Средства на обеспечение соглашения с РФФИ включены в областной бюджет и перечисляются в срок. Даже в кризисные годы, когда область испытывала трудности с финансами, на конкурсе это не отразилось. Все принципиальные вопросы, связанные с проведением конкурса, решаются на уровне Совета по научной и инновационной политике при губернаторе Нижегородской области. Председательствует в совете губернатор, а Александр Литвак является его заместителем. Организационным обеспечением конкурса занимается областное Министерство промышленности и инноваций. В ходе взаимодействия ученые и чиновники определяют интересные для региона направления исследований, которые нуждаются в дополнительной поддержке. В приоритетах информационно-телекоммуникационные и суперкомпьютерные системы; нанофизика и нанотехнологии, включая нанотехнологии в исследованиях живых систем; ядерные энерготехнологии; новые материалы



и химические технологии; развитие методов диагностики живых систем; экология и рациональное природопользование, мониторинг и прогнозирование состояния атмосферы и гидросферы; исследования в области радиоэлектронных и лазерных систем; социально-экономические проблемы Нижегородского региона.

Важным участком работ в рамках совместного конкурса областные власти считают выполнение исследований в интересах местных наукоемких предприятий, которые заинтересованы в модернизации и расширении производства на основе результатов передовых фундаментальных исследований.

В утвержденный областным правительством и РФФИ Региональный экспертный совет конкурса входят представители организаций, занимающих лидирующие позиции в науке, академических институтов, отраслевых НИИ и вузов. Совет формирует рабочие группы по направлениям исследований. Каждый проект оценивается одним экспертом от региона и двумя — от профильного совета РФФИ.

По словам Александра Литвака, большинство приходящих на конкурс заявок отвечает

самым высоким требованиям и получает оценку «безусловно поддержать» у всех трех экспертов. Некоторые особенно актуальные для региона проекты, получившие высокие оценки всех экспертов, но не прошедшие сито отбора, финансируются только за счет средств областного бюджета. В итоге получается, что область выделяет на 10–15 % больше денег, чем РФФИ.

Ежегодно поддерживается более сотни проектов очередного нового цикла и примерно столько же продолжающихся второй год. Среднее обеспечение гранта составляет 400–500 тыс. руб. Больше всего заявок приходит по направлениям, в которых нижегородские ученые традиционно сильны. Это физика и астрономия, химия, биология и медицина, инженерные науки.

Областная власть, отмечает академик А. Литвак, довольна результатами взаимодействия с РФФИ. В регион привлекаются средства института развития федерального уровня, на которые высокопрофессиональные научные коллективы выполняют исследования, обеспечивающие эффективное сопровождение инновационного процесса. В результате использования этого и других механизмов поддержки научно-технического развития, объемы выпускаемой в Нижегородской области наукоемкой продукции растут более высокими темпами, чем в среднем по России.

Говоря о том, что хотелось бы улучшить в организации конкурса, Александр Литвак отметил настоятельную потребность в увеличении сроков выполнения работы с двух лет хотя бы до трех. За установленный сегодня срок трудно провести серьезное законченное исследование, которое открыло бы перспективы практического применения результатов. Но для обеспечения трехлетнего грантового цикла необходимы

довольно большие дополнительные средства, которые ни областная власть, ни РФФИ выделять пока не готовы.

А вот на выплату вознаграждения за труд региональным экспертам, пока работающим на общественных началах, требуется не так уж много денег. Здесь наладить процесс мешают административные барьеры: область не может направлять бюджетные деньги на зарплатную статью. Однако организаторы конкурса уверены, что найдут решение этой задачи.

Многие проекты регионального конкурса имеют значимую проекцию на проблемы Нижегородской области. Так, на примере Горьковского водохранилища ученые создают физические основы мониторинга внутренних водоемов. Развиваются такие методы, как оптическая диагностика загрязняющих нефтяных пленок (руководитель И. Сергиевская), радиолокационное определение биогенного загрязнения – зон «цветения воды» (руководитель С. Ермаков), спутниковая альтиметрия, – измерение уровня воды (руководитель Ю. Троицкая).

Ряд проектов связан с разработкой новых медицинских диагностических технологий, в первую очередь с применением оптической когерентной томографии и флуоресцентной диагностики. Группа Л. Клапшина предложила новые эффективные флуоресцентные наномаркеры и нанофотосенсибилизаторы для медицинской диагностики и фотодинамической терапии злокачественных опухолей. Команда ученых под руководством В. Загайнова разработала эффективный способ проведения малоинвазивных органосохраняющих операций – метод СВЧ-термоабляции (локального разрушения) злокачественных образований.

ПОЛУЧИЛИ ПОЯСА

История региональных конкурсов Российского фонда фундаментальных исследований в Томске началась с подписания в 2004 г. соглашения между администрацией Томской области и РФФИ, сообщил член Совета РФФИ, член экспертного совета РФФИ по региональным конкурсам, директор Института физики прочности и материаловедения, член-корреспондент РАН Сергей Псахье.

Планировалось, что финансовое обеспечение конкурса составит 3 млн руб. В ходе первого этапа отрабатывались механизмы поддержки фундаментальных исследований совместными усилиями РФФИ и региона. По результатам экспертизы были определены 10 проектов-победителей.

Конкурс сразу стал популярным, и на втором этапе выделенные средства уже не позволили поддержать все заявки, получившие высокие оценки экспертов. Поэтому между Томской областью и фондом были заключены дополнительные соглашения, предусматривавшие резкое увеличение общего объема финансиру-

вания: в 2007 г. — до 30 млн руб. В соответствии с подписанным в 2008 г. и ныне действующим соглашением, ежегодное финансирование составляет 60 млн руб. — по 30 млн руб. от фонда и области.

С 2007 г. в рамках регионального конкурса ежегодно поддерживаются примерно 65 проектов. Организаторы считают, что при существующем финансировании такое количество оптимально. Среднегодовой размер гранта до недавних пор составлял 900 тыс. руб. — существенно больше, чем обычно выделяет РФФИ на инициативные проекты. Дело в том, что по решению Регионального экспертного совета в томских конкурсах поддерживались исследования, ориентированные на практический результат. Однако с 2011 г. финансирование со стороны фонда снизилось. Поскольку обеспечение конкурса ведется на паритетной основе, в полной мере использовать выделяемые средства стало невозможно. Так что акцент пришлось сместить на поисковые исследования. Сегодня на проект в среднем ежегодно выделяется 550 тыс. руб.

В конкурсе участвуют и побеждают коллективы практически всех государственных научно-образовательных структур Томска. Город известен как крупнейший в стране вузовский центр. Поэтому неудивительно, что лидирующие позиции по числу грантов здесь занимают университеты. Самый активный из них — Томский политехнический университет (ТПУ). Однако ученые академических институтов Томского научного центра СО РАН и Российской академии медицинских наук вполне успешно конкурируют с коллегами из высшей школы.

Если говорить о распределении выполняемых проектов по областям знаний, максимум приходится на инженерные науки. На самом деле, многие из заявок, проходящих по этому направлению, могли бы быть отнесены к другим научным сферам. Авторы определяют профиль своих работ именно как «инженерный», поскольку они имеют ясные перспективы коммерциализации. Как видно из приведенной ниже диаграммы (рис. 1), исследовательская активность участников конкурса распространяется практически на все направления, за исключением наук о человеке и обществе. Отсут-



ствие работ по этому профилю объясняется преимущественно технической и естественно-научной специализацией Томского исследовательского комплекса. Поскольку до последнего времени проводимые в рамках конкурса исследования имели характер ориентированных, освоение результатов происходило довольно быстро. Так, на базе разработок, полученных исполнителями проектов, которые по-

бедили в конкурсе 2007–2008 гг., практически сразу были созданы три малых инновационных предприятия. Одно из них — инжиниринговая компания «Элликс» — получило грант в рамках областной программы развития малых предприятий «Бизнес-Старт» и в настоящее время участвует в проекте международной коммерциализации, реализуемом администрацией Томской области совместно с Оксфордским университетом. Другое наукоемкое предприятие — научно-производственная фирма «Сибтроника», занимающаяся разработкой программного обеспечения, — было поддержано программой «Старт» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Среди нашедших применение результатов также следует отметить работу научного коллектива Томского политехнического университета по адаптации лабораторных методов формирования равномерноплотных структур для серийного производства керамических изделий из нанопорошков. Вместе с Новосибирским электровакуумным заводом «Союз» ТПУ выиграл конкурс на создание промышленного производства изделий из функциональной и конструкционной наноструктурированной керамики в рамках программы государственной поддержки кооперации вузов и промышленных предприятий. В выполнении этого проекта, бюджет которого составляет 314 млн руб., задействованы более 200 сотрудников ТПУ, в том числе молодых ученых и специалистов, аспирантов, студентов.

Таким образом, отметил Сергей Псахье, региональный конкурс РФФИ способствует формированию инновационных поясов университетов и академических институтов. По его мнению, изменение формата принимаемых заявок с ориентированных на инициативные не

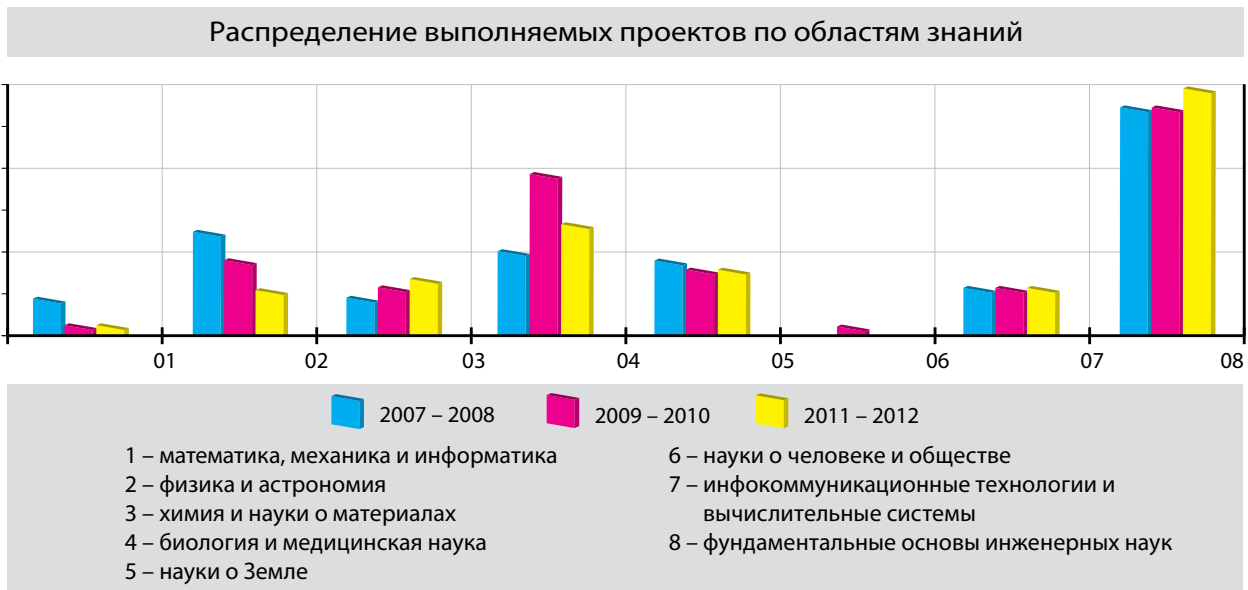


Рис. 1. Распределение выполняемых проектов по областям знаний.

позволит получать результаты, пригодные для коммерциализации. Этот вопрос он собирается поставить на Совете РФФИ.

Исполняющий обязанности заместителя губернатора Томской области Алексей Пушкаренко, который долгое время возглавлял Комитет по науке и инновационной политике, занимавшийся организацией конкурса, согласен

с коллегой в том, что региону интересен практический выход от работ ученых.

Однако, по его словам, администрация Томской области готова продолжать работу с РФФИ в любом формате, поскольку считает сам опыт взаимодействия и полученные научные результаты чрезвычайно полезными.

*Материал печатается
с разрешения газеты «Поиск».
Материал подготовила
Надежда Волчкова.*

Взаимодействие РФФИ с регионами



1 Академик Г.А. Месяц.

2 Академик В.И. Сергиенко.

3 Академик В.П. Матвеевко.

4 Академики В.Я. Панченко и В.Н. Чарушин (г. Хабаровск).

5 Осмотр глубоководного робототехнического комплекса в Институте проблем морских технологий ДВО РАН (г. Владивосток).

6 Совместное заседание Совета РАН по координации деятельности региональных отделений и региональных научных центров РАН и экспертного совета РФФИ по региональным конкурсам (г. Хабаровск).





1



2



3



4

1 Председатель совета РФФИ академик В.Я. Панченко и губернатор Приморского края В.В. Миклушевский после подписания Меморандума о сотрудничестве.

2 Лекция В.Я. Панченко в ДВФУ (г. Владивосток).

3 В одной из научных лабораторий стационара «Восток» (Приморский край).

4 В перерыве между заседаниями (г. Хабаровск).

5 Здания Института автоматизации и процессов управления (ИАПУ) ДВО РАН (г. Владивосток).

6 В научной лаборатории ИАПУ ДВО РАН (г. Владивосток).

7 Академики Ю.Н. Кульчин и В.Я. Панченко у лабораторной установки (г. Владивосток).



5



6



7

АННОТАЦИЯ К ТЕМАТИЧЕСКОМУ БЛОКУ

По инициативе Российского фонда фундаментальных исследований, начиная с 1997 г., на основе соглашений с администрациями и правительствами субъектов Российской Федерации проводятся региональные конкурсы исследовательских проектов. За прошедшие годы такие конкурсы получили широкое общественное признание, а адресная поддержка научных исследований на конкурсной основе в регионах приобрела устойчивый характер. Совместно с РФФИ в качестве организаторов региональных конкурсов за это время выступили администрации более 65 субъектов Российской Федерации.

Финансовая грантовая поддержка научных исследований, проводимых в рамках региональных конкурсов, является важным звеном системы поддержки фундаментальных исследований в субъектах РФ. При этом финансируются инициативные проекты, имеющие приоритетное значение для конкретного региона, которые выполняются как отдельными специалистами, так и небольшими творческими коллективами. Основным критерием для решения вопроса о финансовой поддержке проектов является их значимость для фундаментальной науки, государства и региона. Тематика регио-

нальных конкурсов определяется в соответствии с потребностями регионов и охватывает все области знаний, а сами конкурсы являются важным элементом государственной научно-технической политики.

Координацию деятельности Фонда в области региональных программ, взаимодействие с экспертной системой РФФИ, региональными экспертными советами, которые сформированы в каждом субъекте РФ – участнике конкурса, обеспечивает соответствующий экспертный совет (ранее – координационный совет) Российского фонда фундаментальных исследований, в составе которого – ведущие ученые из всех федеральных округов РФ. Несколько членов этого совета входят в состав Совета по координации деятельности региональных отделений и региональных научных центров РАН. Поэтому заседания Совета РАН по координации, на которых присутствуют председатели и члены ряда региональных экспертных советов, оказываются весьма плодотворными и в плане обсуждения вопросов, связанных с региональными конкурсами РФФИ.

Результаты проводимых региональных конкурсов свидетельствуют о высокой значимости

Таблица 1. Изменение основных характеристик региональных конкурсов по годам

Год	Количество грантов	Объем финансирования (РФФИ + регион), тыс. руб.
2002	817	79 000
2003	862	114 000
2004	936	140 000
2005	1 142	200 000
2006	1 189	282 000
2007	1 230	590 000
2008	1 304	680 000
2009	1 250	602 300
2010	1 092	472 300
2011	976	415 000

политики Фонда по расширению масштабов региональных конкурсов для развития научных исследований в РФ.

По мнению исполнителей, принимавших участие в региональных конкурсах, результаты проектов могут найти свое место не только в фундаментальной науке, но и в практическом применении.

В 2011 г. Фондом в рамках региональных конкурсов профинансировано 976 проектов, выполняемых учеными из 37 субъектов РФ.

Общий объем финансирования (РФФИ и регион) составил 415 млн руб.

В таблице 1 приведены данные, отражающие изменения количества поддержанных проектов (грантов) региональных конкурсов и объемов их финансирования за последние десять лет.

В тематическом блоке представлены некоторые результаты, полученные в рамках региональных конкурсов исследователями из Иркутска, Краснодара, Перми, Уфы.

О РЕДАКТОРЕ ТЕМАТИЧЕСКОГО БЛОКА В.П. МАТВЕЕНКО



Валерий Павлович Матвеенко родился 9 февраля 1948 г. в г. Кизел Пермской области. После окончания школы поступил в Пермский политехнический институт на кафедру «Динамика и прочность машин», которую закончил в 1972 г.

После окончания института поступил в Отдел физики полимеров УНЦ АН СССР, который в 1980 г. был преобразован в Институт механики сплошных сред УНЦ АН СССР. Здесь он работал младшим научным сотрудником, старшим научным сотрудником, ученым секретарем Института, заведующим лабораторией, заместителем директора по научной работе, а с 1993 г. директором Института. В 2000 г. избран председателем Президиума Пермского научно-го центра УрО РАН, в 2008 г. — заместителем председателя УрО РАН.

Валерий Павлович закончил аспирантуру Московского института электронного машиностроения по специальности механика деформируемого твердого тела. В 1978 г. защитил кандидатскую, в 1987 г. — докторскую диссертацию. В 1988 г. получил звание профессора. Член-корреспондент РАН (с 1997 г.), действительный член РАН (с 2003 г.), член Европейской академии наук. Лауреат Государственной премии РФ (1999 г.), Строгановской премии (2012 г.).

В.П. Матвеенко принимает активное участие в подготовке научных кадров высшей квалификации. С 2000 г. он заведует кафедрой «Механика сплошных сред и вычислительных технологий» Пермского государственного университета, а в 2009 г. он возглавил вновь созданную кафедру «Мехатроники» на базе Пермского государственного технического университета и ИМСС УрО РАН для подготовки магистров по нескольким специальностям.

В.П. Матвеенко является членом Президиума РАН и Президиума УрО РАН, членом Бюро Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления, членом Научных советов РАН по механике деформируемого твердого тела и по механике конструкций из композиционных материалов, членом Президиума Национального комитета по теоретической и прикладной механике.

Он также главный редактор журналов «Вычислительная механика сплошных сред» и «Вестник Пермского научного центра»; член редколлегии журналов «Acta Mechanica», «Composites: mechanics, computations, applications», «Физика и механика разрушения», «Вестник Пермского государственного универ-

ситета», «Вестник Самарского государственного университета», «Вестник Кубанского государственного университета»; председатель двух специализированных советов по защите докторских и кандидатских диссертаций по специальности «Механика деформируемого твердого тела» и «Механика жидкости, газа и плазмы».

Академик В.П. Матвеев является председателем экспертного совета по региональным конкурсам РФФИ.

Основные научные результаты В.П. Матвеева относятся к созданию методов численного анализа прочности, устойчивости и колебаний деформируемых тел. В частности, им разработаны методы исследования и оптимизации напряженного состояния в окрестностях особых точек упругих тел, являющихся зонами ярко выраженной концентрации напряжений; предложена новая механическая задача о собственных колебаниях вязкоупругих тел, решение которой позволяет проводить эффективную численную оптимизацию диссипативных характеристик различных механических систем;

развиты методы численного исследования колебаний и устойчивости оболочек, взаимодействующих с потоком жидкости или газа; получены новые решения задач несимметричной теории упругости. При его участии построена теория для описания термомеханического поведения полимеров и композитов на их основе с учетом релаксационных и фазовых переходов и развиты методы решения задач механики полимерных и композиционных материалов с учетом химических процессов, протекающих на стадии их формирования в различные изделия. Построена теория и развиты методы решения динамических задач электровязкоупругости с приложениями к проблеме оптимизации диссипативных свойств SMART-материалов. С его участием развиваются методы мониторинга механического состояния инженерных и природных объектов.

В.П. Матвеев удостоен государственных наград: медаль «За трудовую доблесть» (1986 г.), Орден почета (1998 г.), орден «За заслуги перед Отечеством» IV степени (2008 г.).

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АГРЕГАТА ДОЗИРОВАНИЯ ТОПЛИВА В СИЛОВУЮ УСТАНОВКУ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА¹

Насибуллаева Э.Ш., Денисова Е.В.²

В работе построена динамическая модель функционирования агрегата дозирования топлива (АДТ), включающего три подвижных элемента (сервопоршень, дроссельную иглу и клапан постоянного перепада). Численные расчеты показали, что характеристики АДТ как элемента системы автоматического управления носят нелинейный и неоднородный характер, а также, что в полостях АДТ возможно возникновение кавитационных режимов.

Ключевые слова: агрегат дозирования топлива, кавитация, система автоматического управления.

The dynamical model of fuel batching unit (FBU), which consists three moving elements (a servopiston of a throttle needle, a throttle needle and a constant pressure differential valve) is built in this work. Numerical calculations showed that the characteristics of FBU as one of elements of automatic control system have nonlinear and heterogeneous nature, and that in the cavities of FBU the appearance of cavitation conditions regimes are possible.

Keywords: fuel batching unit, cavitation, automatic control system.

В системах автоматического управления (САУ) газотурбинными двигателями топливные агрегаты выполняют двойную роль: обеспечивают топливом двигательную установку и одновременно дозируют его по команде бортового компьютера в зависимости от режима работы и условий применения.

Исторически сложилось так, что первые САУ авиационными двигателями различного назначения были гидромеханическими. Они появились и развивались вместе с объектами управления, т.е. двигателями различных транспортных средств.

Появление новых поколений двигателей, введение в контур управления современных вычислительных комплексов поставило перед

разработчиками САУ следующую проблему: характеристики управляющей (электронной) и исполнительской (гидромеханической) частей системы должны быть согласованы или хотя бы не противоречить друг другу.

Согласно мировой статистике, основные аварии в авиации происходят по вине топливной автоматики (73 % по данным Японии). Основная причина – разрушение подвижных элементов (золотников, пружин, сервопоршней, дроссельных пакетов и т.п.), попадание в регулировочные отверстия металлических микрочастиц. Это приводит к изменению режима работы двигателя и может вызвать аварийную ситуацию вплоть до отказа топливной системы. Разрушение элементов может происходить как

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ совместно с Правительством Республики Башкортостан (грант № 08-08-97044).

²



Насибуллаева Эльвира Шамиловна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института механики имени Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра Российской академии наук, г. Уфа, e-mail: elvira@anrb.ru.



Денисова Екатерина Всеволодовна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института механики имени Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра Российской академии наук, г. Уфа, e-mail: denisova@anrb.ru.

из-за чисто механических воздействий, так и из-за появления кавитационных режимов.

В настоящее время ведутся интенсивные разработки авиационных двигателей нового поколения для летательных аппаратов различного назначения, в том числе и для беспилотных, которые должны обладать повышенным эксплуатационным ресурсом. Обеспечение высоких тактико-технических требований к двигателям новых схем возможно только при наличии современной системы управления, одним из элементов которой является агрегат дозирования топлива (АДТ).

Таким образом, моделирование функционального АДТ с целью выявления процессов, происходящих в системе топливопитания, является весьма актуальной задачей.

Постановка задачи

Конструктивная схема АДТ в силовую установку беспилотного летательного аппарата (БЛА) представлена на рисунке 1. АДТ состоит из нескольких основных элементов: сервопоршня – 1, дроссельной иглы – 2, клапана постоянного давления, клапана постоянного перепада давления – 3 (КПП), распределительного клапана и других элементов. При моделировании схемы рассматривалась динамика левой полости (полости сервопоршня дроссельной иглы) и правой полости (полости самой дроссельной иглы). Другие вышеперечис-

ленные элементы на данном этапе работы не рассматривались ввиду достаточной сложности задачи.

Устройство работает следующим образом. От электронного регулятора режима работы двигателя поступает управляющий сигнал u на электромагнитные клапаны (ЭМК 1 и ЭМК 2), которые в противофазе открывают (или закрывают) заслонки, изменяя площади сливов $s_{сл,1}$ и $s_{сл,2}$ в левой и правой полостях сервопоршня соответственно. Для определенности положим, что заслонка слева закрыта, а справа – открыта. В этом случае давление P_1 возрастает, не превышая значения $P_{кплд} = const$, и сервопоршень начинает перемещаться вправо по схеме (стрелка под x показывает направление перемещения сервопоршня). Одновременно с сервопоршнем перемещается дроссельная игла, изменяя свое проходное сечение $s_{дн}(x)$. Управление перемещением происходит в режиме широтно-импульсной модуляции. Таким образом, устанавливается связь между управляющим сигналом u и перемещением сервопоршня дроссельной иглы x .

Далее, от насоса (или качающего узла) приходит расход топлива $Q_H = k \cdot n$, прямо пропорциональный частоте вращения ротора турбокомпрессора n . При условии, что $n = const$ на заданном режиме работы, получаем, что $Q_H = const$. Однако давление P_H является переменной величиной и зависит от положения иглы. Если дроссельная игла перемещается на закрытие

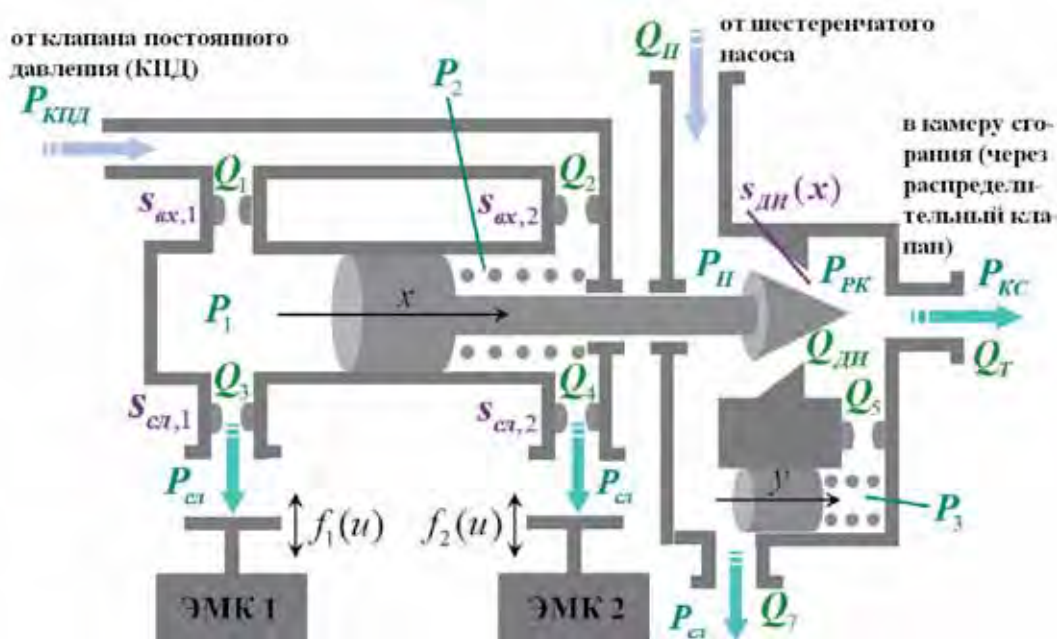


Рис. 1. Конструктивная схема АДТ в силовую установку БЛА.

(вправо по схеме), то P_H возрастает, и наоборот. При этом давление в правой полости иглы P_{PK} (давление перед распределительным клапаном) остается без изменения. Следовательно, перепад давлений ($P_{PK} - P_H$) начинает изменяться, что нежелательно, поскольку величина расхода топлива в двигатель Q_T должна зависеть только от перемещения x , т.е. в конечном итоге от управляющего сигнала u .

С целью поддержания перепада ($P_{PK} - P_H$) постоянной величиной, в схему введен КПП. Работает он следующим образом. Когда подрастает P_H , поршень КПП увеличивает слив за счет изменения перемещения y . Это приводит к увеличению P_{PK} , поддерживая разницу давлений постоянной величиной. Таким образом, окончательный расход топлива в двигатель будет зависеть в конечном итоге только от управляющего сигнала u [1].

Математическая модель АДТ

Предполагаем, что давление клапана постоянного давления $P_{КПД}$ и давление слива P_{cl} являются постоянными величинами, причем $P_{КПД} > P_{cl}$.

Система уравнений, описывающих динамику движений сервопоршня дроссельной иглы, включает следующие уравнения.

Уравнение сил на подвижном элементе имеет следующий вид:

$$m_1 \ddot{x} = P_1 S_{нор,1} - P_2 S_{нор,2} - c_1 x - F_{тр,1} + R_{нр,1} + F_{ПДИ}. \quad (1)$$

Здесь введены следующие обозначения: m_1 – масса поршня; $\ddot{x} = \ddot{x}(t)$ – ускорение перемещения поршня; t – время; P_1 и P_2 – давления в левой и правой полостях поршня соответственно; $S_{нор,1}$ и $S_{нор,2}$ – площади поршня слева и справа соответственно; c_1 – жесткость пружины; $R_{нр,1}$ – сила предварительной затяжки пружины; $F_{ПДИ}$ – сила противодействия перемещению дроссельной иглы; $F_{тр,1}$ – сила трения, которая может быть определена двумя способами:

а) как «сухое» трение:

$$F_{тр,1} = \text{sign}(\dot{x}) |F_{тр,1}^0| \quad (2)$$

где $F_{тр,1}^0 = P_1^0 S_{нор,1} - P_2^0 S_{нор,2} - c_1 x_0 + R_{нр,1}$

(индекс 0 обозначает значение величины в начальный момент времени);

б) как «вязкое» или регуляризованное трение [2]:

$$F_{тр,1} = \frac{\dot{x} |F_{тр,1}^0|}{\varepsilon_1} \quad (3)$$

где ε_1 – параметр регуляризации.

Уравнения балансов расхода слева и справа от сервопоршня при условии, что рабочая жидкость (топливо) считается несжимаемой, имеют следующий вид:

$$Q_1 = Q_3 + \Delta Q_{13}; \quad Q_2 = Q_4 - \Delta Q_{24} \quad (4)$$

Здесь расходы через жиклеры определяются следующими формулами:

$$Q_i = a \mu s_{ex,i} \sqrt{P_{КПД} - P_i}; \quad (5)$$

$$Q_{2+i} = a \mu s_{cl,i} \sqrt{P_i - P_{cl}}; \quad i = 1, 2,$$

где $a = \sqrt{2g/\gamma}$ – размерный коэффициент, зависящий от удельного веса топлива (жидкости) γ ; g – ускорение свободного падения; μ – коэффициент истечения, который в первом приближении можно считать постоянной величиной, хотя фактически зависит от вида жиклера; $s_{ex,i}$ ($i=1, 2$) – площадь прохода жидкости на входе (в жиклерах); $s_{cl,i}$ ($i=1, 2$) – площадь прохода жидкости на сливе. Дополнительные составляющие ΔQ_{13} и ΔQ_{24} появляются в связи с перемещением сервопоршня и освобождением дополнительного объема (ΔQ_{13}) или его уменьшением (ΔQ_{24}) и определяются следующими формулами:

$$\Delta Q_{13} = S_{нор,1} \dot{x}; \quad \Delta Q_{24} = S_{нор,2} \dot{x} \quad (6)$$

Из уравнений (4–6) определяются давления слева и справа от сервопоршня P_1 и P_2 :

$$P_i = \frac{s_{ex,i}^2 P_{КПД} + s_{cl,i}^2 P_{cl}}{s_{ex,i}^2 + s_{cl,i}^2} + \frac{S_{нор,i} \dot{x} (-S_{нор,i} \dot{x} (s_{ex,i}^2 - s_{cl,i}^2) \pm 2s_{ex,i} s_{cl,i} \sqrt{D_i})}{a^2 \mu^2 (s_{ex,i}^2 + s_{cl,i}^2)^2} \quad (7)$$

$$D_i = (P_{КПД} - P_{cl}) a^2 \mu^2 (s_{ex,i}^2 + s_{cl,i}^2) - S_{нор,i}^2 \dot{x}^2 \quad (i = 1, 2).$$

Таблица 1. Значения жиклеров $s_{cl,1}$ и $s_{cl,2}$ ($k=0, 1, 2, \dots$)

$t \in$	$[kT, kT + \tau]$	$\left(kT + \tau, kT + \tau + \frac{T}{20} \right)$	$\left[kT + \tau + \frac{T}{20}, kT + \frac{19T}{20} \right]$	$\left(kT + \frac{19T}{20}, (k+1)T \right)$
$s_{cl,1}^{new} =$	$s_{cl,1}$	$s_{cl,1} \sin^2 \frac{\pi \left(t - \tau - kT + \frac{T}{20} \right)}{\frac{T}{10}}$	0	$s_{cl,1} \sin^2 \frac{\pi \left(t - (k+1)T + \frac{T}{20} \right)}{\frac{T}{10}}$
$s_{cl,2}^{new} =$	0	$s_{cl,2} \sin^2 \frac{\pi(t - \tau - kT)}{\frac{T}{10}}$	$s_{cl,2}$	$s_{cl,2} \sin^2 \frac{-\pi(t - (k+1)T)}{\frac{T}{10}}$

Управляющий сигнал $u=(\tau/T) \cdot 100$ % определяет ту часть периода в %, когда слив открыт, и является входным параметром. Здесь $T=1/\nu$ – период; ν – частота изменения управляющего сигнала; τ – часть периода, когда слив открыт. Тогда значения жиклеров $s_{c,i}$ ($i=1, 2$) в (7) заменяются на функции $s_{cl,i}^{new}$ ($i=1, 2$), значения которых в разные моменты времени t задаются в таблице 1.

Система уравнений, описывающих динамику движения поршня в полости КПП, включает следующие уравнения.

Уравнение сил, действующих на поршень КПП:

$$m_2 \ddot{y} = (P_H - P_3)S_{КПП} - c_2 y - F_{mp,2} + R_{np,2}. \quad (8)$$

Здесь m_2 – масса поршня КПП; $y=y(t)$ – перемещение поршня КПП; $\ddot{y} = \ddot{y}(t)$ – ускорение перемещения поршня КПП; $P_H=P_H(t)$ и $P_3=P_3(t)$ – давления слева и справа от поршня КПП соответственно; $S_{КПП}$ – площадь поршня КПП; c_2 – жесткость пружины; $F_{mp,2}$ – сила трения; $R_{np,2}=\text{const}$ – сила предварительной затяжки пружины.

Сила трения $F_{mp,2}$ определяется аналогично силе трения $F_{mp,1}$ следующим образом:

1) «сухое» трение:

$$F_{mp,2} = \text{sign}(\dot{y})k_{mp} |F_{mp,2}^0|; \quad (9)$$

2) «вязкое» или регуляризованное трение:

$$F_{mp,2} = \begin{cases} k_{mp} \frac{F_{mp,2}^0 \dot{y}}{\varepsilon_2}, & \text{при } |\dot{y}| < \varepsilon_2, \\ \text{sign}(\dot{y})k_{mp} |F_{mp,2}^0|, & \text{при } |\dot{y}| \geq \varepsilon_2, \end{cases} \quad (10)$$

где ε_2 – параметр регуляризации; k_{mp} – коэффициент силы трения поршня КПП. Этот коэффициент вводится вследствие того, что часть поршня перекрывает собой слив и поэтому не вся боковая поверхность КПП соприкасается со стенками полости, в которой он движется (заметим, что для силы трения $F_{mp,1}$ подобный коэффициент отсутствует). Поршень КПП имеет цилиндрическую форму, поэтому коэффициент k_{mp} вводится по следующей формуле:

$$k_{mp} = \frac{S_{бок} - S_{mp}}{S_{бок}},$$

где $S_{бок}$ – общая площадь боковой поверхности поршня КПП, определяемая следующей формулой:

$$S_{бок} = \pi d_{КПП} h_{бок}$$

Здесь через $d_{КПП}$ – обозначен диаметр основания поршня КПП; $h_{бок}$ – высота цилиндра КПП; S_{mp} – площадь поверхности поршня КПП, которая не соприкасается со стенками полости и определяется следующим образом:

$$S_{mp} = s_{КПП}^{\max} - s_{КПП},$$

где $s_{КПП} = s_{КПП}(y)$ – площадь сечения слива, образуемая поршнем КПП; $s_{КПП}^{\max}$ – максимальное значение площади слива, образуемого поршнем КПП. Предполагаем, что ход поршня КПП h_y равен d_{cl} . Поскольку профиль окна слива имеет форму круга с диаметром d_{cl} , то

$$s_{КПП}^{\max} = \pi \frac{d_{cl}^2}{4} \quad \text{и}$$

$$s_{КПП}(y) = \frac{d_{cl}^2}{4} \arccos\left(\frac{d_{cl} - 2y}{d_{cl}}\right) - \frac{d_{cl} - 2y}{2} \sqrt{d_{cl}y - y^2} \quad (0 < y \leq d_{cl}). \quad (11)$$

Неизвестные функции давлений $P_3 = P_3(t)$, $P_H = P_H(t)$ и $P_{PK} = P_{PK}(t)$ определяются из уравнений баланса расходов топлива.

Уравнение баланса расходов жидкости всей системы:

$$Q_H = Q_T + Q_6, \quad (12)$$

где $Q_H = k \cdot n$ – расход топлива, поступающего от шестеренчатого насоса; n – частота вращения ротора турбокомпрессора; k – коэффициент пропорциональности; Q_T – расход топлива, поступающего в двигатель, определяемый формулой

$$Q_T = a\mu s_\phi \sqrt{P_{PK} - P_{KC}};$$

s_ϕ – площадь прохода жидкости на входе в камеру сгорания (площадь форсунок); P_{PK} – давление перед распределительным клапаном; P_{KC} – давление в камере сгорания (известная величина); Q_6 – расход топлива, которое уходит на перепуск обратно в топливный бак и определяется следующей формулой:

$$Q_6 = a\mu s_{КПП}(y) \sqrt{P_H - P_{cl}}.$$

Уравнение баланса расходов жидкости, поступающей в правую полость дроссельной иглы:

$$Q_{ДИ} + Q_5 = Q_T, \quad (13)$$

где $Q_{ДИ}$ – расход топлива, поступающего в правую полость дозирующей иглы и определяющегося по формуле:

$$Q_{ДИ} = a\mu s_{ДИ}(x) \sqrt{P_H - P_{PK}};$$

$s_{ДИ}(x)$ – площадь прохода жидкости в сечении дозирующей иглы; Q_5 – расход топлива через жиклер s_3 , определяемый по формуле:

$$Q_5 = \text{sign}(\dot{y}) a\mu s_3 \sqrt{|P_3 - P_{PK}|};$$

s_3 – площадь прохода жидкости на входе в полость КПП справа от поршня. Расход топлива в правой полости КПП определяется по формуле:

$$\Delta Q_6 = Q_5, \quad (14)$$

где $\Delta Q_6 = S_{КПП} \dot{y}$ – изменение расхода за счет смещения поршня КПП, т.е. за счет освобождения дополнительного объема в правой полости КПП.

Площадь сечения дозирующей иглы $s_{ДИ}(x)$ определяется по следующей формуле:

$$s_{ДИ}(x) = s_{ДИ}^{\max} \left(1 - \frac{x^2}{h_x^2}\right).$$

Здесь $s_{ДИ}^{\max}$ – максимальное значение площади сечения дозирующей иглы, h_x – длина хода сервопоршня. Предполагаем, что сервопоршень перемещается по трубе не перекрывая сливов. Поскольку длина трубы равна l_x , ширина поршня равна 0,01 м, то длина хода сервопоршня равна $h_x = l_x - 0,01$ м, т.е. значение перемещения x меняется от 0 до h_x .

Из системы алгебраических нелинейных уравнений (12)–(14) получим следующие значения неизвестных функций:

$$\begin{aligned} P_H &= P_{cl} + \left[\frac{Q_H}{a_4} - a_6 \frac{a_2 \pm \sqrt{a_2^2 - a_1 a_3}}{a_1 a_4} \right]^2; \\ P_3 &= P_{PK} + \text{sign}(\dot{y}) \left(\frac{S_{КПП} \dot{y}}{a_5} \right)^2; \\ P_{PK} &= P_{KC} + \left[\frac{a_2 \pm \sqrt{a_2^2 - a_1 a_3}}{a_1} \right]^2. \end{aligned} \quad (15)$$

В (15) введены следующие параметры:

$$a_1 = 1 - a_6^2 / a_4^2 + a_6^2 / a_7^2;$$

$$a_2 = a_6 S_{КПП} \dot{y} / a_7^2 - a_6 Q_H / a_4^2;$$

$$a_3 = P_{KC} - P_{cl} + S_{КПП}^2 \dot{y}^2 / a_7^2 - Q_H^2 / a_4^2;$$

$$a_4 = a\mu s_{КПП}(y); \quad a_5 = a\mu s_3;$$

$$a_6 = a\mu s_\phi; \quad a_7 = a\mu s_{ДИ}(x).$$

Знаки в первом и третьем уравнениях системы (15) выбираются из условия, что выражения, стоящие в квадратных скобках, должны быть положительными.

Сила $F_{\text{ПДИ}}$ в уравнении (1) определяется следующей формулой:

$$F_{\text{ПДИ}} = -(S_{\text{нор},1} - S_{\text{нор},2})P_H + s_{\text{ДИ}}^{(\text{max})} \left(1 - \frac{x(t)}{h_x}\right)^2 (P_H - P_{\text{ПК}}). \quad (16)$$

Следует отметить, что ранее данная сила не рассчитывалась и не учитывалась при моделировании статических режимов АДТ. Результат получен впервые.

Численные расчеты

Введем следующие условные обозначения: математическую модель, включающую систему уравнений (1), (7) с $F_{\text{ПДИ}}=0$, обозначим как $M1$, а математическую модель (1), (7), (8), (15) с силой $F_{\text{ПДИ}}$, вычисленной по формуле (16) – как $M2$.

Системы уравнений (1), (7) и (1), (7), (8), (15) численно решались методом Рунге-Кутты по формулам Дормана-Принса [3].

Использовались следующие значения физических и геометрических параметров системы:

$$m_1=m_2=0,05 \text{ кг}; S_{\text{нор},1} = S_{\text{КПП}} = \pi \left(\frac{0,01}{2}\right)^2 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{ум}} = \pi \left(\frac{0,005}{2}\right)^2 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{нор},2} = S_{\text{нор},1} - S_{\text{ум}};$$

$$s_{\text{ДИ}}^{(\text{max})} = s_{\text{КПП}}^{(\text{max})} = \frac{Q_H}{a\mu\sqrt{7}} \text{ ат};$$

$$d_{\text{сл}} = 2\sqrt{\frac{s_{\text{ДИ}}^{(\text{max})}}{\pi}} \text{ м};$$

$$s_{\text{ex},1} = \pi \left(\frac{0,5}{2}\right)^2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$s_{\text{ex},2} = \pi \left(\frac{0,3}{2}\right)^2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$s_{\text{сл},1} = \pi \left(\frac{0,7}{2}\right)^2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$s_{\text{сл},2} = \pi \left(\frac{0,5}{2}\right)^2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$s_3 = \frac{\pi}{1,6} \left(\frac{0,96}{2}\right)^2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$s_{\phi} = 47,48 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$h_{\text{бок}} = h_x = h_y = 0,01 \text{ м}; P_{\text{КПП}} = 15 \text{ ат}; P_{\text{сл}} = 3 \text{ ат}; P_{\text{КК}} = 4,5 \text{ ат}; c_1 = c_2 = 0,5 \text{ кг/м}^2; R_{\text{нр},1} = 3 \text{ Н}; R_{\text{нр},2} = 0,5 \text{ Н}; g = 9,8 \text{ м/с}^2; \gamma = 780 \text{ кг/м}^2\text{с}^2; \mu = 0,75; Q_H = 25\,000 \text{ л/час}; \nu = 40 \text{ Гц}.$$

Начальные условия задавались в следующем виде:

$$x(0) = x_0, \dot{x}(0) = 0, y(0) = y_0, \dot{y}(0) = 0,$$

где значения x_0, y_0 определяются следующим образом. Фиксировалось начальное значение положения поршня КПП $y_0 = d_{\text{сл}}/10$, а начальное положение сервопоршня x_0 вычислялось при условии, что в начальный момент времени система является стационарной.

На рис. 2 представлено отклонение сервопоршня от начального положения $x^*=x(10T)$ за 10 периодов колебаний управляющих функций в зависимости от управляющего сигнала u при одновременном изменении величин жиклеров $s_{\text{ex},i}, s_{\text{сл},i}$ ($i=1, 2$) на значения $s_{\text{ex},i}^* = \frac{s_{\text{ex},i}}{\alpha}$,

$$s_{\text{сл},i}^* = \frac{s_{\text{сл},i}}{\alpha}, \quad (i=1, 2) \text{ где } \alpha=1,4, 1,2, 1, 1/1,2, 1/1,4.$$

Как в случае модели $M1$, так и в случае

модели $M2$, получается расслоение перемещения от управляющего сигнала. Подобное расслоение (так называемая «метелка») недопустимо при функционировании системы управления, так как приводит к неоднородности зависимости перемещения (а следовательно, и расхода топлива в двигатель) от управляющего сигнала u . В конечном итоге, подобное явление приводит к появлению автоколебательных режимов, что недопустимо по условиям эксплуатации силовой установки в составе летательного аппарата.

С целью ускорения численных расчетов последовательная программа расчета зависимости перемещения сервопоршня от управляющего сигнала u была распараллелена путем разбиения диапазона изменения переменной u на

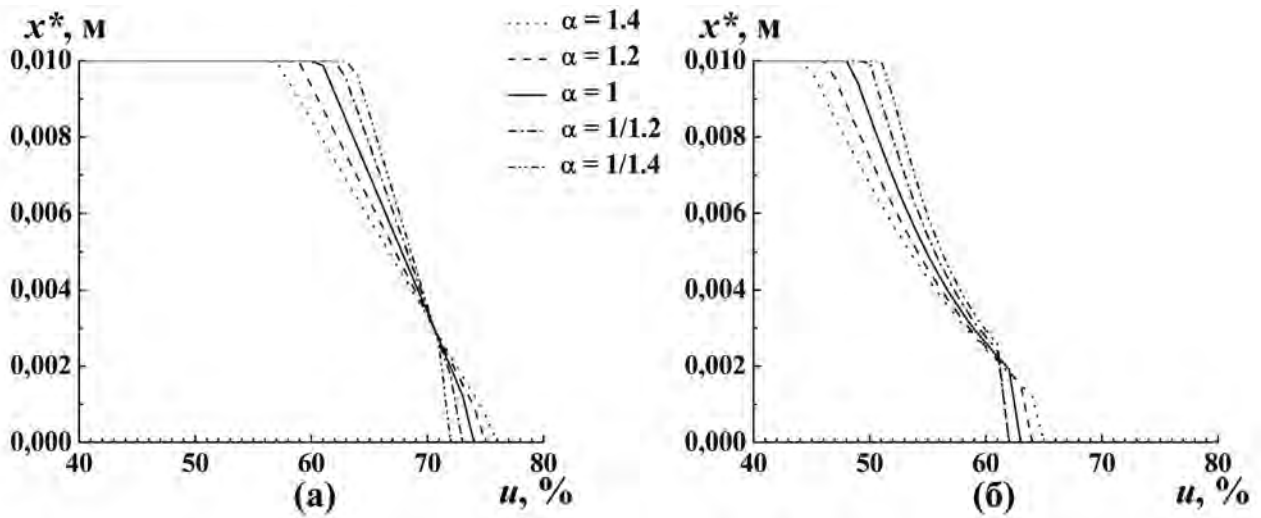


Рис. 2. Зависимость перемещения поршня $x^* = x(10T)$ от управляющего сигнала u для различных значений жиклеров $S_{ex,i}^* = \frac{S_{ax,i}}{\alpha}$, $S_{cl,i}^* = \frac{S_{cl,i}}{\alpha}$ ($i = 1, 2$): (а) для модели $M1$; (б) для модели $M2$.

несколько частей, в каждой из которых вычисления производились одновременно.

Коэффициенты ускорения S_n и эффективности E_n параллельного алгоритма определяются по следующим формулам:

$$S_n = \frac{T_1}{T_n}, \quad E_n = \frac{S_n}{n},$$

где T_1 – время выполнения последовательного алгоритма; T_n – время выполнения параллельного алгоритма на $n=2(4)$ процессорах.

В таблице 2 приведено сравнение времени выполнения расчетов, представленных на рис. 2(а) (для модели $M1$) и рисунке 2(б) (для модели $M2$) только при значении параметра $\alpha = 1$. Расчеты выполнены на четырехядерном компьютере Intel(R) Xeon(R) с тактовой частотой 2 ГГц (УГАТУ, кафедра ВВТиС) с использованием компилятора gcc 4.2.1 в операционной среде OpenSUSE 10.3. Параллельные вычисления выполнялись с помощью библиотеки для параллельных вычислений OpenMP (версия интерфейса 2.5).

В таблице 3 приведены сравнения времени выполнения расчетов, представленных на рис. 2(а) (для модели $M1$) и рис. 2(б) (для модели $M2$). Численные расчеты были выполнены на двухядерном компьютере Pentium(R) Dual-Core CPU T4200 с тактовой частотой 2 ГГц с использованием компилятора gcc 4.4.1 в операционной среде KDE 4.3.3 AltLinux. Параллельные вычисления выполнялись с помощью библиотеки для параллельных вычислений OpenMP (версия интерфейса 3.0).

Из данных таблиц видно, что время выполнения последовательной программы при расчетах модели $M2$ почти в 2,2 раза больше, чем при расчетах модели $M1$, т.е. введение в систему с одним элементом исполнительного элемента увеличивает время расчета более чем в два раза. Реальный АДТ может содержать до 50-ти элементов.

Характеры колебаний сервопоршня без и с учетом силы $F_{пли}$ (модели $M1$ и $M2$ соответственно) при значении управляющего сигнала равного $u=70\%$ представлены на рисунке 3(а). Видно, что данная сила, для которой

Таблица 2. Сравнение характеристик для моделей $M1$ и $M2$

n	T_n , сек.		S_n		E_n	
	$M1$	$M2$	$M1$	$M2$	$M1$	$M2$
1	279	608	–	–	–	–
2	184	355	1,52	1,71	0,76	0,86
4	127	174	2,20	3,49	0,55	0,87

Таблица 3. Сравнение характеристик для моделей M1 и M2

n	T _n , сек.		S _n		E _n	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2
1	988	2 199	–	–	–	–
2	509	1 122	1,94	1,96	0,97	0,98

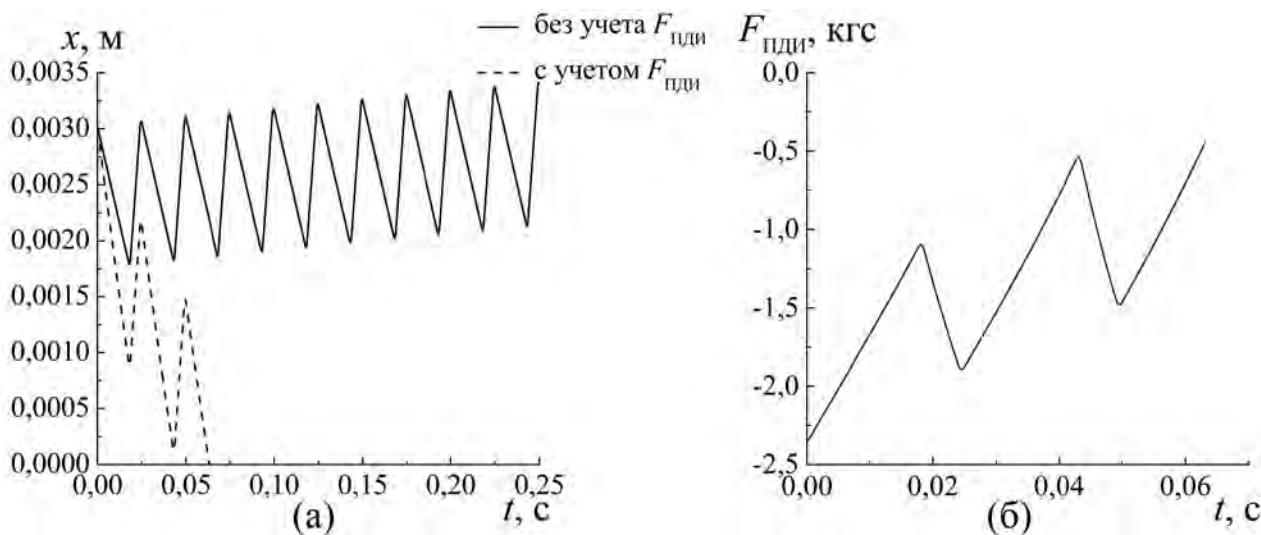


Рис. 3. Зависимость функций от времени t при $u = 70\%$: (а) перемещение поршня x ; (б) сила $F_{\text{пдп}}$

на рисунке 3 (б) приведена зависимость от времени, направлена в противоположную к направлению перемещения поршня сторону. Значения силы $F_{\text{пдп}}$ приведены в единицах кгс, поскольку это принято в технических системах.

Важен вопрос о возможности перехода ламинарного течения топлива в полости сервопоршня к турбулентному течению. Поскольку в топливе может быть растворено воздуха до 13 % от объема топлива, то данный переход может привести к возникновению кавитации и, как следствие, к разрушению подвижного элемента. Пороговое значение числа Рейнольдса для течения в круглой трубе равно $Re=2\ 300$, тогда для кинематической вязкости керосина $\nu = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ и диаметра трубы $d = 10^{-2} \text{ м}$ получим, что течение будет ламинарным при скорости $v_{\text{ср}} < \nu Re/d \approx 0,29 \text{ м/с}$. В данной работе было установлено, что при некоторых значениях параметров максимальные значения скорости сервопоршня могут кратковременно подниматься до значений 0,35 м/с. На рис. 4 приведен фазовый портрет (x, \dot{x}) при $u=70\%$,

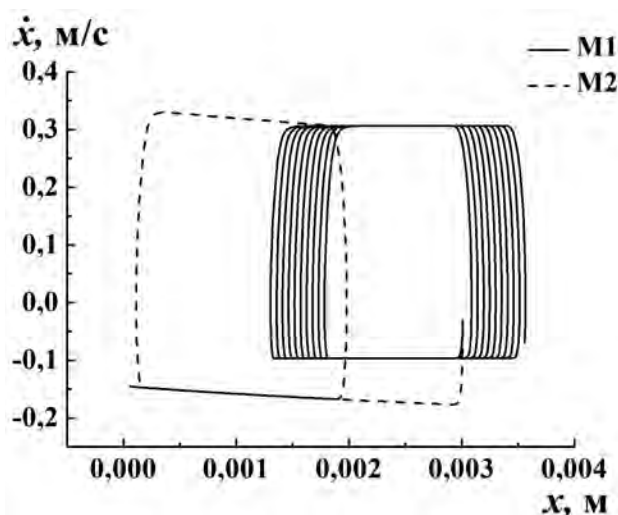


Рис. 4. Фазовый портрет при $u = 70\%$,

$$s_{\text{вх},i}^* = 1,4 \cdot s_{\text{вх},i}, s_{\text{сл},i}^* = 1,4 \cdot s_{\text{сл},i} \quad (i = 1, 2).$$

$s_{\text{вх},i}^* = 1,4 \cdot s_{\text{вх},i}, s_{\text{сл},i}^* = 1,4 \cdot s_{\text{сл},i} \quad (i=1, 2)$. Видно, что для данных значений параметров существуют моменты времени, когда $v_{\text{ср}} \geq 0,29 \text{ м/с}$, т.е. возможно возникновение турбулентного течения жидкости в полости сервопоршня.

Таким образом, в данной постановке задачи существуют режимы, при которых течение в полости сервопоршня может стать неустойчивым и привести к возникновению кавитации. Ранее подобное явление неоднократно подтверждалось при испытаниях топливных агрегатов [1]. Поверхности подвижных элементов были покрыты кавернами.

Заключение

В данной работе была построена динамическая математическая модель функционирования АДТ, включающего три подвижных элемента: сервопоршень дроссельной иглы; дроссельную иглу, осуществляющую подачу топлива в камеру сгорания газотурбинного двигателя; клапан постоянного перепада давлений. При этом учитывалось, что управление АДТ осуществляется в режиме широтно-импульсной модуляции.

Были получены следующие результаты:

1. Получена аналитическая зависимость, описывающая силу, действующую на сервопор-

шень со стороны дроссельной иглы. Величина этой силы зависит от геометрических размеров элемента и физико-механических свойств топлива. Показано, что данная сила препятствует перемещению сервопоршня. Результат получен впервые.

2. Получено неоднозначное соответствие перемещения сервопоршня от управляющего сигнала при одновременном изменении площадей жиклеров на входе и сливе в правой и левой полостях сервопоршня. Подобная неоднозначность (так называемая «метелка») недопустима при функционировании системы управления.

3. Показана возможность возникновения кавитационных режимов в полостях АДТ, что также негативно сказывается на функционировании двигательной установки в связи с изменением динамических характеристик агрегатов топливопитания из-за образовавшихся парогазовых пузырьков.

4. Проведена параллельная реализация программы, которая показала хорошие ускорение и эффективность алгоритма.

Литература

1. Добрынин А.Н. Проектирование гидромеханических систем автоматического регулирования авиадвигателей. Часть 1.—М.: ЦИАМ, 1980.—417 с.
2. Уткин В.И., Орлов Ю.В. Теория бесконечномерных систем управления на скользящих режимах.—М.: Наука, 1990.—133 с.
3. Хайпер Э., Нёрсетт С., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Нежесткие задачи.—М.: Мир, 1990.—512 с.

ЭНЕРГЕТИКА БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ¹

Санеев Б.Г., Соколов А.Д., Платонов Л.А.,
Музычук С.Ю., Иванова И.Ю.²

Приведен анализ современного состояния экономики и топливно-энергетического комплекса Байкальского региона. Выявлены основные проблемы развития отраслей энергетики и обоснованы пути их решения. Сформулированы цели и приоритеты его социально-экономического развития. Выполнен прогноз основных макроэкономических показателей, уровней энергопотребления и даны соответствующие им объемы производства энерго-ресурсов в регионе на период до 2030 г., которые позволят улучшить структуру топливно-энергетического баланса, показатели социально-экономического развития и увеличить налоговые поступления в бюджет.

The paper presents an analysis of the current state of the economy and energy sector in the Baikal region. The main problems in the development of energy industries are revealed and the ways of solving them are substantiated. The goals and priorities of social and economic development in the region are formulated. The forecast of the main macroeconomic indices and energy consumption levels is made, and the production volumes of energy resources in the region that correspond to these consumption levels are shown for the period until 2030. The presented production volumes will make it possible to improve the structure of energy balance, the indices of social and economic development, and to increase tax receipts in the budget.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области (грант № 12-08-98023).

²



Санеев Борис Григорьевич, доктор технических наук, профессор, заместитель директора Института систем энергетики имени Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, e-mail: saneev@isem.sei.irk.ru.



Соколов Александр Данилович, доктор технических наук, заведующий лабораторией Института систем энергетики имени Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, e-mail: sokolov@isem.sei.irk.ru.



Платонов Лев Анатольевич, главный специалист Института систем энергетики имени Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, e-mail: platonov@isem.sei.irk.ru.



Музычук Светлана Юрьевна, кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник Института систем энергетики имени Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, e-mail: muz@isem.sei.irk.ru.



Иванова Ирина Юрьевна, кандидат экономических наук, заведующая лабораторией Института систем энергетики имени Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, e-mail: nord@isem.sei.irk.ru.

Ключевые слова: топливно-энергетический комплекс, приоритеты развития, прогноз, электроэнергетика, уголь, природный газ, энергосбережение, поставки за пределы региона, газификация, нефтегазохимия, возобновляемые источники энергии.

Keywords: energy sector, development priorities, forecast, electric power industry, coal, natural gas, energy conservation, supplies to other regions, conversion to gas, oil and gas chemistry, renewable energy sources

Под Байкальским регионом принято понимать территорию, включающую в себя Иркутскую область, Республику Бурятия, Забайкальский край (рис. 1). Понятие «Байкальский регион» появилось сравнительно недавно и отражает более комплексный подход к территориям, входящим в него, учитывает необходимость объединения усилий трех субъектов РФ для реализации различных мероприятий (социально-экономических, организационных, технологических и природоохранных) по развитию экономики, улучшению качества жизни населения региона и сохранению уникальной

экосистемы озера Байкал, которые выступают системообразующим центром Байкальского региона.

Байкальский регион среди других регионов Российской Азии имеет особое стратегическое значение для выхода России на динамично развивающийся рынок стран Северо-Восточной Азии (СВА).

Роль Байкальского региона в реализации геостратегических интересов России состоит в следующем:

1. В связи с возрастающей ролью стран СВА в мировой экономике возрастает значимость



Рис. 1. Карта Байкальского региона.

Байкальского региона в качестве контактной зоны России с Монголией и Китаем.

2. Из-за утери части портов на Черном и Балтийском морях резко возросла роль транспортной инфраструктуры Байкальского региона в реализации транзитных функций по обслуживанию внутрироссийских и международных хозяйственно-экономических и энергетических связей.
3. Сохраняется ключевое положение Байкальского региона в качестве перевалочной базы материально-технического снабжения северных и арктических территорий Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Полномасштабное освоение энергетических ресурсов Байкальского региона даст новый импульс развитию производительных сил регионов, а значит возможен значительный эффект по следующим направлениям:

- произойдет существенный экономический рост, как в Байкальском регионе, так и в России в целом, существенно повысится жизненный уровень населения;
- улучшится качество и надежность энерго-, топливоснабжения потребителей;
- повысится эффективность использования топливно-энергетических ресурсов;
- будут созданы новые отрасли — нефтяная, газовая, газоперерабатывающая (газохимическая), трубопроводная;
- повысится глубина переработки энергоресурсов, что увеличит объемы производства продукции с высокой добавленной стоимостью;
- регион станет более инвестиционно привлекателен;
- снизится уровень дотации региональных бюджетов.

Все это говорит о том, что Байкальский регион будет играть, прежде всего, ключевую роль в усилении энергетической кооперации России и Монголии, а через ее территорию может иметь непосредственный выход на динамично развивающиеся энергетические рынки Китайской Народной Республики.

Современное состояние

Значение Байкальского региона для страны обуславливается его экономико-географическим положением (его близость к Китаю и Монголии), размером территории (1,6 млн км²) и богатым ресурсным потенциалом (рис. 2).

Анализ уровней и тенденций социально-экономического развития субъектов Байкальского региона не позволяет отнести их к стабильно развивающимся. Темпы роста ВРП отличаются нестабильностью и значительным отставанием от многих регионов России. Все субъекты РФ, находящиеся на территории региона, по макроэкономическим показателям значительно отстают от среднероссийского уровня. Так, важнейший экономический показатель ВРП на душу населения в Байкальском регионе составляет 158,1 тыс. руб./чел., что на 13 % меньше, чем в Сибирском федеральном округе (СФО) и в 1,5 раза меньше, чем в среднем по России.

Наблюдается значительное отставание Байкальского региона и в социально-экономическом развитии. Так, доля дотаций из федерального бюджета в региональные бюджеты составляет в Республике Бурятия 60 %, в Забайкальском крае — 50 %, в Иркутской области — 27 %, тогда как этот показатель в Центральном федеральном округе — 17 %.

По своему ресурсному потенциалу Байкальский регион характеризуется хорошими условиями для успешного экономического развития. Здесь имеются практически все виды природных ресурсов, но преобладают минеральные, водные, лесные и гидроэнергетические. Из минеральных ресурсов регион располагает значительными запасами угля, рудами черных и цветных металлов, нефтью и газом, горно-химическим сырьем и строительными материалами. На территории региона сосредоточено около 85 % общероссийских запасов свинца и платины, 80 % молибдена, 69 % меди, 67 % цинка, 66 % марганца, 44 % серебра, около 40 % золота, 36 % вольфрама, 17 % титана, 20 % цементного сырья.

Экономика Байкальского региона ориентирована в основном на добычу сырья и его первичную переработку. Около 60 % произведенной в регионе промышленной продукции вывозится за его пределы, но при этом до 80 % потребляемой промышленной продукции завозится из других регионов.

В Байкальском регионе сосредоточены многие крупнейшие российские промышленные предприятия: нефтегазодобывающего и нефтеперерабатывающего комплекса, алюминиевые и авиастроительные, электроэнергетики, целлюлозно-бумажного производства, комбинаты по обогащению кремния и железной руды, по добыче угля, золота и других полезных иско-

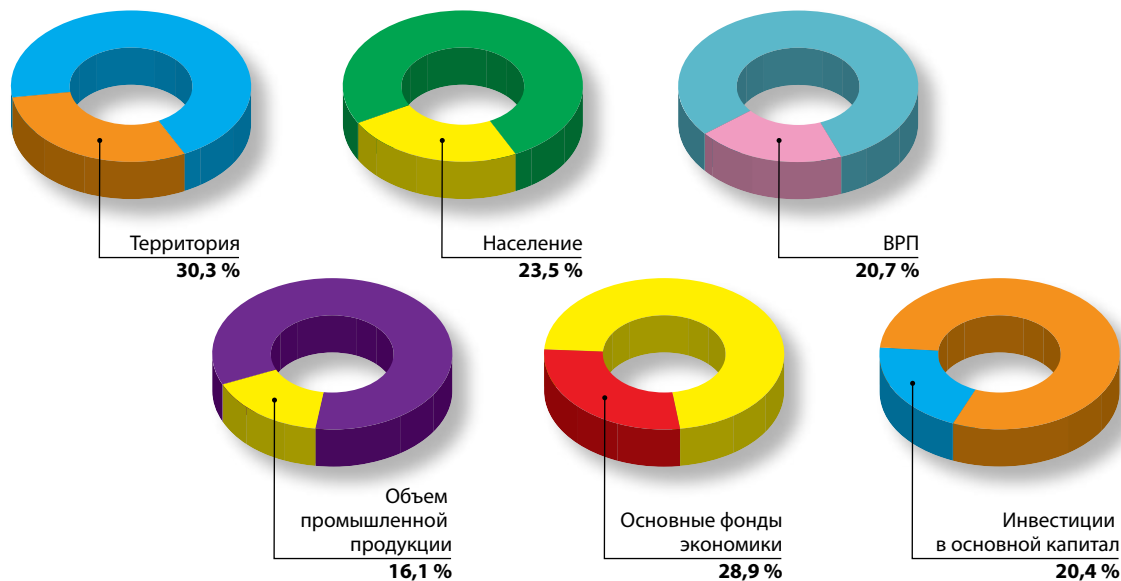


Рис. 2. Доля Байкальского региона в Сибирском федеральном округе.

паемых. Эти предприятия играют важную роль не только в экономике региона, но и страны в целом.

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) региона относится к одной из наиболее стабильно функционирующих отраслей экономики. В регионе создана крупная топливо-энергетическая база страны, которая вносит весомый вклад в производство топливо-энергетических ресурсов Сибирского федерального округа (рис. 3). Здесь ежегодно добывается более 25 млн т угля, производится около 70 млрд кВт ч электроэнергии, перерабатывается более 9 млн т сырой нефти. Добыча нефти на территории Иркутской области превысила 3 млн т/год, природного газа – 600 млн м³/год.

Установленная мощность электростанций Байкальского региона составляет около 16 млн кВт, из которых наибольшая доля принадлежит ГЭС – более 9 млн кВт. Гидроэлектростанциями ежегодно производится более 65 % электроэнергии региона. Значительная

часть территории Байкальского региона находится в зоне децентрализованного электроснабжения, вследствие чего здесь имеется большое количество автономных дизельных и газотурбинных электростанций – 640, из которых почти половина расположена в Иркутской области – 314. Суммарная установленная мощность всех автономных электростанций Байкальского региона оценивается в 175 МВт.

Основная задача, стоящая перед отраслями ТЭК Байкальского региона – эффективное с точки зрения экономики и социальной значимости использование имеющейся ресурсной базы. Однако существует ряд проблем, ограничивающих развитие энергетики региона:

- большая доля физически и морально изношенного оборудования в отраслях ТЭК (50–70 %);
- низкая по сравнению в среднем по России эффективность использования ТЭР (энергоёмкость ВРП в регионе в 2–3 раза превышает среднероссийский уровень);

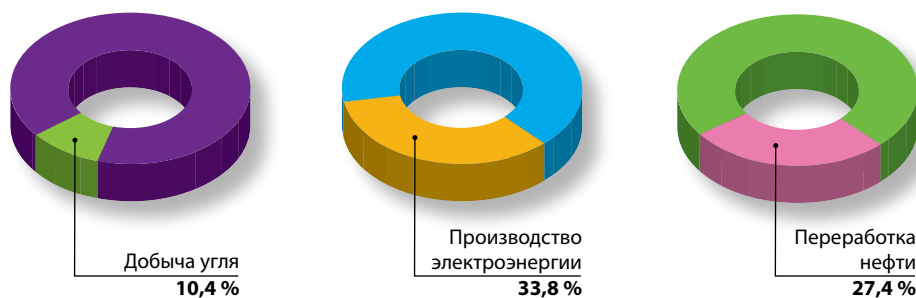


Рис. 3. Доля Байкальского региона в производстве топливо-энергетических ресурсов. СФО.

- преобладание в балансе котельно-печного топлива бурого, низкокалорийного угля (до 80 %), что приводит к большой нагрузке на окружающую среду (выбросы вредных веществ в атмосферу на душу населения в Байкальском регионе в 2,5 раза выше, чем в среднем по России);
- низкие темпы вовлечения в хозяйственный оборот углеводородных ресурсов (уровень газификации в Байкальском регионе является крайне низким — около 5 %, в то время как в среднем по России — более 62 %, а в западных регионах страны еще выше);
- зависимость энергообеспечения потребителей северных районов от сезонного завоза топлива.

Сводный топливно-энергетический баланс региона, который дает наиболее полную картину о состоянии ТЭК, показывает, что производство первичных энергоресурсов в регионе может полностью обеспечить собственную потребность и экспортные поставки, однако по технико-экономическим условиям завозятся уголь, нефть и нефтепродукты из Западной Сибири.

В структуре топливопотребления на тепловых электростанциях и котельных региона доля угля достигает 86 %, доля дров и прочих видов твердого топлива (отходов лесопереработки) — 10 %, а доля природного газа — менее 1 %, что свидетельствует о ее нерациональности и необходимости увеличения доли высококачественных видов топлива (в первую очередь природного газа).

Около 78 % в структуре конечного потребления энергоресурсов принадлежит электро- и теплоэнергии, что обусловлено сложившейся в

Байкальском регионе энергоемкой структурой экономики из-за наличия предприятий цветной металлургии, нефтепереработки, нефтехимии, машиностроения, лесного и строительного комплекса (рис. 4).

Однако структура конечного потребления энергоресурсов в стоимостном выражении (рис. 4б) значительно отличается от структуры в единицах условного топлива (рис. 4а). В стоимостной структуре доля нефтепродуктов приближается к 40 % (в структуре в единицах условного топлива — около 15 %), доли других топливно-энергетических ресурсов — электро-, теплоэнергии, угля и дров значительно ниже. Такие различия в структурах обусловлены ценовыми факторами (высокие цены на нефтепродукты и более низкие цены на другие виды энергоресурсов), что приводит к приоритетности энергосбережения таких видов топливно-энергетических ресурсов как нефтепродукты, электрическая и тепловая энергия, которые наиболее сильно влияют на структуру конечного потребления в отраслях экономики.

По укрупненным оценкам потенциал энергосбережения в Байкальском регионе оценивается в 7–10 млн т у. т./год, что составляет порядка 20–30 % от общего потребления первичных энергоресурсов (рис. 5).

Перспективы развития

Базовыми документами для выполненного авторами прогноза развития основных показателей экономики и ТЭК Байкальского региона являются разработанные и утвержденные Правительством РФ «Стратегия социально-экономического развития Дальнего Востока и

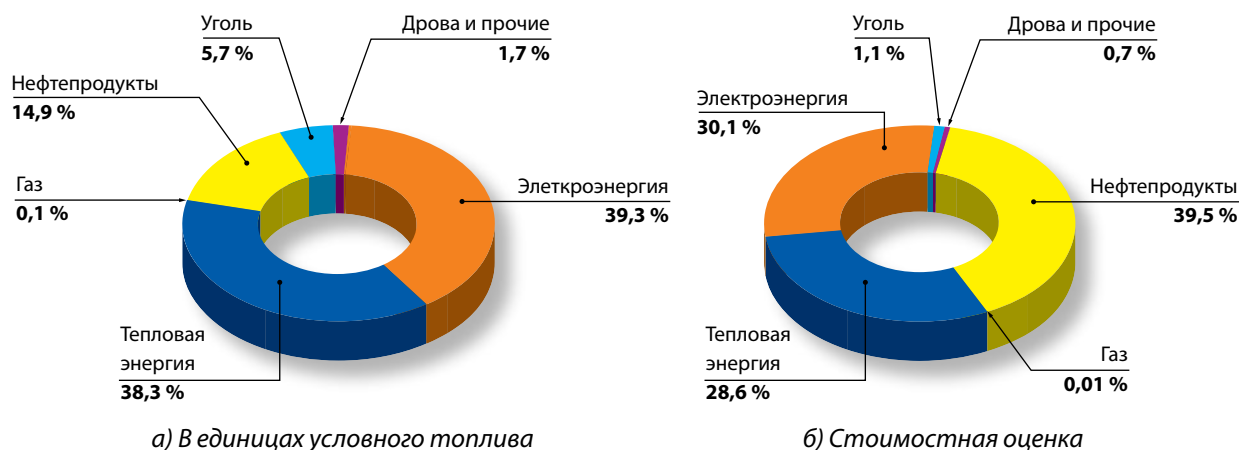


Рис. 4. Структура конечного потребления энергоресурсов и его стоимостная оценка, %.



Рис. 5. Потенциал энергосбережения в Байкальском регионе.

Байкальского региона на период до 2025 г.» [1] и «Стратегия социально-экономического развития Сибири до 2020 г.» [2], а также разработанная в ИСЭМ СО РАН «Стратегия развития ТЭК Восточной Сибири и Дальнего Востока на период до 2030 г.», основные положения которой опубликованы в [3, 4].

В соответствии с названными документами перспективное развитие Байкальского региона увязывается с широким освоением на его территории ресурсной базы, которое будет происходить при тесном межрегиональном экономическом взаимодействии по таким направлениям, как газификация регионов, добыча и переработка минерального сырья, производство и передача электроэнергии, а также развитие туризма в прибайкальской зоне и др.

В связи с высокой неопределенностью развития региона в долгосрочной перспективе основные прогнозные макропоказатели рассматриваются в диапазоне значений. Нижняя граница диапазона сформирована с учетом длительности сроков преодоления последствий финансово-экономического кризиса, верхняя граница – при относительно быстром преодолении кризиса и выходом на докризисный уровень показателей в 2012–2013 гг. Также в

диапазоне представлено энергопотребление в зависимости от этапов экономического роста. Предполагается, что реализация развития экономики и энергетики Байкальского региона будет проходить в три этапа, которые различаются по условиям, факторам и рискам развития.

1 этап (2013–2015 гг.) — ресурсно-инвестиционное развитие,

2 этап (2016–2020 гг.) — инвестиционно-инновационное обновление,

3 этап (2021–2030 гг.) — инновационное развитие.

На первом этапе предполагается преодоление последствий кризиса и наращивание объемов добычи топливно-энергетических ресурсов с целью обеспечения спроса на них и создания необходимых финансовых условий для перспективного капиталоемкого развития экономики и ТЭК. В этот период планируется осуществление необходимых инвестиций, создание задела по масштабному развитию и обновлению основных производственных фондов и инфраструктуры ТЭК, развитие сырьевой базы, завершение переговорных процессов по условиям экспорта энергоресурсов в страны СВА. На базе ресурсов углеводородного сырья начнется создание нефте-, газотранспортной

системы для газификации потребителей региона и экспорта углеводородов в страны США.

На втором этапе предполагается продолжение реализации масштабных капиталоемких проектов, направленных на ускоренную модернизацию материально-технической и технологической базы ТЭК, начнется инновационное обновление промышленности за счет размещения заказов ТЭК на новые виды оборудования и технологии, необходимые для эффективного развития энергетического потенциала

Реализация в рассматриваемой перспективе приоритетных инвестиционных проектов позволит Байкальскому региону обеспечить стабильный экономический рост. Производство ВРП к окончанию третьего этапа возрастет по сравнению с 2010 г. в 3–4 раза. Это позволит региону выйти из депрессивного состояния, повысить его привлекательность для проживания, улучшить демографические показатели и увеличить за этот период обеспеченность населения жильем в 1,3–1,4 раза (рис. 6).

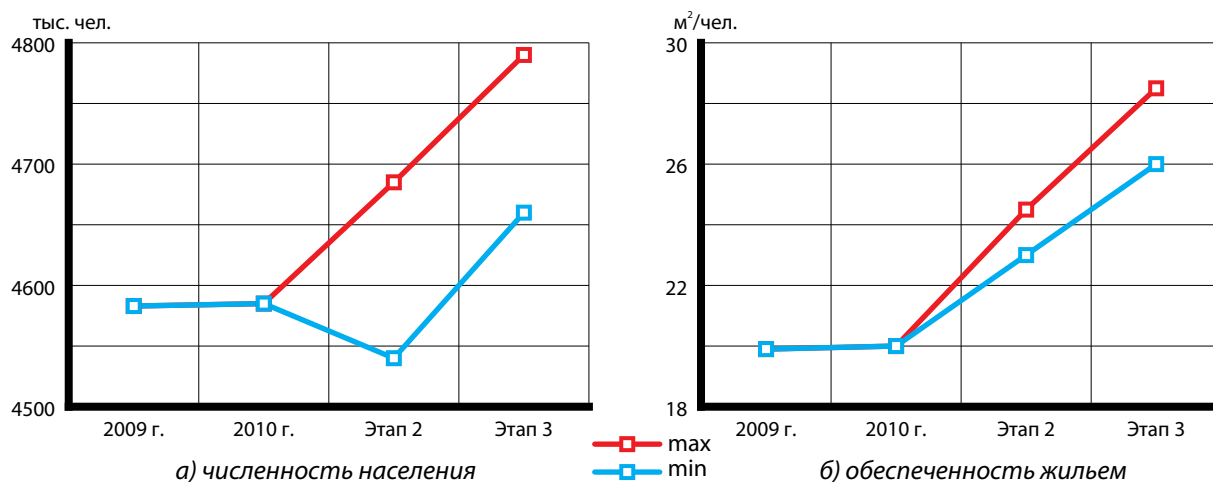


Рис. 6. Рост численности населения и обеспеченности жильем.

Байкальского региона. Развитие ТЭК региона будет происходить в условиях интенсификации внутреннего и внешнего спроса на энергоресурсы, при реализации масштабных проектов развития их добычи (производства).

На третьем этапе предполагается получить экономический эффект от применения в ТЭК Байкальского региона новых технологий, оборудования и принципов функционирования как самого ТЭК, так и смежных с ним отраслей на инновационной основе. Этот этап характеризуется опережающим ростом ВРП при дальнейшем росте доли ТЭК в экономике. В этот период должен произойти переход от экологической безопасности к экологической эффективности энергетики, а также значительный рост использования возобновляемых энергоресурсов.

Ускоренный экономический рост и неуклонное повышение уровня и качества жизни населения в регионе будет отражаться в таких макропоказателях, как валовой региональный продукт, рост численности населения, обеспеченность жильем, энергопотребление и др.

Доля ТЭК в ВРП Байкальского региона в настоящее время составляет около 10 %, к окончанию второго этапа она увеличится до 18 %, а к окончанию третьего этапа — стабилизируется на уровне 15 %. Наибольшее влияние на рост доли ТЭК в производстве ВРП Байкальского региона будет оказывать Иркутская область за счет разработки нефтегазовых месторождений и развития нефте-, газохимических производств.

Потребность Байкальского региона к концу третьего этапа составит: в электроэнергии — 118–124 млрд кВт ч, в тепловой энергии — 80–85 млн Гкал. Наибольший прирост потребности будет приходиться на электроэнергию, объем ее потребления возрастет за рассматриваемый период в 1,8–1,9 раза. Теплопотребление увеличится в 1,3–1,4 раза (рис. 7).

При этом электроёмкость ВРП в Байкальском регионе, несмотря на развитие энергоемких производств, снизится к окончанию третьего этапа по сравнению с 2010 г. в 1,9–2,1 раза. Это будет связано не только с энергосбережением и с использованием современных

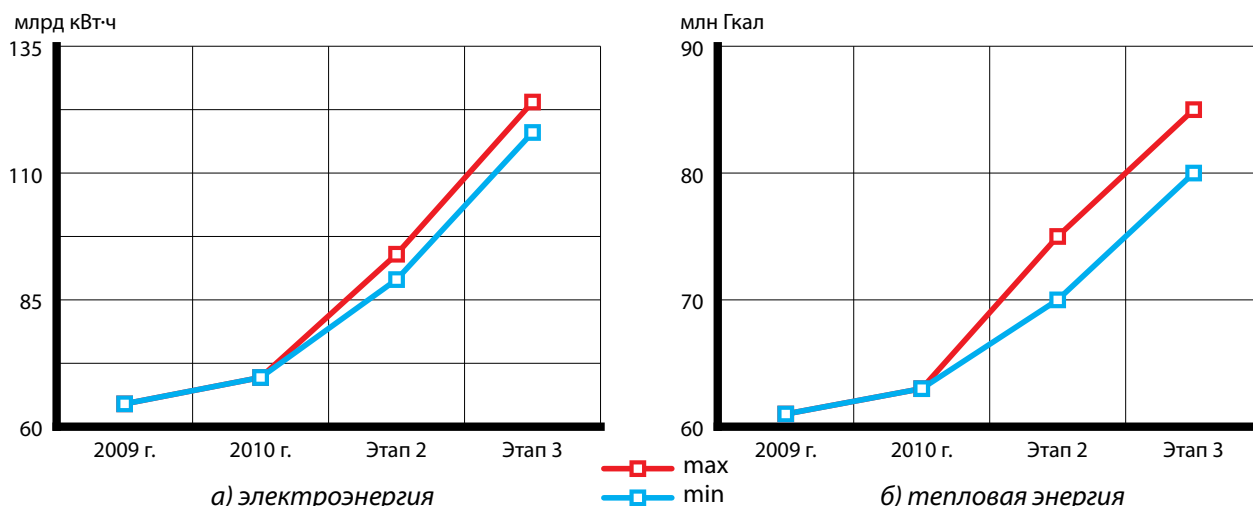


Рис. 7. Рост энергопотребления в Байкальском регионе.

энергоэкономичных технологий, но и с высокой производственной отдачей новых проектов, ориентированных на внешний рынок.

Объем и структура энергопотребления в значительной степени будут определять развитие ТЭК региона в перспективе. Реализация основных стратегических приоритетов развития

10–17 % до 50–54 млрд кВт ч. Следовательно, значительно сократится доля ГЭС в структуре производства электроэнергии: с 67 % в настоящее время до 46–54 % на втором этапе, и до 33–45 % — к концу третьего этапа.

Основной прирост производства электроэнергии будет происходить за счет расширения

Таблица 1. Производство (добыча) топливно-энергетических ресурсов

Топливо-энергетический ресурс	2010 г.	Этап		
		1	2	3
Электроэнергия, млрд кВт ч	74	80–85	93–110	120–162
Тепловая энергия, млн Гкал	63	65–68	70–75	80–85
Уголь, млн т	25	30–35	40–50	50–60
Нефть, млн т	3,2	10–12	11–16	11–17
Нефтепереработка, млн т	9,7	10–11	10–12	10–12
Природный газ, всего млрд м ³	0,6	3–5	9–14	10–35

экономики и намечаемых инвестиционных проектов в энергетике Байкальского региона, обеспечивающая внутренние потребности и возможные масштабы экспорта энергоресурсов, приведет к значительному увеличению всех показателей развития топливно-энергетического комплекса региона (таблица 1).

Производство электроэнергии в Байкальском регионе на втором этапе увеличится по сравнению с 2010 г. в 1,3–1,5 раза, а к концу третьего этапа — в 1,6–2,2 раза. При этом производство электроэнергии на ГЭС за этот период увеличится не так значительно — на

мощностей на действующих ТЭС в Республике Бурятия и в Забайкальском крае, а также строительства новых ТЭС в Иркутской области. В случае осуществления крупномасштабного экспорта электроэнергии в Китай (до 36 млрд кВт ч/год) необходимо сооружение экспортных ТЭС общей мощностью более 6 млн кВт.

Производство тепловой энергии в Байкальском регионе на втором этапе увеличится на 11–19 %, а к концу третьего этапа — на 27–35 %. Для обеспечения необходимых тепловых нагрузок ввод новых мощностей на втором этапе составит 6–7 Гкал/ч, а на третьем — 5–6 Гкал/ч.

В связи с этим значительно возрастет по сравнению с 2010 г. добыча угля: на втором этапе — в 1,6–2 раза, а на третьем — в 2–2,4 раза.

Углеводородные ресурсы в Байкальском регионе будут добываться на территории Иркутской области. Добыча нефти на втором и третьем этапах составит 11–17 млн т. Объем нефтепереработки в этот период может увеличиться по сравнению с 2010 г. на 23 % (до 12 млн т).

Одним из направлений улучшения структуры топливно-энергетического баланса региона и снижения негативного воздействия на природную среду является использование природного газа в качестве энергетического и технологического топлива, что позволит снизить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу на 20–25 % и существенно сократить образование золошлаковых отходов.

пускающих продукцию с высокой добавленной стоимостью. Мировой опыт показывает, что эффективно перерабатывать природный газ можно при содержании в нем не менее 3 % этана. Природный газ Ковыктинского ГКМ содержит 4,5 % этана и, кроме того, 0,24 % гелия, который является стратегическим продуктом.

Добыча природного газа на втором этапе составит 9–14 млрд м³, а к концу третьего достигнет 10–35 млрд м³. Такие масштабы добычи газа позволят обеспечить не только внутреннюю потребность региона в природном газе, но и подачу газа в ЕСГ, а также на экспорт в страны СВА.

Организация газоперерабатывающей промышленности даст толчок как развитию существующих химических предприятий на терри-

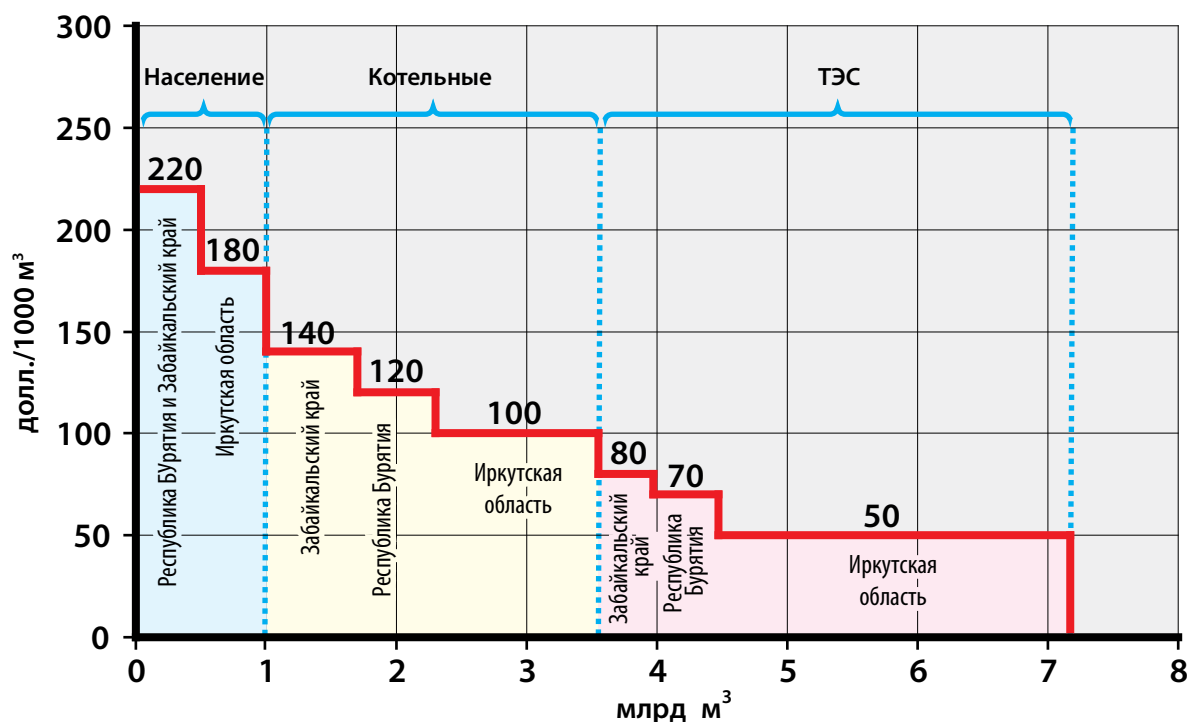


Рис. 8. Потенциальный рынок газа для существующих потребителей региона.

Вовлечение природного газа в экономику Байкальского региона возможно в связи с наличием на территории Иркутской области уникального газоконденсатного месторождения (ГКМ) — Ковыктинского, запасы газа категорий $C_1 + C_2$ в котором составляют около 2 трлн м³ [5]. Столь значительные запасы газа определяют широкомасштабное его использование. Многокомпонентный природный газ представляет ценность для Байкальского региона, в первую очередь, как сырье для организации химических производств, вы-

пускающих продукцию с высокой добавленной стоимостью. Мировой опыт показывает, что эффективно перерабатывать природный газ можно при содержании в нем не менее 3 % этана. Природный газ Ковыктинского ГКМ содержит 4,5 % этана и, кроме того, 0,24 % гелия, который является стратегическим продуктом.

Социально значимой является газификация населения региона. По оценкам авторов [4, 7] потенциальный объем потребления газа в качестве топлива у существующих потребителей в субъектах РФ Байкальского региона составляет около 6,5–7 млрд м³ в год (рис. 8).



Рис. 9. Места приоритетного размещения возобновляемых источников энергии.

Очевидно, что вовлечение природного газа в хозяйственный комплекс Байкальского региона будет экономически эффективным только при больших объемах добычи природного газа и его поставках по магистральным газопроводам за пределы Байкальского региона, в том числе и на экспорт. Прежде всего, это китайский рынок: промышленно развитые провинции северо-восточного Китая, район Бохайского залива и некоторые провинции центральной части КНР.

Китай объективно заинтересован в поставках сетевого газа из России с месторождений Восточной Сибири и Дальнего Востока в свои восточные провинции, поскольку дальность транспортировки по территории Китая существенно сокращается и, как следствие, снижается потребность в инвестициях в транспортную инфраструктуру. По имеющимся оценкам возможная ниша для российского природного газа может составить 13–15 млрд м³ в 2015 г. с увеличением до 50–60 млрд м³ к 2020 г. [4].

Прохождение магистрального газопровода в КНР по территории Байкальского региона, кроме того, даст возможность дополнительно газифицировать потребителей Монголии, которая является стратегическим партнером России в энергетической сфере.

Таким образом, в перспективе на территории Байкальского региона, наряду с развитием традиционных отраслей ТЭК (угольная, нефте-, газодобывающая и нефтеперерабатывающая промышленности, электро-, теплоэнергетика), предусматривается развитие нефте- и газохимической промышленности, создание транспортно-энергетической инфраструктуры (магистральные ЛЭП, газо- и нефтепроводные системы), портовой инфраструктуры (угольные и нефтяные терминалы), повышения уровня использования возобновляемых энергоресурсов.

Возобновляемые источники энергии могут найти довольно широкое применение, прежде всего, для энергоснабжения изолированных от энергосистем потребителей региона, что позволит:

- сократить объемы потребления органического топлива;
- снизить себестоимость производства энергии;
- уменьшить негативное влияние энергетики на природную среду;
- улучшить комфортность, стиль и качество жизни населения.

Наиболее привлекательными для условий Байкальского региона являются проекты со-

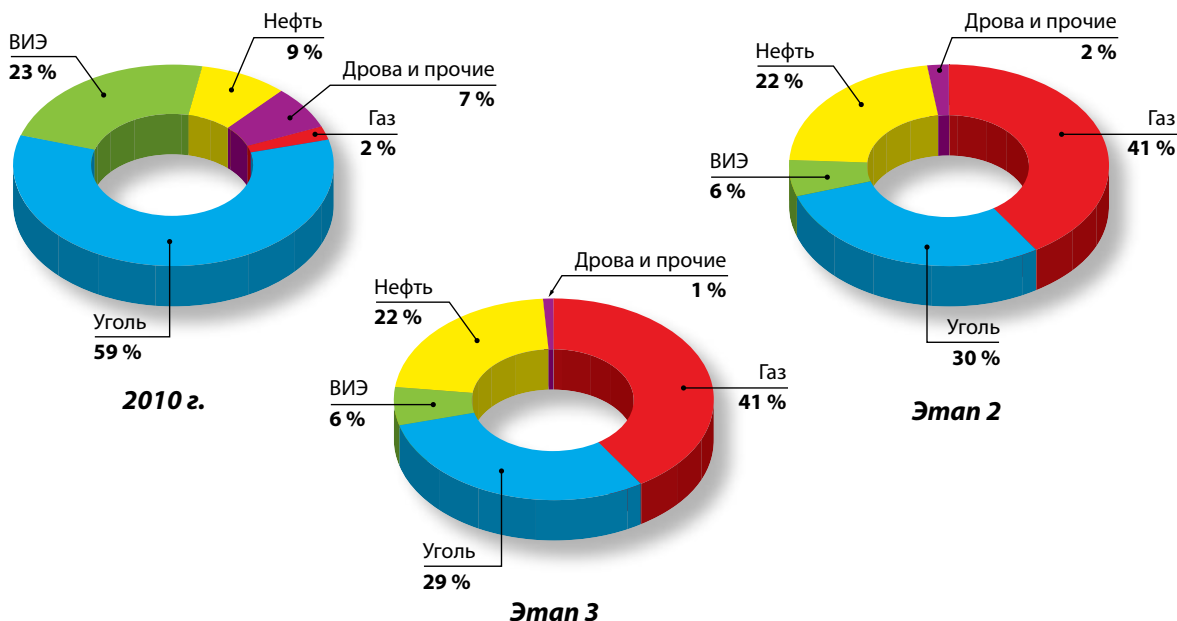


Рис. 10. Структура производства первичных топливно-энергетических ресурсов, %.

оружения малых и мини-ГЭС [8]. Использование энергии ветра и солнца целесообразно только в местах лучшего проявления соответствующего потенциала в зонах рекреации и особого природопользования в котловине озера Байкал (рис. 9). Ветроустановки и электростанции на основе фотоэлектрических преобразователей могут быть также рекомендованы в качестве источников бесперебойного электроснабжения систем связи в удаленных населенных пунктах региона.

Как следствие всех намеченных в перспективе мероприятий произойдут значительные изменения в структуре топливно-энергетиче-

ского баланса Байкальского региона. В приходной части баланса значительно увеличится доля углеводородов (нефти и природного газа) собственного производства: с 11 % в настоящее время до 63 % в перспективе (рис. 10).

При этом доля угля в структуре производства энергоресурсов снизится с 59 % до 29–30 %. Также снизится и доля возобновляемых энергоресурсов, к которым относится и гидроэнергия, — с 23 % до 6 %.

Приходная часть топливно-энергетического баланса региона и в перспективе будет продолжать пополняться за счет поставок нефти из Западной Сибири и небольших объемов ввоза

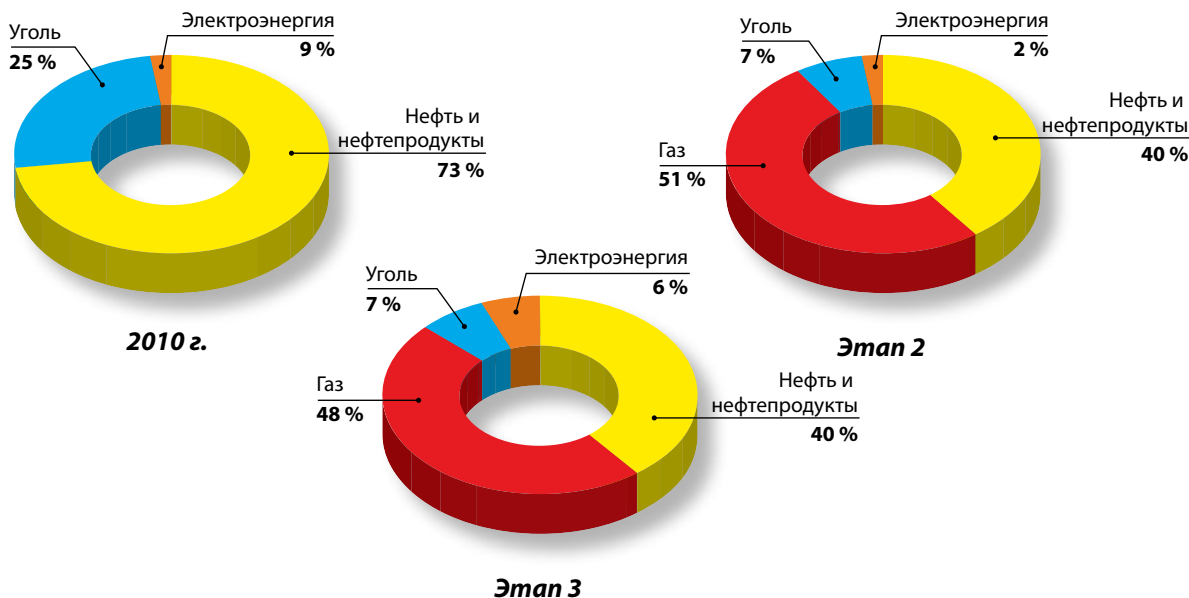


Рис. 11. Структура вывоза (экспорта) топливно-энергетических ресурсов, %.

угля, однако, их доля будет постепенно снижаться — с 44 % до 14–15 %.

В структуре вывоза (экспорта) энергоресурсов из Байкальского региона произойдут также существенные изменения в сторону снижения доли угля и увеличения доли углеводородов. Суммарная доля нефти, нефтепродуктов и природного газа в вывозе увеличится с 73 % до 91 % на втором этапе и снизится до 88 % в третьем этапе. Доля природного газа в структуре вывоза энергоресурсов составит 51 % во втором этапе и 48 % в третьем этапе (рис. 11).

Доля электроэнергии в структуре вывозимых энергоресурсов увеличится с 2 % до 6 % в третьем этапе. Доля угля при этом снизится с 25 % до 7 %.

Вследствие вовлечения в баланс природного газа существенно изменится и структура конечного потребления энергоресурсов: его

зависания энергоресурсов), на экологическую ситуацию в Байкальском регионе, на экономическую и бюджетную устойчивость, обеспечивающую к концу третьего этапа бездотационное развитие.

Поступление налоговых доходов от ТЭК в региональные бюджеты к концу третьего этапа увеличатся по Иркутской области — в 10–13 раз (в основном за счет добычи нефти, газа и газохимии), по Республике Бурятия — в 8–10 раз (в основном за счет роста производства электроэнергии и добычи угля), по Забайкальскому краю — в 9–12 раз (в основном за счет роста производства электроэнергии и добычи угля).

При прогнозируемом развитии экономики и энергетики роль ТЭК в налоговых доходах Байкальского региона существенно повысится, его

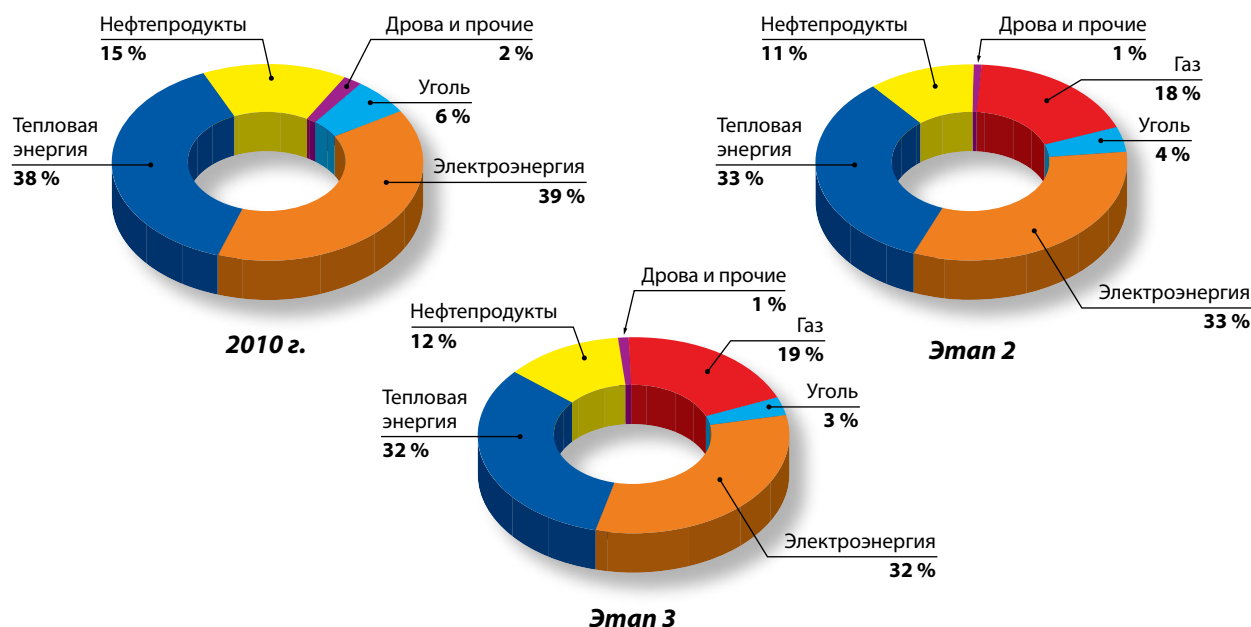


Рис. 12. Структура конечного потребления топливно-энергетических ресурсов, %.

доля составит 18–19%. При этом сократятся доля нефтепродуктов с 15 % до 11–12 % и доля угля — с 6 % до 3–4 %. Также снизятся доли электрической и тепловой энергии — с 38–39 % до 33–32 %, и несколько уменьшатся доли дров и прочих видов топлива (рис. 12).

Рост производства энергоресурсов и улучшение структуры топливно-энергетического баланса в Байкальском регионе существенно повлияют на экономический рост, на повышение энергоэффективности экономики региона (снижению энерго-, электро-, теплоемкости ВРП, росту эффективности полезного исполь-

доля в Иркутской области поднимется с 16 % до 20 %, в Республике Бурятия — с 11 % до 13 % и в Забайкальском крае — с 10 % до 12 %.

Важным показателем бюджетной и социальной устойчивости региона является уровень обеспеченности населения собственными доходами бюджета. В настоящее время этот показатель в Байкальском регионе в два раза ниже среднероссийского. Бюджетная обеспеченность населения в регионе к концу третьего этапа составит около 180 тыс. руб./чел. [9]. По прогнозным оценкам эта величина будет превышать среднероссийский уровень, что позво-

лит субъектам Байкальского региона перейти в состав бездотационных.

Наибольший вклад в бюджетную обеспеченность и бюджетно-социальную устойчивость Байкальского региона в перспективе будет вносить топливно-энергетический

комплекс. Таким образом, интенсивное развитие ТЭК создаст благоприятные условия для устойчивого социально-экономического развития и прочную базу для интеграции Байкальского региона в мировое экономическое пространство.

Литература

1. Стратегия социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 г. (<http://www.minregion.ru>).
2. Стратегия социально-экономического развития Сибири до 2020 г. от 5 июля 2010 г. № 1120-Р (<http://www.minregion.ru/>).
3. Регион: экономика и социология. Спецвыпуск: «Топливо-энергетический комплекс Востока России: приоритеты, проблемы и механизмы направлений развития», ИЭОПП СО РАН, Новосибирск. – 2010. – 308 с.
4. Восточный вектор энергетической стратегии России: современное состояние, взгляд в будущее / Под ред. Н.И. Воропая, Б.Г. Санеева. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео». – 2011. – 368 с.
5. Государственный баланс запасов Российской Федерации по углеводородному сырью и сопутным компонентам на 01.01.2008 г. / Мин-во природ. ресурсов РФ; Федер. агентство по недропользованию «Роснедра»; Рос. федер. геол. фонд «Росгеолфонд». – М., 2008.
6. Санеев Б.Г., Платонов Л.А., Майсюк Е.П., Ижбулдин А.К. Газоперерабатывающие и нефтехимические комплексы на востоке России: предпосылки создания. // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2009. – № 1 – С. 62–68.
7. Стратегия развития топливно-энергетического комплекса Восточной Сибири и Дальнего Востока на период до 2030 г. в увязке с энергетической стратегией России. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2007. – 351 с. (по заказу Минэнерго РФ).
8. Иванова И.Ю., Тугузова Т.Ф., Халгаева Н.А. Возобновляемые природные энергоресурсы Байкальского региона и целесообразность их использования. // География и природные ресурсы. – 2011. – № 2. – С. 137–140.
9. Санеев Б.Г., Соколов А.Д., Корнеев А.Г., Музычук С.Ю. Роль энергетики Байкальского региона в его социально-экономическом развитии. // Регион: экономика и социология. – 2011. – № 3. – С. 139–151.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАКТЕРИЙ-ДЕСТРУКТОРОВ ДЛЯ ДЕТОКСИКАЦИИ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ (ПОЛИХЛОРИРОВАННЫХ БИФЕНИЛОВ)¹

Плотникова Е.Г., Егорова Д.О., Демаков В.А.²

Производство и использование полихлорированных бифенилов (ПХБ), как особо стойких органических загрязнителей (СОЗ), запрещено Стокгольмской Конвенцией (2001 г.). Уничтожение ПХБ и детоксикация загрязненных этими соединениями территорий является одной из приоритетных природоохранных задач. Одним из наиболее перспективных способов снижения содержания ПХБ в окружающей среде является их переработка с использованием метаболического потенциала бактерий, изолированных из естественных и техногенных экосистем.

Ключевые слова: полихлорированные бифенилы, загрязнение окружающей среды, бактерии-деструкторы.

Production and usage of polychlorinated biphenyls (PCB) as persistent organic pollutants (POPs) is prohibited by the Stockholm Convention (2001). PCB destruction and detoxification of areas contaminated with these compounds are one of environmental priorities. One of most promising approaches for PCB content lowering in environment appears to be their recycling while using metabolic potential of a bacteria isolated from natural and technogenic ecosystems.

Keywords: polychlorinated biphenyls, environmental pollution, bacteria-destructors.

Проблема очистки наземных и водных экосистем, загрязненных токсичными, устойчивыми к разложению и представляющими опасность для здоровья человека химическими соединениями, занимает центральное место в ряду актуальных задач современной экологии. Среди поллютантов, обладающих канцерогенными, мутагенными свойствами,

тенденцией к биоаккумуляции, широко распространенными являются полихлорированные бифенилы. Полихлорированные бифенилы широко применялись в течение нескольких десятилетий при производстве лакокрасочных материалов, пластификаторов, пестицидов, в электротехнической промышленности. В настоящее время производство и использование

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Пермского края (гранты №№ 02-04-96404, 04-04-96042, 07-04-97625, 11-04-96028).

²



Плотникова Елена Генриховна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института экологии и генетики микроорганизмов Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, e-mail: peg@iegm.ru.



Егорова Дарья Олеговна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института экологии и генетики микроорганизмов Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, e-mail: daryao@rambler.ru.



Демаков Виталий Алексеевич, доктор медицинских наук, член-корреспондент РАН, директор Института экологии и генетики микроорганизмов Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, e-mail: demakov@iegm.ru.

ПХБ как особо стойких органических загрязнителей запрещено Стокгольмской Конвенцией (<http://www.unep.org>). Наряду с задачами по восстановлению экосистем, загрязненных этой группой токсикантов, остро стоит проблема детоксикации больших объемов невосстребованных коммерческих смесей, созданных на основе хлорбифенилов (ХБ) [1, 11]. Биоремедиация почв и других объектов окружающей среды с использованием микроорганизмов-деструкторов (хлор)ароматических соединений имеет ряд известных преимуществ по сравнению с другими методами экобиотехнологии [12].

По химической структуре ПХБ представляют два С–С-связанных ароматических кольца, в которых присутствуют в качестве заместителей от 1 до 10 атомов хлора (рис. 1).

Коммерческие смеси полихлорбифенилов включают в свой состав 40–60 конгенов ПХБ из 209 возможных. Уровень содержания данных веществ в окружающей среде очень высок [1, 11]. Несмотря на прекращение их промышленного производства, ПХБ продолжают поступать в окружающую среду при сгорании промышленных отходов, нарушении целостности электрооборудования, вывозе и размещении на складах, свалках и полях аэрации (рис. 2, 3).

Всего, по различным оценкам, в окружающей среде находится порядка 700 тыс. тонн ПХБ (рис. 4) [1].

Поиск методов утилизации показал, что химические методы трансформации ПХБ, как наиболее используемые в настоящее время, нередко ведут к образованию еще более опасных соединений, известных под названием диоксины. Кроме того, химические методы переработки являются энергетически затратными и применимы лишь к трансформации высокохлорированных бифенилов [4].

В то же время известно, что одним из перспективных способов снижения содержания ПХБ в окружающей среде является их переработка с использованием метаболического потенциала природной микрофлоры. Способность к трансформации бифенила и отдельных хлорбифенилов описана для широкого круга природных бактерий [1, 11, 12]. Установлено, что бактерии трансформируют ПХБ как в анаэробных, так и в аэробных условиях. Наиболее опасные для животных и человека высокохлорированные бифенилы подверга-

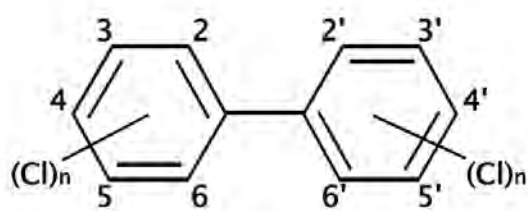


Рис. 1. Общая формула ПХБ.



Рис. 2. Электрооборудование с ПХБ.



Рис. 3. Складирование ПХБ-содержащих материалов.

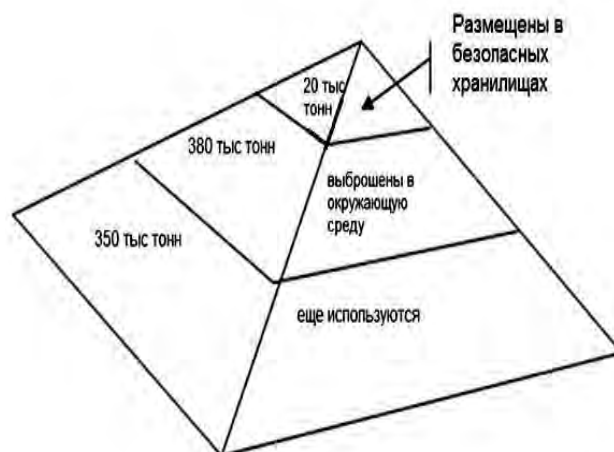


Рис. 4. Распределение запасов ПХБ.

ются восстановительному дегалогенированию (анаэробные условия), в результате чего степень хлорирования молекулы понижается, но полного разложения не происходит (рис. 5).

Наибольший интерес вызывает процесс аэробного разложения, так как только в этом случае бактериями осуществляется полная минерализация ПХБ. Активность штаммов по отношению к ПХБ обуславливается наличием метаболических систем разложения незамещенного бифенила. Большинство из исследованных аэробных бактерий-деструкторов высокоактивны по отношению к моно- и дихлорбифенилам, и лишь единичные штаммы проявляют деградационную активность к средне- и высокохлорированным бифенилам. Скорость биодеструкции ПХБ также зависит от способ-

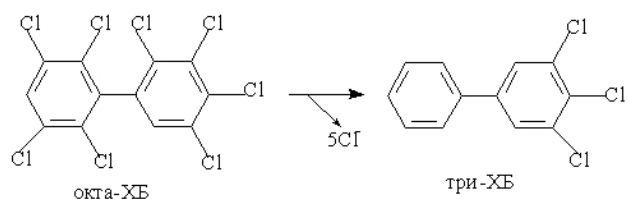


Рис. 5. Восстановление высокохлорированных бифенилов анаэробными бактериями.

ности микроорганизмов разлагать промежуточные продукты трансформации хлорбифенилов. Известно лишь несколько природных и генетически модифицированных штаммов аэробных бактерий, осуществляющих полную минерализацию моно- и дихлорбифенилов [5–7, 10]. В остальных случаях в среде в процессе микробиологического разложения ПХБ накапливаются токсичные, устойчивые к воздействию химических и физических факторов продукты разложения хлорбифенилов (рис. 6).

На рисунке 7 представлена схема основных направлений исследований в области бактериальной деструкции ПХБ.

Таким образом, поиск и всестороннее изучение новых активных бактерий-деструкторов с целью их практического использования остается чрезвычайно актуальным. Акцент в этих исследованиях ставится на поиск бактерий и создание на их основе микробных ассоциаций, осуществляющих разложение широкого спектра поллютантов без образования токсичных продуктов деструкции.

Более десяти лет в лаборатории химического мутагенеза Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН проводятся исследования по выделению в культуру и всесто-

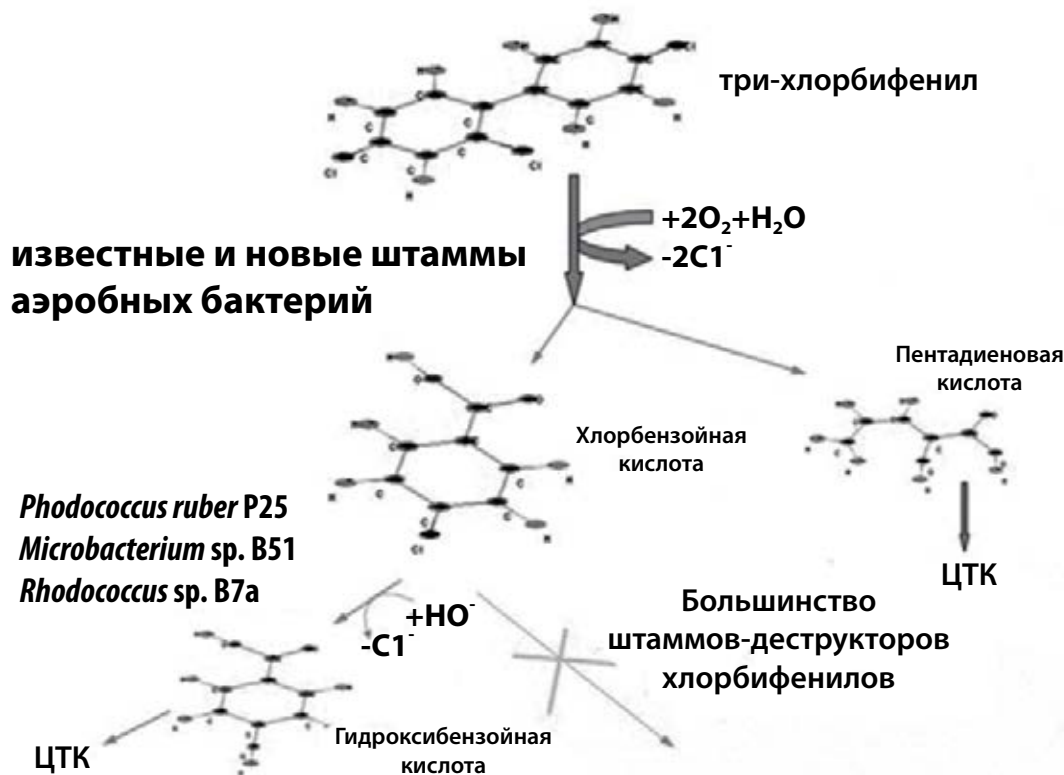


Рис. 6. Окислительная деструкция ПХБ аэробными бактериями.

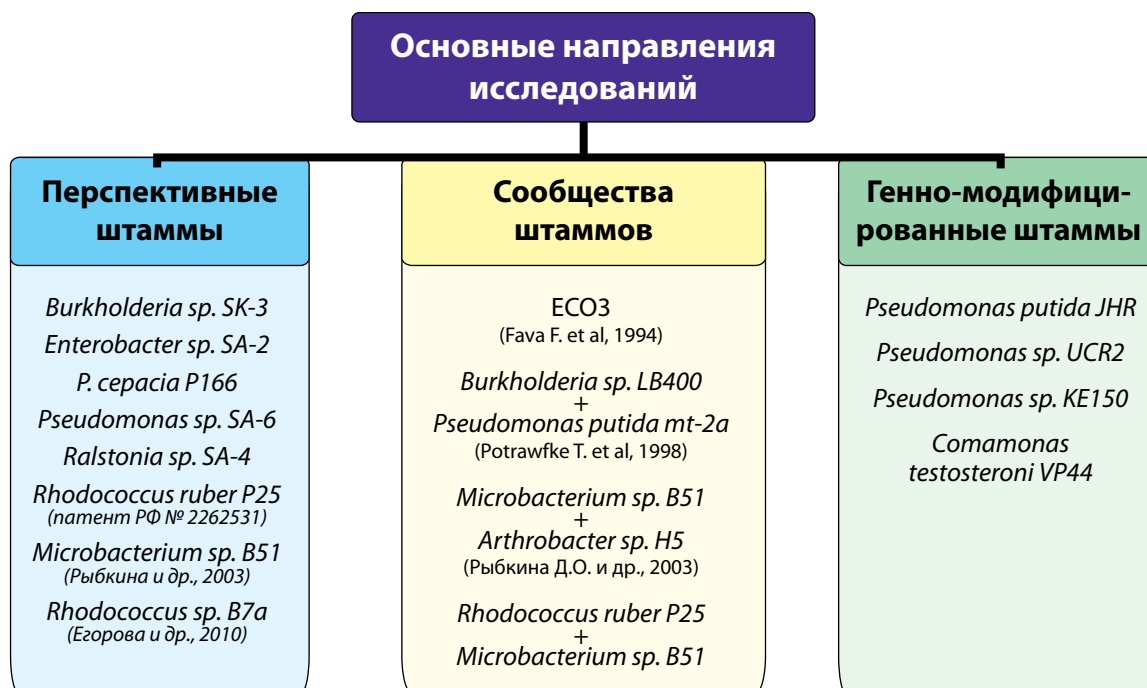


Рис. 7. Основные направления исследований в области бактериальной деструкции ПХБ.

роннему исследованию бактерий, способных к эффективному разложению бифенила и его хлорированных производных.

Характеристика бактерий-деструкторов ПХБ

Методом накопительного культивирования на бифениле из техногеннозагрязненных почв, грунтов и донных отложений выделено более 250 штаммов-деструкторов бифенила, из них около 50 бактериальных культур изучено детально. На основании филогенетического анализа и фенотипических характеристик штаммы отнесены к родам *Arthrobacter*, *Alcaligenes*, *Cellulomonas*, *Comamonas*, *Flavimonas*, *Flavobacterium*, *Microbacterium*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Jani-bacter*, *Xanthomonas*.

Все исследованные штаммы были активны в отношении монохлорированных бифенилов, содержащих хлор в орто- или пара-положении. Для изучения особенностей разложения орто- и пара-ХБ изолированными бактериями в качестве модельного соединения нами выбран 2,4'-ХБ, хлорированный по обоим бифенильным кольцам. Все бактерии проявляли активность по отношению к 2,4'-ХБ, однако эффективность и характер окислительных способностей штаммов различались. На основании анализа продуктов биодеструкции 2,4'-ХБ

выделены три группы штаммов, обладающих различными путями деградации данного соединения (рис. 8).

Большинство штаммов (группы I и II) осуществляют окисление пара-хлорированного кольца 2,4'-ХБ. Ряд штаммов (группа II) накапливали разные количества 4ХБК (хлорированной бензойной кислоты), что, в свою очередь говорит о более глубокой трансформации 2,4'-ХБ по пути предпочтительного 2,3-диоксигенирования орто-хлорированного кольца. Штаммы III группы атаковали только орто-хлорированное кольцо молекулы 2,4'-ХБ. Из литературных источников известно, что штаммы, осуществляющие окисление орто-хлорированного кольца хлорбифенила, являются более активными по отношению к различным ПХБ и их смесям [11, 12]. На основании проведенного скрининга были отобраны бактерии, способные эффективно утилизировать орто- и пара-хлорированные бифенилы.

Биодеградативные особенности активных штаммов-деструкторов ПХБ

Нами был выделен и охарактеризован штамм *Rhodococcus ruber* P25 (= ИЭГМ 896) – активный деструктор орто-, пара-замещенных хлор-

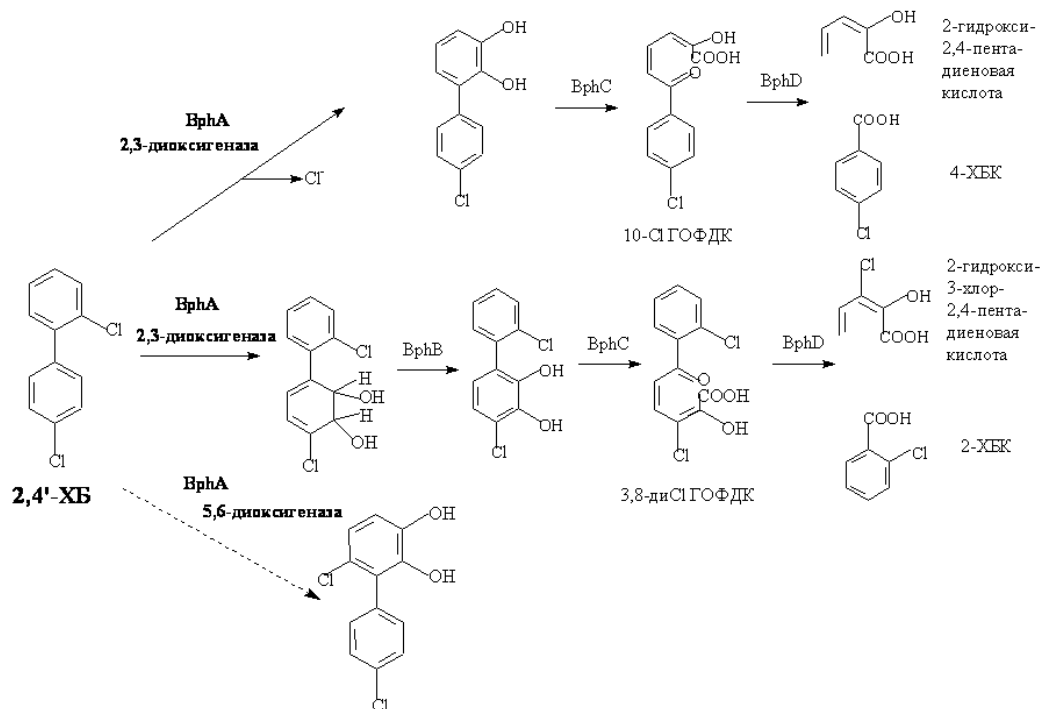


Рис. 8. Метаболические пути трансформации 2,4'-дихлорбифенила бактериями.

бифенилов. Показано, что штамм *R. ruber* P25 способен использовать в качестве единственного источника углерода и энергии монохлорбифенилы (2-, 4-ХБ), дихлорбифенилы (2,2'-ХБ, 2,4'-ХБ, 4,4'-ХБ), трихлорбифенилы (2,2,4'-ХБ, 2,4,4'-ХБ), а также эффективно утилизировать образующиеся в процессе разложения этих

хлорбифенилов хлорированные бензойные кислоты (2ХБК, 4ХБК, 2,4ДХБК) (рис. 9, 10).

Кроме того, было показано, что *R. ruber* P25 способен разлагать ХБ в условиях модельной почвенной системы [3] и осуществлять разложение 78–95 % смеси ПХБ, содержащей в своем составе (три-гекса) хлорированные би-

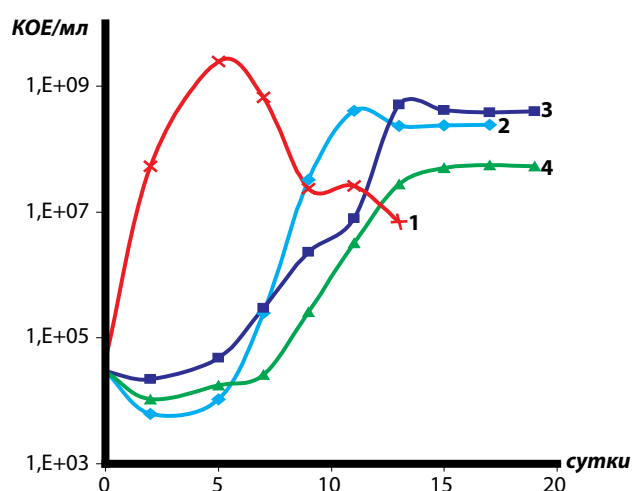


Рис. 9. Рост штамма *Rhodococcus ruber* P25 на бифениле (1) и его хлорированных производных: 2 – 2-моноХБ, 3 – 4-моноХБ, 4 – 2,4'-диХБ.

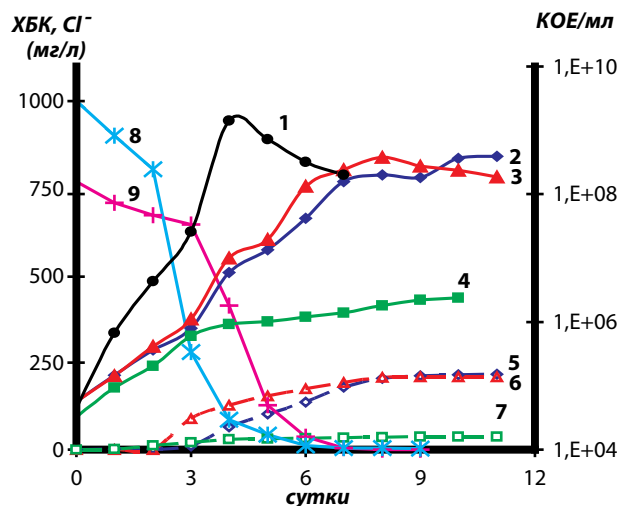


Рис. 10. Рост штамма *R. ruber* P25 на бензойной кислоте (1) и ее хлорпроизводных: КОЕ при росте на 2ХБК (2), 4ХБК (3), 2,4ХБК (4); Cl^- при росте на 2ХБК (5), 4ХБК (6), 2,4ХБК (7); концентрация ХБК при росте на 2ХБК (8) и 4ХБК (9).

фенилы. Деструкция всех присутствующих в экспериментальной смеси три-, тетра-, пента- и гексахлорбифенилов наблюдалась без накопления токсичных хлорированных метаболитов. Важным свойством штамма является то, что он разлагает наиболее устойчивые к окислению конгенеры ПХБ: 2,5,2',5'-ХБ, 3,4,3',4'-ХБ и 2,4,5,2',4',5'-ХБ [2].

Таким образом, *Rhodococcus ruber* P25 является уникальным деструктором ПХБ, метаболический потенциал которого может быть использован в биотехнологиях очистки окружающей среды от высокотоксичных поллютантов [Патент РФ № 2262531].

Не менее интересными биодegradативными свойствами обладает штамм *Microbacterium* sp. B51, изолированный нами из техногеннозагрязненных почв г. Березники (Пермский край). Результаты изучения деструкции моно(ди)хлорбифенилов штаммом *Microbacterium* sp. B51 приведены в таблице 1.

Штамм *Microbacterium* sp. B51 осуществлял практически 100 %-ную деструкцию диХБ (2,2'-, 2,4'- и 4,4'-ХБ). Аккумуляция в среде 2ХБК и 4ХБК при деструкции 2,2'- и 2,4'-ХБ, соответственно, свидетельствовала о предпочтительной атаке штаммом орто-хлорированного

кольца этих соединений. *Microbacterium* sp. B51 утилизировал 2ХБК, продукт разложения 2-ХБ и 2,2'-ХБ, и трансформировал 4,4'-ХБ через стадию образования 3,10-диС1 ГОФДК до 4ХБК (табл. 1). Полученные данные позволяют предположить, что штамм B51 способен окислять орто- и пара-хлорированные кольца молекул ПХБ. Таким образом, *Microbacterium* sp. B51 по своим деградативным свойствам близок к известному штамму-деструктору ПХБ *Burkholderia* sp. LB400 [14–16], но, в отличие от штамма LB400, способен деградировать 4,4'-ХБ и осуществлять полную утилизацию 2-ХБ и 2,2'-ХБ.

Установлено также, что штамм B51 активно разлагает 2-ХБ в условиях модельной почвенной системы. Анализ динамики изменения концентрации 2ХБ показал, что основное снижение количества субстрата (до 98 %) происходило в течение первых 24 часов инкубирования (рис. 11). Увеличение количества жизнеспособных клеток штамма в течение эксперимента на три порядка по сравнению с контролем свидетельствовало об использовании 2ХБ в качестве ростового субстрата.

Экспериментально было показано, что штамм *Rhodococcus* sp. B7a трансформирует орто- и пара-замещенные моно-, ди- и трихлорированные бифенилы (табл. 2). Штамм B7a осуществляет

Таблица 1. Деструкция хлорбифенилов штаммом *Microbacterium* sp. B51

ПХБ	Концентрация ПХБ, мг/л	Время инкубации, ч	Концентрация С1-, мг/л	Хлорбензойная кислота			ГОФДК	
				Положение хлора	Концентрация		λ_{\max} , нм	ОП
					мг/л	% *		
2-ХБ	94,25	0	Н.О.**	2	—***	—	395	—
		5			56,60±0,02	72,3		
		24			11,82±0,01	15,1		
4-ХБ	94,25	0	Н.О.	4	—	—	434	—
		5			31,11±0,08	39,7		
		24			28,31±0,05	36,0		
2,2'-ХБ	22,3	0	—	2	—	—	—	—
		5	3,8±0,05		14,13±0,03	90,3		
		24	6,3±0,08		1,65±0,02	10,6		
4,4'-ХБ	22,3	0	—	4	—	—	432	0
		5	—		3,59±0,01	23,0		
		24	—		12,69±0,06	81,1		

* От теоретически возможного.

** Не определяли.

*** Не обнаружено.

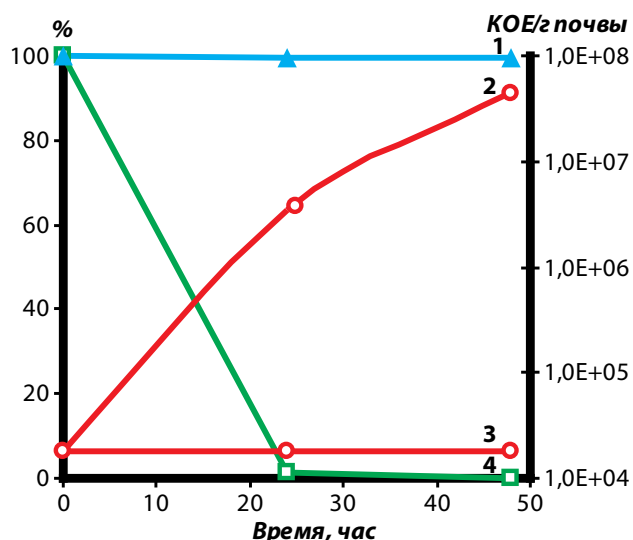


Рис. 11. Разложение 2-хлорбифенила штаммом *Microbacterium* sp. B51 в модельной почвенной системе: 1 — концентрация 2-ХБ в бесклеточном контроле; 2 — рост штамма на 2-ХБ; 3 — рост штамма без субстрата; 4 — концентрация 2-ХБ в опыте.

окисление незамещенного кольца молекулы монохлорбифенилов, однако ХБК не являются конечным продуктом трансформации, так как наблюдалась убыль 2ХБК (8,7 %) и 4ХБК (34,7 %) за 24 часа инкубации. Следует отметить, что недавно описанные активные штаммы-деструкторы ПХБ *Enterobacter* sp. SA-2, *Pseudomonas* sp. SA-6 и *Ralstonia* sp. SA-4 разлагают орто-хлорованные бифенил и бензойную кислоту, пара-хлорбифенил, но не пара-ХБК [6].

Полученные нами результаты деструкции диХБ позволяют предположить, что штамм атакует как орто-хлорированное кольцо в случае 2,2'-ХБ и 2,4'-ХБ, так и пара-хлорированное кольцо в случае 2,4'-ХБ и 4,4'-ХБ, что заслуживает особого интереса. Описанные в литературе бактерии при деструкции 2,4'-ХБ преимущественно атакуют либо орто-замещенное, либо пара-замещенное кольцо [6, 11, 15]. Кроме того, *Rhodococcus* sp. B7a окисляет моно (орто- или пара-) замещенное кольцо молекулы трихлорированных бифенилов, при этом конечным продуктом разложения является дихлорбензойная кислота (табл. 2).

Изучена способность штамма *Rhodococcus* sp. B7a к росту в минеральной среде, содержащей в качестве единственного источника углерода и энергии 2ХБК или 4ХБК. Рост штамма на 2ХБК и 4ХБК сопровождался значительным увеличением числа клеток (на три

порядка за двое суток) и коррелировал со снижением концентрации субстрата и накоплением свободных ионов хлора в среде. Изучение ростовых характеристик показало, что штамм B7a проявляет одинаковую активность в отношении как орто-, так и пара-хлорированной бензойной кислоты. Установлено, что разложение 4ХБК происходит по пути гидролитического дегалогенирования. Ранее подобный путь не был описан для представителей рода *Rhodococcus*, в том числе для штаммов-деструкторов ПХБ.

Особого интереса заслуживают полученные нами результаты о разложении смесей ПХБ активными бактериями-деструкторами. Так, штаммы *Rhodococcus ruber* P25, *Rhodococcus* sp. B7a и *Rhodococcus* sp. G12a разлагали 78-95 % смеси ПХБ, содержащей в своем составе (три-гекса)хлорированные бифенилы. Родоккокки осуществляли деструкцию всех присутствующих в смеси три-, тетра-, пента- и гексахлорбифенилов без накопления токсичных хлорированных метаболитов. Важным свойством исследуемых бактерий является то, что они способны разлагать наиболее устойчивые к окислению конгенеры ПХБ: 2,5,2',5'-ХБ, 3,4,3',4'-ХБ и 2,4,5,2',4',5'-ХБ [2].

Штамм *Microbacterium* sp. B51 также активно разлагал хлорбифенилы смеси (три-гекса)-ХБ с преобладанием тетра-замещенных конгенов. Уже за первые сутки культивирования суммарная концентрация хлорбифенилов уменьшалась на 68 %, а к концу третьих суток ПХБ в среде отсутствовали. Анализ имеющихся в литературе данных о штаммах, способных осуществлять деструкцию коммерческих смесей ПХБ (Ароклор 1242 и Ароклор 1248), близких по конгенерному составу к смеси А, показал, что уровень деструкции ПХБ смеси А штаммом *Microbacterium* sp. B51 превышает аналогичный показатель как для известных штаммов, так и для изученных нами ранее [2, 11]. Снижение концентрации ПХБ в смесях при аэробной бактериальной деструкции чаще всего обусловлено разложением низкохлорированных бифенилов. Установлено, что штамм *Microbacterium* sp. B51 проявляет деструктивную активность по отношению ко всем конгенерам смеси. В течение первых суток происходит разложение три- и тетра-ХБ, пента- и гекса-ХБ подвергаются деструкции в течение последующих двух суток эксперимента.

Таблица 2. Деструкция хлорированных бифенилов штаммом *Rhodococcus* sp. B7a *

Субстрат	Время, ч	Содержание субстрата, %	Продукты деструкции			
			ГОФДК		ХБК, %	
			λ_{\max} , нм	ОП, ед		
2-ХБ	0	91,1	н.д.**	н.д.	2-ХБК	7,4
	3	1,2				98,6
	24	0				89,9
4-ХБ	0	84,4	н.д.	н.д.	4-ХБК	13,5
	3	0	413	0,538		98,2
	24	0		0,298		63,5
2,2'-ХБ	0	92,2	390	0,196	2-ХБК	6,76
	3	0		0,324		95,2
	24	0	н.д.	н.д.		100
2,4'-ХБ	0	74,8	396	1,368	4-ХБК	22,9
	3	21,4		2,383		49,6
	24	0		2,096	4-ХБК	33,9
					2-ХБК	14,1
4,4'-ХБ	0	100	н.д.	н.д.	4-ХБК	н.д.
	3	39,7				49,8
	24	2,3				57,5
2,4,2'-ХБ	0	98,8	393	н.д.	2,4-ХБК	0,8
	3	79,2		0,351		16,3
	24	10,6		0,387		80,88
2,4,4'-ХБ	0	100	н.д.	н.д.	2,4-ХБК	н.д.
	3	85,4				13,1
	24	38,1				54,5

* Пробы на анализ отобраны через 3–5 минут после внесения хлорбифенила.

** Не детектировалось в среде.

Таким образом, *Rhodococcus ruber* P25, *Rhodococcus* sp. B7a, *Rhodococcus* sp. G12a и *Microbacterium* sp. B51 являются перспективными бактериями-деструкторами ПХБ, метаболический потенциал которых может быть использован в биотехнологиях очистки окружающей среды от высокотоксичных поллютантов.

Консорциумы бактерий как основы биопрепаратов для ремедиации окружающей среды

Анализ патентных баз и научной литературы показал, что наиболее перспективными для биоремедиации загрязненных территорий

являются технологии, основанные на использовании консорциумов бактериальных штаммов, а не монокультур. При этом необходимо учитывать, что для создания эффективных биопрепаратов для биоремедиации ПХБ-загрязненных районов необходима разработка консорциумов, в составе которых должны присутствовать аэробные бактерии, осуществляющие утилизацию ПХБ до основных метаболитов клетки и сохраняющие деградационные свойства в определенных условиях окружающей среды.

Нами разработаны несколько консорциумов, эффективно разлагающих как индивидуальные хлорбифенилы, так и их смеси (рис. 12).

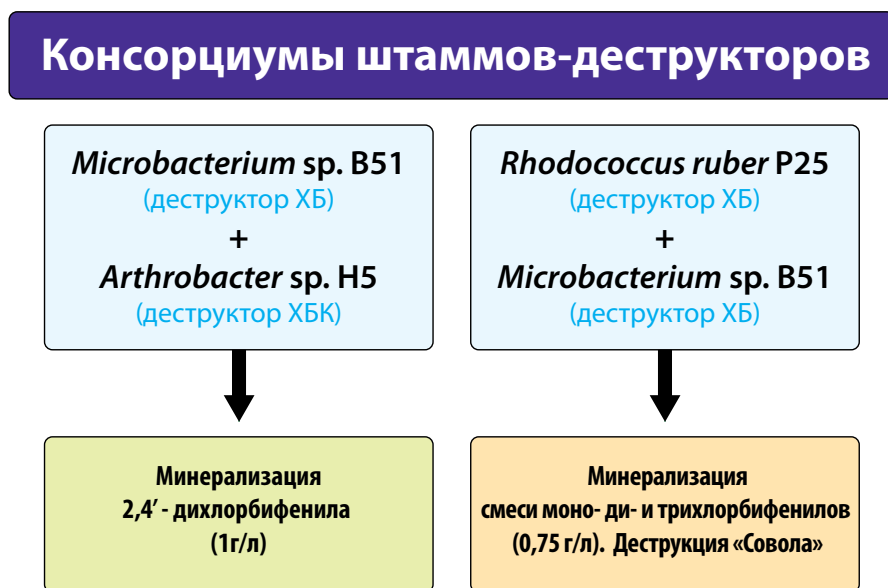


Рис. 12. Схемы конструирования бактериальных консорциумов, осуществляющих разложение ПХБ.

Для создания одного из консорциумов использовали штамм-деструктор бифенила/ПХБ *Microbacterium* sp. B51, который не осуществляет полную утилизацию 2,4'-ХБ, а разлагает его до 4ХБК [5]. Для дополнения полного пути разложения 2,4'-ХБ, утилизации хлорбензоата, был использован штамм-деструктор 4ХБК *Arthrobacter* sp. H5 (рис. 12).

При совместном культивировании штаммов *Microbacterium* sp. B51 и *Arthrobacter* sp. H5 полная утилизация 2,4'-ХБ и 4ХБК осуществлялась за 58 часов (рис. 13). Деструкция 2,4'-ХБ сопровождалась интенсивным ростом бактерий, о чем свидетельствует увеличение количества жизнеспособных клеток штамма B51 на два порядка, а штамма H5 – на три порядка. Созданная нами двухкомпонентная ассоциация осуществляет деструкцию 2,4'-ХБ эффективнее, чем описанные ранее смешанные культуры [8, 9, 13].

Также был разработан консорциум штаммов-деструкторов ПХБ, в состав которого были включены *Microbacterium* sp. B51 и *Rhodococcus ruber* P25. Консорциум проявлял активность не только к смеси низкохлорированных ПХБ, но и к промышленной смеси торговой марки «Совол» (выпускался в СССР до 1993 г.).

Анализ деструктивной активности штаммов *Microbacterium* sp. B51 и *Rhodococcus ruber* P25 показал, что консорциум разлагает 70 % совола в грунте за 90 дней. Начальное содержание совола в грунте составляло 100 мг/кг. При этом частицами грунта и бактериальными клетками сорбировалось не более 30 % совола. Следует отметить, что разложение совола сопровождалось значительным ростом обеих культур, о чем свидетельствует увеличение количества жизнеспособных клеток в первой половине эксперимента на три порядка. Наиболее активно деструкция смеси полихлорированных

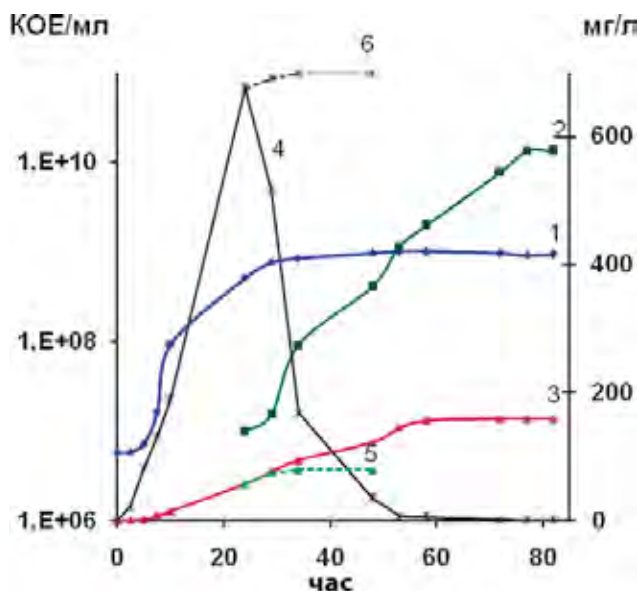
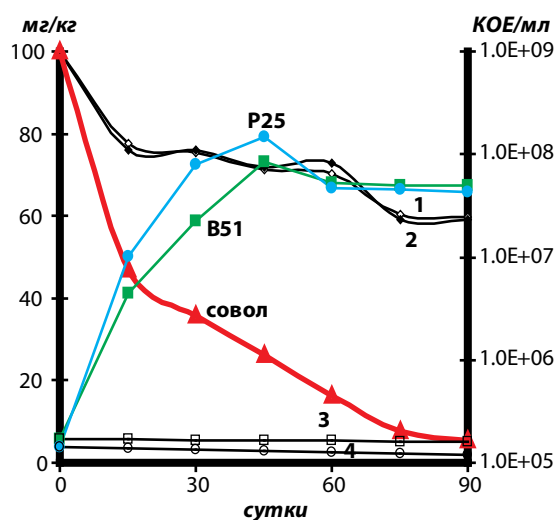


Рис. 13. Деструкция 2,4'-дихлорбифенила двухкомпонентной бактериальной ассоциацией: 1 – рост *Microbacterium* sp. B51; 2 – рост *Arthrobacter* sp. H5; 3 – Cl⁻; 4 – 4ХБК; 5 – Cl⁻ (без внесения *Arthrobacter* sp. H5); 6 – 4ХБК (без внесения *Arthrobacter* sp. H5).

Рост штаммов *Microbacterium* sp. B51 и *R. ruber* P25 в почве в присутствии совола



1 – Концентрация совола в бесклеточном контроле.
2 – Концентрация совола в контроле с убитыми клетками.
3, 4 – Рост штаммов в контроле без внесения совола.

Динамика изменения групп хлорированных бифенилов, входящих в состав совола, под воздействием штаммов *Microbacterium* sp. B51 и *R. ruber* P25

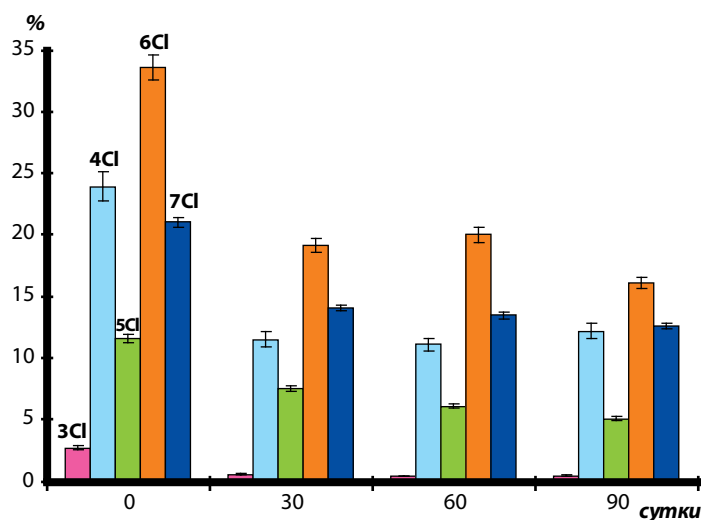


Рис. 14. Разложение совола бактериальным консорциумом.

бифенилов происходила в первый месяц инкубации (рис. 14).

Установлено, что консорциум разлагает как низкохлорированные, так и высокохлорированные конгенеры ПХБ. При этом наибольшая скорость деструкции была отмечена для конгенов с четырьмя и пятью заместителями и составила 0,83 и 0,99 мг/кг/сутки соответственно. Полученные данные свидетельствуют о высокой деструктивной активности созданного консорциума: к концу экспери-

мента 100 %-ной деструкции оказались подвержены 20 конгенов ПХБ (из 31, входящих в состав совола).

Таким образом, на примере изучения экспериментально полученных консорциумов показана эффективность использования бактерий, осуществляющих окислительную деструкцию бифенила/хлорбифенилов и хлорбензоатов, при создании биопрепаратов для очистки территорий, загрязненных ПХБ.

Литература

1. Васильева Г.К., Стрижакова Е.П. // Микробиология. – 2007. – Т. 76. – № 6. – С. 725–741.
2. Егорова Д.О., Демаков В.А., Плотникова Е.Г. // Прикладная биохимия и микробиология. – 2011. – Т. 47. – № 6. – С. 655–662.
3. Егорова Д.О., Плотникова Е.Г. // Биотехнология. – 2009. – № 3. – С. 72–79.
4. Занавескин Л.Н., Аверьянов В.А. // Успехи химии. – 1998. – Т. 67. – № 8. – С. 788–800.
5. Рыбкина Д.О., Плотникова Е.Г., Дорофеева Л.В., Мироненко Ю.Л., Демаков В.А. // Микробиология. – 2003. – Т. 72. – № 6. – С. 759–765.
6. Adebusoye A.S., Ilory M.O., Picardal F.W., Amund O.O. // World J. Microbiol. Biotechnol. – 2008. – Vol. 24. – № 8. – P. 61–68.
7. Arensdorf J.J., Focht D.D. // Appl. Environ. Microbiol. – 1994. – Vol. 60. – № 8. – P. 2884–2889.
8. Fava F., Di Gioia D., Cinti S., Marchetti L., Quattroni G. // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 1994.

- Vol. 41. – P. 117-123.
9. *Fava F., Di Gioia D., Marchetti L., Quattroni G.* // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 1996. – Vol. 45. – P. 562–568.
 10. *Kim S., Picardal F.W.* // *Appl. Environ. Microbiol.* – 2001. – Vol. 64. – № 4. – P. 1953–1955.
 11. *Pieper D.H.* // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 2005. – Vol. 67. – № 2. – P. 170–191.
 12. *Pieper D.H., Seeger M.* // *J. Mol. Microbiol. Biotechnol.* – 2008. – Vol. 15. – P. 121–138.
 13. *Potrafk T., Lohnert T.-H., Timmis K. N., Wittich R.-M.* // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 1998. – Vol. 50. – P. 440–446.
 14. *Seah S. Y. K., Labbe G., Nerdinger S., Johnson M. R., Snieckus V., Eltis L.D.* // *J. Biol. Chem.* – 2000. – Vol. 275. – P. 15701–15708.
 15. *Seeger M., Timmis K.N., Hofer B.* // *Appl. Environ. Microbiol.* – 1995. – Vol. 61. – № 7. – P. 2654–2658.
 16. *Seeger M., Zielinski M., Timmis K.N., Hofer B.* // *Appl. Environ. Microbiol.* – 1999. – Vol. 65. – № 8. – P. 3614–3621.

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ПОДХОДЫ К РАННЕЙ ДИАГНОСТИКЕ И СКРИНИНГУ ОПУХОЛЕВЫХ И ПРЕДОПУХОЛЕВЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ (НА ПРИМЕРЕ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ)¹

Гилева О.С., Фрейнд Г.Г., Орлов О.А., Либик Т.В., Герасимова Е.И., Плехов О.А., Баяндин Ю.В., Пантелеев И.А.²

Описаны состояние, проблемы и перспективы применения метода инфракрасной термографии (ИКТ) в комплексе диагностических и скрининговых методик для практической онкологии. Представлены этапные результаты клиничко-лабораторных исследований, освещающие: процесс внедрения методики ИКТ-обследования молочных желез в клиническую практику; качественные характеристики ИК-образа здоровых и пораженных раком молочных желез; данные анализа результатов ИКТ методами нелинейной динамики. Определено наличие количественных различий в пространственных распределениях флуктуаций температур в визуально неизмененных и пораженных тканях; продемонстрированы качественные различия их фазовых портретов (хаосограмм). По данным DFA-анализа охарактеризованы температурные сигналы в различных топографических зонах иссеченной по поводу опухоли ткани. В сравнительном аспекте изучены корреляционные свойства температурных сигналов интактных и пораженных фокусов.

Ключевые слова: инфракрасная термография, онкология, рак молочной железы.

The status, problems and prospects of the method of infrared thermography (IRT) in complex diagnostic and screening methods for practical oncology were described. The results of landmark clinical and laboratory research were presented, covering: the process of implementation of IRT techniques of breast examination in clinical practice, the qualitative characteristics of IR images of healthy and diseased breast cancer, and data of analysis of IRT by methods of nonlinear dynamics. Quantitative differences in the spatial distribution of temperature fluctuations in a visually unaltered and diseased tissue were determined; qualitative differences in their phase portraits (chaosogramm) were demonstrated. According to the DFA-analysis temperature signals in different topographical areas excised at the tumor tissue were described. In a comparative perspective the correlation properties of temperature signals intact and affected foci were studied.

Keywords: infrared thermography, oncology, breast cancer.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Пермского края (грант № 10-01-96051).

²



Гилева Ольга Сергеевна, доктор медицинских наук, заведующая кафедрой пропедевтики и физиотерапии стоматологических заболеваний Пермской государственной медицинской академии имени академика Е.А. Вагнера, г. Пермь, e-mail: ogileva@rambler.ru.



Фрейнд Генриетта Герхардовна, доктор медицинских наук, заведующая кафедрой патологической анатомии с секционным курсом Пермской государственной медицинской академии имени академика Е.А. Вагнера, г. Пермь, e-mail: egerasimova@icmm.ru.



Орлов Олег Алексеевич, доктор медицинских наук, заведующий кафедрой онкологии, лучевой диагностики и лучевой терапии Пермской государственной медицинской академии имени академика Е.А. Вагнера, г. Пермь, e-mail: permcancer@rambler.ru.



Либик Татьяна Владимировна, кандидат медицинских наук, ассистент кафедры пропедевтики и физиотерапии стоматологических заболеваний Пермской государственной медицинской академии имени академика Е.А. Вагнера, г. Пермь, e-mail: libik-t@rambler.ru.

Одна из основных проблем российской онкологии — поздняя диагностика злокачественных новообразований. Подавляющее большинство онкологических заболеваний (ОЗ) выявляется на запущенных стадиях, когда даже современная комбинированная длительная противоопухолевая терапия не всегда позволяет надеяться на полное выздоровление пациента, кардинально улучшить качество его жизни. Современная онкология как мультидисциплинарная наука требует содружественного решения многих актуальных проблем, связанных как с выявлением закономерностей возникновения и развития злокачественных новообразований, так и с поиском оптимальных методов их ранней диагностики и лечения. В настоящее время научные основы онкологии представляют собой сплав фундаментальных исследований в области онкогенетики, молекулярной онкологии, биофизики и нанотехнологий, а также созданных на их основе передовых клинических разработок. Известно, что в организме человека нет органов или тканей, в которых не могли бы развиваться различные по гистогенезу опухоли.

Онкологические заболевания относятся к группе наиболее социально значимых болезней. По данным Всемирной организации здравоохранения ВОЗ (WHO, 2011 г.), в 2010 г. смертность населения планеты от ОЗ приблизилась к 8 млн человек и достигла 13 % в общей

структуре мировой смертности населения. По прогнозам ВОЗ (WHO, 2011 г.), в 2015 г. этот показатель увеличится до 9 млн человек, а в 2030 г. достигнет 11,4 млн. В 2010 г. показатель поражаемости ОЗ на 100 000 населения России составил 364,2 и на 17,8 % превысил таковой в 2000 г., что отражает неблагоприятные тенденции современной онкологии. Уровень ОЗ у населения Пермского края в целом соответствует общероссийскому и отражает насущную необходимость существенной модернизации всей системы оказания онкологической помощи.

Современная мировая медицина кардинально пересматривает роль методов диагностики ОЗ, делая первоочередной акцент на проблеме их раннего выявления по обращаемости и/или в процессе скрининговых обследований населения на доврачебном этапе и врачами общей практики. К числу наиболее распространенных (среди населения земного шара, РФ и Пермского края) клинико-топографических вариантов ОЗ с высоким уровнем смертности относится рак молочной железы (РМЖ). По данным ВОЗ (2010 г.), ежегодно в мире наблюдаются у онколога по поводу РМЖ и проходят онкологическое лечение 11 млн женщин, причем каждый год регистрируется до 1,2 млн новых случаев этого ОЗ, а погибает до 500 тыс. женщин. В 2006 г. в России выявлено 48 821 больных РМЖ, причем прирост заболеваемости

2



Герасимова Евгения Игоревна, аспирант Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, e-mail: evg_gerasimova@mail.ru.



Плехов Олег Анатольевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, e-mail: roa@icmm.ru.



Баяндин Юрий Витальевич, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, e-mail: buv@icmm.ru.



Пантелеев Иван Алексеевич, кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, e-mail: pia@icmm.ru.

за период 1996–2006 гг. составил – 24,6 %. Выявляемость РМЖ на ранних стадиях процесса (I – II) составила 62,1 %, показатель запущенности (III– IV ст.) – 37,2 % [1].

Традиционные подходы к ранней диагностике и скринингу РМЖ имеют свои «за и против». Наиболее востребованы следующие методы: маммография, компьютерная томография, магнитно-резонансная томография, УЗИ. Маммография – стандартный анатомо-топографический метод лучевой диагностики опухолей молочной железы, применение которого позволяет снизить смертность в 22 % случаев РМЖ [3]. Однако при всей ценности метода маммографии – стандартного скринингового метода первого ряда, он имеет ряд недостатков, к которым относятся: дозовая лучевая нагрузка, финансовая затратность обследования, требующего специального дорогостоящего оборудования и оснащения, вариативность информативности метода, например, при плотном фоне железы (у молодых женщин, на фоне заместительной гормональной терапии и др.), а также трудности объективного анализа результатов, стимулирующие развитие цифровой маммографии.

Новые возможности объективизации результатов стандартной маммографии с помощью мультифрактального анализа изображений маммограмм (WTMM-analysis) продемонстрированы в исследованиях P. Kestener et al. [3]. Специалисты считают, что результаты стандартной маммографии не дают возможности поставить окончательный диагноз РМЖ, а лишь указывают на его возможность с определенной степенью вероятности. Правильность предварительного диагноза в значительной степени может зависеть от использования дополнительных диагностических процедур, т.е. применения маммографии в тандеме с другими клинико-функциональными методами обследования.

Прогресс современной ядерной медицины в онкологии во многом связывается с внедрением скрининговых методов функциональной визуализации опухолей, которые в отличие от анатомо-топографических методов лучевой диагностики (маммография, магниторезонансная томография, компьютерная томография) способны не только охарактеризовать состояние и динамику опухолей по их размерам и структуре, но, что особенно важно, выявить функциональную (физиологическую) составляющую

процесса: степень васкуляризации опухолей, уровень нарушений ее метаболизма и др.

К методам функциональной визуализации справедливо относят метод инфракрасной термографии (ИКТ), основанный на регистрации и обработке путем естественного теплового излучения здоровых и пораженных тканей в диапазоне электромагнитного спектра 9 000–14 000 нм. ИК-образ аналогичен анатомическому, отражает его функциональные особенности (тканевой метаболизм, ангиогенез и др.) через температурные характеристики: распределение «горячих» и «холодных» участков, их размеры и границы; разность температур по сравнению с перифокальной зоной, симметричными участками; появление аномальных зон гипо- и гипертермии и др.

За последние 15 лет мировой медициной накоплен определенный опыт использования ИКТ в онкологии, прежде всего при РМЖ. Специалистами определены конкретные конкурентные преимущества ИКТ в системе онко-скрининга – возможность анатомо-топографической и функциональной оценки пораженной ткани, неинвазивный характер, безопасность и возможность многократного применения метода; мобильность оборудования (ИКТ-камеры), позволяющая широко использовать ИКТ специалистами доврачебного звена и врачами общей практики.

В ряде зарубежных обзоров, посвященных диагностике рака, отмечено, что эффективность применения ИКТ для диагностики опухолей молочной железы составляет 83–90 % и, соответственно, аномалии МЖ, выявляемые по данным ИКТ, – важный фактор риска РМЖ [4]. В США с 1982 г. ИКТ одобрена в качестве дополнительного метода при скрининге РМЖ («The Biomedical Engineering Handbook, Medical Devices and Systems», 2006 г.).

Несмотря на значительный объем работ по применению ИКТ в онкологии, до настоящего времени не определены точное место и роль этого метода в программах целевого онкологического скринингового обследования населения. Обсуждаются вопросы о целесообразности применения ИКТ как важнейшей части полимодального подхода к диагностике ОЗ, основанного на определенной последовательности применения клинических методов обследования, маммографии и ИКТ. Кроме того, перспективно оценить возможности применения ИКТ как самой ранней скрининговой процедуры.

Критический анализ состояния вопроса об объективизации результатов ИКТ свидетельствует о том, что критерии риска, определяемые по термограммам, зачастую являются описательными: повышение температуры тела от 1 до 6 °С, асимметрия термической картины, наличие существенных градиентов температур и т.д. Всесторонняя и точная интерпретация ИК-образа формулируется в качестве ключевой проблемы ранней диагностики ОЗ, разрешаемой только на основе междисциплинарных взаимодействий, что предполагает установление корреляций между состоянием сосудистой системы в опухолевом очаге и его перифокальных зонах, тепловыми выделениями и локальными молекулярно-морфологическими изменениями, которые, отражаясь на флуктуациях температурного поля, могут объективно характеризовать качественные закономерности стадийности онкогенеза.

Организационным ключом к решению столь важной междисциплинарной проблемы может стать формирование единой трансдисциплинарной группы специалистов, обладающих соответствующими квалификациями и компетенциями, в составе которой организаторы здравоохранения, врачи-онкологи, врачи-патоморфологи, молекулярные биологи, физики, математики, программисты. Так, на протяжении последних десяти лет клиницисты (онкологи, патоморфологи, стоматологи и др.) Пермской государственной медицинской академии им. академика Е.А. Вагнера, Пермского краевого онкологического диспансера и коллектив специалистов лаборатории физических основ прочности Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, объединившие свои усилия, разрабатывают фундаментальные и прикладные аспекты использования метода ИКТ. В состав трансдисциплинарной группы входят 13 участников, в т.ч. 4 доктора наук, 5 кандидатов наук и молодые ученые, из которых 9 человек – представители Российской Федерации, 1 – Франции, 3 – Израиля.

За эти годы дальнейшее развитие получили методы корреляционного анализа, основанные на обработке данных инфракрасного сканирования с использованием инфракрасной камеры CEDIP Silver 450M и данных 3D-количественной морфологии с использованием интерферометра-профилометра высокого разрешения New View 5000; разработаны методы

анализа статистики флуктуаций температурного поля с использованием развитых методов оценки пространственно-временных инвариантов, сопоставлением последних с «симметричными инвариантами», соответствующими типам установленных коллективных мод; предложено обобщение метода оценки условий термализации в терминах «эффективных температур» применительно к анализу флуктуаций температурного поля при инфракрасном сканировании биологических объектов [2].

В плане клинической адаптации методологии инфракрасного сканирования объектов проведено инфракрасное сканирование 46 пациентов с признаками онкопатологии (РМЖ), в том числе в условиях «холодового» и «глюкозного» тестов, результаты которого представлены на рисунке 1.

Проведен спектральный и корреляционный анализ флуктуаций температурного поля (Фурье- и вейвлет-спектры пространственных распределений флуктуаций температуры). Установлены достоверные количественные различия в пространственных распределениях флуктуаций температур здоровых (визуально неизменных) и пораженных раком МЖ. Также определены качественные различия фазовых портретов – хаосограмм здоровых и пораженных раком МЖ (рис. 2–4).

На этапах оперативного вмешательства по поводу опухоли МЖ проведен забор биоматериала и исследованы температурные сигналы в различных топографических зонах иссеченной ткани, а также изучены корреляционные свойства температурного сигнала в опухоли, перифокальной и интактной ткани МЖ; установлена устойчивая тенденция к коррелируемости температурного шума в опухолевой ткани (рис. 5, 6).

Впервые установлено, что в здоровой и прилежащих к опухоли тканях молочной железы температурные сигналы являются преимущественно антикоррелированными, а в опухоли наблюдается устойчивая тенденция к коррелируемости температурного шума.

Общеизвестно, что процессы онкогенеза тесно связаны с изменениями морфологических признаков опухолей как качественного, так и количественного характера. В медицинской практике количественные методы исследования дополняют традиционные, являясь более объективными и точными по сравнению с качественными. Последнее десятилетие

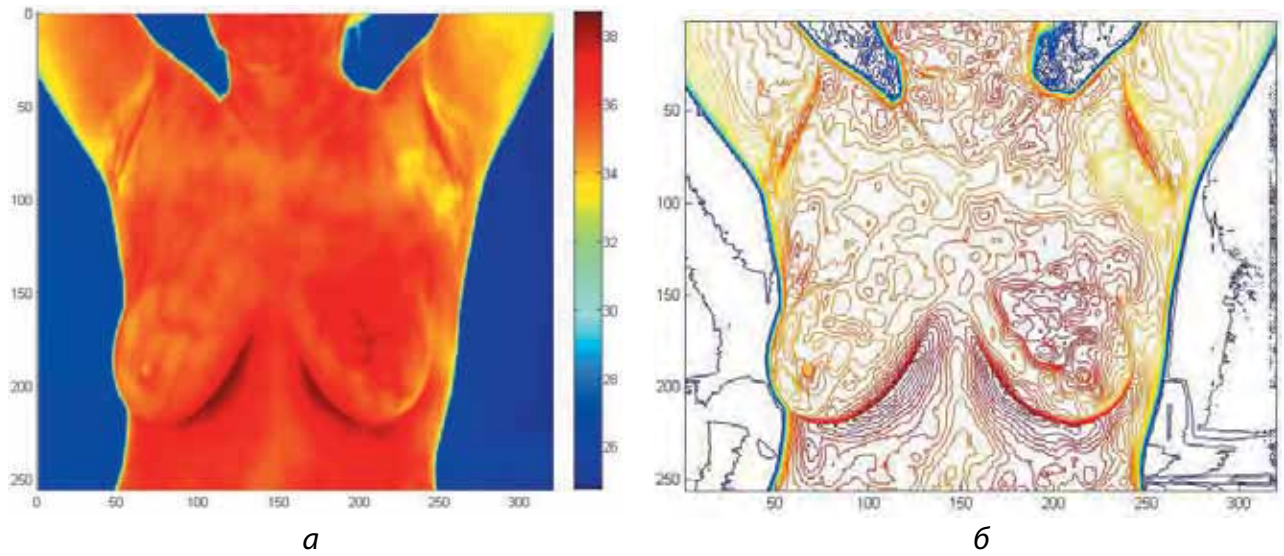


Рис. 1. Температурный образ молочных желез (а) и изолинии температуры (б).

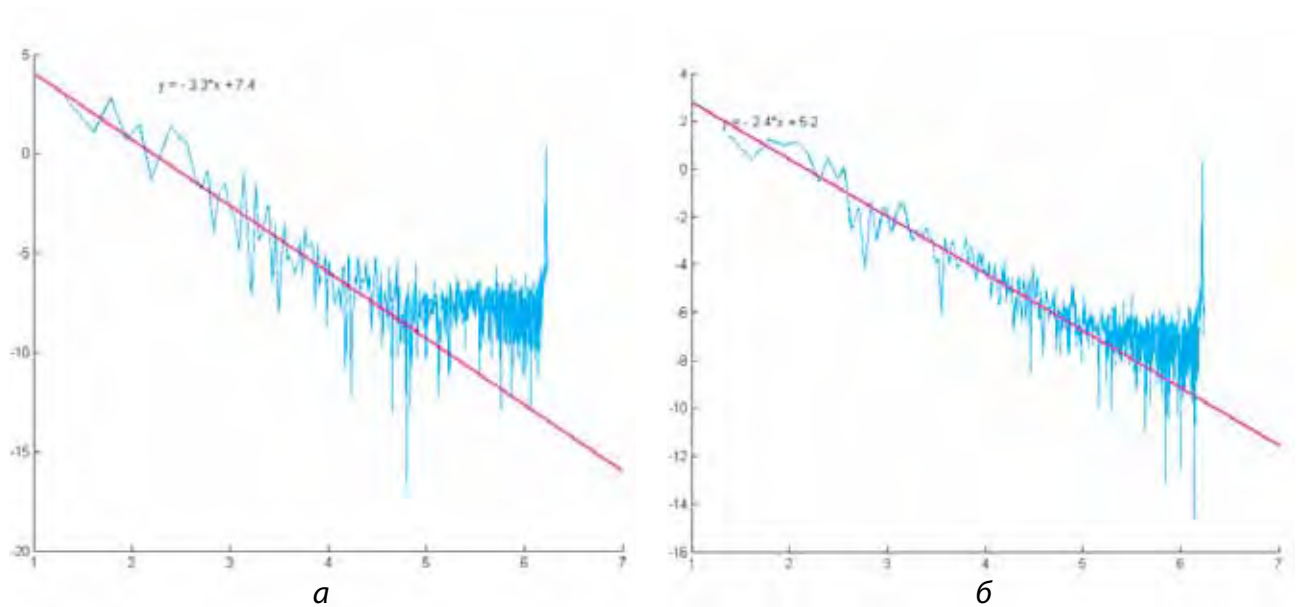


Рис. 2. Фурье-спектр температурного сигнала для здоровой (а) и пораженной молочной железы (б).

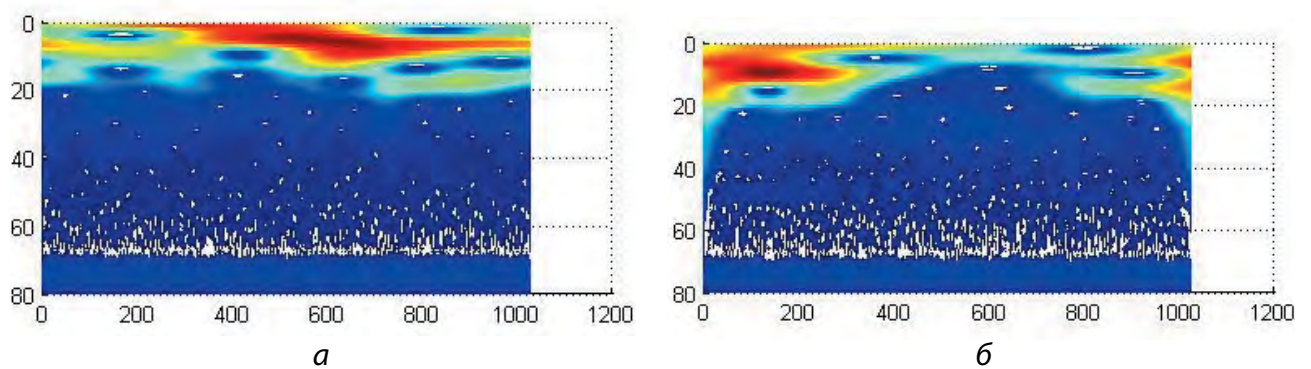


Рис. 3. Амплитуды вейвлет-коэффициентов для здоровой (а) и пораженной молочной железы (б).

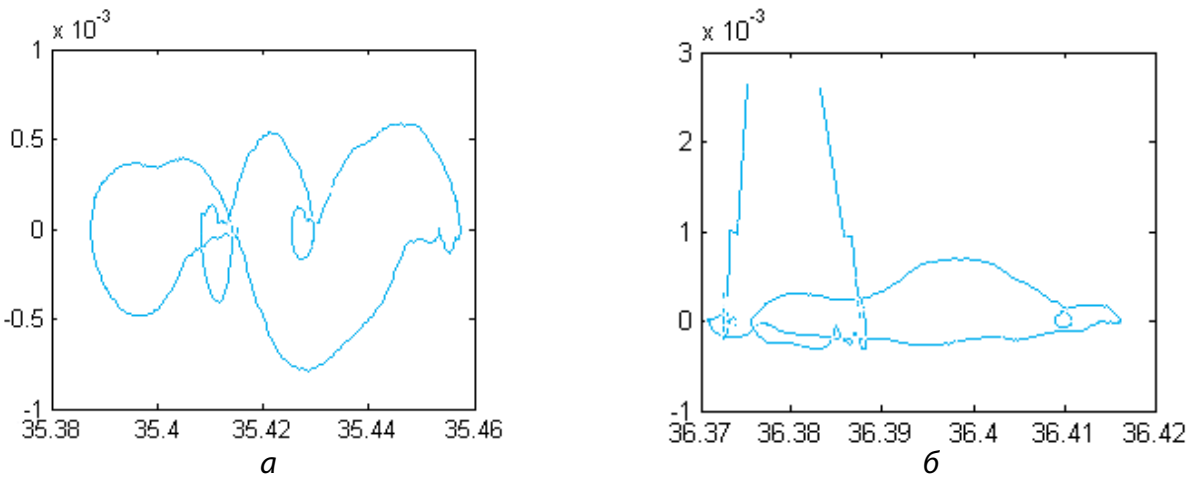


Рис. 4. Типичный фазовый портрет температурного сигнала для здоровой (нехаотичная диаграмма – а) и пораженной (хаотичная диаграмма – б) ткани молочной железы.

характеризуется продвижением тех областей медицинской науки, которые связаны с разработкой современных количественных методов исследования морфологии ткани. Так, специалистами, входящими в состав трансдисциплинарной группы, освоена методика забора, подготовки и исследования биоматериала опухоли МЖ методом атомно-силовой микроскопии (АСМ, аппарат "Nano-DST"), определены оптимальные параметры для характеристики микрорельефа поверхности клеток, получены первые АСМ-образы клеток при РМЖ и соответствующие им рельефы высот для различных пространственных сечений. Глубокие и всесторонние исследования морфологических признаков онкогенеза, роли молекулярно-генетических изменений, особенностей их динамики

при стадировании процесса являются важнейшими аспектами фундаментальных и клинических исследований в онкологии, направленных на решение одной из ее актуальных проблем – ранней морфологической диагностики предрака и рака.

Таким образом, критически анализируя состояние поднимаемой проблемы, реально оценивая опыт и возможности международной исследовательской группы, связывая молекулярно-морфологические признаки онкогенеза с коллективными эффектами, устанавливаемыми на основе развиваемых динамических моделей поведения ансамблей ДНК, разрабатывая экспериментальные подходы к определению инвариантов в терминах «эффективных температур» по данным ИКТ

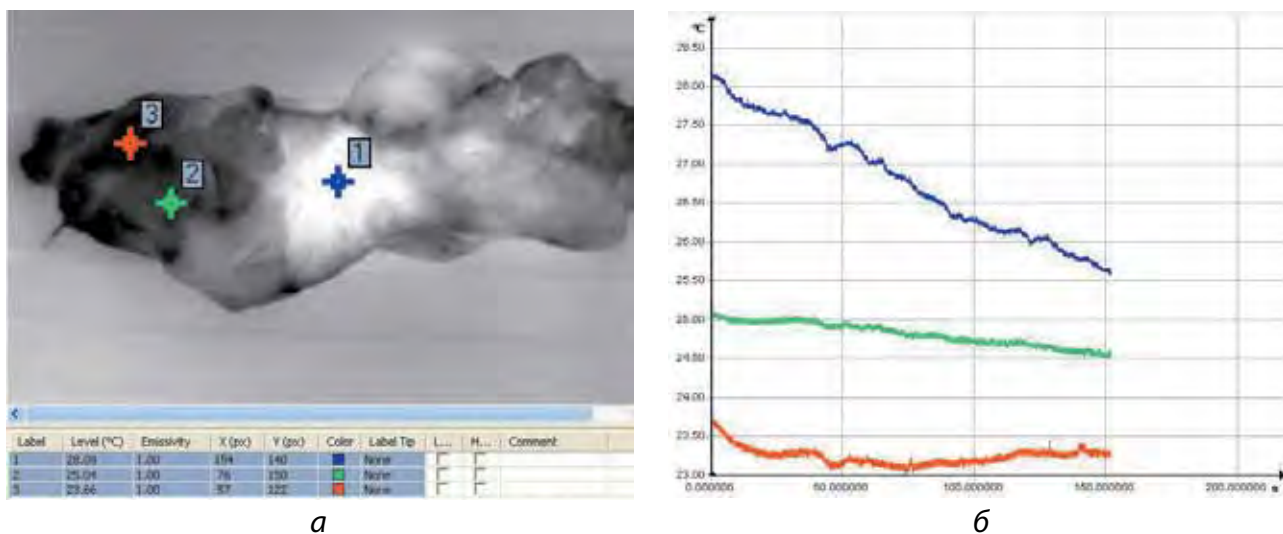


Рис. 5. Распределение температуры на поверхности исследуемого образца ткани молочной железы (а) и соответствующие температурные сигналы (б).

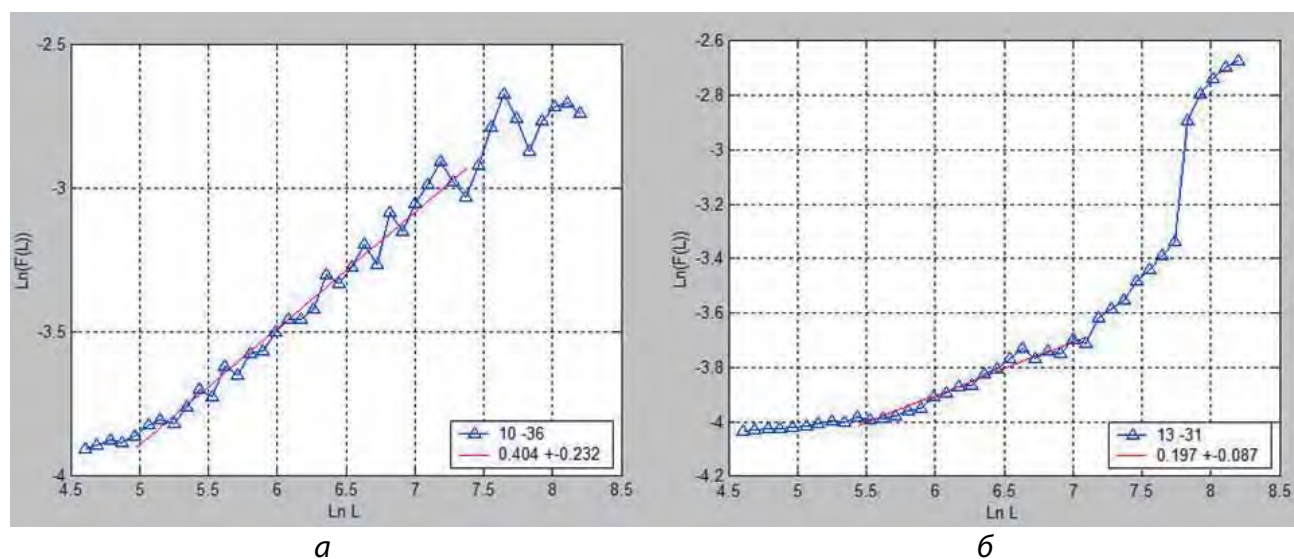


Рис. 6. Корреляционные свойства температурного сигнала в опухоли (а) и здоровой ткани (б) молочной железы (по данным DFA (Detrended Fluctuation Analysis) - метода).

высокого пространственно-временного разрешения, представляется возможным поновому качественно и количественно охарактеризовать закономерности онкогенеза при различных сценариях молекулярно-морфологических и функциональных изменений в тканях, обозначить наиболее значимые мар-

керы риска ОЗ, предложить оптимальные тандемы морфофункциональных методик для ранней диагностики онкопатологии и, в конечном итоге, выбрать наиболее рациональный вариант критической технологии онкологического скрининга больших групп населения.

Литература

1. Алгоритмы выявления онкологических заболеваний у населения Российской Федерации: метод. рекомендации для организаторов здравоохранения, врачей первичного звена, врачей-специалистов. – М., 2009. – 38 с.
2. Белкин А.Н., Герасимова Е.И., Пахомова А.О. Метод инфракрасной термографии в диагностике рака молочной железы // Материалы 44-й Всероссийской научной конференции с международным участием студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы теоретической, экспериментальной, клинической медицины и фармации». – Тюмень, 2010. – С. 172.
3. Wavelet-based multifractal formalism to assist in diagnosis in digitized mammograms / P. Kestener [et al.] // Image Anal. Stereol. – 2001. – Vol. 20. – P. 169–174.
4. Read J.F., Elliott R.L. Breast thermography // Cancer, 1995; 79: 186–188;
5. Wright T., McGechan A. Breast cancer: new technologies for risk assessment and diagnosis // Mol. Diagn, 2003; 7(1): 49–55.

ГАЗОВОЕ «ДЫХАНИЕ» КАЛИЙНЫХ НЕДР¹

Бачурин Б.А., Борисов А.А.²

Представлены результаты газогеохимических исследований на территории Верхнекамского месторождения калийных солей. Изучено влияние на характер приповерхностного газового фона процессов деформации соляного массива, обусловленных подземной разработкой калийных руд и эксплуатацией подсольевых залежей углеводородов. Обосновано использование газогеохимических методов для контроля процессов техногенеза в геологической среде Верхнекамского месторождения.

Ключевые слова: верхнекамское месторождение калийных солей, галогенная формация, подсольевые залежи углеводородов, деформация соляного массива, сорбированные и рассеянные газы, миграция, газовая съемка, техногенез, мониторинг.

The article describes results of soil vapor survey in the territory of the Upper Kama potassium salt deposit. It has been explored how deformations in the salt strata caused by mining and subsalt hydrocarbon exploitation influence gas background in the subsurface layers. The author provides reasons for the efficiency of gas geochemistry approach to monitoring mining-induced genesis processes in the explored geological environment.

Keywords: the Upper Kama potassium salt deposit, salt formation, subsalt hydrocarbons, salt deformation, occluded and dispersed gases, migration, gas survey, technogenesis, monitoring.

На основе исследования особенностей приповерхностного газового фона в пределах Верхнекамского месторождения калийных солей обоснована возможность использования методов газогеохимического зондирования для контроля процессов техногенеза в геологической среде.

Открытие академиком В.И. Вернадским явления газового обмена литосферы с атмосферой, названное им «газовым дыханием Земли», послужило теоретической основой использования различных модификаций поверхностных газовых съемок для решения широкого спектра

геологических задач. К настоящему времени накоплен довольно значительный опыт использования различных модификаций газовых съемок для решения таких задач, как поиск и разведка нефтяных и газовых месторождений, картирование разрывных нарушений, контроль изменения напряженно-деформированного состояния горного массива, прогноз геодинамических процессов, мониторинг герметичности подземных газохранилищ и др. [1, 6, 7].

Полученная информация свидетельствует, что газы литосферы, являющиеся наиболее мобильным ее компонентом, несут важней-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Пермского края (гранты №№ 09-05-99023, 11-05-96023).

²



Бачурин Борис Александрович, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геоэкологии горнодобывающих регионов Горного института Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, e-mail: bba@mi-perm.ru.



Борисов Александр Александрович, младший научный сотрудник Горного института Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, e-mail: borissoff@mail.ru.

шую информацию об особенностях строения геологической среды и происходящих в ней природных и природно-техногенных процессах. Проведенные исследования показали, что в качестве опорного горизонта при газогеохимическом зондировании наиболее эффективно использование почвенного покрова, который выступает в качестве сорбционного геохимического барьера, перехватывающего миграционные компоненты из нижележащей части разреза. Установлено, что рассеянные в почвогрунтах газы содержат ассоциации миграционных компонентов, генезис которых во многом обусловлен глубинными источниками. В качестве индикаторов данных процессов предложено использование как инертных газов радиогенного происхождения (гелий, радон), так и углеводородных газов (УВГ). Последние особенно информативны в случае наличия в недрах мощных источников углеводородов – залежей нефти и газа, метанонасыщенных угольных и калийных пластов.

Первые попытки внедрения газогеохимических методов в комплекс геолого-геофизических исследований на Верхнекамском месторождении калийных солей (ВКМКС) относятся к 1988–1989 гг., когда после затопления рудника БКРУ-3 стала очевидна необходимость детального изучения строения надсолевой части разреза с целью выявления различного рода геологических неоднородностей, представляющих потенциальную угрозу для возможного нарушения герметичности водозащитной толщи (ВЗТ). К числу методов, дающих воз-

можность судить о флюидопроницаемости различного рода геологических аномалий, относится газогеохимическое зондирование приповерхностной части разреза, направленное на выявление признаков активизации «газового дыхания» недр. В качестве газов-индикаторов наличия подобных зон повышенной проницаемости было предложено использовать гелий и аргон [4]. Возможная информативность последнего основывалась на повышенном содержании в газах калийных пластов радиогенного изотопа аргон-40, являющегося продуктом распада изотопа калий-40. Считалось, что инертность данных компонентов позволяет им легко высвободиться из массива калийных солей и диффундировать в вышележащую часть разреза по зонам повышенной проницаемости ВЗТ. Вместе с тем, проходка специальных скважин в районе аварийной ситуации на БКПРУ-3 показала, что в составе газопроявлений в надсолевой части разреза фиксируются и повышенные концентрации метана (до 20 %), источником которого также являются соляные породы.

Обобщение имеющейся информации свидетельствует, что суммарное содержание рассеянных и связанных газов в породах галогенных формаций ВКМКС колеблется в пределах 0,024–0,216 м³/м³. Основной особенностью состава данных газов является высокая степень их насыщенности углеводородами (суммарное содержание метана и его гомологов достигает до 15–20 %) и присутствие водорода (таблице 1). Несомненно, что деформация и разрушение данных пород будет приводить к высвобождению

Таблица 1. Сведения о составе связанных газов соляных пород ВКМКС³

Порода	Газонасыщенность, м ³ /м ³	Компонентный состав, об. %				
		CH ₄	H ₂	CO ₂	H ₂ S	N ₂
Карналлит	0,06 н.с.	7,0–9,9 8,4	25,5–32,6 29,0	10,6–22,0 16,3	н.с.	38,0–54,1 46,0
Пестрый сильвинит	0,11–0,13 0,12	0,6–5,4 2,8	1,1–14,1 6,3	3,2–15,2 11,2	н.с.	26,0–87,0 73,0
Полосчатый сильвинит	0,08–0,20 0,14	0,7–10,4 3,8	0,2–12,8 5,8	0,5–8,5 4,5	0,1–2,4 0,7	30,0–89,2 68,9
Красный сильвинит	0,02–0,46 0,15	1,8–7,6 4,2	0–22,9 8,6	0,1–8,0 5,0	1,1–8,6 4,8	52,0–85,6 73,4
Каменная соль	0,14–0,20 0,17	7,0–13,0 10,0	2,9–6,7 4,8	0,7–2,4 1,6	0,2–1,5 0,8	52,0–66,4 59,2

³ Примечание: в числителе – пределы колебаний, в знаменателе – среднее значение; н.с. – нет сведений.

нию определенного количества связанных газов в свободную фазу и их дальнейшему перераспределению в надпродуктивной части разреза, что позволяет использовать их в качестве индикатора интенсивности данных процессов. Максимальной интенсивности данные процессы будут достигать в случае выщелачивания соленосного массива, когда растворение пород приведет к высвобождению в свободную фазу всех содержащихся в них газов.

Это послужило основой комплексирования при газогеохимических исследованиях водной гелий-аргоновой съемки с изучением углеводородных компонентов водорастворенных и сорбированных газов. Опытные-методические работы, проведенные в пределах затопленного рудника БКРУ-3 и шахтного поля БКРУ-4, показали, что приповерхностный газовый фон достаточно чутко отражает наличие зон повышенной проницаемости надсолевой части разреза и активизацию процессов вертикального массопереноса газовых компонентов, образующихся за счет выщелачивания соляной толщи [4]. Вместе с тем, несмотря на полученные результаты, свидетельствующие о принципиальной возможности использования различных модификаций газовой съемки для уточнения особенностей строения водозащитной толщи и характера ее техногенной трансформации, внедрение этих методов в комплекс производственных геолого-геофизических исследований на Верхнекамском месторождении не произошло. Во многом это было обусловлено высокой трудоемкостью и затратами на реализацию предложенной методики газогеохимических исследований — необходимостью бурения специальных скважин до вскрытия выдержанных водоносных горизонтов, применения специальных герметизированных пробоотборников для отбора проб водорастворенного газа, масс-спектрометрического определения изотопного состава аргона, хроматографического определения состава сорбированных и водорастворенных газов. Кроме того, определенные трудности возникали с выделением «полезного сигнала» (миграционных газов) на фоне сингенетического газового фона приповерхностной части разреза.

Очередной всплеск интереса к возможному использованию газогеохимических методов на ВКМКС относится к 2006 г. и связан с затоплением рудника БКПРУ-1, когда стала ясна необходимость дальнейшего совершенствования

методов контроля за состоянием геологической среды с целью выявления ранних признаков нарушения ВЗТ. Этому способствовала и положительная апробация на территории Пермского Прикамья газоанализатора Escoprobe-5 (производство фирмы RS DINAMICS Ltd, Чехия), позволяющего производить экспресс-анализ состава подпочвенного газа [1]. Сочетание в данном приборе фотоионизационного (ФИД) и инфракрасного (ИК) детекторов позволяет фиксировать в откачиваемых из шпуров или скважин газах концентрацию метана, диоксида углерода, суммарного содержания углеводородов C_1-C_5 (чувствительность 20 ppm) и летучих органических соединений ЛОС (чувствительность 0,0001 ppm) [8]. Высокая аналитическая точность данного прибора в фиксации микроконцентраций газов и возможность получения информации непосредственно в полевых условиях (позволяет в случае необходимости корректировать сеть опробования) делают его использование весьма эффективным. Проведенными опытными-методическими исследованиями установлено, что рассеянные (подпочвенный воздух) и сорбированные газы в приповерхностной части разреза формируют территориально сопряженные генетически связанные аномалии, отражающие поступление миграционных компонентов. При этом компоненты подпочвенного газа относительно слабо связаны с минеральной матрицей почвогрунтов и характеризуют «свежее» поступление миграционных соединений, в то время как сорбированные в почвогрунтах газы отражают кумулятивный эффект их накопления за длительный период [1, 2].

При газогеохимических исследованиях в районе аварийной ситуации на БКПРУ-1 в качестве основного параметра, отражающего процессы выщелачивания соленосной толщи, был принят метан, являющийся основным компонентом связанных газов данных отложений и обладающий наиболее высокой миграционной способностью. Контрольное опробование участков, удаленных от зоны аварийной ситуации, показало, что средние фоновые концентрации метана в составе подпочвенного воздуха редко превышают 400 ppm (0,04 %).

Результаты проведенных исследований показали, что выщелачивание солей, результатом которого явилось образование провальной воронки в месте нарушения ВЗТ, привело к высвобождению столь значительного количества газов, что содержание метана в подпочвенном

воздухе возросло в данном районе до 2–6 % (3 130–41 450 мг/м³), а в сорбированных в почвогрунтах газах – до 7,5–20,6 % (рис. 1).

Формирование в почвенном покрове за относительно короткий период (4–5 мес.) столь высококонтрастной газовой аномалии свидетельствует, что наиболее реальным механизмом восходящей миграции высвобождающихся при растворении солей газов является струйный массоперенос в виде микропузырьков по системе взаимосвязанных пор и трещин, что снижает масштабы их растворения в подземных водах.

Эффективность предложенной методики газогеохимического контроля за процессами техногенеза в геологической среде ВКМКС получила дополнительную апробацию при выяснении генезиса поверхностных газопроявлений в р. Зырянка, зафиксированных в феврале 2009 г. на удалении около 1 км от образовавшейся в зоне аварии провальной воронки. Проведенное с помощью экспресс-газоанализатора Есorprobe-5 обследование данного района показало наличие зоны природной трещиноватости, по которой осуществлялась разгрузка скопившейся в надсолевой части разреза газо-

воздушной смеси в процессе восстановления сформировавшейся при затоплении рудника депрессионной воронки [3].

Газогеохимическое опробование подработанной территории шахтных полей ВКМКС, проведенное в последующий период, показало, что в условиях сохранности водозащитной толщи основным фактором, приводящим к поступлению углеводородных газов в приповерхностную часть разреза, являются процессы деформации подрабатываемого породного массива. Формирующийся над выработанным пространством приповерхностный углеводородный фон носит мозаичный характер, что отражает различную степень проницаемости зон техногенной трещиноватости деформируемого надсолевого массива пород, контролирующей интенсивность массопереноса высвобождающихся газов. Зафиксировано, что наиболее активно восходящая миграция газов происходит по зонам, приуроченным к краевым частям мульд оседаний над выработанным пространством [3]. Это приводит к тому, что на этих участках в почвенном покрове формируются относительно стабильные

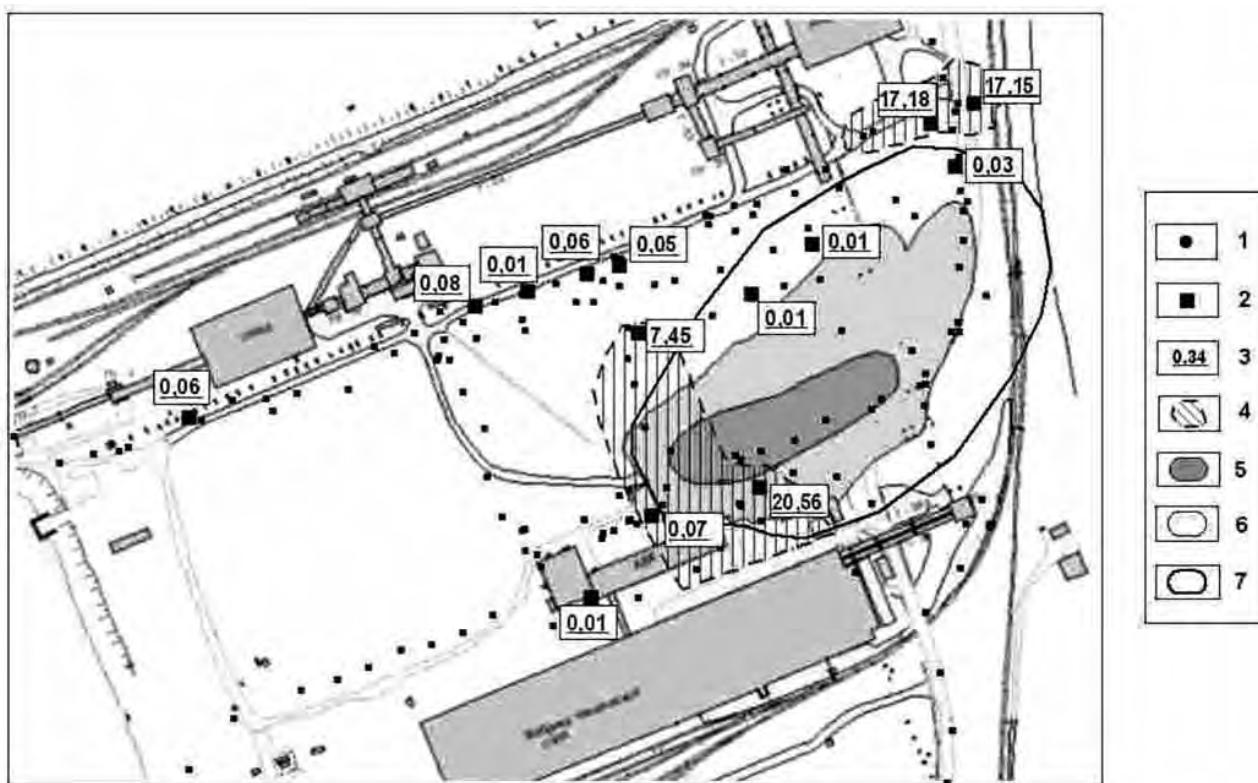
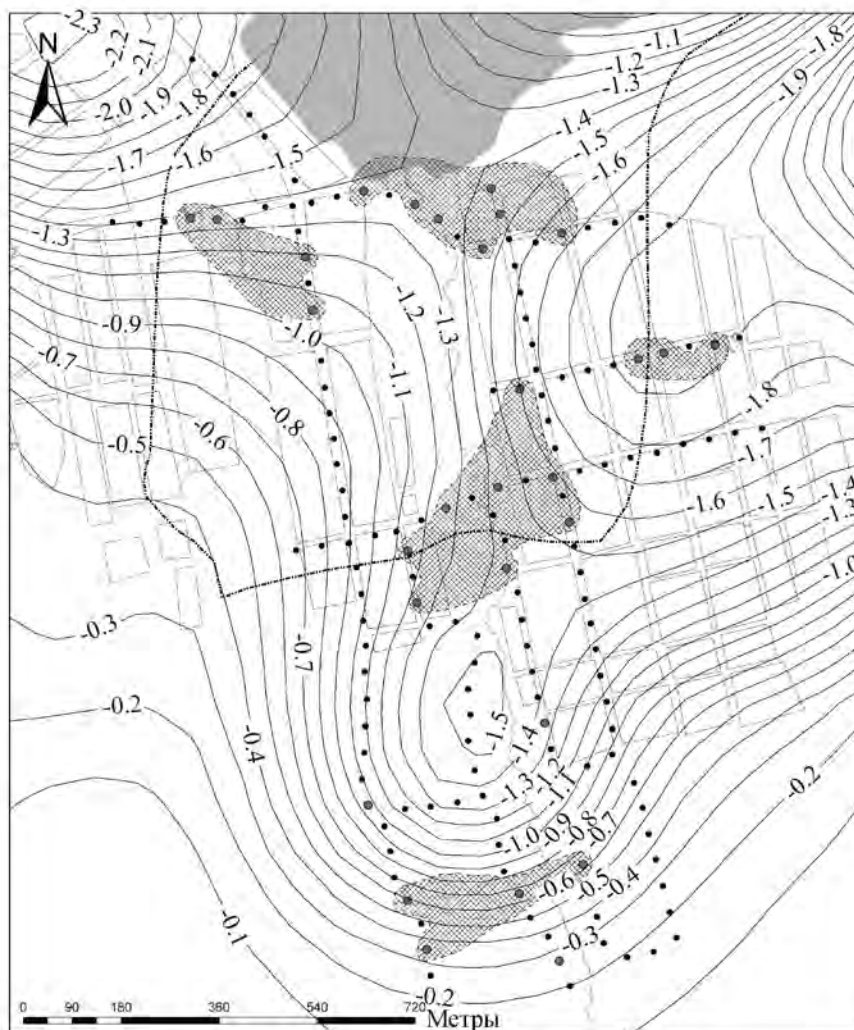


Рис. 1. Результаты газогеохимического опробования района аварийной ситуации на БКПРУ-1. Пункты: 1 – опробования подпочвенного воздуха; 2 – отбора проб почвогрунтов; 3 – содержание метана в составе сорбированных газов, об. %; 4 – зоны стабильно повышенного содержания метана в подпочвенном воздухе; контуры провальной воронки на: 5 – 28.08.07 г., 6 – 27.09.07 г.; 7 – 17.01.08 г.

локальные очаги повышенных концентраций углеводородных газов (рис. 2).

Вместе с тем результаты мониторинговых газогеохимических наблюдений свидетельствуют о пульсационном характере газового «дыхания» недр, что обуславливает значительную временную изменчивость приповерхностного газового фона. Появление повышенных концентраций углеводородных компонентов в подпочвенном воздухе, превышающих фоновые значения, фиксируется лишь в отдельные кратковременные периоды (рис. 3). Четких временных зако-

номерностей в изменении содержания углеводородных газов в приповерхностном газовом фоне не выявлено. По всей видимости, интенсивность поступления их в приповерхностную часть разреза контролируется характером происходящих в породном массиве деформационных процессов, определяющих как масштабы высвобождения связанных газов, так и степень раскрытости и флюидопроницаемости зон природно-техногенной трещиноватости. Влияние экзогенных факторов на приповерхностный газовый фон незначительно: наибольшая



Условные обозначения:

- | | | | |
|---|--|-----------|---------------------------------------|
| — | изолинии оседаний земной поверхности, зафиксированные в 2009 г. | ■ | условные контуры газовых аномалий |
| • | пикеты газогеохимического опробования | — — — | Предполагаемые контуры газовых шапок: |
| • | пикеты с относительно стабильным повышенным содержанием метана в составе подпочвенного воздуха | — — — — | пласта В |
| | | — · — · — | пласта КрII |

Рис. 2. Характер приповерхностного газового фона в районе мульды оседания над выработанным пространством рудника БКПРУ-1.

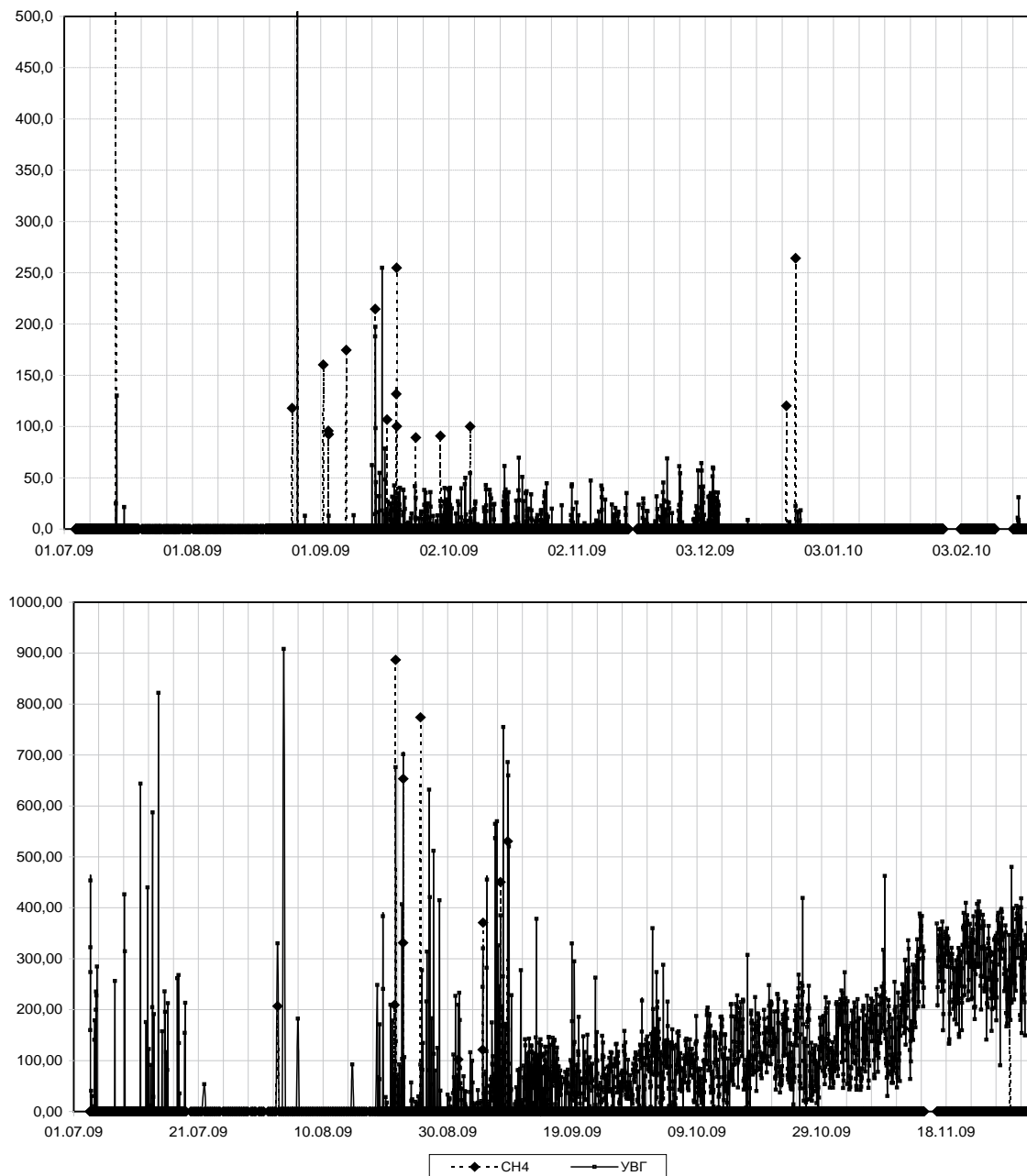


Рис. 3. Динамика изменения концентраций углеводородных компонентов в составе подпочвенного воздуха (по данным станций автоматизированного мониторинга).

изменчивость характерна для содержания в рассеянных газах диоксида углерода, что связано со снижением активности жизнедеятельности почвенной микрофлоры в зимний период; влияние этого фактора на концентрацию углеводородов менее существенно.

Основная часть поступающих в приповерхностную часть разреза миграционных углеводородов сорбируется почвенным покровом и выводится из свободного газообмена с приповерхностными слоями атмосферы. Это подтверждается опробованием наблюдательных скважин-шпуров, дающих возможность оцен-

ки масштабов накопления углеводородов за месячный период: появление метана и его гомологов в свободной фазе подпочвенного газа зафиксировано лишь эпизодически, а их концентрации не превышали 455–630 ppm (0,045–0,063 %). Отсутствие значительного высвобождения газов из почвогрунтов подтверждается и результатами опробования подвальных помещений зданий, расположенных на подработанной территории: из 607 опробованных подвальных помещений в пределах застройки г. Березники присутствие метана в воздухе (102–640 ppm) зафиксировано только в 49 зда-

ниях, причем во многих случаях не исключаются бытовые источники его появления.

Положительные результаты апробации методики газогеохимических исследований с использованием экспресс-газоанализатора Ecorobe-5 послужили основой для разработки программы газогеохимического мониторинга, направленной на предотвращение негативных последствий техногенной аварии, вызванной затоплением рудника БКПРУ-1. Основными объектами данного контроля определены

участки застроенной территории шахтного поля, где в затопленном выработанном пространстве прогнозируется возможность формирования газоздушных шапок. Согласно расчетным данным, растворение соляных пород приведет к формированию непосредственно под городской застройкой трех газоздушных скоплений объемом около 1,5 млн м³, давление в которых может достигнуть 2,0 МПа. Суммарное содержание горючих газов в данных скоплениях оценивается в 38 %, что значительно

превышает взрывоопасные концентрации. Учитывая, что при развитии во времени процессов сдвижения подработанного массива возможно нарушение перекрывающей водозащитной толщи, не исключается вероятность поступления горючих газов в приповерхностную часть разреза и их накопление в подвальных помещениях. Для контроля за данными процессами предусмотрено ежемесячное газогеохимическое опробование профилей, пересекающих районы предполагаемого образования газоздушных шапок (рис. 4).

Кроме того, в систему мониторинга включены стационарные пункты наблюдений, представленные неглубокими скважинами и предназначенные для контроля масштабов выделения углеводородных газов из почвогрунтов в свободную фазу. Ряд из них оборудован станциями автоматизированного контроля, разработанными фирмой RS DINAMICS Ltd на базе газоанализаторов Ecorobe-5, позволяющими производить с заданной периодичностью автоматизированный анализ газа на содержание углеводородных компонентов и осуществлять дистанционную передачу получаемой информации в режиме реального времени на пункт обработки.



Рис. 4. Схема газогеохимического мониторинга за газоздушными скоплениями в горных выработках: 1 – предпологаемые контуры газовых шапок в продуктивных пластах В (1а) и Кр II (1б); 2 – профили газогеохимического опробования; 3 – станции автоматизированного газогеохимического мониторинга; 4 – наблюдательные скважины.

Принятая система газогеохимического мониторинга позволяет держать под контролем интенсивность «газового дыхания» недр и в случае выявления признаков поступления газов из продуктивной части разреза осуществлять дополнительные мероприятия по локализации очагов данных явлений и оценке их опасности для жизнедеятельности.

Другим направлением использования методики газогеохимического зондирования является контроль за освоением на территории ВКМКС подсолевых залежей углеводородов. Это становится особенно актуальным в связи с планируемой в ближайшей перспективе совместной отработки на ряде участков запасов калийных руд и нефти. Так, ОАО «Еврохим» ведется подготовка к вводу в эксплуатацию Палашерского участка, где часть планируемых к отработке запасов калийных руд территориально совмещена с контуром разрабатываемого нефтяного месторождения имени Архангельского.

Несмотря на значительный срок эксплуатации нефтяных месторождений на территории Соликамской впадины, в т.ч. в пределах Верхнекамского месторождения, однозначное мнение о характере проявления вертикальных ореолов рассеяния залежей углеводородов в соляной и надсолевой толщах отсутствует. Учитывая значительную мощность (500–700 м) присутствующей в разрезе данной территории нижнепермской галогенной формации, играющей роль регионального флюидоупора, некоторыми исследователями возможность проявления вертикальных ореолов рассеяния залежей углеводородов в калийных пластах и приповерхностной части разреза вообще ставится под сомнение. Вместе с тем имеются сведения о наличии в солях ВКМКС нефтепроявлений различной интенсивности, связываемых с палеоразгрузкой подсолевых флюидов, а некото-

рые исследователи объясняют этими процессами формирование в калийной залежи очагов газодинамических явлений, осложняющих ведение горных работ [5].

Результаты газогеохимического опробования Палашерского участка показали, что для контура нефтяного месторождения характерны более высокие концентрации углеводородных компонентов в рассеянных и сорбированных в почвогрунтах газах, чем для остальной территории (табл. 2).

Наиболее четко это прослеживается по сорбированным в почвогрунтах газам, в составе которых отмечается аномально высокое содержание метана и его гомологов (TU_{np}), особенно бутанов (C_4H_{10}) и пентанов (C_5H_{12}), что является характерным признаком ореолов рассеяния залежей углеводородов [6]. Как показывают результаты опробования, данные аномалии носят локальный («точечный») характер и имеют относительно незначительные размеры (рис. 5). Сопоставление результатов газогеохимических исследований с материалами геофизических работ свидетельствует о территориальном совпадении (или сопряжении) большинства аномалий нефтяного типа с выделенными зонами структурно-литологической неоднородности и разуплотнения соляной и надсолевой толщ.

Не останавливаясь на подробном обсуждении возможного механизма формирования аномалий «нефтяного» типа в приповерхностном газовом фоне, выскажем предположение, что они не столько отражают современное «дыхание» залежей углеводородов, сколько являются следствием разгрузки вертикальных ореолов рассеяния, сформировавшихся еще на стадии седиментации галогенной формации. Если принять данный механизм за основу, то данным аномалиям в соленосной части разреза будут соответствовать зоны эпигенетического преобразования пород, обусловленные взаи-

Таблица 2. Характеристика приповерхностного газового фона Палашерского участка ВКМКС⁴

Район	Подпочвенные газы, ppm		Сорбированные газы, 10 ⁻³ об. %			
	CH ₄	УВГ	CH ₄	TU _{np}	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂
Месторождение им. Архангельского	0–1 513 40,4	0–2 305 33,6	0–1 737 44,4	0–1,53 0,37	0–0,36 0,37	0–0,50 0,15
Остальная территория	0–308 15,1	0–163 10,5	0–1,5 0,17	0–0,47 0,10	0–0,04 0,01	0–0,34 0,08

⁴ Примечание: в числителе – пределы колебаний, в знаменателе – среднее значение.

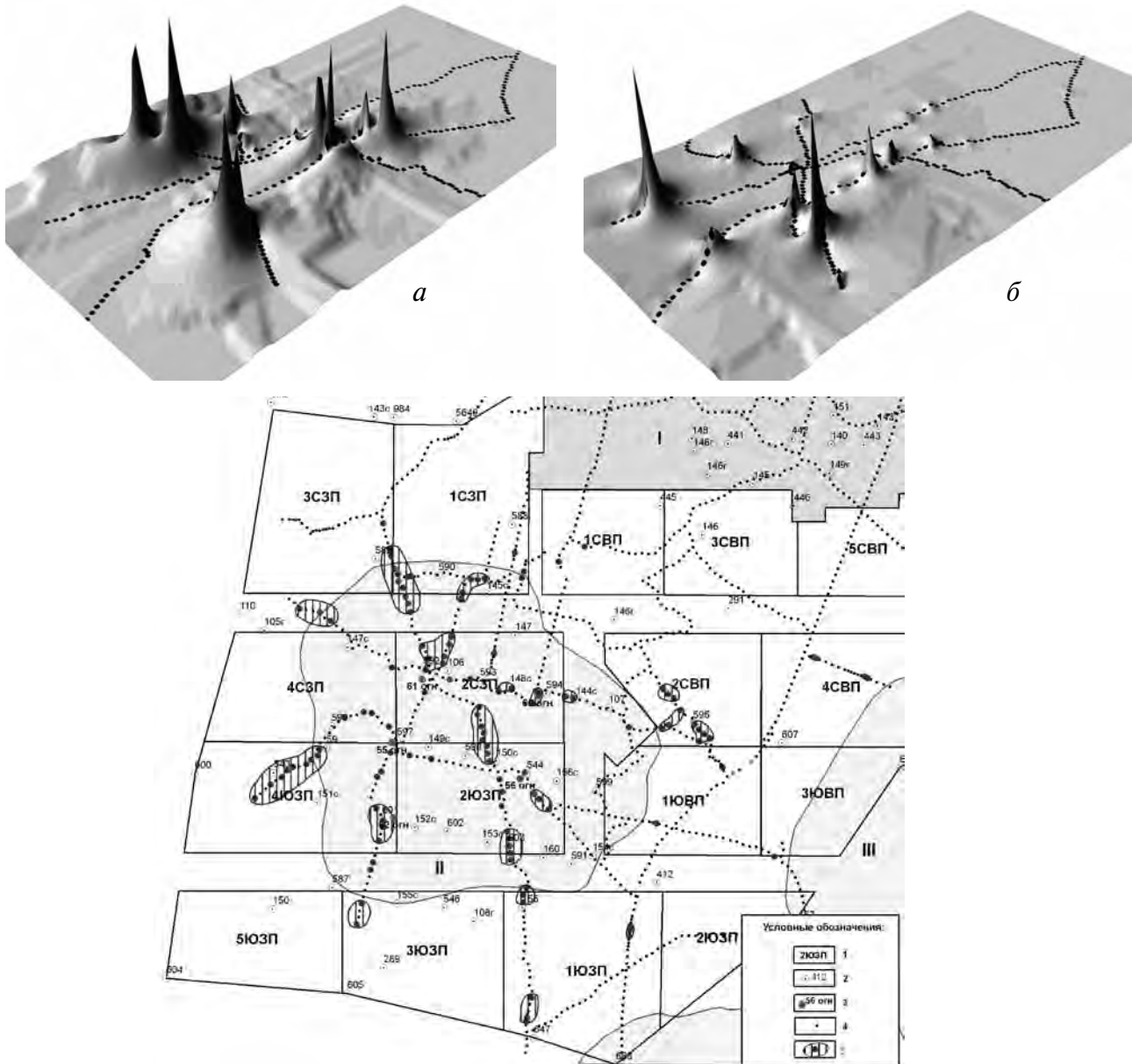


Рис. 5. Характер распределения углеводородных компонентов в рассеянных (а) и сорбированных (б) газах и результаты интерпретации газогеохимической съемки на нефтяном месторождении им. Архангельского: 1 – контуры панелей, проектируемых для подземной отработки калийных солей; 2 – солеразведочные скважины; 3 – нефтяные скважины; 4 – пикеты газогеохимического опробования; 5 – газовые аномалии, отражающие вертикальные ореолы рассеяния залежей углеводородов.

модействием с миграционными УВ из нижележащей части разреза, включая более высокую их газонасыщенность и присутствие нефтяных микровключений в минеральной матрице.

Реальность высказанного предположения подтверждается изучением соляного керна скважины в пределах контура нефтяного месторождения им. Архангельского, показавшим специфический состав рассеянных газов и органики. Основной особенностью состава газов является высокая степень их насыщен-

ности углеводородами, особенно гомологами метана (этан-пентан), суммарное содержание которых достигает 11,6 %, что значительно выше фоновых концентраций. Битумоиды керна (0,14–0,547 г/кг при фоне не более 0,05 г/кг) представлены преимущественно углеводородными соединениями. По данным хромато-масс-спектрологии, они имеют специфические особенности, характерные для нефтяной органики: набор n-алканов и характер их молекулярно-массового распределения

(приуроченность максимумов к C_{16} и C_{19}); набор изо-алканов с «нефтяным» типом замещений (монометилзамещенные ряда $C_{12}-C_{18}$); набор нафтеновых УВ, в котором доминируют гибридные метано-нафтеновые структуры циклопентанового и циклогексанового типа; обильная ароматика бензольного ряда. Приведенные данные свидетельствуют, что на формирование газов и органики соляной толщи существенное влияние оказали вертикальные ореолы рассеяния подсолевых нефтяных залежей, в связи с чем данные участки могут быть проблемными с позиций безопасного ведения горных работ. Не исключено, что в процессе разработки нефтяных залежей может произойти активизация вертикального массопереноса углеводородных газов по зонам трещиноватости в надпродуктивную часть разреза, что

обуславливает необходимость организации постоянного контроля за газовым «дыханием» недр.

Таким образом, результаты практической апробации методики газогеохимического зондирования на территории ВКМКС свидетельствуют, что данные методы могут выступать в качестве эффективного инструмента контроля за характером процессов техногенеза в геологической среде, обусловленных освоением калийных солей и подсолевых залежей углеводородов. Сочетание их с используемыми на Верхнекамском месторождении геофизическими методами позволит производить разбраковку выделяемых аномалий строения разреза, оценивать их возможную флюидопроницаемость и выявлять ранние признаки активизации вертикальных перетоков пластовых флюидов.

Литература

1. Бачурин Б.А. Теоретические и практические аспекты изучения «газового дыхания» недр // Стратегия и процессы освоения георесурсов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2008. – С. 12–15.
2. Бачурин Б.А., Борисов А.А. Газогеохимическое зондирование как метод контроля за развитием аварийной ситуации на БКПРУ-1 // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 4. – С. 371–378.
3. Бачурин Б.А., Борисов А.А., Глебов С.В. Газогеохимический мониторинг процессов техногенеза в геологической среде калийных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 6. – С. 126–132.
4. Информативность газогеохимических исследований при оценке состояния водозащитной толщи на Верхнекамском месторождении / Б.А. Бачурин, В.М. Новоселицкий, В.В. Таркашев и др. // Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений: межвуз. сб. науч. трудов. – Пермь: Перм. политех. ин-т., 1990. – С. 95–102.
5. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. – 429 с.
6. Оценка нефтегазоносности локальных объектов Приуралья по биогеохимическим критериям // А.А. Оборин, М.А. Шишкин, Б.А. Бачурин и др. – Свердловск: УрО АН СССР, 1988. – 124 с.
7. Уткин В.И. Газовое дыхание недр // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – № 2. – С. 57–64.
8. Blaha G., Retief E. New method and instrumentation for the soil contamination survey (basic introduction) – <http://www.rsdynamics.com>.

ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ЗАПИСИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ИЗ ОЗЕРА КОТОКЕЛЬ¹

Кузьмин М.И., Безрукова Е.В., Кострова С.С.²

В статье рассматриваются итоги работ на озере Котокель, которые начинались с поддержки регионального гранта № 08-05-98108. В настоящее время работами на озере Котокель заинтересовались немецкие коллеги из Свободного Университета г. Берлин. Осадочные разрезы, полученные из озера Котокель, характеризуются высоким разрешением. Большое количество абсолютных определений позволяет детально рассмотреть палеоклиматические записи, которые характеризуют изменение климата и окружающей среды Байкальского региона. Важно то, что изменение климата в регионе согласуется с изменением климата в Атлантике, а также с муссонами Тихого океана. Мы считаем, что осадочная летопись оз. Котокель может рассматриваться как модельная для Центральной и Восточной Азии.

Ключевые слова: палеолимнология, растительный ландшафт, палеоклимат, тундра, степь.

The article considers the final results of investigations on Kotokel Lake which started from the regional support (grant № 08-05-98108). Quite recently the scientists from Free University of Berlin have become interested in these studies. The sedimentary records obtained from Kotokel lake demonstrate high resolution. A great number of absolute determinations helped in thorough studies of the paleoclimatic records which show the changes of the environment and climate in the Lake Baikal region. It should be noted that the changes of the climate in the region well agree with those in the Atlantic, as well as with monsoons of the Pacific Ocean. We consider that the sedimentary record from Lake Kotokel can be regarded as the model for the Central and East Asia.

Keywords: paleolimnology, vegetative landscape, paleoclimate, tundra, steppe.

В 90-х гг. прошлого столетия была выполнена программа «Байкал-бурение», которая позволила провести бурение пяти кустов скважин, самая глубокая – 600 метров, которая вскрыла разрез около 8 млн лет. Изучение природной среды последних 50 000 лет, охватывающее

три морских кислородных стадии (МИС 1–3), свидетельствует о ее глубоких изменениях. В этот период времени в климатической системе Земли имели место холодные и нестабильные интерстадиальные условия МИС 3 ~59–29(30) тыс. л. н., суровые – ледникового

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области (грант № 12-05-98088).

² Кузьмин Михаил Иванович, академик, доктор геолого-минералогических наук, советник РАН, г. Иркутск, e-mail: mikuzmin@igc.irk.ru.



Безрукова Елена Вячеславовна, доктор географических наук, главный научный сотрудник Института геохимии имени А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, e-mail: bezrukova@igc.irk.ru.



Кострова Светлана Сергеевна, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Института геохимии имени А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, e-mail: kostrova@igc.irk.ru.



периода МИС 2 ~29(30)–16(17) тыс. л. н., изменчивые условия переходного периода от оледенения к современному межледниковью, климатический оптимум голоцена. Реконструкция ландшафтов, климата, хронологии этих палеогеографических событий может стать ключом к пониманию закономерностей климата прошлого и созданию надежных прогнозных моделей природной среды. Для этой цели бассейн оз. Байкал является одним из наиболее перспективных регионов в Северном полушарии.

Изменения природной среды бассейна оз. Байкал на протяжении ледниково-межледникового интервала, включающего МИС 1–3, были реконструированы на основе комплексного изучения донных отложений оз. Байкал [1, 2, 3, 4]. Однако, сравнимых континентальных, особенно пыльцевых и диатомовых записей на юге. В Сибири для этого временного интервала до сих пор не было получено. Пыльцевые записи для МИС 1–3 из оз. Байкал показали, что лесотундровые, тундровые и степные ландшафты преобладали в МИС 3 [2, 4]. Ледниковый интервал из этих же записей, соответствующий МИС 2, характеризовался еще более значительным господством степной растительности. В переходный период от МИС 2 к МИС 1 снова расширялись площади лесотундровой растительности. Однако, возраст отложений VDP-99-1 имеет ряд допущений и базируется на сравнении в них пиков обилия диатомовых водорослей и содержания воды с соответствующими максимумами – минимумами в морской изотопно-кислородной шкале [2, 5]. Дополнительные трудности датирования создает и резервуарный эффект [6, 7]. В итоге проведение не только межрегиональных, но и внутрирегиональных корреляций палеоклиматических событий в записях из разных котловин самого озера Байкал тоже проблематично. Более надежные возрастные модели могут быть получены для торфяников, но возраст известных из них записей не превышает 16 000 лет [8]. Все это привело к необходимости поиска в регионе новых объектов для получения длительных, адекватно датированных, высоко-разрешающих записей природной среды.

Одним из объектов, отвечающим этим условиям могли стать осадочные разрезы оз. Котокель. В 2008 г. был получен грант регионального конкурса (№ 08-05-98108), направленный на исследование изменения окружающей среды и климата в Байкальском регионе на основе из-

учения вещественного состава осадочных разрезов глубоководных и малых скважин из озер Байкал, Хубсугул и Котокель. Исследование осадков Котокель оказалось очень перспективным. Мы провели несколько рабочих встреч с сотрудниками Свободного Университета в Берлине, которые также получили грант для работ на Котокеле. Наконец в 2012 г. от руководства международного проекта ВНАР (Baikal-Hokkaido Archeology Project) нам презентовали систему бурового оборудования для работы на малых озерах, которое мы получим в октябре-ноябре этого года.

В настоящей статье мы осветим некоторые основные результаты, которые получены нами совместно с немецкими коллегами, отметив, что все успехи по работе на озере Котокель начались с регионального гранта РФФИ.

В настоящее время получены результаты по изменению климата за 47 тыс. лет, охватывающие три морских кислородных стадии (МИС 1–МИС 3), подробное описание по этому возрастному интервалу приведено в статье [9]. Очень важны, конечно, детальные записи по изменению природной среды и климата в голоцене, так как результаты по этому возрастному отрезку позволяют оценить изменения климата в ближайшем будущем. Котокельская запись этого временного отрезка рассмотрена в статье [10]. В настоящей публикации приведены основные положения и выводы их этой статьи.

Характеристика района исследований

Озеро Котокель (458 м над у.м.) находится в двух км к востоку от берега оз. Байкал (рис. 1) и отделено от него горами. Длина озера Котокель составляет почти 15 км, ширина около 5 км, и средняя глубина воды в озере равна 5–6 м (максимальная ~15 м). Сток озерных вод в Байкал осуществляется на севере озера Котокель через реки Исток и Турка.

Климат района континентальный, с холодной зимой и умеренно-теплым летом. Средняя температура января составляет около -20°C , июля – $+16^{\circ}\text{C}$, среднегодовая сумма атмосферных осадков в котловине – около 400 мм. Господствующим направлением переноса воздушных масс в течение года остается западное. Циклоны приносят с юго-востока теплый и влажный воздух и вызывают сильные дожди.

Современная растительность побережья и котловины оз. Котокель представлена бореаль-

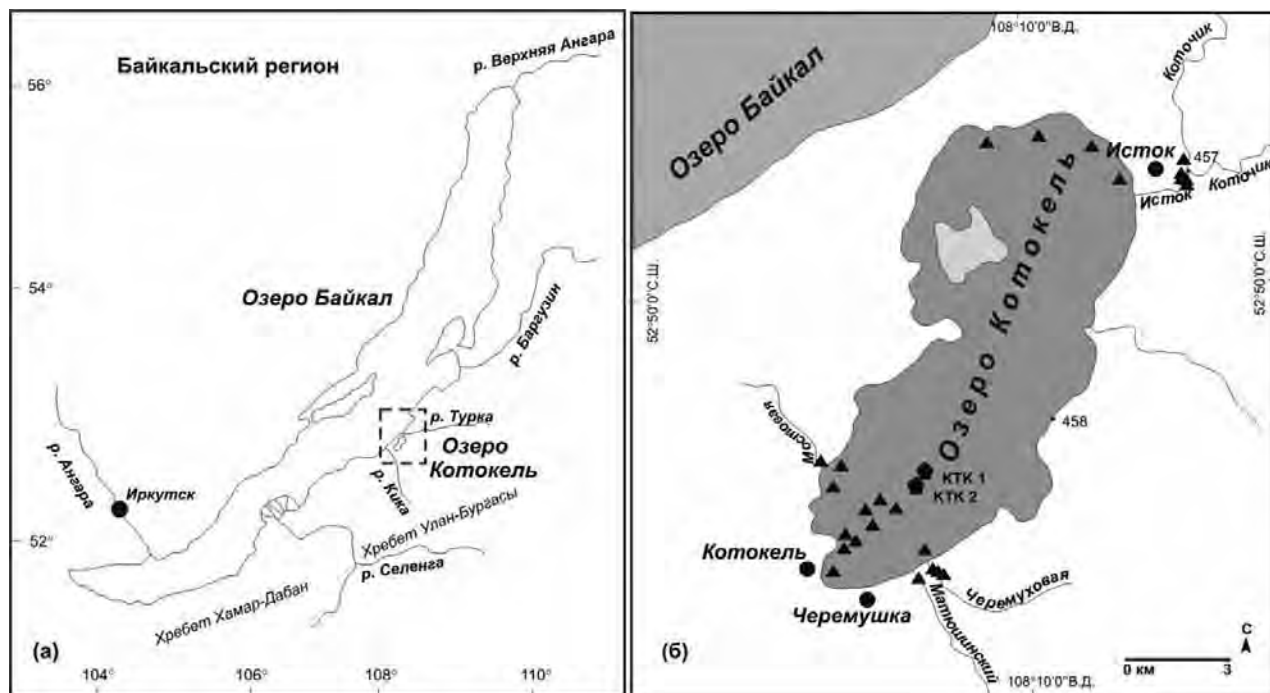


Рис. 1. Схема района исследований: (а) Байкальский регион; (б) озеро Котокель.

ными хвойными и лиственными лесами. В составе локальных сообществ побережья озера Котокель распространена прибрежно-водная растительность. Заболоченные участки покрыты злаками. Березка кустарниковая, багульник болотный, клюква занимают нижний ярус между вторым береговым валом и заболоченными участками.

Материалы и методы

Бурение. Летом 2004 г. на глубине около 4 м была вскрыта верхняя толща озерных осадков (скв. Ktk-1). Для бурения использовался ручной бур Livingston-type piston corer. Полученный керн имел ненарушенную структуру. Верхние 470 см осадков представлены темным илом. Ниже, примерно 470–700 см залегает более плотный и светлый по сравнению с вышележащим слоем ил. Слой в интервале 700–900 см образован иловатыми глинами. Этот керн использовался для исследований последних 15 000 лет, главным образом для голоцена.

Керн Ktk-2 был получен летом 2005 г. в центральной части южной котловины оз. Котокель (52°47' с.ш., 108°07' в.д.) на глубине воды около 3,5 м. Фактическая длина керна составила 12,5 м (рис. 2). В стратиграфическом разрезе интервал 0–640 см представлен коричневаточерным илом, который ниже, в интервале 640–

690 см, сменяется слабо слоистой, иловатой, почти черной глиной. Этот слой до глубины 1 020 см подстилается серой иловатой глиной с заметной слоистостью, переходя в слой иловатой, темно-серой/серой глины.

Датирование. Из керна Ktk-1 было получено три AMS ^{14}C даты: $6\,070 \pm 60$, $10\,680 \pm 40$ и $11\,670 \pm 60$ лет назад. Значения радиоуглеродного возраста приведены в соответствие с калибровочным возрастом с использованием программы CalPal [11]. Построенная по трем датам возрастная модель, предполагает непрерывную аккумуляцию осадков, что подтверждается и литологией отложений. На этой модели основана хронология изменений растительности и климата за последние 15 000 лет.

Одиннадцать возрастных определений методом AMS ^{14}C было получено из керна Ktk-2. Определения выполнялись в Центре датирования г. Познань (Польша). Калиброванный возраст отложений рассчитан в программе CalPal [11]. Полученная возрастная модель (рис. 2) представляет линейную регрессию, предполагая ненарушенный характер отложений.

Пыльцевой анализ. Для пыльцевого анализа из керна Ktk-1 было отобрано 130 образцов объемом $1,5\text{ см}^3$ влажного осадка. Экстракция пыльцевых зерен и спор проведена по стандартной методике [12]. Процентное соотношение пыльцевых таксонов рассчитывалось от

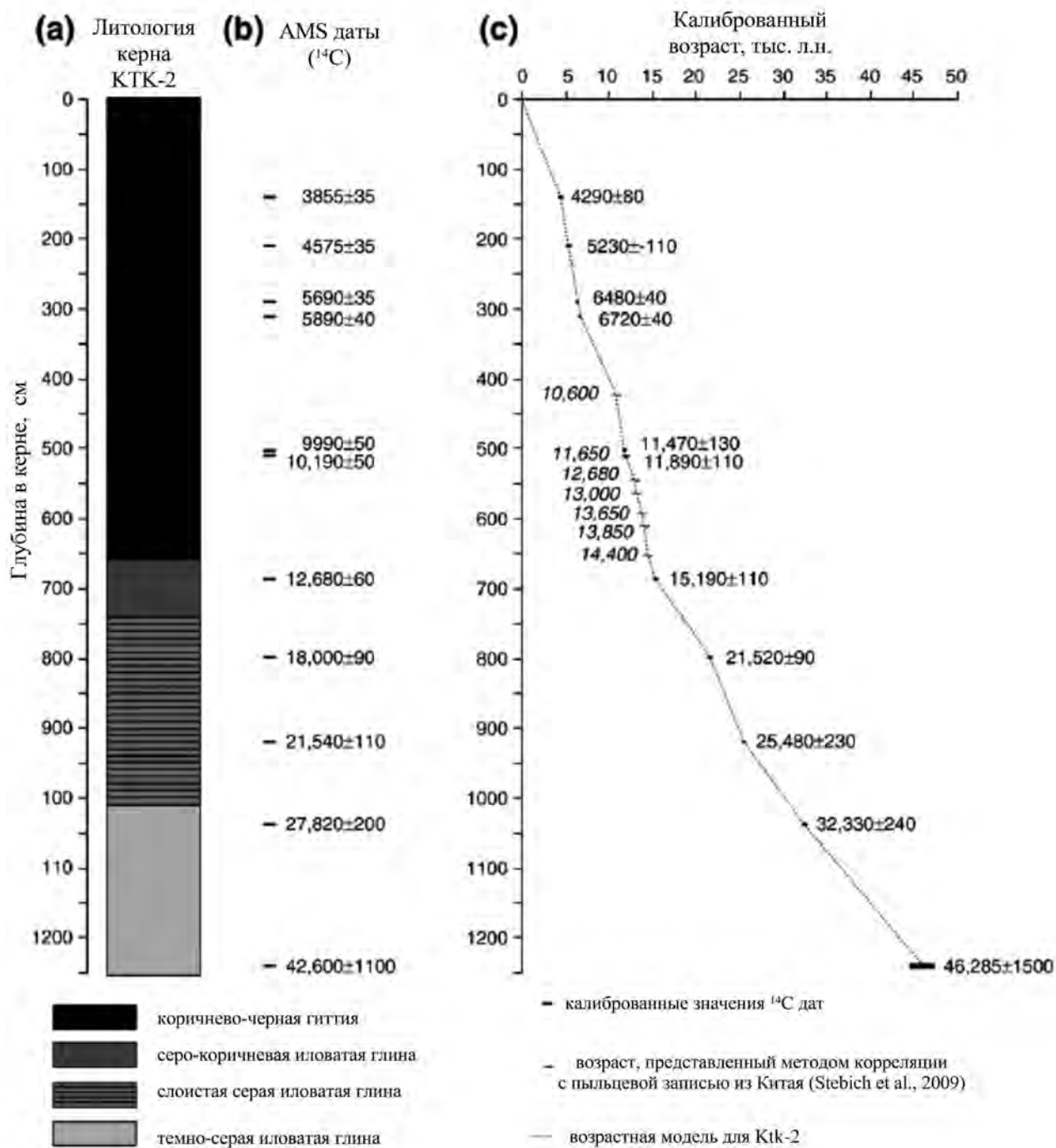


Рис. 2. Литология (а), радиоуглеродные даты (b) и возрастная модель керна Ktk-2 из донных отложений оз. Котокель (с).

суммы всех пыльцевых зерен. Относительное обилие пыльцы гигрофитов и спор подсчитано от общей суммы всей пыльцы и спор. С учетом изменений в пылевой стратиграфии выделено шесть локальных пыльцевых зон. Расчет возраста границ пыльцевых зон и палинологически изученных уровней в керне проведен методом интерполяции между датированными горизонтами. Полученная возрастная модель, на которой дана хронология изменения окру-

жающей среды и климата принята за основу интерпретации полученных результатов за последние 15 000 лет.

При опробовании керна Ktk-2 он был разрезан на слои, толщиной в 2 см, которые затем были упакованы в пластиковые пакеты на молниях и помещены на хранение в специальные холодильные камеры. Для пыльцевого анализа был отобран 1 см³ влажного осадка из каждого 5–6 см. Такой интервал опробования соот-

ветствует среднему временному разрешению ~220 лет.

Экстракция пыльцевых зерен и спор проведена по стандартной методике. Пыльца и споры определялись при увеличении 400× и 1000× с использованием опубликованных определителей и коллекции современных пыльцы и спор Института Земной коры. Сохранность пыльцевых зерен была хорошей, а высокая насыщенность отложений пыльцой позволила насчитывать 300–1800 зерен пыльцы наземных растений с одного стандартного слайда. Процентное соотношение пыльцевых таксонов рассчитывалось от суммы всех пыльцевых зерен, исключая споры папоротников, плаунов, хвощей. Их относительное обилие подсчитано от общей суммы всей пыльцы и спор. Возраст границ пыльцевых зон в керне определен методом интерполяции между датированными горизонтами. Приведенный метод пыльцевого анализа использовался при интерпретации результатов скв. Ktk-2.

Диатомовый анализ керна Ktk-2 проведен с шагом в 10 см. Экстракция створок диатомей проводилась по стандартной методике. Подсчитано общее содержание диатомей в осадках, определен их видовой состав, численность каждого вида (в млн створок на 1 г воздушно-сухого осадка), процентное соотношение в комплексах створок диатомей планктона и микрофитобентоса. Образцы были достаточно насыщены створками диатомовых водорослей, подсчет 400–600 створок проводился в 10 трансектах на слайде.

Изотопный анализ диатомей. Для определения изотопного состава предварительно проводилось выделение створок диатомовых водорослей и осадка. Извлечение проводилось с помощью с помощью многостадийной методики, разработанной в ИГХ СО РАН. Степень чистоты полученных препаратов оценена с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и энерго-дисперсионной спектроскопии (ЭДС). Анализ выполнен на сканирующем электронном микроскопе ZEISS ULTRA 55, снабженном энерго-дисперсионной системой и детектором Ultra Dry SDD, в Германском научно-исследовательском центре геологических наук (GFZ), Потсдам. Разложение створок диатомовых водорослей для изотопно-

го анализа проводилось с помощью лазера в атмосфере BrF_3 после предварительной дегидратации образцов в потоке инертного газа (He) при температуре 100 °С. Определение $\delta^{18}\text{O}$ осуществлялось на масс-спектрометре PDZ Europa 2020 (Изотопная лаборатория Института полярных и морских исследований Альфреда Вегенера (АВИ), Потсдам, Германия). Ошибка определения $\delta^{18}\text{O}$ (1σ) оценивается величиной $\pm 0,25\%$.

Растительные ландшафты района озера Котокель в течении 47 тыс. лет. Палинологический анализ позволяет выделить восемь пыльцевых зон (рис. 3). Каргинскому интерстадиалу – МИС 3 (47 000–30 000 л. н.).

В нижней части зоны Ktk-2–8 широко распространена степная растительность. Постоянно высокое обилие пыльцы березового кустарника наряду с пыльцой пихты, вересковых кустарников свидетельствует о значительном участии растительности кустарниковых тундр. Повышение обилия пыльцы ели, ольховника и постоянное присутствие пыльцы лиственницы ~45 500–41 000 л. н. могло означать улучшение климатических условий, поддерживавших лесотундровую растительность, которая ассоциируется с относительно высоким почвенным увлажнением, скорее всего из-за таяния мерзлоты в летние сезоны [13].

Высокое обилие диатомовых водорослей, особенно диатомей планктонного и эпифитного комплекса, индицирует развитие довольно холодного, олиготрофно-мезотрофного водоема, с развитой литоральной зоной ~45 500–41 000 л. н.

Максимум ели в записи Ktk-2 может быть согласуется с межрегиональной корреляцией, которая показывает, что период относительно благоприятного климата способствовал развитию лиственничных ассоциаций ~41 750¹⁴С л. н. (~45 200 кал. л. н.³) в Индигирской низменности [14], формированию черноземовидной почвы в Западной Сибири [15], высокого обилия и видового разнообразия амев в отложениях на побережье моря Лаптевых [16].

Позднее, ~42 000–35 000 л. н. (Ktk-2–8) имело место расширение растительности степей и кустарниковых тундр, предполагая повышение континентальности климата. Резкое сокраще-

³ Кал. л. н. – калиброванных лет назад.

ние обилия диатомей, переход к почти полному господству эпифитного комплекса свидетельствует о наступлении фазы мелководного мезотрофного водоема.

В конце МИС 3, ~35 000–30 000 л. н., высокое обилие пыльцы лиственницы предполагает ее широкое распространение вблизи озера и/или даже ближе к точке бурения, возможно, из-за снижения уровня озера. Одновременное повышение обилия пыльцы растений открытых и сухих мест обитания означает господство степной растительности в резко континентальном, сухом и холодном климате. Очень низкая общая численность диатомей позволяет предполагать

снижение притока органического вещества в озеро из его водосборного бассейна в условиях похолодания, что подтверждается и сменой литологии отложений от иловатой, темно-серой или серой глины к серой иловатой глине с заметной слоистостью, свидетельствуя о меньшем поступлении органики в отложения озера. Более ранняя деградация диатомовой флоры в оз. Котокель по сравнению со временем сокращения лесной растительности объясняется гораздо более быстрой реакцией диатомовых на изменение климатических условий и находится в соответствии с наступлением самых суровых условий природной среды.

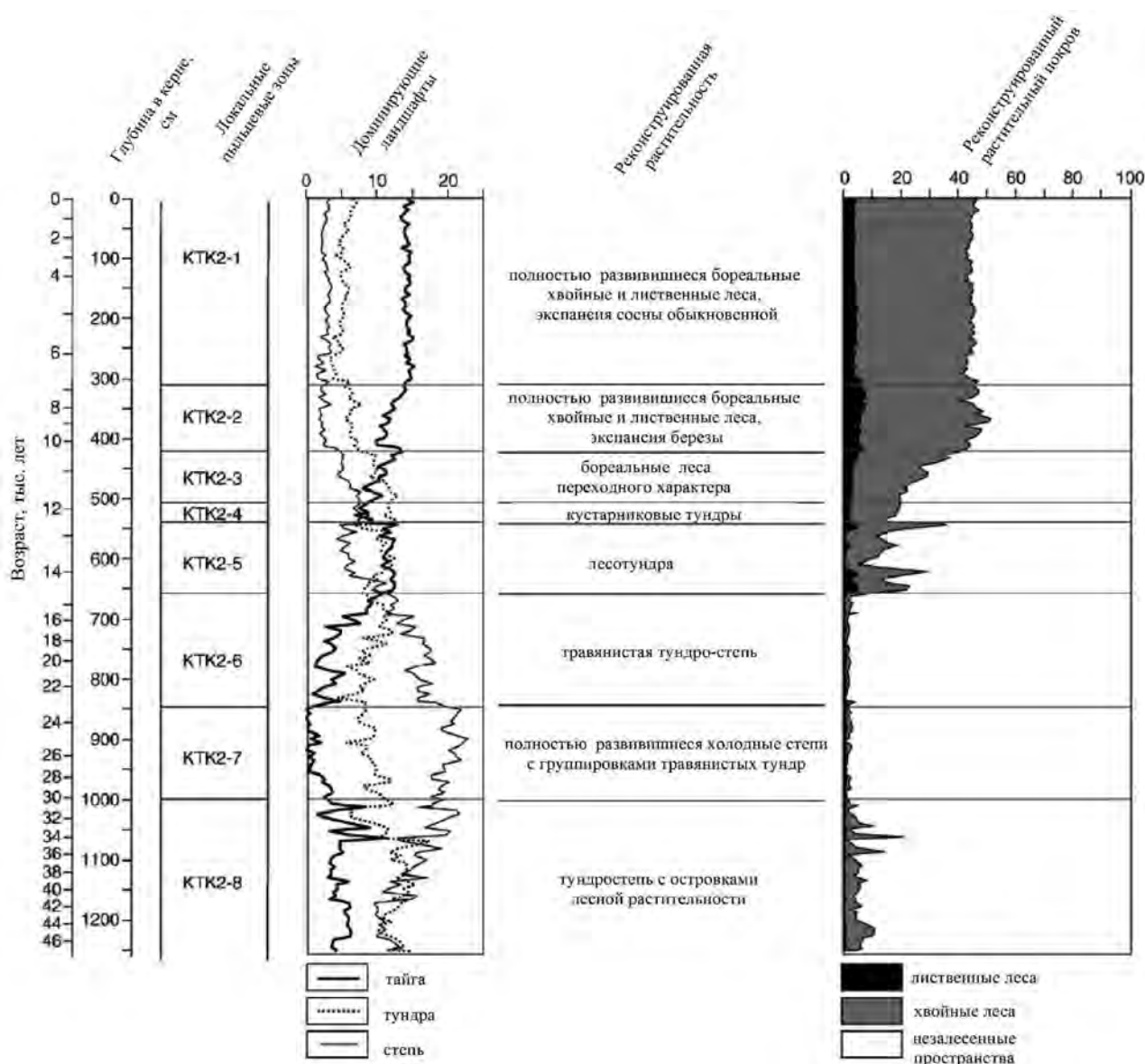


Рис. 3. Сравнение локальных пыльцевых зон в записи из отложений оз. Котокель с динамикой доминирующих ландшафтов за последние 47 тыс. лет, с качественной характеристикой растительности и количественной характеристикой растительного покрова в пространственном окне 21х21 км вокруг оз. Котокель.

Преимущественно степная растительность преобладала ~30 000–23 000 л. н. (Ktk-2–7). Реконструкция типов растительности подтверждает самое широкое распространение степных группировок за последние 47 000 лет. Отсутствие диатомей в слое серых глин предполагает очень суровые климатические условия ~31 500–25 000 л. н. Появление донного комплекса диатомей позднее ~25 000 л. н. свидетельствует о некотором их смягчении.

Повышенное обилие пыльцы ольхи и ивы в спектрах Ktk-2–6, ~23 000–14 700 л. н. могло быть связано с развитием локальных влажных группировок. Однако, отмечается высокое содержание пыльцы степной растительности. Реконструкция типов растительности демонстрирует постепенное сокращение степной и некоторое повышение лесной и тундровой растительности вслед за снижением объема глобального льда после максимум последнего оледенения (рис. 3). Этот временной интервал может рассматриваться как переходный от преимущественно безлесных ландшафтов к постепенному расширению лесотундровых ландшафтов. Состав диатомовой флоры свидетельствует о повышении воды в озере, происходившим неравномерно.

Высокое обилие пыльцы ели и пихты ~14 700–12 600 л. н. означает высокое почвенное увлажнение, возможно, из-за таяния мерзлоты в летние сезоны [13, 17]. Этот интервал расширения лесной растительности в котловине озера Котокель соответствует потеплению беллинг-аллеред ~14 700 л. н. Сокращение степных ландшафтов подтверждается и реконструкцией типов растительности. Однако, близкие значения лесных и тундровых типов свидетельствуют о развитии скорее лесотундровых ассоциаций, согласуясь с расширением лесной растительности в это время на всей территории бассейна оз. Байкал [18, 19, 20, 21], Горном Алтае [22], севере Монголии [7]. Высокая численность диатомей и сочетание планктонных и бентосных форм подтверждает дальнейшее повышение уровня воды в озере.

Сокращение лесной растительности и расширение ассоциаций кустарниковых тундр и степей имело место ~12 600–11 600 л. н. (Ktk-2–4). Столь значительный сдвиг в структуре ландшафтов был обусловлен стадийными условиями позднего дриаса [13, 23]. Похолодание не привело к исчезновению лесной растительности, но стало причиной значительного сокра-

щения ее площадей. Реконструкции количественных параметров климата позднего дриаса для бассейна оз. Байкал и оз. Котокель показали, что средние температуры июля могли быть на 2–4 °С, а средние температуры января – на 8 °С ниже современных значений, в то время, как средняя годовая сумма атмосферных осадков понижалась примерно на 100 мм [19, 23].

Низкая общая численность створок диатомей, господство видов характерных обитателям прибрежных мелководий олиготрофных озер, исчезновение планктонных диатомей и видов умеренно тепловодных предполагает развитие более мелководного и холодного водоема, чем в предыдущий период.

Растительные ландшафты и изменения климата в позднем ледниковье и голоцене (15 500–0 т. лет). В статье термины «древнейший дриас», «беллинг», «аллеред», «молодой дриас» использованы в климатостратиграфическом смысле, под ними подразумеваются климатические события, а не хроностратиграфические. Мы также оперируем термином «беллинг-аллеред», не разделяя эти два интерстадиала, в силу того, что, во-первых, настоящая запись не обеспечена достаточным количеством датировок; и, во-вторых, на данном этапе исследований не представляется возможным надежно выделить разделяющее их стадийное событие.

В разрезе скв. Ktk-1 выделено шесть пыльцевых зон, причем зона Ktk-6 и Ktk-1 разделены на две подзоны (а и б) [10]. Формирование спектров подзоны Ktk-1–6_б происходило в преимущественно минеральных, глинистых отложениях, с низким содержанием органики, около 15 500–14 700 л. н. Преобладание пыльцы травянистых растений и низкая насыщенность отложений пыльцой предполагает существование открытых ландшафтов с доминирующими разнотравно-марево-полынными степными группировками. Осоково-злаковые и ерниковые ассоциации могли формировать растительность заболоченных берегов озера, причем, болото должно было располагаться гораздо ближе к точке бурения, чем сегодня, поскольку пыльца осок, злаков – локальный элемент спектров и далеко не разносится [24]. Судя по высокому обилию пыльцы осок и злаков уровень воды в озере был существенно ниже современного. Сумма пыльцевых и литологических данных предполагает сухой и холодный климат, развитие многолетней мерзлоты, поддерживавшей тундровые и степные ландшафты (рис. 5).

Согласно возрастной модели отложений этот этап соответствует стадильному похолоданию терминации 1 древнейший дриас европейской климатостратиграфической шкалы.

В начале интерстадиального потепления беллинг-аллеред, ~14 700–14 300 л. н. (Ktk-1–6_a) в растительности котловины расширились ивовые и мезофитно-разнотравные группировки, свидетельствуя о некотором потеплении климата. На улучшение климатических условий указывают и результаты реконструкции типов

растительности, демонстрируя повышение роли лесных ландшафтов (рис. 5). Продолжающееся потепление, похоже, было настолько значительным, что способствовало быстрому расселению в котловине озера Котокель еловых и лиственничных лесов и появлению пихты в горном окружении котловины ~14 300–13 200 л. н. (Ktk-1–5). Устойчивый максимум пыльцы пихты сибирской может свидетельствовать о расширении пихтовых лесов, но, скорее всего, в пределах среднегорного пояса хр. Ха-

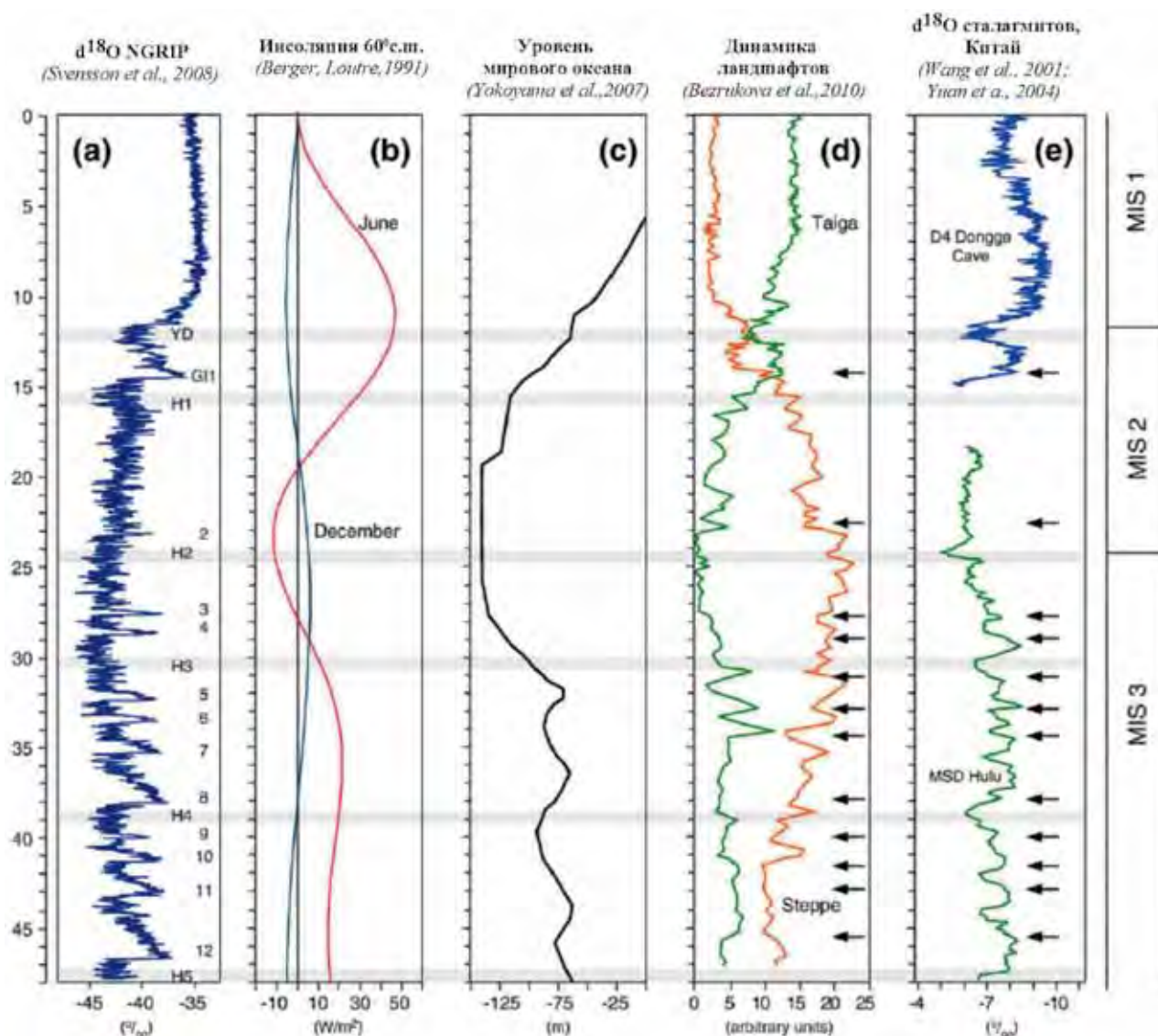


Рис. 4. Сравнение записи изменения $\delta^{18}O$ из ледовых кернов Гренландского щита, рассматриваемой как индикатор температуры воздуха в Северном полушарии (а) и записи $\delta^{18}O$ из сталагмитов пещер Китая (е), являющейся индикатором интенсивности тихоокеанского муссона, динамики поступления инсоляции в июне и декабре на 60 °с.ш. в Северном полушарии за последние 48 тыс. лет (b), изменения уровня мирового океана как индикатора объема глобального льда (с) с динамикой таежных и степных ландшафтов в Байкальском регионе, являющихся надежными маркерами палеоклимата (d). Стрелки относятся ко времени проявления гренландских интерстадиалов (G1–G12). Прямоугольники серого цвета обозначают позиции стадиала поздний дриас и событий Хайнриха (H1–H5).

мар-Дабан и хр. Улан-Бургасы. Вряд ли пихта спускалась близко к озеру. Но приближение границ ее ареала к котловине Котокеля могло способствовать заносу значительного количества ее пыльцы в осадках озера. Распространение темнохвойной растительности свидетельствует о глубоком улучшении климата, причем, если учесть распространение пихты, то должно было произойти повышение зимних температур и увеличение сумм атмосферных осадков, снижение общей континентальности климата. Аналогичное расширение лесной растительности началось в этот же время практически на всей территории бассейна оз. Байкал, Горном Алтае, севере Монголии. Похолодание внутри беллинг-аллереда ~13 300–13 400 л. н. (IACP) могло стать спусковым механизмом к процессу замещения еловых и пихтовых лесов кустарниковыми группировками из душекии, а затем из ерниковой березки (Ktk-1–4). Последовавшее за этим коротким, но сильным похолоданием потепление ~13 000 л. н., очевидно, не было столь интенсивным, чтобы способствовать возврату темнохвойной лесной растительности. Более того, наступление стадиальных условий позднего дриаса ~12 800–12 500 л. н. стало причиной широчайшего распространения в котловине озера сообществ кустарниковой березки, господство которых продолжалось почти до 11 700–11 300 л. н. Отчетливо проявившийся в это время небольшой максимум пыльцы полыни и постоянное присутствие пыльцы маревых поддерживает вывод о развитии степных ассоциаций на возвышенных и хорошо прогреваемых местах обитания в условиях низкого атмосферного увлажнения. Следует отметить, что похолодание обусловило расширение тундровой растительности и сокращение, но не исчезновение лесной растительности. Имеющиеся для южной котловины оз. Байкал реконструкции количественных параметров климата позднего дриаса показали, что средние температуры июля могли быть на 2–3 °С, а средние температуры января – на 8–10 °С ниже современных значений, в то время, как средняя годовая сумма атмосферных осадков понижалась примерно на 50–80 мм [19].

Наступление голоцена в Котокельской котловине ~11 700–11 300 л. н. характеризовалось быстрым сокращением тундровой и степной растительности, расселением лесной, представленной преимущественно березовыми лесами. Период господства березовых лесов продолжал-

ся почти до 7 200 л. н. (зона Ktk-1–2). Наиболее важным событием этого времени стало сильное сокращение ерниковых зарослей и усиление роли пихтовых лесов в горном окружении котловины. Такие изменения растительности могли быть обусловлены общим потеплением климата, связанной с ним деградацией мерзлоты, повышением уровня озера, затопившего ранее заболоченные прибрежные пространства. Период максимального распространения пихты между ~11 000–6 000 (7 000) л. н. в Сибири рассматривается как оптимум голоцена [8, 19, 25, 26]. Количественные реконструкции палеоклимата этого периода в бассейне Байкала предполагают, что летние температуры ~9 500–~6 000 л. н. приближались к современным значениям, зимние температуры могли быть на 3–4 °С выше, а значения средней годовой суммы атмосферных осадков, вероятно, превышали современные на 100–120 мм при значительно более высоком, чем современный, индексе влажности [19].

Оптимум голоцена ~11 000–7 000 л. н. (рис. 5) имел место и на всей территории Северной Евразии и обычно рассматривается как следствие высокой солнечной инсоляции, завершения распада Скандинавского ледникового щита и потеплением в северной Атлантике [27, 28, 29]. На севере Тибетского Плато климатический оптимум голоцена датируется от 8 000 до 5 000 л. н., характеризуется высоким эффективным почвенным увлажнением из-за таяния снега и ледников. Столь позднее проявление оптимума голоцена могло быть следствием запаздывания ответа океанических областей низких широт на пик инсоляции в высоких широтах 9 000–8 000 л. н. [30]. Оптимум голоцена на севере Центрального Китая также имел место ~10 000–7 000 л. н. и определялся как пик активности Восточно-Азиатского муссона с максимальными за голоцен значениями суммы атмосферных осадков летом [31].

Резкое повышение обилия пыльцы сосны в спектрах зоны Ktk-1–1 около 7 200 л. н. означает начало экспансии сосновых лесов в котловине озера (рис. 5). На протяжении последних 7 200 лет в Котокельской котловине доминировала лесная растительность, в составе которой сосна, лиственница и береза оставались основными таксонами. Начало экспансии сосны рассматривается как один из самых важных переходных периодов в голоцене во всем регионе. Переход к преобладанию в составе растительности Кото-

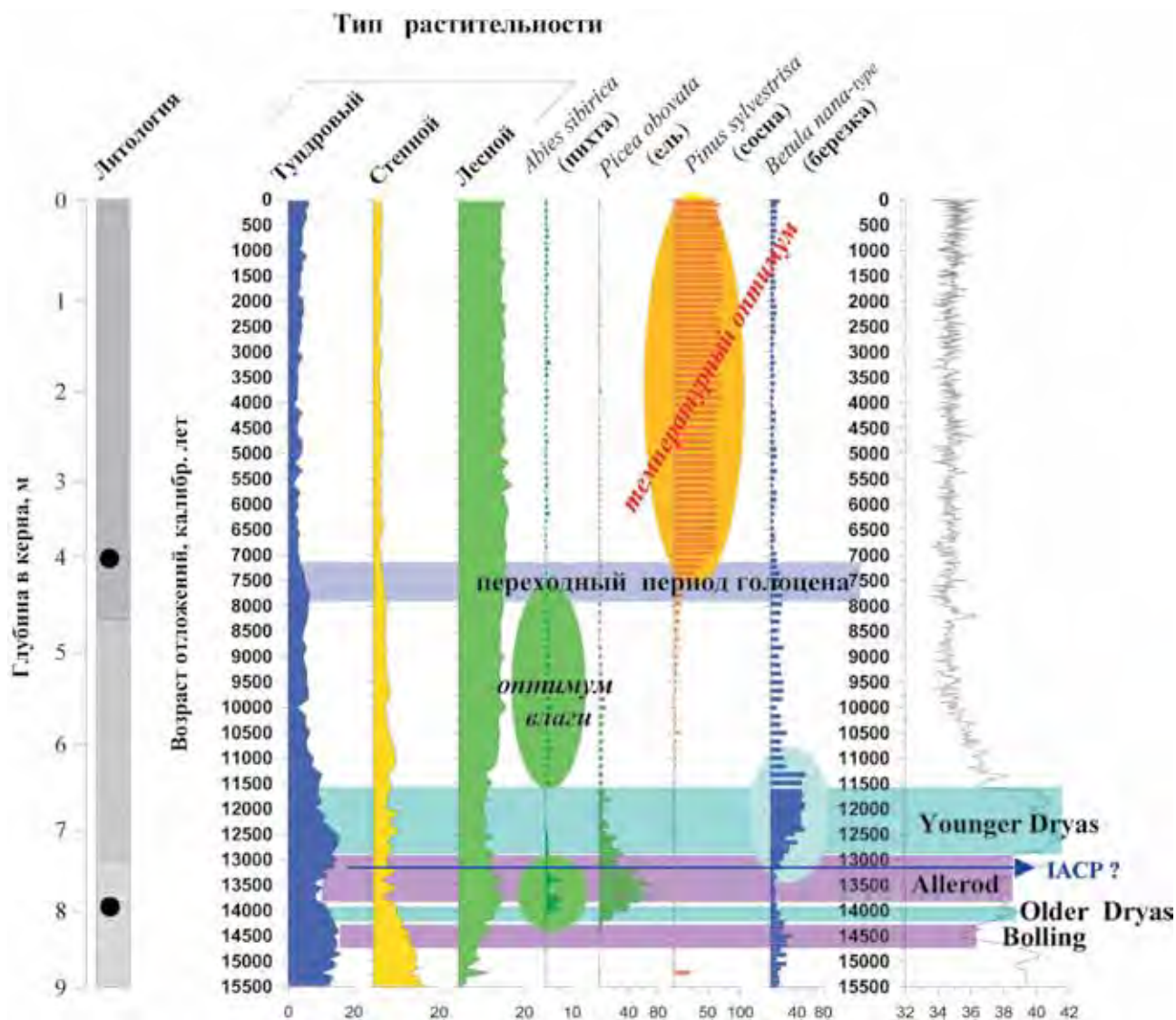


Рис. 5. Динамика типов растительности (ландшафтов) в бассейне оз. Котокель за последние 15,5 лет. Стадиально-интерстадиальные события позднего ледникового: Younger Dryas – поздний дриас, IACP – холодный период внутри аллереда, Allerod – аллеред, Older Dryas – древний дриас, Boelling – Беллинг. Вариации параметров палеоклимата в котловине озера Котокель в позднеледниковье и голоцене, реконструированы на основе пыльцевых записей с использованием метода лучших современных аналогов (BMA approach).

кельской впадины сосны и лиственницы совпадает с повышением континентальности климата бассейна оз. Байкал в целом [19].

Несмотря на почти абсолютное господство пыльцы сосны в отложениях, сформированных за последние ~7 200 лет, на пыльцевой диаграмме заметно, что в осадках озера, возраст которых моложе 2 500 лет, увеличилось обилие пыльцы лиственницы и сосны сибирской. В это же время заметно повысилось и значение кустарниковой березки, вероятно, вокруг самого озера. Особенно это оказалось заметным в поверхностном спектре изученных отложений. Сравнение записи Котокель с пыльцевыми за-

писями из оз. Байкал показывает, что аналогичное пыльцевое событие выделяется в записи Континент (Continent) и Посольская возвышенность (Posolskoe High) [18]. В пыльцевых спектрах из отложений этих кернов, сформированных после 2 500 л. н., заметно увеличилось обилие пыльцы лиственницы, полыни и разнотравья, характерного для заболоченных ландшафтов – злаков Poaceae и осок Cyperaceae. В терминах изменения климата это могло означать еще большее снижение атмосферного увлажнения и похолодание, особенно летом, что приводило к снижению испарения и заболачиванию дополнительных территорий.

Заключение

Реконструкция динамики смены растительности в бассейне оз. Котокель и нестабильности его уровня за >47 000-летний период свидетельствует о многократных перестройках природной среды. Для понимания возможных причин, контролировавших этот процесс, мы провели сравнение последовательности событий в записи Ktk-2 с последовательностью палеоклиматических событий в Северной Атлантике (рис. 4). Наиболее полно палеоклиматическая запись для Северного полушария, а следовательно, и для Северной Атлантики дает запись O^{18} из ледниковых кернов Гренландии (рис. 4). Из рисунка 4 можно видеть, что запись из кернов оз. Котокель согласуется с событиями Хайнриха, связанные с массовым выбросом арктического льда в Гольфстрим. Наконец, на рисунке 4, приведена палеоклиматическая запись по кораллам Китая, которая отмечает интенсивность муссонов в Тихом океане. Она также может быть скоррелирована с Котокельской записью динамики ландшафтов.

Таким образом, Котокельская климатическая запись по ее месту расположения и имеющемуся возрастному обеспечению является наиболее полной и может использоваться в качестве региональной модельной записи.

Согласно Гренландской ледовой записи (рис. 4) за последние 48 000 лет наиболее продолжительным было улучшение климатических условий ~47 000–41 000 л. н. (GI12), прерванное затем коротким ухудшением климата ~39 000 л. н. В бассейне оз. Котокель этому времени может соответствовать продолжительный период расширения еловых ассоциаций с максимумом ~45000–41000 л.н. и развитие планктонных диатомей. Самое значительное развитие лиственных ассоциаций и новое повышение уровня водного зеркала имели место ~34 000–32 000 л. н. и могли быть вызваны серией коротких потеплений GI7-5 при переходе от МИС3 к ледниковым в МИС2 (рис. 4). В целом, общая нестабильность климата северного полушария в МИС3, ~47 000–30 000 л. н. оказывала влияние на климат и растительность бассейна оз. Котокель, вызывая частые сдвиги в структуре ландшафтов, составе растительности, смене комплексов диатомовой флоры, а, значит, реорганизации экосистемы озера.

Наступление холодного и сухого климата оледенения МИС 2 привело к еще большему сокращению древесной растительности ~30 000–23 000 л. н. и максимальному снижению уровня озера и/или промерзанию водной толщи озера значительно более длительные зимние периоды ~31 000–25 000 л. н. Реконструкция продолжительности безледного периода на оз. Байкал в МИС 2 показывает, что при повышении аридности климата безледный период даже для такого огромного водоема мог сокращаться почти на два месяца [32]. Тем более, удлинение времени ледового покрова для значительно меньшего озера (Котокель) на два месяца или больше в сочетании с более короткими и менее теплыми летними периодами, резким ограничением притока питательных веществ с водосбора могло привести к возникновению неблагоприятных условий существования для диатомовой флоры в оз. Котокель.

В записи NGRIP самые высокие отрицательные значения $\delta^{18}O$ (максимальный объем глобального льда) характеризуют интервал с ~32 000 л. н. до ~23 340 л. н. (рис. 4). Реконструкция типов растительности бассейна оз. Котокель предполагает наиболее неблагоприятные условия отвечают времени ~28 000–23 000 л. н., не противореча наступлению периода максимального объема глобального льда, т.е. максимум последнего оледенения (МПО). Вопрос о времени существования МПО в исследуемом регионе, как и в ряде других регионов Евразии, остается дискуссионным, но на сегодняшний день запись из оз. Котокель является единственной высокоразрешающей, непрерывной и адекватно датированной записью изменения природной среды юга Восточной Сибири, согласно которой региональное проявление МПО имело место ~28 000–23 000 л. н.

Улучшение условий природной среды в Северном полушарии началось ~24 000–23 000 л. н. (рис. 4) и могло обусловить постепенное расширение площадей лесной растительности с ~23 000 л. н. Возможно, что сокращение лесной растительности ~22 000 л. н. было ответом региональной растительности на ухудшение климата в Хайнрих-2 (H-2), а продлившееся затем почти до 14 700 л. н. расширение лесной растительности находилось в соответствии с общим улучшением климата Северного полушария.

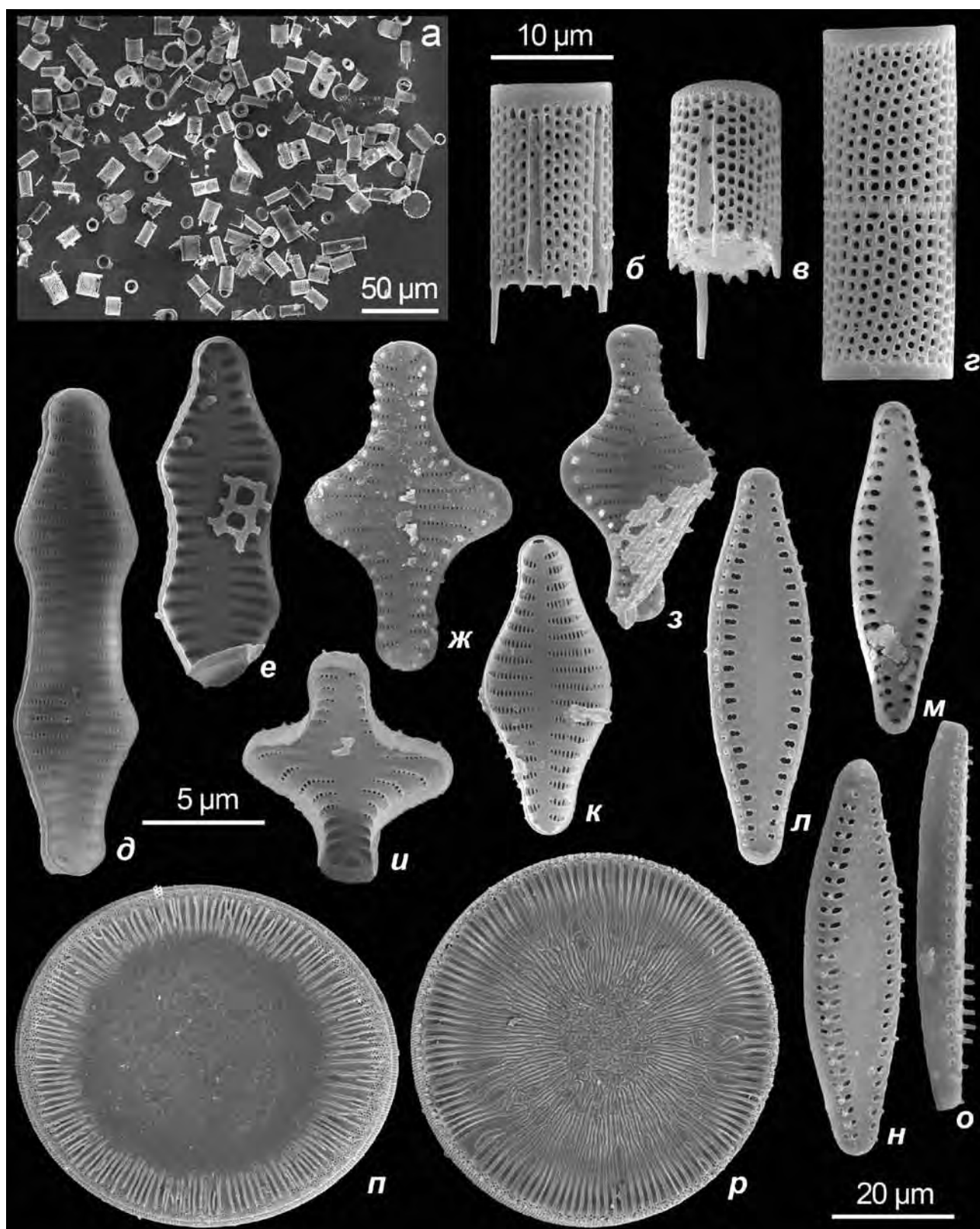


Рис. 6. Сканирующая электронная микроскопия створок диатомовых водорослей голоценовых отложений озера Котокель: (а) общий вид препарата и основные виды: (б-г) *A. granulate*; (д-к) *Staurosira construens* agg., включая (д, е) *S. construens* f. *binodis*, (ж-и) *Staurosira construens* f. *construens* и (к) *Staurosira construens* f. *venter*; (л-о) *Pseudostaurosira brevistriata*; (п) *Ellerbeckia arenaria* f. *teres*; (р) *Ellerbeckia arenaria* f. *arenaria*. Шкала размеров (а) 50 мкм; (б-г) 10 мкм; (д-о) 5 мкм; (п-р) 20 мкм.

Климатические условия Котокельской котловины в терминацию I (15 500–11 000 л. н.) (рис. 4) характеризовались кратковременными и резкими изменениями, приводившими к глубоким изменениям в структуре ландшафтов и составе растительности. Выделяется пять таких коротких интервалов, длительность которых варьировала от 400 до 1 200 лет (15 500–14 700; 14 700–14 300; 14 300–13 200; 13 200–12 500; 12 500–11 700 л. н.). В целом, климат переходного периода оставался резкоконтинентальным, изменяясь от сухого и очень холодного к холодному, более влажному, затем к умеренно-прохладному, влажному, позже к умеренно холодному, влажному и к холодному с высоким почвенным увлажнением.

В интервале 11 000–7 000 л. н. продолжалось снижение степени континентальности климата. Для климата этого возрастного интервала были характерны мягкие зимние сезоны, прохладные летние, значительный снежный покров и относительно высокие значения среднегодовой суммы атмосферных осадков в целом. Позднее (примерно 7 000–2 500 л. н.) возросла континентальность климата, что нашло выражение в существенном снижении среднегодовой суммы атмосферных осадков, повышении средних летних температур и снижении зимних. Слабый, но заметный тренд еще большего усиления континентальности климата в котловине оз. Котокель и его бассейне начался около 2 500 л. н. и продолжается до настоящего времени.

Таким образом, оптимум благоприятной, теплой погоды по растительным ландшафтам фиксируется до 7 000 лет. В этом отношении представляют интерес данные, полученные по $\delta^{18}\text{O}$ из створок диатомовых водорослей (исследованные створки представлены на рисунке 6). Выделяется три интервала значений $\delta^{18}\text{O}$: 11,5–9,5 т. л., $\delta^{18}\text{O}$ ~ 30 ‰; 9,5–3 т. л. – ~ 28,5 ‰ и от 3 т. л. до настоящего времени – ~ 24 ‰, т.е. нет существенного изменения величины $\delta^{18}\text{O}$ на рубеже 6 т. л. [33].

Как выяснено [33] величина $\delta^{18}\text{O}$ в диатомеях непосредственно определяется величиной этого параметра в воде озера. Вероятно, в период голоценового оптимума поток талой воды в оз. Котокель увеличился, что определило некоторое снижение значений $\delta^{18}\text{O}$ озерной воды, а, следовательно, и диатомей. Очевидно, такие воды продолжали поступать в озеро до 3 т. л.

Выводы

1. Высокоразрешающая колонка Ktk2 является первой непрерывной хорошо датированной записью об изменениях природной среды юга Восточной Сибири за последние 47 000 лет. Она свидетельствует о значительных изменениях в растительных сообществах вокруг оз. Котокель. Количественная реконструкция истории региональной растительности предоставляет более ясную картину динамики региональной растительности.

2. Котокельская климатическая запись внесла существенное дополнение в представление о возрасте и особенностях природной среды каргинского мегаинтерстадиала (МИС 3), сартанского оледенения (МИС 2), резких климатических событий переходного периода от МИС 2 к МИС 1. Наиболее неблагоприятный период для лесной растительности, приводивший к почти полному исчезновению диатомовой флоры в озере, существовал ~ (31 000) 30 000–23 000 л. н. Господство в это время степной и в значительно меньшей степени тундровой растительности подразумевает длительный период холодного и сухого климата.

3. Высокое временное разрешение разрезов Ktk-1, Ktk-2 и реконструкция типов растительности позволили надежно выделить и обосновать интерстадиальное потепление ~ 14 700–12 600 л. н. (беллинг-аллеред) и стадиальное похолодание ~ 12 600–11 600 л. н. (поздний дриас), не находивших ясного выражения в пыльцевых записях из оз. Байкал. Реконструкция динамики типов растительности (рис. 4) свидетельствует об относительно быстром распространении древесной флоры из рефугиумов, где она переживала ледниковый климат. Ухудшение регионального климата в позднем дриасе было менее глубоким, чем в максимум оледенения МИС 2.

4. Отсутствие в составе диатомовой флоры оз. Котокель байкальских эндемичных видов подтверждает независимое развитие озерной биоты Котокеля и отсутствие связи с водами оз. Байкал, по крайней мере, в последние 47 000 лет.

5. Реконструированные изменения динамики ландшафтов, растительности и климата вокруг оз. Котокель удовлетворительно коррелируют с общим ходом изменения природной среды Северного полушария. При этом амплитуда изменений растительности и климата позднеледниковья в записи из отложений оз. Кото-

кель оказалась на сегодняшний день наиболее выраженной, чем во всех предыдущих региональных пыльцевых записях, что обеспечено, вероятно, высокой чувствительностью экосистемы небольшого озерного водоема, расположенного в глубине континента, на границе двух крупных экотон (лесного и степного) к дефициту влаги. К тому же наряду с климатом и другие локальные факторы (геолого-геоморфологические, сама растительность, уровень грунтовых вод и др.) должны были контролировать динамику природной среды котловины оз. Котокель и его бассейна.

6. Резкие и глубокие изменения растительности и климата в бассейне оз. Котокель отражают время и амплитуду климатических осцилляций в записи изменения глобального льда NGRIP [34]. Более того, высокие скорости аккумуляции отложений оз. Котокель определяют высокий потенциал этого объекта для дальнейших исследований. Следующим шагом изучения донных отложений озера может стать повышение временного

разрешения полученных записей для создания надежной возрастной модели вариаций регионального климата в позднем плейстоцене, а также дальнейшие исследования вариаций $\delta^{18}\text{O}$ и получение данных по вещественному составу получаемых буровых колонок из оз. Котокель.

Несомненно записи изменения природной среды и климата из оз. Котокель будут являться и уже являются модельными для изучения климата за последние 50 т. л. и особенно за 15 т. л. в Восточной Сибири.

Выполненные исследования поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований (проекты №№ 09-05-00123, 12-05-00476), Байкал-Хоккайдо археологическим проектом (ВНАР), проектом Немецкого научного фонда DFG (ТА 540/1), но в то же время мы еще раз напоминаем, что данные исследования начинались с поддержки регионального гранта № 08-05-98108.

Авторы выражают благодарность С.О. Котомановой за подготовку рукописи статьи в печать.

Литература

1. Prokopenko A.A., Karabanov E.B., Williams D.F., Kuzmin M.I., Khursevich G.K., Gvozdkov A.A. The detailed record of climatic events during the past 75,000 yrs BP from the Lake Baikal drill core BDP-93-2 // Quaternary International. – 2001. – Vol. 80–81. – P. 59–68.
2. BDP-99 Baikal Drilling Project Members. A new Quaternary record of regional tectonic, sedimentation and paleoclimate changes from drill core BDP-99 at Posolskaya Bank, Lake Baikal // Quaternary International. – 2005. – Vol. 136. – P. 105–121.
3. Swann G.E.A., Mackay A.W., Leng M.J., Demory F. Climatic change in Central Asia during MIS 3/2: a case study using biological responses from Lake Baikal // Global and Planetary Change. – 2005. – Vol. 46. – P. 235–253.
4. Shichi K., Kawamuro K., Takahara H., Hase Y., Maki T., Miyoshi N. Climate and vegetation changes around Lake Baikal during the last 350,000 years // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2007. – Vol. 248. – P. 357–375.
5. Кузьмин М.И., Карабанов Е.Б., Безрукова Е.В., Бычинский В.А., Прокопенко А.А., Кравчинский В.А., Гелетий В.Ф., Солотчина Э.П., Хурсевич Г.К., Горегляд А.В., Крайнов М.А. Изменение климата и природной среды Центральной Азии в позднем кайнозое на основе изучения глубоководных скважин из озера Байкал с. 11-105 // В кн. Глобальные и региональные изменения климата и природной среды позднего кайнозоя в Сибири / отв. ред. А.П. Деревянко; Рос. Акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т археол. и этногр. [и др.] – Новосибирск: Изд-во СО РАН. – 2008. – 511 с. – (Интеграционные проекты СО РАН; вып. 16).
6. Colman S.M., Jones G.A., Rubin M., King J.W., Peck J.A., Orem W.H. AMS radiocarbon analyses from Lake Baikal, Siberia: challenges of dating sediments from a large, oligotrophic lake // Quaternary Science Reviews. – 1996. – Vol. 15. – P. 669–684.
7. Prokopenko A.A., Khursevich G.K., Bezrukova E.V., Kuzmin M.I., Boes X., Williams D.F., Fedenya S.A., Kulagina N.V., Letunova P.P., Abzaeva A.A. Paleoenvironmental proxy records from Lake Hovsgol, Mongolia, and a synthesis of Holocene climate change in the Lake Baikal watershed // Quaternary Research. – 2007. – Vol. 68. – P. 2–17.

8. Безрукова Е.В., Кривоногов С.К., Такахара Х., Летунова П.П., Шичи. К., Абзаева А.А., Кулагина Н.В., Забелина Ю.С. Озеро Котокель – опорный разрез позднеледниковья и голоцена юга Восточной Сибири // Доклады Академии наук. – 2008а. – Т. 420. № 2. – С. 248–253.
9. Bezrukova E., Tarasov P., Solovieva N., Krivonogov S., Riedel F. Last glacial–interglacial vegetation and environmental dynamics in southern Siberia: Chronology, forcing and feedbacks // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2010. – Vol. 296 (1–2). – P. 185–198.
10. Безрукова Е.В., Тарасов П.Е., Кулагина Н.В., Абзаева А.А., Летунова П.П., Кострова С.С. Палинологическое исследование донных отложений озера Котокель // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, вып. 4. – С. 458–465.
11. Danzeglocke U., Jöris O., Weninger B: CalPal-2007online. <http://www.calpal-online.de>. - 2008.
12. Berglund B.E., Ralska-Jasiewiczowa M. Pollen analysis and pollen diagrams, In: Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. Interscience, New-York. – 1986. – P. 55–484.
13. Bezrukova E.V., Abzaeva A.A., Letunova P.P., Kulagina N.V., Vershinin K.E., Belov A.V., Orlova L.A., Danko L.V., Krapivina S.M. Post-glacial history of Siberian spruce (*Picea obovata*) in the lake Baikal area and the significance of this species as a paleo-environmental indicator // *Quaternary International*. – 2005. – Vol. 136. – P. 47–57.
14. Anderson P.M., Lozhkin A.V. The Stage 3 interstadial complex (Karginiskii/middle Wisconsinan interval) of Beringia: variations in paleoenvironments and implications for paleoclimatic interpretations // *Quaternary Science Reviews*. – 2001. – Vol. 20. – P. 93–125.
15. Freche M., Zander A., Zykina V., Boenigk W. The loess record from the section at Kurtak in Middle Siberia // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2005. – Vol. 228. – P. 228–244.
16. Müller S., Bobrov A.A., Schirrmeyer L., Andreev A.A., Tarasov P.E. Testate amoebae record from the Laptev Sea coast and its implication for the reconstruction of Late Pleistocene and Holocene environments in the Arctic Siberia // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2009. – Vol. 271. – P. 301–315.
17. Stebich M., Mingram J., Han J., Liu J. Late Pleistocene spread of (cool-)temperate forests in North-east China and climate changes synchronous with the North Atlantic region // *Global and Planetary Change*. – 2009. – Vol. 65. – P. 56–70.
18. Demske D., Heumann G., Granoszewski W., Nita M., Mamakowa K., Tarasov P.E., Oberhansli H. Late glacial and Holocene vegetation and regional climate variability evidenced in high-resolution pollen records from Lake Baikal // *Global and Planetary Change*. – 2005. – Vol. 46. – P. 255–279.
19. Tarasov P., Bezrukova E., Karabanov E., Nakagawa T., Wagner M., Kulagina N., Letunova P., Abzaeva A., Granoszewski W., Riedel F. Vegetation and climate dynamics during the Holocene and Eemian interglacials derived from Lake Baikal pollen records // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2007. – Vol. 252. – P. 440–457.
20. Bezrukova E. V., Krivonogov S. K., Takahara H., Letunova P.P., Shichi K., Abzaeva A. A., Kulagina N.V., Zabelina Yu.S. Lake Kotokel as a Stratotype for the Late Glacial and Holocene in Southeastern Siberia // *Doklady Earth Science*. – 2008. – Vol. 420. – P. 658–663.
21. Shichi K., Takahara H., Krivonogov S.K., Bezrukova E.V., Kashiwaya K., Takehara A., Nakamura T. Late Pleistocene and Holocene vegetation and climate records from Lake Kotokel, central Baikal region // *Quaternary International*, doi:10.1016/j.quaint.2009.02.005.
22. Blyacharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S., van der Knaap W.O., Ammann B. Late Glacial and Holocene vegetational history of the Altai Mountains (southwestern Tuva Republic, Siberia) // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2007. – Vol. 245. – P. 518–534.
23. Tarasov P.E., Bezrukova E.V., Krivonogov S.K. Late Glacial and Holocene changes in vegetation cover and climate in southern Siberia derived from a 15 kyr long pollen record from Lake Kotokel // *Clim. Past*. – 2009. – Vol. 5. – P. 285–295.
24. Безрукова Е.В. Палеогеография Прибайкалья в позднеледниковье и голоцене / Ред. В.С. Волкова. Новосибирск, Наука, 1999. – 128 с.
25. Безрукова Е.В., Кривоногов С.К., Абзаева А.А., Вершинин К.Е., Летунова П.П., Орлова Л.А., Такахара Х., Миешу Н., Накамура Т., Крапивина С.М., Кавамуро К. Ландшафты и климат Прибайкалья в позднеледниковье и голоцене по результатам комплексного исследования торфяников // Геология и геофизика. – 2005. – Т. 46 (1). – С. 21–33.

26. Безрукова Е.В., Белов А.В., Летунова П.П., Абзаева А.А., Кулагина Н.В., Фишер Е.Э., Орлова Л.А., Шейфер Е.В., Воронин В.И. Биостратиграфия торфяных отложений и климат северо-западной части горного обрамления озера Байкал в голоцене // Геология и геофизика. – 2008. Т 49 (6). – С. 547–558.
27. Kutzbach J.E., Gallimore R.G. The influence of changing orbital parameters and surface boundary conditions on climate simulation for the past 18,000 years // J. Atmos. Sci. – 1986. – Vol. 43. – P. 1726–1759.
28. Velichko A.A., Andreev A.A., Klimanov V.A. Climate and vegetation dynamics in the tundra and forest zone during the Late Glacial and Holocene // Quatern. Int. – 1997. – Vol. 41/42. – P. 71–96.
29. MacDonald G.M., Velichko A.A., Kremenetski K.V., Borisova O.K., Goleva A.A., Andreev A.A., Cwynar L.C., Riding R.T., Forman S.T., Edwards T.W.D., Aravena R., Hammarlund D., Szeics J.M., Gataullin V.N. Holocene treeline history and climate change across Northern Eurasia // Quatern. Res. – 2000. – Vol. 53. – P. 302–311.
30. Feng Z.-D., An C.B., Wang H.B. Holocene climatic and environmental changes in the arid and semi-arid areas of China: a review // The Holocene. – 2006. – Vol. 16, № 1. – P. 119–130.
31. Xiaoqiang L., Jiea Z., Ji S., Chengyu W., Hongli Z., Qianli S. Vegetation history and climatic variations during the last 14 ka BP inferred from a pollen record at Daihai Lake, north-central China // Rev. Palaeobotany Palynology. – 2004. – Vol. 132. – P. 195–205.
32. Shimaraev M.N., Granin N.G., Kuimova L.N. Practice of reconstruction of Baikal hydrophysical conditions in the Late Pleistocene and Holocene (Опыт реконструкции гидрофизических условий в Байкале в позднем плейстоцене и голоцене // Russian Geology and Geophysics. – 1995. – Vol. 36(8). – P. 97–102.
33. Kostrova S.S., Meyer H., Chaplignin B., Kossler A., Bezrukova E.V., Tarasov P.E. Holocene oxygen isotope record of diatoms from Lake Kotokel (southern Siberia, Russia) and its palaeoclimatic implications. Quaternary International (2012), doi:10.1016/j.quaint.2012.05.011.
34. Svensson A., Andersen K.K., Bigler M., Clausen H.B., Dahl-Jensen D., Davies S.M., Johnsen S. J., Muecheler R., Parrenin F., Rasmussen S.O., Rothlisberger R., Seierstad I., Steffensen J.P., Vinther B.M. A 60 000 year Greenland stratigraphic ice core chronology // Climate of the Past. – 2008. – Vol. 4. – P. 47–57.

РОЛЬ РФФИ В РАЗВИТИИ ИНДУСТРИИ ЗНАНИЙ (Фундаментальная составляющая методологических аспектов селекции)¹

Ильина И.А., Супрун И.И.²

В статье приводятся результаты исследований в области генетики и селекции яблони, выполненных с использованием методов ДНК-маркирования и направленных на модернизацию селекционных технологий. Показана эффективность финансовой поддержки фундаментальных научных исследований, в том числе выполняемых молодыми учеными, и значимость их результатов при создании конкурентоспособных сортов, и разработке высокоэффективных селекционных методов.

Ключевые слова: молекулярно-генетические исследования, ДНК-маркеры, маркерная селекция яблони, научное сотрудничество.

Results of the studies in genetics and breeding of the apple made by using of DNA markers approaches and oriented for improvement of breeding technologies are shown in the article. The efficiency of financial support for basic scientific research, including study, performed by young scientist as well as significance of their results for development of competitive cultivars and highly effective breeding methods is clearly demonstrated.

Keyword: molecular-genetic investigations, DNA-markers, apple marker-assisted breeding, scientific collaboration.

Современная экономика развивается на основе новых знаний, вовлекаемых в инновационный процесс, что составляет основу суперидеи XXI века — поиск наилучшего способа передачи результатов исследований, имеющих прикладное значение на рынке.

Актуализация тематической направленности проводимых Российским фондом фундаментальных исследований конкурсов обусловлена не только их соответствием приоритетам, определенным Указом Президента России, но и реальной необходимостью привлечения новых знаний для повышения эффективности технологических процессов, применением принципиально новых подходов к решению задач. Создание принципиально новых разработок, бази-

рующихся на результатах фундаментальных исследований, получаемых за счет применения в исследовательском процессе современных методов и способов, имеет особую актуальность в научном обеспечении развития отраслей садоводства и виноградарства, считающихся одними из самых наукоемких в растениеводстве.

Одним из важнейших способов повышения эффективности производства является его интенсификация, предусматривающая, в частности, повышение биологического потенциала сельскохозяйственных растений.

Решение задач, связанных с управлением репродукционным процессом, включая сочетание высокой потенциальной продуктивности растений с устойчивостью к действию абио-

¹ Работы выполнены при финансовой поддержке грантов РФФИ и администраций Краснодарского края, Орловской и Тамбовской областей.

²



Ильина Ирина Анатольевна, доктор технических наук, заместитель директора по науке Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства Россельхозакадемии, г. Краснодар, e-mail: kubansad@kubannet.ru.



Супрун Иван Иванович, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией генетических исследований Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства Россельхозакадемии, г. Краснодар, e-mail: supruni@mail.ru.

тических и биотических стрессоров, которые в последнее время имеют ярко выраженную тенденцию изменения, характеризуется научной сложностью и возможно за счет совершенствования и освоения новых высокоточных экспресс-методов оценки разнообразного генетического материала, на основе которого ведется создание новых сортов.

В этом отношении одним из приоритетных направлений является технология, основанная на применении методов молекулярно-генетической идентификации генов, детерминирующих хозяйственно-ценные признаки. Главная методологическая составляющая данного направления — это ДНК-маркерный анализ, позволяющий идентифицировать целевые гены, а также оценивать общий уровень генетического полиморфизма на внутри- и межвидовом уровне, минуя фенотипическую оценку изучаемых образцов (сортов, линий гибридных форм, клонов).

В Северо-Кавказском зональном НИИ садоводства и виноградарства Россельхозакадемии большое внимание уделяется фундаментальной составляющей методологических аспектов селекции. В связи с высокой актуальностью селекции яблони на устойчивость к парше — наиболее вредоносному заболеванию данной культуры — разработана программа по внедрению технологии ДНК-маркерной идентификации генов устойчивости к данному заболеванию в практическую селекцию этой культуры. Исследования выполнялись в рамках научно-исследовательского проекта РФФИ № 09-04-99139 «Разработка методологических подходов ведения селекции яблони на устойчивость к парше с использованием методов молекулярного ДНК-маркирования» (руководитель — И.И. Супрун), поддержанного Российским фондом фундаментальных исследова-



Рис. 1. Раннелетний сорт яблони «Рассвет».

ований. На основании полученных результатов разработаны и усовершенствованы методологические аспекты ДНК-маркерной идентификации генов устойчивости яблони к парше Vf и Vm и выполнен скрининг генетических ресурсов яблони селекции научного учреждения на предмет наличия указанных генов в сортах и гибридных формах. Полученные экспериментальные данные и разработанные методологические составляющие в настоящее время активно используются для оценки селекционного материала яблони на предмет наличия искомым генов устойчивости с применением ДНК-маркерного анализа. Это позволяет выявлять селекционные формы, обладающие устойчивостью к патогену

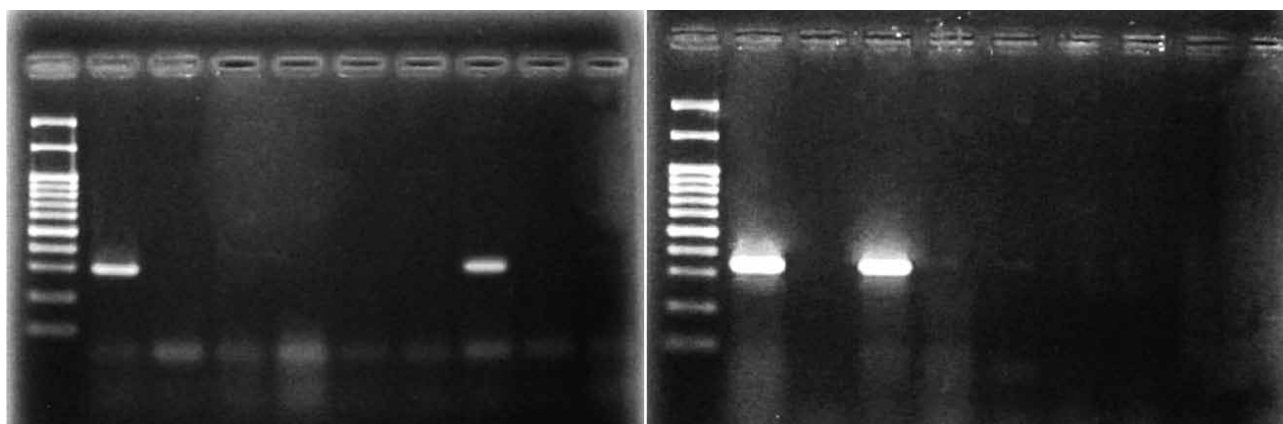


Рис. 2. ДНК-идентификация аллели S19(А) и S9(Б).

на ранних этапах вегетативного развития без использования фитопатологического тестирования (рис. 1). Создание высокоустойчивых к патогену сортов повышает экологическую безопасность и экономическую эффективность промышленного пловодства.

При грантовой поддержке РФФИ региональных инициативных проектов выполнялись широкомасштабные исследования отечественной генплазмы яблони, направленные на изучение аллельного разнообразия гена самонесовместимости, определяющего степень совместимости сортов при опылении. По результатам проекта (№ 09-04-96552 «Молекулярно-генетический анализ аллельного полиморфизма гена самонесовместимости в пределах вида *Malus domestica* и оценка возможности его применения для прогнозирования эффективности опыления», руководитель – И.И. Супрун) была продемонстрирована высокая степень достоверности данных о совместимости сортов, получаемых при молекулярно-генетической идентификации аллельного набора этого гена (рис. 2). Информация об аллельном полиморфизме гена самонесовместимости необходима для выполнения филогенетического анализа генетических ресурсов яблони. Знание его аллельного состава у сортов яблони позволяет прогнозировать эффективность перекрестного опыления между сортами, что немаловажно при разработке сортовых схем садовых насаждений с целью улучшения опыления в садах и, соответственно, повышения продуктивности садовых агроценозов на 20–30 % (рис. 3 и 4).

Положительные результаты, полученные в ходе выполнения проектов, поддержанных РФФИ, и дальнейшее их успешное использование в прикладных областях садоводства позволили существенно расширить спектр фундаментальных и прикладных задач. В последующем это дало возможность диверсифицировать области применения молекулярно-генетических методов.

Актуальность и практическая значимость проводимых фундаментальных исследований связаны также и с формированием в настоящее время новых селекционных направлений, ориентирующихся на достижение продукционных; био-, фитоценологических; эколого-географических; эдафических; репродуктивных; ризосферных; синтетических; технологических; биоэнергетических; агроэкосистемных и других сортовых моно-, олигогенных и полигенных признаков.



Рис. 3. Урожай яблони при плохой совместимости сортов.

Решение такого многообразия задач требует не только разработки и освоения новых методов и направлений селекции, но и совершенствования системы оценочных показателей, в которой немаловажную роль играет молекулярно-генетический анализ.

На решение некоторых из вышеприведенных задач были направлены проекты по грантам межрегионального конкурса «Приоритетам АПК — фундаментальное научное обеспечение». Спецификой этого конкурса являлась кооперация ведущих научных школ, представленных Северо-Кавказским зональным научно-исследовательским институтом садоводства и виноградарства Россельхозакадемии и Крымской опытно-селекционной станцией (Краснодарский край), Всероссийским научно-исследовательским институтом селекции плодовых культур (Орловская область), Всероссийским научно-исследовательским институтом генетики и селекции плодовых растений (Тамбовская область), для проведения совместных исследований, в том числе и в рамках развития молекулярно-генетических исследований.

Исследования были направлены на: «Выявление закономерностей наследования адаптационных признаков яблони для конструирования новых высокопродуктивных генотипов с заданными ценными свойствами» (№ 09-04-99101, руководитель — академик РАСХН Н.И. Савельев), «Разработку методических подходов к ускоренному созданию нового поколения сортов разной пloidности рода *Malus* на основе системно сформированных генофондов» (№ 09-04-99134, руководитель — академик РАСХН Е.Н. Седов), «Разработку методологии формирования генети-

ческих коллекций доноров и источников ценных признаков растений рода *Prunus* L. для ускорения селекционного процесса» (№ 09-04-99126, руководитель – академик РАСХН Г.В. Еремин).

Результаты фундаментальных исследований по вышеуказанным грантам являются базой для создания генотипов нового поколения садовых культур для прецизионных технологий возделывания, сочетающих высокую степень устойчивости (иммунности) к био- и абиотическим стрессорам с высокой продуктивностью и качеством продукции. Управление адаптивностью и продуктивностью агроценозов посредством возделывания сортов нового поколения позволяет:

- привести производство в соответствие принципам охраны и рационального использования окружающей среды (снижает количество обработок дорогостоящими и небезопасными для здоровья человека химическими средствами защиты растений);
- обеспечить ресурс- и энергосбережение, увеличить доходность на 16,0–26,0 % (яблоня) за счет повышения продуктивности на 30–40 %, высокой скороплодности, снижения затрат на уходные работы за счет значительного уменьшения (в 1,5–2 раза) или отказа от обработок средствами химзащиты;
- получать плодовую продукцию и продукты ее переработки с повышенными показателями экологической безопасности и качества, в том числе для функционального назначения и для детского питания.

В рамках молекулярно-генетических исследований и в настоящее время проводятся работы, общей целью которых является совершенствование методологии селекционного



Рис. 4. Урожай яблони при хорошей совместимости сортов.

процесса за счет использования методов ДНК-маркирования: «Разработка методологии создания генотипов рода *Malus* Mill. на основе молекулярно-генетических методов установления закономерностей наследования значимых признаков для обеспечения формирующихся агроценозов в дифференцируемых почвенно-климатических условиях» (№ 11-04-96537, руководитель – академик РАСХН Е.Н. Седов), «Разработка методологии идентификации клонов винограда на основе анализа полиморфизма микросателлитных последовательностей ДНК» (№ 11-04-96538, руководитель – Е.Т. Ильницкая), «Выявление закономерностей формирования генетической стабильности комплексов признаков у сортов яблони» (№ 11-04-96610, руководитель – С.Н. Артюх).

Разрабатываемый в СКЗНИИСиВ метод микросателлитного генотипирования сортов и клонов яблони и винограда позволит проводить достоверную идентификацию исследуемых сортов, оценивать генетические дистанции между ними, создавать соответствующие ДНК-паспорта, осуществлять систематизацию генетических ресурсов, оперативно и с высокой степенью достоверности выделять доноров и источники хозяйственно-ценных признаков.

Использование в процессе селекции традиционных методов в сочетании с методами молекулярной идентификации и ДНК-технологиями позволяют создавать сорта с требуемыми признаками и свойствами, а также радикально новыми качествами, обладающие высокой экологической пластичностью и отвечающие условиям современных технологий. Причем следует отметить, что срок создания сорта сокращается до 10–12 лет по сравнению с аналогом – 18–25 лет.

Исследования, осуществляемые в рамках разрабатываемых проектов, способствуют развитию реальной кооперации как среди отечественных профильных научных учреждений, так и зарубежных, что способствует предметной интеграции результатов исследований в различных областях, вовлечению их в практическую плоскость.

Представленная Российским фондом фундаментальных исследований возможность доложить результаты исследований на II международном симпозиуме «Геномика Генетических Ресурсов Растений» в г. Болонья (Италия) (грант РФФИ № 10-04-09286) явилась основой приглашения научного учреждения к проведению совместных научно-исследовательских

работ в качестве члена международного Консорциума по внедрению и использованию геномных методов в практическую селекцию плодовых культур «Fruitbreedomics», включающего 24 научно-исследовательские организации из стран Европы, а также Израиль, ЮАР, Новую Зеландию и Китай. Основная деятельность Консорциума сосредоточена на разработке надежных путей маркер-вспомогательной селекции и применения этого элемента в практической селекции в современных прикладных селекционных программах; получении новых комплексов признаков посредством максимального использования генетических ресурсов, разработке новых наборов генетических маркеров.

На наш взгляд, проекты, разрабатываемые учеными прикладных научных учреждений отраслевых академий, имеют больше шансов на диверсификацию результатов в практику, так как прикладные НИУ работают над разработкой конкретных отраслевых проблем. Оперативное использование результатов фундаментальных исследований в прикладной плоскости обеспечено самой формой организации исследовательского процесса в научно-исследовательских институтах отраслевых академий, где создание высокоэффективных конкурентоспособных разработок невозможно при отсутствии фундаментальной базовой основы, а направления исследований в фундаментальной плоскости продиктованы постановкой задач реального сектора экономики. Как пример: выявление аллельного полиморфизма гена самонесовместимости сортов яблони позволяет решать технологические задачи по формированию сортовых схем садовых насаждений, обеспечивающих высокую урожайность благодаря оптимизации процесса опыления.

Одним из существенных аспектов развития генетических исследований является решение кадровых вопросов, а именно: привлечение и закрепление в научном учреждении молодых ученых, владеющих современной инструментально-аналитической базой и биоинформационными технологиями.

В этом плане следует отметить, что в последнее время отмечается увеличение числа конкурсов Российского фонда фундаментальных исследований для молодых ученых, имеющих целью их широкое привлечение для разработки актуальных направлений: финансирование мо-

лодежных инициативных проектов, в т.ч. «Мой первый грант», стажировки в ведущих научных школах, участие в различных мероприятиях научного характера в России и за рубежом, обеспечение информационного доступа к полнотекстовым научным изданиям.

Например, полномасштабное внедрение методов молекулярно-генетического анализа в селекционную практику обусловило необходимость освоения новых методов исследований на приобретенном научном учреждении высокоточном генетическом анализаторе-секвенаторе. Существенную поддержку в этом плане оказал Российский фонд фундаментальных исследований, финансово обеспечив научную работу молодого специалиста из СКЗНИИСиВ во Всероссийском научно-исследовательском институте сельскохозяйственной биологии (г. Москва), в результате которой осуществлен «анализ молекулярного полиморфизма SSR-локусов и гена самонесовместимости яблони с применением фрагментного STR-анализа и секвенирования ДНК» (проект № 11-04-90777). Стажировка позволила успешно овладеть новыми методами молекулярно-генетических исследований с применением современного оборудования.

В развитие исследований в области генетики плодовых культур аспирантами научного учреждения, в рамках конкурсов для молодых ученых «Мой первый грант» поданы заявки по темам: «Молекулярно-генетический анализ аллельного разнообразия гена самонесовместимости в отечественной генплазме вида *Prunus avium*»; «Изучение аллельного полиморфизма гена 1-аминоциклопропан-1-карбоксилат синтазы и его взаимосвязи со степенью лежкости плодов яблони».

Прикладная значимость результатов фундаментальных исследований в области молекулярной генетики подтверждена и Российским фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в рамках полученного гранта на конкурсе «Умник», в котором разрабатываются методические аспекты идентификации сортовой чистоты посадочного материала винограда, основанной на использовании методов молекулярно-генетического маркирования.

Следует отметить, что посредством таких проектов у молодежи формируется мировоззрение исследователя, а сам процесс обогащается новаторскими подходами к решению задач.

В целом необходимо отметить высокую перспективность использования результатов фундаментальных молекулярно-генетических исследований в селекции плодовых культур и винограда. Финансовая поддержка проведения фундаментальных исследований в институтах отраслевых академий позволяет в максимально сжатые сроки передавать полученные научные результаты в реальный сектор экономики. За счет дополнительного финансирования Российским фондом фундаментальных исследований появляется возможность диверсификации научной активности посредством участия в проектах различных направлений. Участие в совместных исследованиях с другими научно-исследовательскими организациями представляет собой хорошую возможность как обмена

научным опытом, так и получения обширного массива данных, основанных на проведении комплексных исследований, осуществляемых одновременно несколькими научными коллективами. Молодежные проекты позволяют максимально вовлекать в научно-исследовательский процесс и заинтересовывать талантливых молодых ученых. Финансирование стажировок и участия в международных научных мероприятиях обеспечивает освоение новых методов исследований, расширение своего научного кругозора, освещение результатов своих исследований на высоком международном уровне и, что немаловажно, налаживание новых научных контактов, что может позволить коллективам осуществлять самые амбициозные научно-исследовательские проекты.

Фоторепортаж с совместного заседания в г. Перми Совета по координации деятельности региональных отделений и региональных научных центров РАН и Президиума Уральского отделения РАН



1



2



3



4



5



6

1 Губернатор Пермского края В.Ф. Басаргин.

2 Академик Г.А. Месяц.

3 Академик Н.Л. Добрецов.

4 Академик В.Ф. Шабанов.

5 Научное сообщение доктора физико-математических наук Ю.Л. Райхера.

6 Академик Ю.Н. Кульчин.

7 Академик С.М. Алдошин.

8 Академик В.Н. Чарушин и губернатор Пермского края В.Ф. Басаргин.

9 Академик В.П. Матвеевко.



7



8



9



1



2

1 2 Пленарное заседание.

3 Научное сообщение доктора физико-математических наук П.Г. Фрика.

4 Академик М.П. Рощевский у одного из стендов Института механики сплошных сред УрО РАН.



3



4

КАК БЫЛО И КАК ЕСТЬ: ИСТОРИЧЕСКИЙ ЭКСКУРС О ПРОВЕДЕНИИ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИХ КОНФЕРЕНЦИЙ ПО ИТОГАМ КОНКУРСА РФФИ – «УРАЛ» РАЗНЫХ ЛЕТ¹

Садовская Е.Ю.²

Сотрудничество Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Свердловской области в сфере поддержки фундаментальных исследований началось в 2001 г., когда правительство области поддержало инициативу Уральского отделения РАН о проведении первого регионального конкурса РФФИ-«Урал». Тогда же был сформирован и первый Региональный экспертный совет конкурса, в который вошли представители Правительства Свердловской области, УрО РАН и вузов. С тех пор прошло уже три полных трехлетних конкурса, и в текущем году завершается четвертый конкурс РФФИ-«Урал». Понимание важности фундаментальной науки и ее ключевого значения в реализации промышленного и инновационного потенциала области определяет необходимость поддержки фундаментальных научных исследований в регионе, невзирая на все перипетии федерального и регионального законодательства. За период с 2001 по 2009 г. в рамках конкурса было профинансировано около 360 проектов на общую сумму более 160 млн руб.

С первого года основания конкурса РФФИ-«Урал» в Свердловской области ежегодно в конце года проводятся научно-практические конференции по итогам выполнения проектов. Все эти годы конференции организуются совместно Правительством Свердловской области, Уральским отделением РАН и Региональным научно-техническим центром (рис. 1). Цель этих конференций — ознакомление научной общественности, представителей власти, бизнеса и всех заинтересованных лиц с последними достижениями фундаментальной



Рис. 1. Бессменные организаторы конференций РФФИ-«Урал» в Свердловской области (слева направо): С.Г. Сергеев, С.В. Клименко, Е.Ю. Садовская, А.В. Шпак.

науки на Урале. На конференциях выступают представители УрО РАН с сообщениями о текущих итогах выполнения проектов и перспективах конкурса и руководители проектов с докладами о наиболее интересных результатах исследований. Учитывая междисциплинарный характер конференций, докладчики стараются ориентироваться не только на специалистов в своей и смежных областях, но и на широкий круг слушателей. Особенно приветствуются выступления молодых ученых-участников проекта. Представители Правительства Свердловской области выступают с информацией об областных программах финансирования научных проектов и возможностях объединения усилий ученых и представителей промышленности, направленных на реализацию научно-техни-

¹ Одна из конференций прошла при финансовой поддержке РФФИ № 04-04-58063 «Региональные аспекты научно-технической политики: от фундаментальных исследований до реализации инноваций».



² Садовская Елена Юрьевна, кандидат технических наук, директор Регионального научно-технического центра, г. Екатеринбург, e-mail: rntc@yandex.ru.

ческого и инновационного потенциала Свердловской области. Особое внимание уделяется возможностям практического использования результатов работ. Исследования проводятся с учетом приоритетных для Свердловской области направлений, включая: создание и развитие систем информатизации и управления; совершенствование систем производства, передачи и применения различных видов энергии, в том числе с использованием региональных источников, а также вопросы энергосбережения; научные основы создания перспективных технологий и новых материалов; перспективы развития минерально-сырьевых ресурсов Урала и комплексное использование минерального сырья; экологию и рациональное природопользование (методология мониторинга современного состояния и долгосрочных прогнозов трансформации экосистем Урала); исследования иммунологической регуляции физиологических функций и разработку на их основе методов лечения заболеваний; проблемы антикризисного управления социально-экономической сферой региона в условиях нестабильности и др. Для содействия практическому использованию полученных результатов ежегодно публикуются сборники аннотационных отчетов по проектам, которые направляются в министерства, а также на промышленные предприятия и в организации Свердловской области.

В 2009 г. были подведены итоги третьего конкурса РФФИ-«Урал» (рис. 2). В программе конференции были следующие доклады:

1. «Исследование физико-механических свойств микрокристаллических и наноструктурных металлических материалов различной стабильности при деформации в условиях высоких давлений» (проект № 07-02-96049, руководитель — доктор технических наук С.В. Гладковский, Институт машиноведения Уральского отделения РАН), в котором изложены разработанные научные и технологические основы новой комбинированной технологии создания объемных микро- и нанокристаллических материалов, содержащих в структуре деформационно-метастабильный аустенит, с использованием пакетной прокатки и сварки взрывом.
2. «Разработка новых сплавов на основе никеля с эффектами памяти формы, управляемыми магнитным полем, деформацией и температурой» (проект № 07-03-96062, руководитель проекта — доктор физико-математических



Рис. 2. Сборники аннотационных отчетов по проектам РФФИ-«Урал» 2001–2010 гг.

наук В.Г. Пушин, Институт физики металлов Уральского отделения РАН), в котором показано влияние различных факторов на последовательность структурных и фазовых превращений в новых сплавах на основе никеля с эффектами памяти формы, создаваемых для медицинских и технических приложений.

3. «Электрохимические процессы и сенсорные системы в мониторинге окружающей среды и здоровья человека» (проект № 07-03-96068, руководитель — доктор химических наук Х.З. Брайнина, Уральский государственный экономический университет), в котором изложены принципы создания принципиально нового класса электрохимических каталитических рецепторов и бесферментных сенсоров для исследования и анализа жизненно важных биологических объектов и электрохимических диагностических комплексов.
4. «Эколого-генетические аспекты адаптации растительных популяций к радиационному и химическому загрязнению» (проект № 07-04-96098, руководитель — доктор биологических наук В.Н. Позолотина, Институт экологии растений и животных Уральского отделения РАН), в котором на примере оценки жизнеспособности семенного потомства популяций одуванчика, произрастающих на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа и на площадках, примыкающих к Нижнетагильскому металлургическому комбинату, выявлен уровень адаптационного потенциала растений, позволяющий им нормально функционировать в экстремальных условиях среды, и установлена степень

влияния техногенного воздействия разных по природе факторов на генофонд растений, длительное время испытывающих стресс.

5. «Рекристаллизации наночастиц как новая технология выращивания монокристаллов лазерного качества» (проект № 08-02-99061, руководитель – кандидат технических наук М.Г. Иванов, Институт электрофизики Уральского отделения РАН), в котором представлены результаты исследований по разработке технологии создания монокристаллов $\text{Nd:Y}_2\text{O}_3$, включающей получение наночастиц методом лазерного синтеза и компактирование нанопорошка с помощью магнитно-импульсного прессования.
6. «Зависимость физико-химических свойств нанодисперсных металлических порошков от условий газофазного способа их получения» (проект № 08-03-99077, руководители – доктор физико-математических наук А.Я. Фишман., кандидат химических наук Л.В. Золотухина, Институт металлургии Уральского отделения РАН), в котором представлены результаты экспериментов по усовершенствованию технологического процесса для получения нанопорошков высокой степени чистоты и разработки на их основе конструкционных наноматериалов, в частности изделий порошковой металлургии, тепло- и электропроводящих паст, электромагнитных экранов.
7. «Оценка трансакционных издержек поиска информации предприятиями региона» (про-

ект № 07-06-96039, руководитель – член-корреспондент РАН Е.В. Попов, Институт экономики УрО РАН), в котором изложены результаты эмпирического исследования трансакционных издержек производства и потребления информации на нескольких промышленных предприятиях Свердловской области и представлена модель оптимизации трансакционных издержек поиска информации предприятием, разработанная с учетом общероссийских и региональных особенностей.

В 2010 г. началось выполнение проектов очередного, четвертого, конкурса РФФИ-«Урал» 2010–2012 гг. Всего на конкурс поступило 186 заявок, из которых было выбрано 69 проектов по всем научным разделам, соответствующим разделам РФФИ. Общая сумма финансирования (из средств областного бюджета и РФФИ) составила более 24 млн. рублей в 2010 г. и 30 млн. рублей в 2011 г.; в текущем году на поддержку продолжающихся проектов выделено также 30 млн руб. Как обычно в конце октября будет проведена итоговая научно-практическая конференция РФФИ-«Урал», на которой уральские ученые продемонстрируют наиболее интересные результаты фундаментальной науки, полученные при финансовой поддержке РФФИ и региона. Можно с уверенностью сказать, что в Свердловской области сформирована традиция региональной поддержки фундаментальных научных работ и коллективов ученых. Будем надеяться, что эта традиция не прервется и в будущем.

РФФИ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ХИМИИ
(ОПЫТ РАБОТЫ С СИСТЕМОЙ SCIFINDER)

Зибарева И.В., Круковская Н.В.¹

На примере организации доступа институтов РАН к информационно-поисковой системе SciFinder рассмотрена роль РФФИ в информационном обеспечении отечественной химии. Полученный опыт полезен для совершенствования общенациональной политики по обеспечению науки и образования современными информационными ресурсами.

«Мы утратили мудрость ради знаний, знания потеряли в информации, а информацию в данных» – констатация, начатая Т.С. Элиотом еще в первой половине прошлого века и продолженная позже А. Кливлендом, как нельзя лучше отражает объективную ситуацию. Стремительный количественный рост научных данных порождает серьезные проблемы, связанные с их сбором, хранением, обработкой, систематизацией и эффективным использованием. Представление о том, что все необходимые научные сведения можно свободно найти в Интернете, ошибочно – у многих сайтов отсутствуют гарантии их надежности и полноты. Единственный адекватный ответ со стороны ученых на все эти вызовы – обращение к профессиональным электронным информационным ресурсам.

В этих условиях очень важна общенациональная политика по обеспечению доступа исследовательских и учебных организаций к современным информационным ресурсам, значительно облегчающая усилия отдельных университетов и институтов РАН. Такая политика, безусловно, проводится РФФИ и Министерством образования и науки (МОН) при участии Национального электронно-информационного консорциума (НЭИКОН). Роль РФФИ заслуживает особого внимания в связи с его организационно-финансовым содействи-



ем доступу институтов РАН к информационно-поисковой системе SciFinder, предназначенной для специалистов в области химии и некоторых смежных дисциплин.

Информационные проблемы химии, занимающей в отечественной науке одно из наиболее видных в международном масштабе мест [1], общеизвестны. По мысли академика В.А. Коптюга «Для химика информация зачастую важнее реактивов». Помимо огромного объема (известно уже более 135 млн веществ и 33 млн реакций), ситуация осложнена спецификой химической информации (структурные формулы, реакционные схемы, систематические и тривиальные названия веществ, т.д.) и быстро прогрессирующей диверсификацией источ-



¹ Зибарева Инна Владимировна, кандидат педагогических наук, руководитель информационно-аналитического центра Института катализа имени Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, Национальный исследовательский университет – Новосибирский государственный университет, e-mail: zibareva@catalysis.ru.



Круковская Надежда Вильевна, кандидат химических наук, заведующая отделом научно-технической информации Института органической химии имени Н.Д. Зелинского Российской академии наук, г. Москва, Высший химический колледж Российской академии наук, г. Москва, e-mail: nvkrukov@ioc.ac.ru.

ников, включая патенты [2]. Важнейшие профессиональные онлайн-информационные ресурсы этой науки – химические базы данных (БД) сети Scientific and Technical Network International (STN) [2] и система SciFinder.

Сеть STN предназначена для профессионалов – работа с ней требует специальной подготовки и (или) помощи информационного специалиста. Система SciFinder ориентирована на так называемых «конечных пользователей» – научных сотрудников, преподавателей, аспирантов и студентов, самостоятельно проводящих поиск информации, необходимой для их научно-исследовательской работы.

Информационно-поисковая система SciFinder производится с 1995 г. Chemical Abstracts Service (CAS), США. В ней на единой платформе размещены семь БД: библиографические CAPlus (химия) и Medline (биомедицина); структурно-химические Registry (химические соединения), CASReact (химические реакции) и Marpat (структуры Маркуша в патентах); справочные ChemCats (объединенный каталог коммерчески доступных веществ) и ChemList (правовая информация по химическим веществам). Система предназначена в первую очередь для специалистов в области химии, химической технологии и материаловедения, биохимии и биомедицины, включая фармацевтику. Вместе с тем она содержит смежную с названными дисциплинами информацию по физике, геологии, металлургии, медицине и т.д.

В системе SciFinder возможны различные виды поиска, в частности, библиографический – по автору, организации, ключевым словам (CAPlus, Medline) – и по химическим реакциям (CASReact) и структурам (Registry), включая структуры Маркуша (охватывающие соединения с общим структурным фрагментом и различными заместителями) в патентах (Marpat). В библиографических БД имеется опция, позволяющая найти цитирование публикаций, начиная с 1997 г. По сравнению с такими политематическими информационными ресурсами, как Web of Science (Thomson Reuters) и Scopus (Elsevier), в SciFinder реферируется гораздо большее количество российских журналов [3]. Помимо собственно информационного обеспечения исследований, это важно в контексте государственной оценки эффективности научных организаций, использующей библиометрические показатели.

Постоянный доступ к системе SciFinder совершенно необходим для отечественных ученых и преподавателей высшей школы. При этом SciFinder – один из самых дорогостоящих информационных ресурсов в мире. Цена на него зависит от количества одновременно работающих пользователей, размеров организации, для университетов также учитывается степень, присваиваемая выпускникам – бакалавр, магистр, доктор.

Мировая практика показывает, что в настоящее время во многих странах без финансового содействия государства создание полноценной национальной информационной инфраструктуры для науки и образования невозможно. В частности, доступ к дорогостоящим ресурсам, подобным SciFinder, осуществляется в форме спонсируемых государством консорциумов, в которых затраты отдельного участника значительно ниже, чем при индивидуальной подписке. Консорциумы университетов по доступу к SciFinder существуют практически во всех западных странах. Доля государства в них составляет 50 % в Финляндии, 70 % в Венгрии и 100 % в Польше.

В России первый консорциум по доступу к SciFinder был организован в 2009 г. из десяти институтов Отделения химии и наук о материалах РАН. В том числе были Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН и Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН – места работы авторов данной статьи. Условия доступа были довольно жесткими: из 10 институтов одновременно подключиться к SciFinder могли только 3 пользователя. Потребовалась тщательная организационная подготовка, включающая создание расписания работы институтов с учетом часовых поясов – первыми к SciFinder подключались ученые в Новосибирске, затем в Уфе, Сыктывкаре и Екатеринбурге, за ними в Казани, Москве, Черноголовке и Ростове-на-Дону. В начале работы консорциума было всего 10 авторизованных пользователей – по одному на каждый институт, затем их число постепенно увеличилось. Статистика использования SciFinder за первый год существования консорциума показала, что ресурс крайне востребован учеными-химиками – среднее количество ежемесячно проводимых поисков увеличилось с ~820 в феврале 2010 г. до ~2 650 в ноябре 2011 г., а процент успешного подключения к ресурсу не опускался ниже 80.

Ключевую роль в дальнейшем существовании консорциума по использованию SciFinder и в

значительном увеличении числа его участников сыграл РФФИ, включивший консорциум в программу поддержки доступа к электронным научным информационным ресурсам зарубежных издательств. В итоге с декабря 2011 г. в консорциум входит уже 21 институт ОХНМ РАН.

Помимо институтов РАН совершенно необходима организация централизованного доступа к SciFinder для отечественных университетов. Осложняющим обстоятельством служит то, что согласно политике CAS непосредственное объединение вузов и НИИ в единый консорциум невозможно. В сентябре 2010 г. CAS и НЭИКОН договорились о проведении масштабных тестовых доступов к SciFinder для российских организаций. К настоящему времени проведено 3 серии таких доступов, охвативших 21 университет и 26 исследовательских институтов. Наивысшую активность проявили 9 институтов ОХНМ РАН – каждый использовал все 300 предоставленных ему поисков. Университеты, каждому из которых отводилось по 1 550 поисков, показали более скромные в относительном исчислении результаты. Самыми активными были Московский государственный университет тонких химических технологий (1 220 – третий тестовый доступ, апрель 2012 г.), химический факультет Московского государственного университета (804 – первый тестовый доступ, декабрь 2010 г.) и Российский химико-технологический университет (675 – второй тестовый доступ, апрель 2011 г.).

Попытка создать по итогам тестовых доступов консорциум университетов не удалась – не набралось минимально необходимых 4 участников. Три университета (с хорошей, но отнюдь не лучшей статистикой тестирования ресурса в декабре 2010 г.), тем не менее, подписались на SciFinder самостоятельно. Индивидуальные усилия, однако, явно недостаточны. Так, Новосибирский государственный университет (НГУ), приобретший SciFinder в рамках программы «Национальный исследовательский университет», в целях экономии отказался от важного модуля поиска по фрагменту химической структуры. В частном случае НГУ проблема полного доступа к функциональным возможностям SciFinder в какой-то мере решается взаимодействием с институтами СО РАН, входящими в консорциум ОХНМ, в форме специально созданного совместного научно-образовательного центра «Химическая информация онлайн». В этом можно усмотреть объединение усилий за-

интересованных сторон, направленное на выработку если не национальной, то региональной политики по информационному обеспечению отечественной науки и образования.

Еще один важный аспект, который нельзя оставить без внимания – эффективное использование дорогостоящих информационных ресурсов. Многие российские ученые-химики познакомились с системой SciFinder и оценили ее возможности, работая за границей. Большинство, однако, не имеет подобного опыта. Для того чтобы система SciFinder использовалась наиболее эффективно, необходимо, с одной стороны, проводить как можно больше поисков, с другой – контролировать продолжительность и время поисковых сеансов. Такая ситуация требует обучения пользователей. Необходимость обучения поиску химической информации была осознана еще в середине прошлого века – предмет слишком сложен для самообразования. Умение продуктивно работать с онлайн-базой – важный аспект профессиональной квалификации современных ученых-исследователей и преподавателей высшей школы. В России обучение современному поиску химической информации в профессиональных онлайн-базах в течение уже многих лет проводится в Высшем химическом колледже РАН в Москве и на Факультете естественных наук НГУ. Раздел, посвященный SciFinder, оставался при этом сугубо теоретическим. Благодаря РФФИ студенты и аспиранты теперь смогут познакомиться с SciFinder и практически.

Таким образом, без поддержки РФФИ доступ отечественных ученых к системе SciFinder, пусть даже ограниченный, был бы невозможен. Эта поддержка – отражение того внимания, которое РФФИ всегда уделял информационному обеспечению отечественной науки. Так, на протяжении многих лет Фонд способствует онлайн-доступу к журналам и книгам крупнейших мировых издательств – Wiley, Royal Society of Chemistry, Elsevier, American Mathematical Society, American Physical Society, Institute of Physics и других, а также к БД Web of Science и ряду других ресурсов на платформе Web of Knowledge. В 1996–2003 гг. РФФИ в рамках поддержки Информационного центра коллективного пользования (ЦКП) выделял специальные средства на проведение поисков в сети STN обладателям грантов по химии. Примечательно, что в 1999–2003 гг. более 90 % таких поисков проводилось в БД производства CAS, размещенных также и на платформе SciFinder.

Именно эта статистика явилась основанием принятия решения РФФИ о финансировании доступа к SciFinder взамен поддержки доступа к STN. Благодаря этому существенно выросло количество пользователей, которые получили возможность работать с БД производства CAS.

Поддержку РФФИ консорциума по доступу к системе SciFinder, безусловно, следует не только сохранять, но и увеличивать. Ближайшие задачи – расширение консорциума за счет новых институтов ОХНМ и других заинтересованных Отделений РАН. Перспективные – превращение консорциума в общенациональную структуру, охватывающую не только институты РАН, но и университеты. Делать это лучше всего с помощью РФФИ, уже имеющего положительный опыт. Посредничество Фонда, сотрудничающего как с РАН, так и с университетами, возможно, позволит, объяснив CAS специфику организации науки в России, преодолеть существующие ограничения, препятствующие объединению вузов и НИИ в единый консорциум. Несомненно, это потребует серьезных и скорее всего – нестандартных совместных организационных усилий РФФИ, МОН, РАН и ректоратов. Однако эти усилия, если будут предприняты и увенчаются успехом, существенно повысят эффективность национальной политики по информационному обеспечению науки и образования.

Следует отметить, что помимо основной задачи – информационного обеспечения научной работы, систему SciFinder (конкретно БД CASplus [4]) можно применять в библиометрическом мониторинге текущего состояния, тенденций и динамики развития химических ис-

следований на различных иерархических уровнях их организации: от отдельных авторов до страны в целом. Помимо чисто академического интереса, библиометрические работы имеют и прикладное значение. Их результаты полезны для рациональной организации научных исследований и управления ими. В настоящее время получение достоверной библиометрической статистики на единой для всех, по крайней мере в пределах конкретной дисциплины, информационной основе особенно актуально в связи с проводимой государственной оценкой результативности деятельности научных организаций [5].

Консорциумы – новая для страны организационная форма, но можно думать, что будущее – за ней. Уже имеющийся опыт показывает, что такая консолидация финансовых и организационных возможностей позволяет обеспечивать доступ к информационным ресурсам по минимально возможным ценам. В рамках консорциумов облегчены выработка оптимальных решений по оплате ресурсов и ведение переговоров с их поставщиками, направленных на снижение цен – например, за счет увеличения количества участников. Консорциуму проще, чем отдельным организациям, привлекать дополнительные финансовые средства – в частности, государственные. Кроме того, эта форма облегчает масштабное проведение необходимой методической работы – обучение рациональному использованию информационных ресурсов, издание соответствующих учебных пособий на русском языке, практически полностью отсутствующих в настоящее время.

Литература

1. Бузник В.М., Зибарева И.В., Зибарев А.В. Библиометрические индикаторы российских химических исследований 2001–2005 гг. на основе баз данных сети STN International // Вестник РФФИ. – 2010. – № 1. – С. 11–18.
2. Зибарева И.В. Химические базы данных международной сети научно-технической информации STN International // Известия АН. Сер. химическая. – 2012. – № 3. – С. 679–716.
3. Круковская Н.В. Недостаточно, но необходимо. Ученым-химикам доступен ценнейший информационный ресурс // Газета Поиск. – 2011. – № 37. – С. 17.
4. Зибарева И.В., Бузник В.М. Chemical Abstracts: база данных для библиометрических исследований // В кн. Наука в России. От настоящего к будущему / Под ред. В.С. Арутюнова, Г.В. Лисичкина, Г.Г. Малинецкого. М.: Либроком. – 2009. – С. 477–488.
5. Зибарева И.В., Пармон В.Н. Ранжирование институтов Российской академии наук с помощью Российского индекса научного цитирования на примере институтов химического профиля // Вестник РАН. – 2012. – Т. 82, № 9. – С. 779–789.

СТАРИННЫЕ ГОРОДА ОРЛОВСКОЙ ЗЕМЛИ XII-XVII ВЕКА. БОЛХОВ, МЦЕНСК, НОВОСИЛЬ, ЛИВНЫ, КРОМЫ, ИСЧЕЗНУВШИЕ ГРАДЫ¹

Два года назад при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований вышла книга «Архитектурные древности Орловщины. Книга 2 (ушедшее)», в этом году Фондом поддержана еще одна книга, выхода которой с нетерпением ждут не только жители Орловской области, но и вся Россия. Авторы книги — художник, доцент архитектурного института Орловского государственного технического университета Вячеслав Михайлович Ромашов и краевед, искусствовед Владимир Михайлович Неделин.



Владимир Михайлович Неделин дает интервью.



Вячеслав Михайлович Ромашов подписывает книгу.

Читатель увидит множество рисунков и чертежей часовен, церквей, которые когда-то были возведены в области и в городе Орле, здания бывших гимназий, собраний и т.д. Здесь же собран богатый справочный аппарат (ссылки на музейные источники, вспомогательные таблицы, копии карт и планов, чертежи, словарь архитектурных терминов и т.п.). За всем этим великолепным убранством книжного издания — долгие годы работы в архивах, поиски фотографий в музейных фондах Орла, Москвы и Петербурга.

Это продолжение труда под названием «Архитектурные древности Орловщины». Вышедшая в 1998 г. первая часть, по словам директора издательства «Вешние воды» А. Лысенко, обошла все главные книжные ярмарки мира (вместе с альбомом Владимира Неделина «Орел изначальный») и, кстати, в 2000 г. удостоилась диплома «Самая читаемая книга» от Управления культуры Орловской области.

Книга «Архитектурные древности Орловщины. Книга 2 (ушедшее)» (рис. 1) ждала своего выхода в свет более 10 лет, ее оригинал-макет был сдан в издательство пять лет назад. Потом дело остановилось, банально, из-за отсутствия денежных средств, ситуацию усугубил и экономический кризис. В итоге культура победила: издательский проект выиграл грант Российского фонда фундаментальных исследований. Авторы искренне верили в то, что книга состоится. В свое время на работу их благословил патриарх Всея Руси Алексей II (рис. 2). Самое трудное в работе, признается художник Ромашов, было как раз ожидание, непредвиденная пятилетняя пауза.

Вторая книга не случайно имеет подзаголовок «Ушедшее». Это уникальная история древних зданий и сооружений, которым так и не удалось стать памятниками. Это своего рода книга архитектурной памяти, которую собира-

¹ Книга издана при финансовой поддержке РФФИ (грант № 09-06-97500).

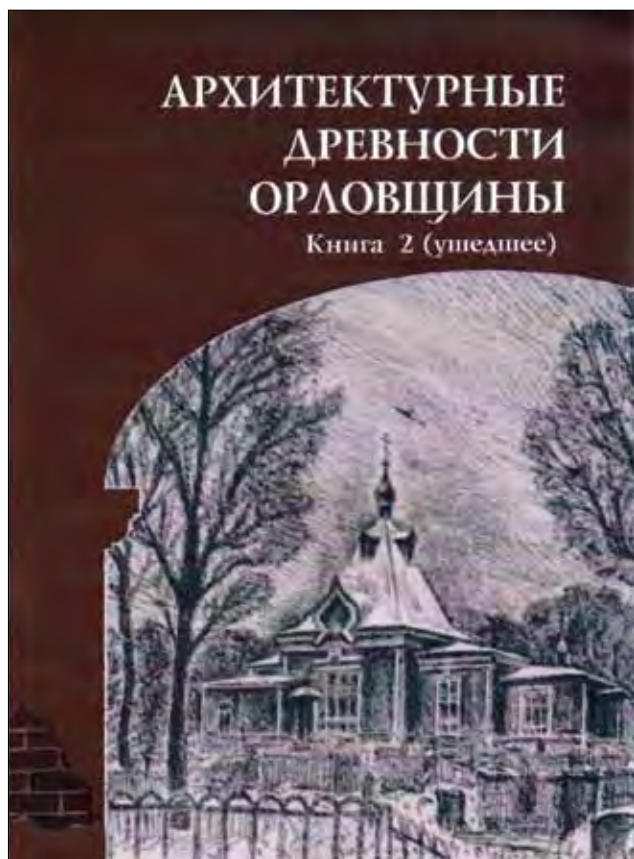


Рис. 1. Обложка книги «Архитектурные древности Орловщины (Ушедшее)».

ли авторы в 80–90-е гг., объездив всю Орловскую область. К сожалению, культурное наследие Орловщины понесло невосполнимые утраты (утрачено более 90 % памятников), из 700 церквей, к примеру, осталось всего 150. Надо сказать, и сами архивы пострадали не меньше. Впрочем, благодаря работе Ромашова и Неделина у научной общественности есть шанс ознакомиться с уникальным сводом храмовой архитектуры былых времен, с традициями, которые развивались на Орловской земле. Значение такого рода материала для выпускников специальных факультетов, будущих архитекторов, трудно переоценить.

В ближайших планах, поделились авторы «Архитектурных древностей Орловщины» — переиздание первой книги. Она нуждается в переработке, нет вины авторов в том, что были пропущены 3 памятника: когда была начата работа над книгой, не было географических карт с указанием наличия в населенных пунктах памятников культуры, вся эта информация собиралась непосредственно во время поездок по области. Кроме того, уже отдельная глава в истории — современное храмовое строительство, созидание новых объектов.



Рис. 2. Благодарность патриарха Всея Руси Алексия II авторам книги.

Замечательно, что никакое томительное ожидание не погасит настоящий исследовательский энтузиазм: «Что ж, — шутит художник Ромашов, — осталось взять велосипед и отправиться в новое путешествие по области...».

Ирина Крахмалева

Аннотация к книге Владимира Переверзева, члена Союза писателей России, заслуженного работника культуры РФ

Ты возвращаешь человека в тление и говоришь: «Возвращайтесь, сыны человеческие!» Ибо перед Очами Твоими тысяча лет, как день вчерашний, когда он прошел и как стража в ночи.

Псалтырь, Псалом 89, Молитва Моисея

Как ни мала, по нашим понятиям, Орловская область, а все же больше Израиля в его современных границах. Орел старше Нью-Йорка и Вашингтона, а происхождение наших так называемых «малых городов» теряется в седой древности. Болхов, Мценск, Новосиль, Ливны,

Кромы – какая дивная музыка, которую правда сегодня редко кто слышит.

На старинных картах Орловская губерния похожа на огромную сказочную птицу, во весь размах бесшумных своих крыльев устремившую полет на северо-восток. Но ведь так оно и было в истории! Некогда ее территория входила в состав древней Киево-Черниговской Руси. Через нашу землю проходили основные миграционные пути – самые короткие, между речьем Оки и Десны! – которые соединяли Киев и Чернигов на юго-западе с Владимиром, Суздалем и Ростовом на северо-востоке. Этими сокровенными путями пришло на нашу землю православие. Только потом забрезжила Москва, только потом явилась Россия!

Изданная в 1998 г. книга искусствоведа Владимира Неделина и художника Вячеслава Ромашова «Архитектурные древности Орловщины», в которой впервые была собрана информация о сохранившихся культовых памятниках нашего края, сразу после выхода стала библиографической редкостью. Это предполагалось, но успех книги превзошел все ожидания. Впрочем, это не то слово. Идеология жизненного успеха была чужда России во все века ее исторического существования, как чужды ей ценности запада, искусственно навязываемые сегодня. Русский человек по-прежнему томим духовной жаждой. В новой книге В. Неделина и В. Ромашова речь идет о памятниках, которые не сохранились.

Церкви на Орловщине строили помещики, купцы, служилые и приходские люди, даже крепостные. Воистину – это было общенародное дело.

Церкви горели во времена нашествий инородцев, но тут же отстраивались заново. Америка тянулась к небу небоскребами, Россия – церквами. Какие великие тайны при-

открываются хотя бы за этим общеизвестным фактом, какие истины! После 1917 г. началось повсеместное, страшное, целенаправленное уничтожение православия и вместе с ним – духовности и красоты русского человека и русской земли.

В начале XX в., как, впрочем, и в его конце, сатанинские силы сконцентрировались для решающего удара именно в России, что было замечено наиболее проницательными умами. Невероятны масштабы разрушений – невосполнимых, необъяснимых, чудовищных.

Сатанизм – не абстракция, он приходит на землю обязательно в чьем-то обличье: политического деятеля, чиновника, писателя, художника, артиста или просто обычного рядового человека. Включите телевизор и вы увидите его лицо. Сегодня основными проводниками сатанизма стали электронные средства массовой информации, любимое детище технологической цивилизации.

Предвижу возражения: «Сколько можно! Хватит об одном и том же! Надоело!». Но разве мы разобрались по настоящему в нашем недавнем прошлом? Разве ответили на вопрос: почему то, что с любовью и верой строилось поколениями русских людей, погибло в такой «волшебном краткий срок?»

Казалось бы, новая работа Владимира Неделина и Вячеслава Ромашова, как и предыдущая, напрочь лишена публицистичности – только факты! – но это впечатление обманчиво. Материал, собранный ими, ошеломляет и заставляет еще раз задуматься, что же с нами произошло.

Жаль только, мал ее тираж, и в немногих руках суждено ей побывать. Талантливые авторы нуждаются в поддержке, а книги, созданные ими, должны стать настольными для каждого кто любит свое отечество.

Подписано в печать 24.10.2012. Формат 60 x 90 ¹/₈.
Печ. л. 19. Тираж 1100 экз.

Оригинал-макет подготовлен ЗАО «ИТЦ МОЛНЕТ»
123104, г. Москва, Малый Палашевский пер., д. 6
Тел./факс: (495) 927 0198,
e-mail: info@molnet.ru

Отпечатано в ООО «ПОЛИГРАФ-ПЛЮС»
117209, г. Москва, ул. Керченская, дом 6, корп. 1,
Тел.: (499) 408 0116