



Вестник Российского фонда фундаментальных исследований

№ 2 (94) апрель-июнь 2017 года

Основан в 1994 году

Зарегистрирован Комитетом РФ по печати, рег. № 012620 от 03.06.1994

Сетевая версия зарегистрирована Роскомнадзором, рег. № ФС77-61404 от 10.04.2015

Учредитель

**Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Российский фонд фундаментальных исследований»**

Главный редактор В.Я. Панченко,
заместители главного редактора В.В. Квардаков и В.Н. Фридлянов

Редакционная коллегия:

В.П. Анаников, В.Б. Бетелин, К.Е. Дегтярев, И.Л. Еременко,
В.П. Кандидов, П.К. Кашкаров, В.П. Матвеевко, Е.И. Моисеев,
А.С. Сигов, В.А. Ткачук, Р.В. Петров, И.Б. Федоров,
Д.Р. Хохлов, В.А. Шахнов

Редакция:

А.П. Симакова, Е.Б. Дубкова, Н.В. Круковская

Адрес редакции:

119334, г. Москва, Ленинский проспект, 32а
Тел.: (499) 995-16-05
e-mail: pressa@rfbr.ru



Russian Foundation for Basic Research Journal

N 2 (94) April-June 2017

Founded in 1994

Registered by the Committee of the Russian Federation for Printed Media, 012620 of 03.06.1994 (print)

Registered by the Roskomnadzor FS77-61404 of 10.04.2015 (online)

The Founder Federal State Institution “Russian Foundation for Basic Research”

Editor-in-Chief V. Panchenko,
Deputies chief editor V. Kvardakov and V. Fridlyanov

Editorial Board:

V. Ananikov, V. Betelin, K. Degtyarev, I. Eremenko,
V. Kandidov, P. Kashkarov, V. Matvenko, E. Moiseev,
A. Sigov, V. Tkachuk, R. Petrov, I. Fedorov,
D. Khokhlov, V. Shakhnov

Editorial staff:

A. Simakova, E. Dubkova, N. Krukovskaya

Editorial address:

32a, Leninskiy Ave., Moscow, 119334, Russia

Tel.: (499) 995-16-05

e-mail: pressa@rfbr.ru

Предисловие	2
<i>В.Я. Панченко</i>	
Message	3
<i>Н.Е. Mr. Pankaj Saran</i>	
Foreword	4
<i>Ashutosh Sharma</i>	
Предисловие к тематическому номеру «Вестника РФФИ»	5
<i>Н.Э. Нифантьев</i>	
10 лет сотрудничества Российского фонда фундаментальных исследований и Департамента науки и технологий: какое будущее сулят итоги?	6
<i>А.Н. Шаров</i>	
Компьютеры и электроника	10
<i>В.А. Гущин</i>	
Совместные исследования транзиентных явлений в солнечной атмосфере	15
<i>Б.П. Филиппов</i>	
Плазмонные наноструктуры, содержащие магнитные и полупроводниковые материалы, для нанофотоники	23
<i>В.И. Белотелов</i>	
О сотрудничестве с индийскими учеными	26
<i>Б.А. Аронзон</i>	
Исследование высокоэнергичных космических взрывов в рамках российско-индийского научного сотрудничества Российского фонда фундаментальных исследований и Департамента науки и технологий в 2008–2013 гг.	29
<i>В.В. Соколов, Ш.Б. Пандей</i>	
Исследования молекулярного, нейтрального атомарного и ионизованного газов в областях звездообразования	42
<i>И.И. Зинченко, А.В. Лапинов, Л.Е. Пирогов, П.М. Землянуха, Н.Д. Лебедев, Д.К. Оджда, С.К. Гхош, К.К. Маллик</i>	
Программа российско-индийского сотрудничества по комплексам соединений палладия и платины с халькогенатными производными карборанов	49
<i>В.И. Брегадзе, В.К. Джейн</i>	
Наночастицы металлов в полимерной матрице как прекурсоры сенсорных материалов ...	56
<i>А.Д. Помогайло, Г.И. Джардималиева, Б.Ч. Ядав, П. Тандон</i>	
Российско-индийское сотрудничество в области гликонаук при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Департамента науки и технологий	62
<i>Н.Е. Устюжанина, Р.К. Саксена, С. Саран, А.И. Усов, М.И. Билан, М.Л. Генинг, П. Талукдар, Д.В. Титов, Ю.Е. Цветков, Д.Е. Цветков, Р. Кумар, В.К. Варишни, К.Н. Ганеш, Н.Э. Нифантьев</i>	
Совместные российско-индийские проекты по исследованию производных желчных кислот и реакциям, катализируемым наночастицами палладия	70
<i>Н.В. Лукашев, Д.А. Ерзунов, У. Майтра, Б.Н. Тхота, Р.К. Шарма, А.В. Казанцев, Г.Н. Бондаренко, О.Г. Ганина, И.П. Белецкая</i>	
10 лет сотрудничества Российского фонда фундаментальных исследований и Департамента науки и технологий в области системной биологии	74
<i>В.Ю. Макеев</i>	
Взаимовыгодное сотрудничество ученых России и Индии – основа успешного развития науки ..	78
<i>С.И. Аллахвердиев, А. Джаджу</i>	
Большое видится на расстоянии: цикл российско-индийских проектов в области компьютерного зрения	88
<i>Л.М. Местецкий, А.И. Майсурадзе, Н.Ф. Дышкант</i>	



3 мая 2017

MESSAGE



The India-Russia scientific relationship has a long history which dates back to the Soviet era. Over the decades, India and Russia have worked together to solve various societal problems through scientific discoveries. Both our Governments are engaged in efforts to increase research and development in priority areas of basic and applied sciences.

I warmly welcome the compilation of articles brought out by the Russian Federation for Basic Research dedicated to the tenth anniversary of cooperation between the Russian Foundation for Basic Research (RFBR) and Department of Science and Technology of India (DST) and also dedicated to the 70th anniversary of establishment of diplomatic relations between India and Russia. The articles showcase the successful partnership that the two sides have developed over the last ten years.

I congratulate both organizations for their strenuous efforts that have brought together talented scientists, academicians and experts. They are now actively engaged in joint projects that have resulted in significant outcomes in recent years. Two bilateral programmes – in Basic and Exploratory Scientific Research and in Multidisciplinary Research – have helped to intensify scientific cooperation across the full spectrum of research areas and created an active network of research institutions in both countries. Over ninety percent of all bilateral projects have been implemented through partnership between DST and RFBR in these past ten years.

I am glad that the tenth Anniversary of the DST-RFBR relationship is being commemorated through a jubilee conference with the theme “Advancing the future of scientific partnership”. This conference is an excellent opportunity to connect researchers from India and Russia, strengthen ties between our scientific communities and identify fresh areas of cooperation in cutting edge technologies and sectors. Today, India has a highly advanced science and technology sector, and massive development plans. I am sure modern day realities will open opportunities for greater cooperation between India and Russia.

I extend my warm greetings to Indian and Russian scientists and wish them all success in strengthening collaboration with each other.

Ambassador of India to Russia

H.E. Mr. Pankaj Saran



Предисловие к тематическому номеру «Вестника РФФИ»



Данный номер журнала «Вестник Российского фонда фундаментальных исследований» посвящен 10-летию сотрудничества РФФИ и ДНТ. Начатая в 2007 году российско-индийская грантовая инициатива, динамично развивалась и расширялась по формам и стала сегодня одной из наиболее крупных среди программ двустороннего сотрудничества в деятельности РФФИ. Особо важным является и то, что объем и тематическое разнообразие сотрудничества с учеными Индии, которое поддерживает РФФИ, превышает даже аналогичные программы, поддерживаемые сегодня Министерством науки и образования РФ и другими отечественными организациями-грантодателями. РФФИ и ДНТ в какой-то мере оказались приемниками и продолжателями российско-индийской Комплексной долгосрочной программы научно-технологического сотрудничества, организация которой претерпела значительные изменения в конце 90-х годов и в особенности в 2013 году в результате реформы Российской академии наук.

В результате 10-летнего сотрудничества РФФИ и ДНТ уже поддержано около 250 интересных двусторонних проектов, в которых с российской стороны приняло участие более 1500 исследователей. Конкурсный «накал» по программе РФФИ–ДНТ всегда никак не меньше конкуренции на получение грантов по внутрироссийским конкурсам РФФИ. Тематическое разнообразие поддержанных проектов по программе РФФИ–ДНТ очень широко и отвечает всем исследовательским направлениям тематического классификатора РФФИ. Для данного номера журнала были отобраны сообщения о двусторонних исследованиях в разных научных областях, которые представляют картину совместных российско-индийских фундаментальных исследовательских проектов. Значительная часть этих работ посвящена исследованиям в области физики и смежных направлений, включая астрофизику и геофизику, химии и наук о материалах, биологии и медицины, математики и компьютерных исследований. Представленные в данном номере статьи наглядно иллюстрируют прекрасные результаты проведенных исследований и общий высокий уровень проводившихся российско-индийских исследований. Многие из проектов, о которых рассказано в статьях ниже, не оказались лишь эпизодическими исследованиями, а инициировали продолжительные совместные работы в своих областях. В этом видится особое значение программы грантов РФФИ–ДНТ.

Н.Э. Нифантьев,

член-корреспондент РАН, Координатор российско-индийской Комплексной долгосрочной программы научно-технологического сотрудничества, ответственный редактор выпуска



10 лет сотрудничества Российского фонда фундаментальных исследований и Департамента науки и технологий: какое будущее сулят итоги?

А.Н. Шаров

Усилия РФФИ по стимулированию сотрудничества российских исследователей с учеными из наиболее продвинутых в научном отношении стран не могли обойти вниманием такую страну, как Индия, стремительно развивающую свой научный потенциал наряду с потенциалом производственным. За последние 10 лет Индия увеличила расходы на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (по паритету покупательной способности) более чем в шесть раз, выйдя по этому показателю на шестое место в мире. С 2009 г. она входит в первую десятку стран по числу научных публикаций, измеряемому по базе данных Scopus.

Ввиду отсутствия в Индии единого фонда финансирования научно-технического развития партнером РФФИ в этой стране стала профильная правительственная организация — Департамент науки и технологий (ДНТ) — имеющая право официально представлять Индию в вопросах международного научного сотрудничества. В августе 2007 г. между РФФИ и ДНТ было подписано соглашение, которое открыло возможность ученым двух стран получать поддержку в форме научного гранта для иницилируемых ими совместных фундаментальных исследований в рамках двухгодичных проектов.

Отбор таких так называемых «инициативных» («bottom up») проектов согласно общепринятой международной практике осуществлялся на конкурсной основе ежегодно по результатам их двусторонней экспертизы участниками соглашения. С 2008 г., когда стали проводиться такие конкурсы, поступило в общей сложности более 1000 заявок, рекордным числом которых

был отмечен конкурс 2016 г. — 171 заявка! Это свидетельствует о неснижаемом и даже возрастающем интересе ученых двух стран к сотрудничеству на условиях указанного конкурса.

За 10-летний период сотрудничества РФФИ и ДНТ было поддержано 254 российско-индийских исследовательских проекта, что при сопоставлении с числом поданных при этом заявок выводит средний коэффициент их успешного прохождения на уровень 29%, хотя в отдельные годы он довольно сильно колебался: был максимально высоким в 2009 и 2015 г. (38% и 39% соответственно) и заметно ниже среднего в 2014 и 2017 г. (соответственно 20% и 24%). Не менее 1500 российских участников двусторонних проектов воспользовались за это десятилетие грантами РФФИ, закономерно подтверждая тем самым давно сложившуюся широкую популярность индийского направления международного научного сотрудничества России. Для ДНТ, имеющего достаточно большое число зарубежных партнеров, в том числе в США, Германии, Франции, Великобритании, Японии, Р. Корея, совместная с РФФИ поддержка исследований весьма значима,



ШАРОВ
Александр Николаевич
начальник
Информационно-
аналитического
отдела РФФИ



с достигнутого уровня и с учетом открывающихся новых направлений и областей. К последним относятся поддержка фундаментальных исследований с использованием уникальных объектов инфраструктуры класса мегасайнс, уже имеющихся и создаваемых в стране партнера, налаживание сотрудничества молодых ученых двух стран, повышение публикационной активности россий-

ско-индийских исследовательских команд, налаживание сотрудничества в области научной экспертизы, в том числе с целью организации выпуска совместных научных изданий.

Высокие цели стратегического партнерства России и Индии обеспечивают самые широкие перспективы для сотрудничества двух стран, необъятное поле научного взаимодействия, ключевыми «двигателями» которого по праву считаются РФФИ и ДНТ. Партнерам предстоит многое сделать, чтобы оставаться лидерами российско-индийского научного сотрудничества.

Summary

The main reason for the RFBR entering into the partnership with the Department of Science and Technology (DST), Government of India, ten years ago has been proved by India's fast advancement in the field of scientific research supported by vast funds spent on it. Since then the RFBR and DST jointly funded more than 270 Russian-Indian bottom-up research projects in different fields of natural sciences, mostly in physics and chemistry.

More than 1500 Russian researchers participated in the above mentioned collaborations headed by the principal investigators representing institutes of the Russian Academy of Sciences (RAS) (61%), universities (33%) and other research organizations. Their publication activity was quite high during last years marked with about 8 publications per every finished project on the average, including two joint publications.

It was decided by two sides in 2015 to launch a new program focused on supporting targeted interdisciplinary collaborative research aimed at making it more efficient and related to the practical needs of both countries. In addition to the bilateral programs and projects, some multilateral research collaborations started from 2016 enjoying the RFBR-DST support. It was a result of the cooperation between the BRICS states and could develop further owing to the DST possible participation in the Eurasian Association for Promotion of Fundamental Research established in 2016 on the RFBR initiative as well as due to India's participation in the Shanghai Organization for Cooperation.

Despite the fact that the RFBR is looking for more partners in India, the DST remains definitely its major counterpart in this country and is ready to accept and try all possible new kinds and spheres of its cooperation with the RFBR.



90-летию со дня рождения академиков О.М. Белоцерковского и Г.И. Марчука, а также 10-летию сотрудничества РФФИ–ДНТ посвящается

Компьютеры и электроника

В.А. Гуцин

Сотрудничество с ДНТ началось в 1987 году с подписания руководителями двух крупнейших стран — СССР, возглавляемого М.С. Горбачевым, и Индии, возглавляемой Р. Ганди, Межправительственной комплексной долгосрочной программы научно-технического сотрудничества (КДП НТС, Программа, ИТР). В то время Академию наук СССР возглавлял академик Г.И. Марчук. Ему и было поручено руководство Программой с советской стороны.

В мае 1988 года в Москве состоялся первый (ознакомительный) симпозиум, на котором ученые и специалисты обеих стран рассказывали о своих направлениях деятельности. Советская сторона, возглавляемая Г.И. Марчуком, была представлена почти всеми вице-президентами АН СССР, а также директорами многих институтов. Индийскую делегацию возглавлял профессор С.Н.Н. Рао, который и по сей день является сопредседателем Программы с индийской стороны.

В ходе выступлений и дискуссий начали образовываться команды с общими научными интересами. О.М. Белоцерковский, будучи крупным специалистом в области вычислительной механики (аэро- и гидродинамики, механики деформируемого твердого тела, биомеханики и т.д.) обратил внимание на доклад профессора Р. Нарасимы, который продемонстрировал не только блестящие результаты в области ламинарно-турбулентного перехода в пограничном слое и управления этим процессом, но и являлся директором Национальной аэронавтической лаборатории (NAL, г. Бангалор) — аналога нашего Центрального аэрогидродинамического института им. профессора Н.Е. Жуковского (ЦАГИ).

Проблемы гемодинамики обсуждались в докладе доктора Г. Джайараман. Профессор Гаур рассказывал о некоторых проблемах сейсмологии. По итогам московского симпозиума было решено провести целый ряд тематических конференций.

Для обсуждения хода выполнения Программы и утверждения новых проектов очередное заседание рабочей группы КДП НТС, возглавляемой Г.И. Марчуком, состоялось во второй половине ноября 1990 г. в Дели. Одним из членов индийской делегации был доктор В. Бхаткар – директор Центра разработки перспективных вычислительных систем (С-DAC, Пуна). Одной из национальных программ Индии в 1986 году была принята программа создания индийского суперкомпьютера. С этой целью и был организован С-DAC.

Виджей Бхаткар обратился к Г.И. Марчуку с предложением посетить С-DAC. Гурий Иванович, учитывая «вычислительный авторитет» Олега Михайловича Белоцерковского, любезно пригласил его в эту поездку в г. Пуна.

Так, после ноябрьского визита в С-DAC Г.И. Марчук предложил О.М. Белоцерковскому возглавить раздел КДП НТС «Компьютеры



ГУЦИН

Валентин Анатольевич

член-корреспондент РАН, профессор,
вице-президент Российско-индийского центра компьютерных исследований, Институт автоматизации проектирования РАН



и электроника», срочно собрать команду специалистов и направить ее для детального ознакомления с системой ПАРАМ.

Через две недели после возвращения из Индии О.М. Белоцерковский с новой командой был снова в Пуне. Поселили нас в той же гостинице «Диамант», где проходила выставка-конференция и сотрудники С-DAC демонстрировали свои разработки: многопроцессорный вычислительный комплекс ПАРАМ, «ускорительные» платы на транспьютерах и соответствующее программное обеспечение. Транспьютерные платы (от одного до 10 процессоров), будучи вставленными в обычный РС, позволяют повысить производительность РС в несколько раз.

Поняв, что адаптацию программ к новым системам можно осуществить достаточно быстро, а быстродействие этих систем существенно превосходило производительность БЭСМ-6 и ЕС (1060,1061), О.М. Белоцерковский предложил В. Бхаткару провести выставку-семинар в Москве на базе Института автоматизации проектирования РАН (ИАП РАН). Было решено, что выставка пройдет в середине апреля 1991 года. Однако выставка не имела бы такого большого успеха, если бы мы сами не показали, что и как можно делать на таких системах. С этой целью уже в январе 1991 года четыре сотрудника ИАП РАН (А.В. Бабаков, М.А. Березовский, К.А. Коньков и В.Н. Коньшин) были направлены в С-DAC на один месяц для распараллеливания своих программ.

В марте наши четыре сотрудника уже заканчивали совместно с сотрудниками С-DAC подготов-

ку демонстрационных версий наших программ. Был оговорен сценарий выставки и большинство деталей. Уже на этом этапе начали складываться мини-группы сотрудников из ИАП РАН и С-DAC (А.В. Бабаков, К.А. Коньков и В. Рамеш «Метод потоков для расчетов аэродинамических характеристик автомобилей», М.А. Березовский и К. Рамеш «Построение сеток и конструкций», В.А. Гушин, В.Н. Коньшин и С. Нараянан «Разработка пакета прикладных программ CRAG для расчетов воздухо-, тепло- и массопереноса в чистых комнатах»).

Индийская сторона с участием наших сотрудников подготовила буклеты по трем направлениям: описание «железа» и архитектуры машины, системное программное обеспечение, приложения.

Открытие выставки было назначено на 16 апреля 1991 года. 12 апреля команда С-DAC из 10 человек прибыла в Москву. Первое, что мы попробовали, это вставить транспьютерную плату в РС Unisys с процессором Intel 086. Получилась машина на уровне БЭСМ-6. Сотрудники ИАП РАН, воодушевленные таким поворотом судьбы (в то время у нас персональных компьютеров было существенно меньше, чем сотрудников), быстро осваивали новые возможности. Тем более что консультанты из С-DAC были все время рядом. Был подготовлен зал, расставлены компьютеры, развешены стенды. Отдельное место было отведено для многопроцессорного вычислительного комплекса ПАРАМ и транспьютерных плат.

Открытие прошло успешно. За десять дней выставку посетили более двухсот специалистов из различных организаций и ведомств. Отзывы специалистов были весьма лестные. С учетом этих обстоятельств О.М. Белоцерковский принял решение о приобретении ПАРАМ. Состоялся ряд встреч на высшем уровне. В итоге 15 августа 1991 года (за четыре дня до ГКЧП) было подписано Постановление ГКНТ о выделении необходимых средств на покупку ПАРАМ. Так началось внедрение мощной вычислительной техники в ИАП РАН, и стал создаваться вычислительный центр ИАП РАН. В С-DAC на стажировку из института выезжали электронщики, системщики и разработчики прикладных



программ. Машинный парк ИАП расширился, и в 1994 году уже была установлена система ПА-РАМ 8000, состоящая из 128 процессоров T-800 и i-860. Все сотрудники имели РС, во многих из которых стояли транспьютерные платы. У сотрудников появилась возможность решать более сложные задачи, выполнять совместные международные проекты. Российско-индийские выставки стали традиционными и проводятся каждые два года. Благодаря помощи Миннауки к ИАП РАН была подведена оптоволоконная линия. Вычислительный центр (ВЦ) института развивался.

Вычислительная техника развивается стремительными темпами, и вот в апреле 1997 года С-DAC демонстрирует суперкомпьютер ПАРАМ 9000 на базе процессоров SUN Ultra Sparc (до этого они уже опробовали процессоры SUN Super Sparc и DEC-Alpha). И здесь О.М. Белоцерковский предлагает руководству С-DAC поставить в ИАП очередной образец. Контракт был подписан, и осенью 1997 года был установлен прототип системы с производительностью 1.3 Gflops (четыре процессора Ultra Sparc 167 Mhz). Опробовав систему, наши сотрудники убедились в ее существенно больших возможностях, в том числе и благодаря наличию системы MPI, позволяющей легко и быстро адаптировать прикладные программы от одной вычислительной системы к другой. А системы такого типа все шире стали распространяться в мире из-за своей эффективности.

В 1998 году С-DAC сдал в эксплуатацию суперкомпьютер ПАРАМ 10000 на базе процессоров Ultra Sparc II с пиковой производительностью 100 млрд операций с плавающей точкой в секунду (100 Gflops). Для освоения этого нового суперкомпьютера и обучения сотрудников С-DAC современным методам вычислительной гидродинамики в С-DAC в 1998-2000 годах в С-DAC были откомандированы несколько сотрудников ИАП РАН и Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН (ИВМ РАН).

Во время очередной встречи с руководством С-DAC и ДНТ О.М. Белоцерковский в очередной раз предложил индийской стороне осуществить свою старую идею о создании российско-индийского центра перспективных

компьютерных исследований (РИЦКИ), оснащении его новыми образцами вычислительной техники с целью выполнения совместных проектов. На этот раз, видимо, эта идея «проросла» и в головах индийских коллег. В апреле 1998 года началась проработка документов, поиск юридической формы такой организации. Вопрос о создании российско-индийского центра обсуждался и на Президиуме РАН. Постановление о создании на базе ИАП РАН российско-индийского центра компьютерных исследований было подписано президентом РАН академиком Ю.С. Осиповым в июне 1998 года.

В качестве учредителей РИЦКИ выступили РАН, ИАП РАН и С-DAC. К сожалению, по юридическим соображениям учредителями не смогли выступить ни Миннаука РФ, ни ДНТ Правительства Индии. Высшим органом РИЦКИ (Российско-индийского центра компьютерных исследований) является объединенная комиссия. Российская часть этой комиссии была утверждена Президентом РАН Ю.С. Осиповым в 1998 г. в следующем составе:

- В.Е. Фортов — вице-президент РАН, академик, сопредседатель;
- М.П. Кирпичников — министр науки и технологий РФ, академик;
- А.И. Коношенко — начальник Финансово-экономического управления РАН, к.э.н.;
- О.М. Белоцерковский — директор ИАП РАН, академик;
- В.А. Гуцин — заместитель директора ИАП РАН, член-корреспондент РАН;
- В.В. Шаповаленко — заместитель начальника Управления внешних связей РАН.



Совместные исследования транзиентных явлений в солнечной атмосфере

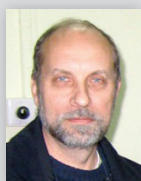
Б.П. Филиппов

Сотрудничество российских и индийских исследователей в области физики Солнца при поддержке РФФИ и ДНТ началось в 2008 г. Инициатива исходила от молодого и активного сотрудника Института наблюдательных наук им. Арибхатты (Aryabhata Research Institute of Observational Sciences (ARIES)) доктора А.К. Сриваставы. Российским партнером стал заведующий лабораторией солнечной активности Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН) (рис. 1а), д.ф.-м.н. Б.П. Филиппов. Примечательно, что и тот и другой институт — многопрофильный, сочетающий исследования в области астрофизики с работами по геофизике. Это вполне естественно, поскольку сейчас хорошо известно, что многие геофизические явления, особенно электромагнитной природы, инициируются активными процессами на Солнце.

Институт наблюдательных наук (рис. 1б) находится в предгорьях Гималаев на высоте 2000 м. Хорошие астроклиматические условия позволяют проводить регулярные наблюдения Солнца в оптическом диапазоне (в основном в спектральной линии излучения

водорода H_{α}). С вершины Манора Пик, на которой расположен институт и его обсерватория, и окрестных вершин видны на горизонте величественные пики гималайских семитысячников. ИЗМИРАН находится на равнине недалеко от Москвы, однако помимо телескопов, базирующихся на основной территории, для наблюдений Солнца используются инструменты, установленные на Кисловодской горной астрономической станции Пулковской обсерватории (ГАС ГАО), тоже на высоте около 2000 м. Со станции открывается прекрасный вид на Эльбрус, который, хотя и не дотягивает чуть-чуть до 6000 м, все же почитается высочайшей европейской горной вершиной. В середине 60-х на Горной станции был установлен крупнейший в мире для своего времени внезатменный коронограф, сконструированный тогдашним заведующим лабораторией солнечной активности ИЗМИРАН профессором Г.М. Никольским, с главным объективом диаметром 53.5 см и фокусным расстоянием 8 м (рис. 2).

На этом сходство сторон, пожалуй, заканчивается, и начинаются различия. Индийскими участниками проекта были в основном молодые люди (аспиранты, стажеры), группирующиеся вокруг доктора А.К. Сриваставы и руководителя направления солнечных исследований в ARIES доктора В. Уддина. Они хорошо владели современными компьютерными методами обработки различных данных, были знакомы с большими базами данных различных космических миссий, легко осваивали новые программные продукты, выпускавшиеся для обеспечения космических проектов. Российскими участниками в силу специфики состояния научной сферы в стране оказались люди гораздо более зрелые и опытные.



**Филиппов
Борис Петрович**
Институт земного магнетизма,
ионосферы и распространения
радиоволн им. Н.В. Пушкова



лизировали несколько вспышечных явлений на Солнце, наблюдавшихся как наземными обсерваториями, так и с борта космических аппаратов Solar and Heliospheric Observatory (SOHO), Transition Region and Coronal Explorer (TRACE), Solar Terrestrial Relations Observatory (STEREO), Hinode. Изображения верхних слоев солнечной атмосферы, хромосферы и короны получают с помощью узкополосных спектральных фильтров, пропускающих, как правило, излучение одной спектральной линии какого-нибудь атома или иона. Такая линия появляется при определенной температуре, так что полученное изображение характеризует распределение плазмы с данной температурой. Поскольку температура солнечной атмосферы очень неоднородна, в разных спектральных линиях отображаются разные слои и разные плазменные структуры. Сочетание и сопоставление изображений в разных спектральных полосах дает возможность получить более полную картину распределения плазмы в атмосфере и ее температурных особенностей. Именно поэтому в нашем проекте мы делали ставку на многоволновые наблюдения.

Все данные наблюдений были подобраны и обработаны индийскими участниками проекта, в ходе дискуссий составлен сценарий явлений и предложена интерпретация наблюдений с точки зрения концепции накопления перед вспышкой свободной магнитной энергии в короне.

При анализе длительной компактной вспышки (3В/M8.9) 4 июня 2007 г. в активной области NOAA 10960 мы не обнаружили существенных изменений фотосферного магнитного потока непосред-



Рис. 3. Руководители проекта с российской и индийской сторон Б.П. Филиппов и А.К. Сривастава во время первого визита российских участников в ARIES.

ственно перед вспышкой и во время ее развития, хотя высококачественные изображения в континууме с японского спутника Hinode показывали заметные изменения структуры поля в полутени пятна, связанного со вспышкой. Примерно за час до вспышки и непосредственно перед ее началом происходила активизация скрученной корональной структуры, наблюдаемой в линии ионизованного кальция Ca II H 3968 Å и ультрафиолетовых линиях железа Fe IX/X 171 Å. Мы считаем эту структуру проявлением магнитного жгута, в котором была запасена свободная магнитная энергия, выделившаяся во время вспышки. Несмотря на значительную величину скрученности жгута (около 10-12 радиан на всей длине), он оставался в равновесии до начала вспышки, в ходе которой, вероятно, пересоединение силовых линий жгута с соседними петлями создало условия для ограниченной эрупции части магнитного потока жгута. Однако вследствие наличия сильного дипольного момента активной области подъем скрученных петель остановился на некоторой высоте и образования коронального выброса не последовало. Структура активной области после вспышки упростилась: исчез скрученный жгут, появилось много корональных петель, соединяющих соседние противоположные полярности, ранее замыкавшиеся на удаленные источники.

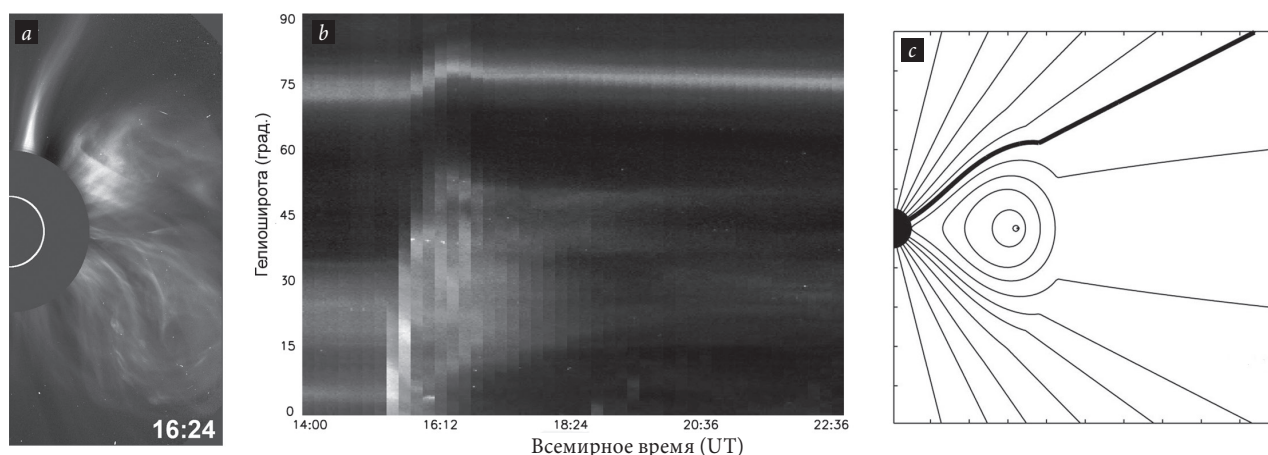


Рис. 5. Искривление коронального стримера при прохождении коронального выброса 2 января 2012 г. в поле зрения коронографа SOHO/LASCO C2 (a); временной профиль углового отклонения стримера (в верхней части диаграммы) и угловое расширение коронального выброса (в нижней части диаграммы) на удалении в 3.3 солнечных радиуса от поверхности (b); схема силовых линий магнитного поля короны, содержащего удаляющийся магнитный жгут (c).

жгутом в экваториальной плоскости и показали, что искривление силовых линий хорошо соответствует наблюдаемой картине. Движение крупномасштабного магнитного жгута, удаляющегося от Солнца, создает изменения в структуре окружающих силовых линий в короне, которые похожи на полупериод волны, бегущей вдоль коронального луча.

Годы выполнения нашего следующего совместного проекта пришлось на эпоху максимальной солнечной активности в текущем цикле. Его название непосредственно отражает эту специфику: «Изучение динамических явлений в солнечной атмосфере во время максимума 24-го цикла солнечной активности».

Этот цикл, максимум которого мы не так давно миновали, продемонстрировал немало особенностей, заставляющих пересмотреть некоторые представления о закономерностях солнечной цикличности. При этом он был встречен научным сообществом как никогда «во всеоружии», поскольку целая «флотилия» космических обсерваторий наблюдала Солнце в различных спектральных участках и с разных углов зрения. Продолжала

успешную работу космическая обсерватория SOHO, находящаяся в лагранжевой точке между Солнцем и Землей. Обсерватория Solar Dynamic Observatory (SDO) на геосинхронной орбите непрерывно передает множество изображений Солнца в восьми ультрафиолетовых спектральных линиях и континууме, а также магнитограммы фотосферного поля. Две межпланетные станции STEREO с комплексом ультрафиолетовых телескопов и коронографов движутся в разных направлениях по орбите Земли и обеспечивают наблюдения с боковых точек зрения, в том числе участков поверхности Солнца, не видимых со стороны Земли. Оптический телескоп спутника Hinode обладает беспрецедентно высоким пространственным разрешением, а его рентгеновский телескоп регистрирует горячую корональную плазму. Высочайшее временное разрешение обеспечивает ультрафиолетовый телескоп SWAP микроспутника PROBA2. Многие наземные обсерватории модернизировали свои телескопы и системы регистрации.

Благодаря таким богатым данным наблюдений мы имели возможность получить убедительные доказательства структуры коронального магнитного поля в окрестностях солнечных волокон (протуберанцев) в виде скрученных жгутов силовых линий. Были найдены яркие примеры соответствия морфологических признаков волокон направлению закрученности жгутов (знаку спиральности). Наблюдения одних и тех же плазменных образований в короне в различных проекциях позволили надежно восстановить их трехмерную структуру и точное пространственное положение. На этом основании мы выполнили сравнения с модельными расчетами



плазму с большей барометрической шкалой высот и движущуюся холодную плазму, не находящуюся в гидростатическом равновесии, при активизации или эрупции волокна, как показано на рисунке бс. Как видно из этой схемы, если сверху мы видим нижние участки винтовых линий, то внутри левовинтовой спирали должно находиться декстральное волокно, а внутри правовинтовой спирали — синистральное. Убедительный пример такого соответствия дает тонкая структура волокна и форма корональных петель во время активизации волокна 4 августа 2012 г. Принадлежность волокна к декстральному типу очевидна на H_{α} -фильтрограмме (рис. 6а), тогда как правовинтовая спираль отчетливо различима в структуре корональных петель.

Наш третий по счету совместный проект имел название: «Изучение роли магнитных полей во вспышечных и эруптивных областях солнечной атмосферы». В нем мы более детально исследовали топологию и структуру магнитных полей в солнечной атмосфере в местах накопления свободной магнитной энергии и ее высвобождение во время динамических явлений солнечной активности (вспышки, корональные выбросы, джеты). Руководителем проекта с индийской стороны на этот раз выступал доктор В. Уддин, исполняющий обязанности директора Института наблюдательных наук им. Арибхатты, принимавший активное участие и в предыдущих проектах.

Большой интерес у всех участников в ходе выполнения этого проекта вызвало исследование направленных потоков плазмы (джетов) из нижних слоев солнечной короны в верхние. Были использо-

ваны многоволновые и многоракурсные наблюдения коронального плазменного джета 10-11 апреля 2013 г. для изучения механизма его формирования (рис. 7). Мы пришли к выводу, что развитие джета последовало за незавершенной эрупцией солнечного волокна внутри магнитной конфигурации типа Эйфелевой башни с нулевой точкой магнитного поля. Осевое вращение джета и его спиральная структура свидетельствуют о наличии в нем спиральности того же знака, что и в ранее существовавшем волокне. Удачное расположение исследуемой области на солнечном диске и высокое качество наблюдательного материала позволили проследить передачу спиральности от замкнутого предэруптивного магнитного поля волокна открытому полю джета.

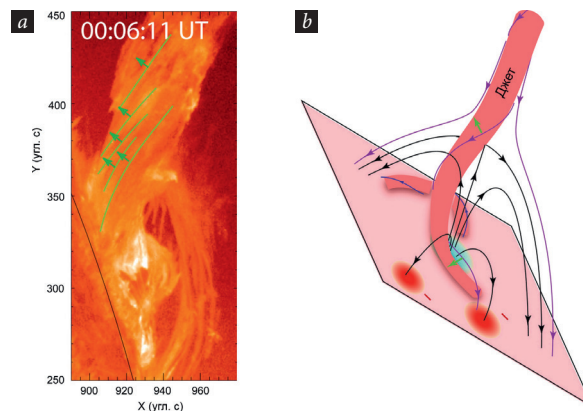


Рис. 7. а — Фрагмент изображения края солнечного диска (обозначен черной линией) и короны в канале 304 Å телескопа AIA космической обсерватории SDO на последней стадии развития джета, б — схема магнитной конфигурации, в которой развивалось явление.

Внезапные спорадические процессы в солнечной атмосфере (вспышки, выбросы, джеты) оказывают самое сильное и труднопредсказуемое воздействие на состояние околоземного космического пространства, которое в последние годы именуется «космической погодой». Энергия, выделяющаяся при этом взрывным образом, предварительно аккумулируется в корональных магнитных полях в виде свободной магнитной энергии или энергии электрических токов. Одним из индикаторов присутствия электрических токов в короне являются плотные плазменные образования — солнечные волокна и протуберанцы. Несмотря на долгую историю изучения этих объектов, их природа во многом остается неясной. Хотя все больше фактов накапливается в пользу магнитной конфигурации протуберанцев в виде



скрученного жгута силовых линий, наблюдения тонкой структуры протуберанцев в различных ракурсах не удастся интерпретировать однозначно. Мы проводим анализ данных наблюдений с высоким пространственным и временным разрешением для выявления структурных особенностей плазменных образований в солнечной атмосфере с целью определения магнитных конфигураций, в которых развиваются неустойчивости, приводящие к активным процессам. Анализируются наблюдаемые проявления аккумуляирования свободной магнитной энергии в короне в виде магнитных жгутов или токовых слоев и ее высвобождения при развитии неустойчивостей и магнитного пересоединения. Проводятся поиски топологических особенностей в структуре корональных полей и сопоставление их с наблюдаемыми проявлениями выделения энергии, что способствует развитию представлений о необходимых условиях для развития магнитной диссипации в короне.

Summary

The cooperation of Russian and Indian scientists in the field of solar physics started in 2008 under support of the RFBR and DST. The Russian team from the Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of the Russian Academy of Sciences (IZMIRAN) was headed by Dr. B.P. Filippov; the leader of the Indian team was Dr. A.K. Srivastava from the Aryabhata Research Institute of Observational Sciences (ARIES). The project "Multiwavelength Observations and Modeling of Transient Events and Waves in the Solar Atmosphere" was devoted to the study of mechanisms of energy transfer from lower layers of the solar atmosphere into the corona via wave and transient events. The Indian team is mainly represented by rather young researchers experienced in processing and analysis of data from space observatories, computing technologies and database handling. Russian participants were more aged and experienced for known reasons. Their criticism and expertise were very useful for the generation of reasonable and well-founded concepts.

За время сотрудничества мы опубликовали в соавторстве 12 статей в ведущих профильных международных научных журналах: "The Astrophysical Journal", "Monthly Notices of the Royal Astronomical Society", "Solar Physics", "Astronomy Reports", "Journal of Astrophysics and Astronomy", "Advances in Geosciences", а также несколько десятков статей, подготовленных участниками в отдельности по тематике проектов. Успешность нашего сотрудничества во многом обязана наличию прекрасных наблюдений Солнца космическими обсерваториями SOHO, TRACE, STEREO, Hinode, SDO.

Мы благодарны международным научным группам этих проектов за возможность работы с их данными.

During our exchanging with scientific visits and electronic communications, we collected and analyzed observational data on several events and came to interesting conclusions. Success of realization of our first collaborative project inspired us for the second application in the RFBR-DST Call for Proposals 2012: "Study of Dynamical Events in the Solar Atmosphere during Maximum of Solar Cycle 24." It was planned to run during the maximum phase of the new solar cycle when successive old and challenging new space missions were aimed to study the increasing solar activity. In the framework of the third project, "Study of the Role of Magnetic Fields in the Flaring and Eruptive Regions of the Solar Atmosphere," we continued the study of the processes of accumulation, storage, and release of magnetic energy in the solar atmosphere in more detail. We paid more attention to collimated plasma flows (jets) in the solar corona.

We published in cooperation 12 papers in leading profile journals and several tens of separate papers.



Плазмонные наноструктуры, содержащие магнитные и полупроводниковые материалы, для нанопотоники

В.И. Белотелов

Совместная российско-индийская работа началась в 2009 году и продолжается поныне. Российскую сторону представляет коллектив сотрудников Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН (ИОФ РАН) и Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (МГУ), возглавляемый доктором физико-математических наук В.И. Белотеловым. Индийскую сторону представляет коллектив Института фундаментальных исследований имени Тата (Tata Institute of Fundamental Research (TIFR), Мумбай) под руководством профессора Ачанта Вену Гопала, а также (до 2012 года) профессора Арвинда Венгурлекара. Работа была дважды поддержана совместными грантами РФФИ–ДНТ Индии: проекты №№ 09-02-92671 (2009-2010) и 13-02-92710 (2013-2014).

Работа представляет важное и актуальное направление исследований, связанное с локализацией света на наномасштабах, перспективность которого обусловлена одновременным достижением быстроедействия и миниатюризации устройств обработки информации, а также возможностью эффективного сочленения электрон-

ных и оптических элементов. В работе проведено комплексное теоретическое и экспериментальное исследование оптических свойств плазмонных кристаллов, представляющих собой перфорированные металло-диэлектрические пленки, содержащие магнитные или полупроводниковые слои. Важной особенностью рассматриваемых структур является возможность управления их свойствами посредством внешнего магнитного поля (~10–150 мТл) или мощными фемтосекундными импульсами лазерного излучения (плотность энергии в импульсе ~100–500 мкДж/см²).

В ходе выполнения работ созданы и исследованы плазмонные кристаллы, предназначенные для работы как в дальнем оптическом поле (перестройка коэффициентов прохождения, отражения и поглощения падающего оптического излучения), так и в ближнем оптическом поле (управление распространением плазмон-поляритонов). В частности, было показано, что в таких структурах наблюдается гигантское резонансное усиление ряда магнитооптических эффектов на несколько порядков величины.

Все исследования в рамках проекта включают в себя компьютерное моделирование, теоретическое проектирование, оптимизацию параметров, изготовление и экспериментальное изучение свойств структур, разработку теорий наблюдаемых явлений. Сотрудничество с индийскими партнерами было необходимо в силу того, что все изучаемые плазмонные образцы были изготовлены и охарактеризованы индийской группой.

Опыт и возможности двух коллективов во многом взаимодополняемы. Научная группа из России имеет большой опыт в области



БЕЛОТЕЛОВ
Владимир Игоревич
профессор РАН,
МГУ им. М.В. Ломоносова

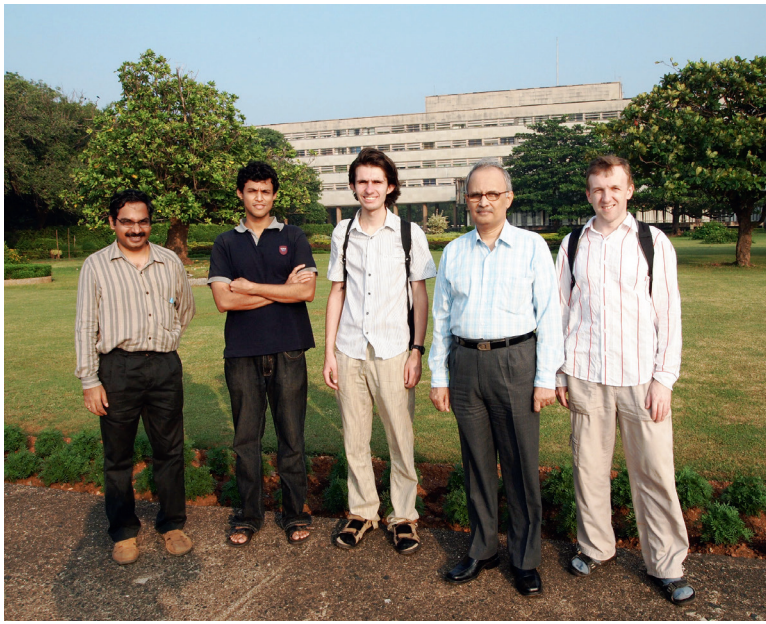


Рис. 1. Российско-индийский коллектив.

теоретического изучения и электромагнитного моделирования периодических гетероструктур. Научная группа из Индии на протяжении нескольких лет ведет экспериментальные работы по исследованию металло-диэлектрических перфорированных пленок и обладает всеми необходимыми техническими возможностями для реализации поставленных задач. Институт фундаментальных исследований имени Тата входит в список ведущих научно-исследовательских институтов мира, обладает современной экспериментальной базой для проведения работ по наноптонике и плазмонике и имеет большой опыт в изготовлении новых металло-диэлектрических решеточных структур с отверстиями или щелями субволновых масштабов. Экспериментальная и техническая базы индийского коллектива располагают современным оборудованием, что гарантирует проведение исследований на высоком научном уровне.

Работа двух коллективов (рис. 1) идеально дополняет друг друга: в то время как российский коллектив обеспечивает формирование направления исследований, проводит теоретические исследования, разработку структур и численное моделирование их характеристик, индийский коллектив изготавливает структуры и характеризует их оптически. После этого российский коллектив проводит магнитооптические эксперименты. Органичное сочетание деятельности двух

коллективов обусловило высокую эффективность сотрудничества и высокий научный уровень полученных результатов. За прошедшие восемь лет опубликовано около 40 работ, среди которых 15 статей в ведущих российских и зарубежных журналах, включая Nature Nanotechnology, Nature Communications, Applied Physical Letters, Journal of the Optical Society of America B, Physical Review B и др.

Финансирование работ в рамках совместных проектов РФФИ и ДНТ Индии в немалой степени способствовало повышению эффективности сотрудничества. В рамках проектов состоялось несколько визитов как индийских исследователей в Россию, так и российских исследователей в Индию. Во время визитов проходили необходимые обсуждения, консультации и совещания, совместные семинары, выступления с докладами, посещение лабораторий, что способствовало обмену опытом, повышению квалификации и приобретению новых навыков исследователей из ИОФ РАН, МГУ и TIFR и, в частности, развитию экспериментальной базы российского коллектива и теоретических навыков индийского коллектива.

Пример наших исследований красноречиво свидетельствует о том, что программа совместных проектов РФФИ и ДНТ Индии показала свою эффективность и значимость не только для развития международных научных связей, но и для развития российской и индийской наук в целом. Поскольку потенциал сотрудничества не исчерпан, мы надеемся на продолжение наших исследований в рамках совместных проектов РФФИ и ДНТ Индии.



Summary

The joint Russian-Indian work of the A.M. Prokhorov General Physics Institute of the RAS (Moscow), M.V. Lomonosov Moscow State University and Tata Institute of Fundamental Research (Mumbai) started in 2009 and was twice supported by the joint RFBR-DST grants. The work is devoted to the localization of light at nanoscales that is the frontier of modern photonics. Novel plasmonic structures with extraordinary magneto-optical properties were designed, fabricated, and investigated that opened new prospects for various applications. About 15 papers have been published in leading scientific journals. The collaboration turned

out to be very fruitful, since the Indian team provided fabrication of the samples, while the Russian team carried out all theoretical investigations. Moreover, the Russian team has improved experimental skills, and the Indian team has obtained some experience in theoretical study. The results of the work demonstrate that the RFBR-DST collaboration is vital not only for developing international scientific communications but also for developing Russian and Indian science as a whole. The potential of our collaboration is not exhausted so we look forward for its continuation.



О сотрудничестве с индийскими учеными

Б.А. Аронзон

Наше сотрудничество с индийскими учеными началось со случайного приглашения на конференцию, которая проводилась в г. Махалишавар в Индии. На этой конференции я познакомился с профессором В. Трипати из Тата, Института фундаментальных исследований, который находится в городе Мумбай и является одним из ведущих институтов в Индии, по крайней мере, в области физических исследований. Теперь, после целого ряда лет сотрудничества с профессором Трипати, обмена несколькими визитами и подробного знакомства с исследованиями, ведущимися в области физики твердого тела в Индии, в частности в этом институте и в Центре развития науки из города Калькутта, я убежден в огромной пользе этих контактов. Дело в том, что при общем низком уровне жизни населения на науку выделяются огромные средства и в этой области Индия начинает занимать передовые позиции.

В беседах с профессором Трипати мы обнаружили много общих интересов, а главное – взаимодополняющих возможностей. Мои экспериментальные результаты нуждались в теоретическом обосновании, а профессор Трипати хотел применить свои знания и умение проводить сложные численные расчеты к конкретным результатам. Мы оба были заинтересованы в области исследований, которая получила название «спинтроника».

Стремительное развитие микроэлектроники в последние тридцать лет, зачастую даже опережающее по своему темпу так называемый закон Мура, вызвало появление значительного числа аналитических обзоров, авторы которых предсказывают неминуемый и скорый кризис в этой области науки и промышленности; объем производства последней исчисляется десятками мил-

лиардов долларов. Увеличение объемов и скорости передачи информации приближается к пределу, связанному с принципиальными физическими ограничениями на дальнейшее уменьшение размеров активных элементов. Для развития электроники необходим поиск новых решений и принципов. Наличие у электрона двух квантовых характеристик – заряда и спина – открывает новые подходы и технологии передачи информации, в рамках которой для ее хранения и обработки будет использоваться не только заряд, но и спин электрона. Другая проблема современной электроники связана с тем, что производительность микропроцессоров и степень миниатюризации элементов электроники ограничиваются выделением тепла при их работе. Переход с зарядовых элементов на спиновые мог бы значительно уменьшить тепловыделение, а также увеличить скорость вычислений и уменьшить размеры вычислительных систем.

Спинтроника успешно развивалась в течение двух десятилетий, и к настоящему времени результаты привели к созданию новых элементов считывания и записи для компьютерных технологий, созданию целого ряда чувствительных элементов нового типа, и в перспективе – элементов энергонезависимой маг-



АРОНЗОН
Борис Аронович
НИЦ "Курчатовский институт"



нитной памяти и возможности отказаться от вращающихся жестких дисков. Такие элементы уже существуют (MRAM – magnetic random access memory) и обладают рядом принципиальных преимуществ по сравнению с широко распространенной flash-памятью. В перспективе спинтроника может привести к созданию принципиально новой элементной базы электроники.

Однако все эти преимущества нивелируются тем, что в настоящее время элементы спинтроники изготавливаются из металлических ферромагнетиков. В отличие от полупроводниковых приборов для элементов, изготовленных из металлических материалов, отсутствует возможность управлять их свойствами с помощью слабых электрических сигналов (создавать транзисторные структуры). Это вызывает стремление к развитию полупроводниковой спинтроники. Такие работы ведутся довольно давно, но связаны они преимущественно с исследованиями объемных полупроводников, легированных магнитными примесями. Однако объемные материалы не вписываются в современную технологию электроники.

Взаимное понимание указанных проблем, интерес к их решению и комплементарность наших исследовательских возможностей побудили нас с профессором Трипати к решению этих вопросов в рамках совместной деятельности. В итоге в 2008 году нами была подана заявка в РФФИ на конкурс совместных международных проектов российско-индийского двустороннего сотрудничества. Проект поддержали



и наше сотрудничество было продолжено (проект № 09-02-92675-ИНД-а «Влияние беспорядка и включений на транспортные и магнитные свойства разбавленных магнитных полупроводников», который продолжался в течение 2009 и 2010 годов). Работы по этому проекту проводились достаточно успешно и привели к публикации целого ряда статей. В отчете по этому проекту фигурирует девять публикаций, включая статьи в высокорейтинговых журналах, таких как Physical Review B, Journal of Applied Physics, Журнал экспериментальной и теоретической физики.

В последующие годы (2011 и 2012) мы опубликовали еще ряд статей, в частности в журнале Physical Review B. Эти работы посвящены разработке и обнаружению двумерных ферромагнитных полупроводниковых гетероструктур на основе обычных полупроводников с квантовым каналом проводимости и отдаленным от него слоем магнитной примеси. Такие системы также могут управляться с помощью затворного электрода и характеризуются подвижностью носителей заряда, на порядки превышающей подвижность обычных магнитных полупроводников. Данное направление науки стало прорывным и развивалось сперва в основном участниками нашего российско-индийского коллектива ученых.

Как следствие этих работ, в 2012 году нами была подана новая заявка на грант РФФИ в рамках двустороннего российско-индийского сотрудничества. Наш проект (№ 13-02-92694 ИНД_а «Спин-зависимые явления в квазидвумерных структурах



и пленках с магнитными примесями») также получил поддержку РФФИ (2013 и 2014 годы). В настоящее время этот проект завершен, и отчет по нему рассматривается в РФФИ.

В ходе этого проекта был проведен анализ природы установления магнитного упорядочения и спиновой поляризации носителей заряда в системах квантовый канал проводимости (квантовая яма) — отдаленный слой магнитной примеси. Также нами исследована природа аномального эффекта Холла и его механизм, определяющий величину этого эффекта в упомянутых образцах. Аномальный эффект Холла — это электрическое напряжение, возникающее в материале в направлении, перпендикулярном направлению протекания тока. В отличие от обычного эффекта Холла, в случае аномального эффекта Холла это напряжение возникает в ферромагнитных материалах не вследствие действия внешнего магнитного поля, а в результате наличия в материале намагниченности. Это важный инструмент исследования спинтронных свойств, поскольку позволяет обычными, простыми электрофизическими методами исследовать наличие спиновой поляризации электронов, точнее говоря, носителей заряда в материале.

В ходе этих исследований нами обнаружено новое явление — смена знака аномального эффекта Холла при изменении температуры и неизменном типе носителей заряда — и экспериментально продемонстрирована определяющая роль активно обсуждаемого, так называемого собственного (intrinsic) механизма аномального эффекта Холла, что является первым экспериментальным наблюдением его в квазидвумерной структуре. Была разработана методика выявления аномального эффекта Холла на фоне присутствия нескольких эффектов иной природы, маскирующих проявление исследуемого явления и исследовано влияние концентрации носителей заряда на магнитные свойства полупро-

водников с магнитными нанокластерами. На основе этих результатов опубликованы семь статей и сделано несколько докладов на международных форумах.

В настоящее время наше сотрудничество активно продолжается и включает в себя все новых и новых исследователей и, соответственно, наша группа разрастается.

Новым и перспективным направлением нашего сотрудничества становится деятельность по исследованию топологических изоляторов. Это совсем недавно обнаруженный новый тип материалов, которые отличаются тем, что на их поверхности возникает двумерный топологически защищенный канал проводимости с высокой концентрацией спин-ориентированных носителей заряда, которые обладают чрезвычайно высокой подвижностью. Это определяет высокие проводящие свойства таких материалов, которыми возможно управлять с помощью затворного электрода, как в обычном полевом транзисторе. С другой стороны, в этих системах можно управлять направлением спиновой поляризации носителей и, следовательно, их магнитными свойствами.

Я заинтересован в дальнейшем сотрудничестве с индийскими коллегами, и его будущее мне представляется весьма перспективным.

Summary ●

This paper is the ten-year story of the Russian-Indian collaboration between two scientific groups from Russia and India supported by the RFBR and DST, which turned out to be very fruitful. During this period we have published 7 papers in famous international physical journals with high impact-factor and presented our results at many various

international conferences as invited and plenary reports. Just now we are continuing our collaboration supported by the Russian Ministry of Education and Science. When this grant will be finished, we are going to apply for a new RFBR grant, because such type of support is more efficient, in our opinion, for fundamental investigations.



Исследование высокоэнергичных космических взрывов в рамках российско-индийского научного сотрудничества Российского фонда фундаментальных исследований и Департамента науки и технологий в 2008–2013 гг.

В.В. Соколов, Ш.Б. Пандей

Введение

В конце своей эволюции массивные звезды (с массой $> 8 M_{\text{Sun}}$) претерпевают разрушительный взрыв, вызванный гравитационным коллапсом их ядра. Двойные компактные звезды (белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры) также могут испытать подобный взрыв при некоторых условиях. В этих процессах огромное количество энергии (от 10^{50} до 10^{55} эрг) высвобождается за несколько секунд. Наблюдаемым следствием подобных взрывов являются такие высокоэнергичные явления, как гамма-всплески и сверхновые. Массивные сверхновые (Core-collapse SNe, CCSNe) являются, в целом, однородным классом объектов, которые дают широкий ряд энергий взрыва и скоростей расширения и разбиваются на типы IIp, IIн, IIб и Ib/c согласно спектральной классификации [1]. Энергетика подкласса массивных сверхновых (CCSNe) сравнима с энергетикой гамма-всплесков, хотя выбрасываемая масса и масштаб времени совершенно различны. Эти взрывы представляют собой плохо изученную проблему в астрофизике и вызывают большой научный интерес [2-6].

Совместные проекты по сотрудничеству РФФИ–ДНТ

При поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ, Россия) и Департамента науки и технологий (ДНТ, Department of Science and Technology, DST, Индия) было проведено несколько совместных исследований, наилучшим образом использующих астрономические наблюдательные возможности двух стран. В рамках этого сотрудничества с российской стороны главным наблюдательным инструментом был 6-метровый телескоп и другие телескопы метрового класса Специальной астрофизической обсерватории, а с индийской стороны для сбора необходимых данных использовались 1.04-метровый телескоп Сампурнананд, 1.3-метровый оптический телескоп Девастал, 2.0-метровый телескоп НСТ (рис. 1).

В 2008–2010 гг. был выполнен российско-индийский проект (проект РФФИ № 08-02-91314-ИНД_а, DST-проект RUSP-836) под названием «Спектроскопическое и фотометрическое исследование сверхновых типа Ib/c в контексте связи между гамма-всплесками и сверхновыми» (научные руководители: доктор Ш.Б. Пандей, институт ARIES, г. Наинитал, Индия (Dr. S.B. Pandey, ARIES, Nainital, India) и д.ф.-м.н. В.В. Соколов (Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук (САО РАН), Россия), а вторая часть заявки по той же научной теме была успешно выполнена с 2011 по 2013 г. под названием «Спектральный и фотометрический мониторинг послесвечений гамма-всплесков, массивных сверхновых и их родительских галактик» (научные руководители:



**СОКОЛОВ
Владимир Владимирович**
Специальная астрофизическая
обсерватория РАН



**ПАНДЕЙ
Шаши Бхушан**
Институт наблюдательных наук
им. Ариабхатты

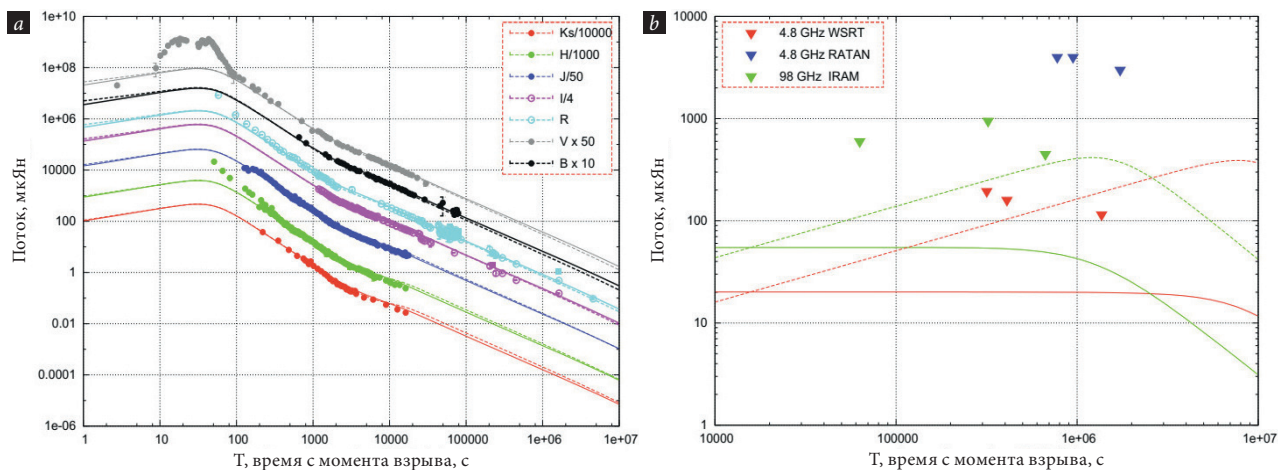


Рис. 6. Кривые блеска послесвечения GRB 080319В: послесвечение в ближнем оптическом ИК- и рентгеновском диапазонах (а) и радиоданные (б). Текущие оптические наблюдения изображены вместе с другими опубликованными оптическими и рентгеновскими данными. Для подгонки кривых блеска послесвечения использована модель FS-RS. Сплошными линиями показана результирующая лучшая подгонка WM-модели, а пунктирной линией — лучшая подгонка ISM-модели.

ное исследование таких близких событий в ближайшем будущем поможет полностью понять связь между гамма-всплесками и сверхновыми.

Индийско-российское совещание 2011 г.

В ходе продолжающегося сотрудничества между индийскими и российскими специалистами, работающими по этой теме, 2-4 марта 2011 г. в институте ARIES (Наинитал, Индия) было проведено совещание «Гамма-всплески, эволюция массивных звезд и звездообразование на больших красных смещениях» в рамках торжеств, посвященных введению в эксплуатацию 1.3-метрового телескопа в Девастал (Наинитал) (рис. 7 и 8). Целью совещания был обзор достижений в данной области, мотивация молодых ученых и общение российских и индийских исследователей для укрепления продолжающегося

сотрудничества. Запланированный 3.6-метровый телескоп, а также вспомогательное оборудование первого поколения и их совместное использование с ASTROSAT дают Индии уникальную возможность более детальных исследований в этой области.

На совещании было представлено много приглашенных и рабочих докладов, больше времени было отведено на дискуссии, представлено также несколько стендовых докладов. Состоялась экскурсия на недавно установленный 1.3-метровый телескоп в Девастал. Кроме российских делегатов, в совещании принимали участие



Рис. 7. Участники Индийско-российского совещания 2-4 марта 2011 г. в ARIES Наинитал.



(-17.6 ± 0.6), полученное по хорошо наблюдаемым событиям типа Ibc. Эта сверхновая была сильно ослаблена, галактическое поглощение равно $E(B-V) = 0.63 \pm 0.15$ зв.вел. в основном из-за вещества переднего фона, присутствующего в родительской галактике. По моделированию оптической кривой блеска мы определили, что было произведено около $0.3 M_{\odot}$ радиоактивного ^{56}Ni , и примерно $4.4 M_{\odot}$ вещества было выброшено во время взрыва, высвободив энергию $\sim 15 \cdot 10^{51}$ эрг, что указывает на то, что событие было высокоэнергичным. По оптической спектроскопии мы заметили явную асферичную эволюцию нескольких областей формирования линий, но не было видно никакой тенденции к асимметрии ^{56}Ni внутри выбросов. Взаимодействие ударной волны сверхновой с окружающим веществом (CSM) явно заметно при радиослежении, представляя кривую блеска, где доминирует синхротронное самопоглощение (SSA), с вкладом свободно-свободного поглощения (FFA) на ранних стадиях. Предположив, что прародителем является звезда Вольфа—Райе (WR) со скоростью ветра $\sim 10^3$ км/с, мы вывели нижний предел скорости потери массы, полученный по радиоданным, равный $\sim 2.3 \cdot 10^{-1} M_{\odot}/\text{год}$, что согласуется с результатами для других сверхновых типа Ibc, ярким на радиочастотах [37].

В рамках этого проекта очень подробно была исследована темная природа гамма-всплеска GRB 130528A (рис. 12) [38]. В этой работе мы показали, что темнота длинного «темного» гамма-всплеска GRB 130528A была, по-видимому, вызвана сильным поглощением

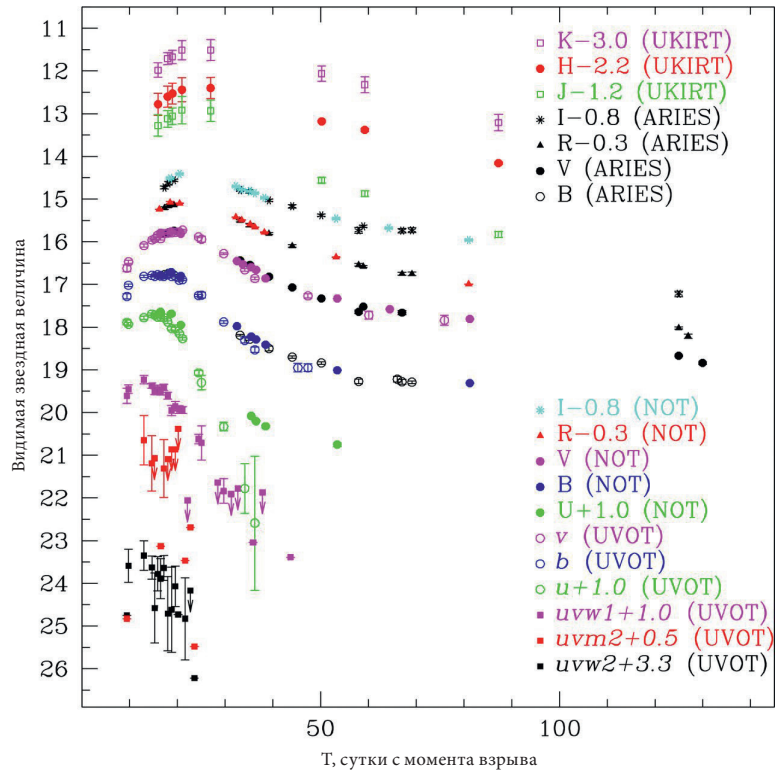


Рис. 11. Кривые блеска сверхновой SN 2007iu в ближнем инфракрасном диапазоне JHK, оптическом диапазоне UBVR, а также $uvw2, uvb2, uvw1$ и b, v NUV-оптических UVOT-полосах, включающие данные 1.04-метрового телескопа в Наинитал.

близко от места его рождения, в галактике на красном смещении $z = 1.25$, что было установлено благодаря миллиметровому обнаружению на PdBI. На основе оптических/NIR-наблюдениях

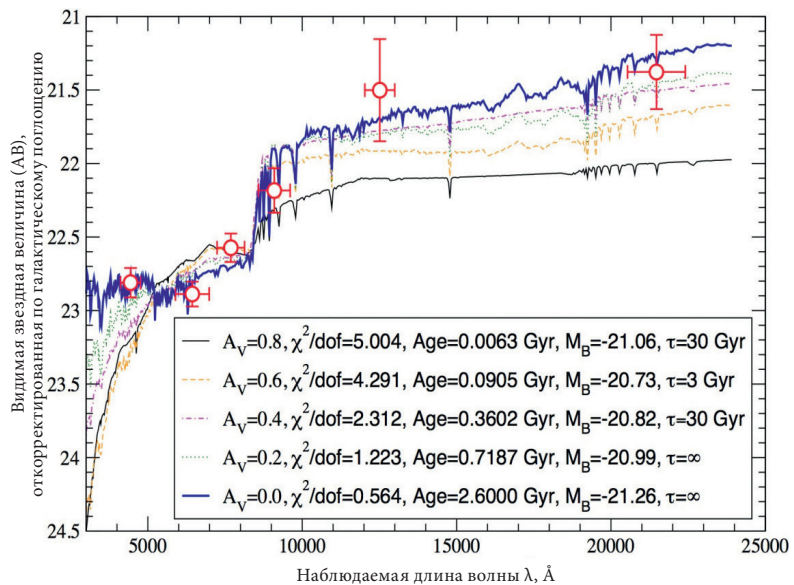


Рис. 12. Спектральное распределение энергии (SED) родительской галактики GRB 130528A в полосах B, r, i, z, J и K_s . Величины АВ скорректированы с учетом галактического поглощения $E(B - V) = 0.144$ [39], включая данные, полученные на шестиметровом телескопе CAO. Толстая линия показывает лучшую подгонку ($\chi^2/\text{степени свободы} = 0.564$), полученную при $A_v = 0$, возрасте звездного населения 2.6 млрд. лет, $M_B = -21.16$ и солнечной металличности. Остальные линии показывают эволюцию SED-подгонки при постепенном увеличении A_v от 0 до 0.8. Видно, что с ростом A_v подгонка ухудшается.



Список основных публикаций в рамках сотрудничества

1. A.J. Castro-Tirado, A. de Ugarte Postigo, T.A. Fatkhullin, V.V. Sokolov, S.B. Pandey, E. Sonbas, et al. "Flares from a candidate Galactic magnetar suggest a missing link to dim isolated neutron stars" *Nature. Letter.* 455, 506-509, 2008.
2. E. Sonbas, A.S. Moskvitin, T.A. Fatkhullin, V.V. Sokolov, A. Castro-Tirado, T.N. Sokolova, et al. "The stellar-wind envelope around the supernova XRF/GRB060218/SN2006aj massive progenitor star" *Astrophysical Bulletin*, 2008, v. 63, No 3, pp. 228-244.
3. V.V. Sokolov "Gravitational collapse as the source of gamma-ray bursts". Collective monograph "Practical Cosmology", Proceedings of the International Conference "Problems of Practical Cosmology", 23-27 June 2008, St.-Petersburg, Russia, eds. Yu. Baryshev, I. Taganov, P. Teerikorpi, TIN, St.-Petersburg, 2008, Vol.1, pp. 295-303.
4. A.S. Moskvitin, E. Sonbas, I.V. Sokolov, T.A. Fatkhullin "Gamma-Ray Bursts and Practical Cosmology". Collective monograph "Practical Cosmology", Proceedings of the International Conference "Problems of Practical Cosmology", 23-27 June 2008, St.-Petersburg, Russia, eds. Yu. Baryshev, I. Taganov, P. Teerikorpi, TIN, St.-Petersburg, 2008, Vol.2, pp.228-238.
5. Tanvir, N.R.; Fox D.B.; Fatkhullin T.A.; Komarova V.N.; Moskvitin A.S.; et al. "A gamma-ray burst at a redshift of $z \sim 8.2$ ", *Nature*, 461, 2009, 1254.
6. Moskvitin, A.S.; Sonbas, E.; Sokolov, V.V.; Fatkhullin, T.A.; Castro-Tirado, A.J., "Study of Envelope Velocity Evolution of Type Ib-c Core-Collapse Supernovae from Observations of XRF 080109 / SN 2008D and GRB 060218 / SN 2006aj with BTA", *Astrophysical Bulletin*, 65, 132 (2010)
7. S. Moskvitin, T.A. Fatkhullin, V.V. Sokolov et al., "Spectral and photometric monitoring of distant core-collapse supernovae in the SAO RAS", *Astrophysical Bulletin*, 65, 230 (2010)
8. Yu.V. Baryshev, I.V. Sokolov, A.S. Moskvitin et al., "Study of Faint Galaxies in the Field of GRB 021004", *Astrophysical Bulletin*, 65, 311 (2010)
9. Z. Cano, D. Bersier, C. Guidorzi, T.A. Fatkhullin, A.S. Moskvitin, V.V. Sokolov, et al.; "A tale of two GRB-SNe at a common redshift of $z=0.54$ ". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 413, Iss. 1, pp. 669-685; 2011
10. R. Roy, Brijesh Kumar, A.S. Moskvitin, T.A. Fatkhullin, Brajesh Kumar; K. Misra, V.V. Sokolov, S.B. Pandey, H.C. Chandola, Ram Sagar et al. "SN 2008gz — most likely a normal Type IIP event"; *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 414, Iss. 1, pp. 167-183. 2011
11. R. Roy, Brijesh Kumar, S. Benetti, A. Pastorello, T.A. Fatkhullin, A.S. Moskvitin, Carl W. Akerlof, J. Craig Wheeler; V.V. Sokolov, , Brajesh Kumar, K. Misra, S.B. Pandey; N. Elias-Rosa, P.W.A. Roming; Ram Sagar et al. "SN 2008in — Bridging the Gap between Normal and Faint Supernovae of Type IIP", *The Astrophysical Journal*, Vol.736, Iss.2, article id. 76, 2011
12. C.C.Thöne; A.de Ugarte Postigo, A. Moskvitin, et al. "The unusual γ -ray burst GRB 101225A from a helium star/neutron star merger at redshift 0.33", *Nature*, Volume 480, Issue 7375, pp. 72-74, 2011.
13. C. Inserra, M. Turatto, A. Moskvitin, V. Komarova, V.V. Sokolov, T.N. Sokolova, et al. "The bright Type IIP SN 2009bw, showing signs of interaction", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 422, Issue 2, pp. 1122-1139, 2012.
14. V.V. Sokolov; The gamma-ray bursts, core-collapse supernovae and global star forming rate at large redshifts; in Proceedings of the Indo-Russian workshop Gamma-Ray Bursts, Evolution of Massive Stars and Star Formation at



- [3] Sokolov et al. 2014, *New Results and Actual Problems in Particle & Astroparticle Physics and Cosmology* — Proceedings of XXIXth International Workshop on High Energy Physics. Edited by RYUTIN ROMAN, PETROV VLADIMIR & KISELEV V. Published by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2014. ISBN #9789814578745, pp. 201-209
- [4] Modjaz et al. 2011 arXiv:11055297,
- [5] Smartt S.J. et al. 2009, *MNRAS*, 395, 1409
- [6] Pandey S.B. *JaPA*, 34, 157, arXiv:1307.0688
- [7] Klebesadel R.W., *ApJ*, 182, L85
- [8] Piran T., 1999, *PhR*, 314, 575
- [9] Zhang B., 2011, *Comptes Rendus Physique*, v. 12, iss. 3, p. 206-225
- [10] Goodman J., 1986, *ApJ*, 308, 47
- [11] Paczynski B., 1986, *ApJ*, 308, L43
- [12] Katz, J.I., 1994, *ApJ*, 422, 248
- [13] Meszaros & Rees 1997, 1997, *ApJ*, 482, L29
- [14] Galama T.J. et al. 1998, *Nature*, 395, 670;
- [15] Soderberg et al 2003, *ApJ*, 627, 877
- [16] Della Valle M. et al. 2003, *A&A*, 406, L33
- [17] Stanek K.J. et al. 2003, *ApJ*, 591, L17
- [18] Malesani et al. 2004, *ApJ*, 609, L5
- [19] Della Valle et al. 2006, *ApJ*, arXiv:06041209
- [20] Campana et al. 2006, *Nature*, arXiv:06032179
- [21] Mazzali P.A. et al. 2009, *ApJ*, 703, 1624
- [22] Cobb B.E. et al. 2010, *ApJ*, arXiv:10059461
- [23] Fan Yi-Zhong et al. 2010, *ApJ*, 726, Iss. 1, art. 32
- [24] Pandey S.B. et al. 2003, et al., 2003, *Bull. Astr. Soc. India*, 31, 351
- [25] Della Valle et al. 2007, invited review talk to appear in proceedings of the 16th annual October Astrophysics Conference in Maryland, “Gamma-ray bursts in the Swift Era” eds, S. Holt et al. arXiv:0604110
- [26] Drake A.J. et al., *CBET* 1760 (2009).
- [27] Drake A.J. et al., *CBET* 1791 (2009).
- [28] Drake A.J. et al., *CBET* 1815 (2009).
- [29] Roy R. et al. 2011, *MNRAS*, 414, 167
- [30] Roy R. et al. 2011, *ApJ*, 736, 76
- [31] Leonard D.C. et al., 2002, *PASP*, 114, 1333
- [32] Pastorello A. et al. 2004, *MNRAS*, 347, 74
- [33] Pandey et al. 2009, *A&A*, 504, 45
- [34] Moskvitin A.S. et al., 2010, arXiv:1008.0773
- [35] Kumar B. et al., 2013, *MNRAS*, 431, 308
- [36] Kumar B. et al., 2014, *MNRAS*, 442, 2
- [37] Roy R. et al. 2013, *MNRAS*, 434, 2032
- [38] Jeong S. et al. 2014, *A&A*, 569, 93
- [39] Schlafly E.P., Finkbeiner D.P., 2011, *ApJ*, 737, Iss. 2, art.103

Summary

The collaboration between Russian and Indian astronomers supported by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR) and Indian Department of Science and Technologies (DST) was devoted to one of the most important topics of the modern astrophysics: the study of high-energy cosmic explosions, namely, supernovae and gamma-ray bursts (GRB). The collaboration has been performed since 2008 to 2013 and was rather fruitful. The joint observations with the 6-meter telescope and other telescopes of the Special Astrophysical Observatory of the RAS (SAO RAS, Russia) and several telescopes of the class 1-2 meters of the institute ARIES (Devashal,

India) was organized. In the course of operation we discovered several supernovae, fulfilled follow-up and long-term observations of optical afterglows of GRBs, studied photometric and spectroscopic properties of GRBs, supernovae related to them and host galaxies of these objects. The Indian-Russian workshop devoted to the topic under investigation was held. The results of the work were presented in more than 26 joint papers and more than 130 electronic telegrams and the GCN (Gamma-ray Coordinates Network) circulars. We hope for the continuation of the RFBR support in so fruitful collaboration and to hold the next workshop on this urgent topic in Russia.



Исследования молекулярного, нейтрального атомарного и ионизованного газов в областях звездообразования

*И.И. Зинченко, А.В. Лапинов, Л.Е. Пирогов, П.М. Землянуха,
Н.Д. Лебедев, Д.К. Оджда, С.К. Гхош, К.К. Маллик*

Введение

Изучение процесса образования массивных звезд является «горячей» темой астрофизических исследований. Несмотря на их большую роль в астрономии процесс образования звезд с массой больше 8-10 солнечных масс пока плохо изучен. Частично это связано с тем, что области образования массивных звезд находятся дальше от нас, более активны и время их жизни меньше, чем у тех областей, где образуются звезды малой массы. Важным является вопрос о количестве и распределении ионизованного газа в этих областях. Возможным сценарием формирования массивных звезд является процесс индуцированного последовательного звездообразования. Расширение области H II, созданной массивными звездами, может инициировать образование следующего поколения массивных звезд. Пока неясно, насколько, в целом, важен этот процесс. К настоящему времени фрагментированные и, вероятно, расширяющиеся молекулярные оболочки, видимо соответствующие так называемой модели «нако-

пление и коллапс», были найдены вокруг нескольких галактических областей. Однако детальных исследований образования звезд в этих оболочках не проводилось.

Цель наших совместных российско-индийских проектов (№№ 11-02-92690, 13-02-92697 и 15-52-45057) заключалась в исследовании ионизованного газа и атомарного водорода в областях звездообразования с высоким угловым разрешением в сопоставлении с наблюдениями излучения пыли и молекул. Предполагалось исследовать, как распределены и взаимодействуют друг с другом ионизованный и нейтральный газы и пыль в областях образования массивных звезд. Данная информация представляется весьма важной для построения общей картины звездообразования.



ЗИНЧЕНКО
Игорь Иванович
Институт прикладной
физики РАН



ЛАПИНОВ
Александр
Владимирович
Институт прикладной
физики РАН



ПИРОГОВ
Лев Евгеньевич
Институт прикладной
физики РАН



ЗЕМЛЯНУХА
Петр
Михайлович
Институт прикладной
физики РАН



ЛЕБЕДЕВ
Никита
Дмитриевич
Институт прикладной
физики РАН



ОДЖХА
Девendra
Кумар
профессор,
Институт
фундаментальных
исследований
им. Тата



ГХОШ
Сварма Канти
профессор,
Институт
фундаментальных
исследований
им. Тата



МАЛЛИК
Кшитиз Кумар
Институт
фундаментальных
исследований
им. Тата.



Другие объекты

По данным наших наблюдений, проведенных на интерферометре GMRT (Индия) на частотах 1280 и 610 МГц, в окрестности области звездообразования W40 обнаружено девять новых радиоисточников, не имеющих ассоциаций в базе астрономических данных SIMBAD [9]. Определен размер наиболее яркого источника (PS0), составивший $1.15''(0.04)$ и $1.85''(0.05)$ на 1280 и 610 МГц соответственно. Для источников PS0, PS5(1+2) и PS8 найдены ассоциации на ранее полученных картах TIFR GMRT Sky Survey (TGSS) на частоте 150 МГц (<http://tgss.ncra.tifr.res.in>). Для значений плотностей потоков выполняются следующие соотношения: $F(1280) < F(610)$ либо $F(1280) < F(610) < F(150)$. Спектральные индексы источников меньше,

чем -0.1 , что указывает на их нетепловую природу. За исключением значения $F(1280)$ для источника PS8, которое, вероятно, занижено, спектральные индексы в среднем близки к значению -1 .

Нами проведен анализ данных наблюдений области звездообразования NGC7538 в различных диапазонах [10]. В области IRS 1-3 идентифицировано 144 кандидата в молодые звездные объекты (МЗО) типа Class II и 24 кандидата в МЗО типа Class I. На картах GMRT существует компактная область H II, связанная с источниками IRS 1-3, спектральный индекс которой (0.87 ± 0.11) указывает на большую оптическую толщину. На карте 1280 МГц, полученной с высоким пространственным разрешением, эта компактная область разделяется на три отдельных пика. «Восточный» пик совпадает с источником IRS 2. Излучение H^{13}CO^+ ($J = 1-0$) выявило пики в области как IRS 1-3, так и IRS 9, ни один из которых не совпадает с излучением оптической туманности, что предполагает наличие близко расположенного плотного облака. Вириальные массы сгустков в областях IRS 1-3 и IRS 9 составляют порядка 1000 и 500 M_{\odot} соответственно.

Заключение

Результаты работы демонстрируют, что взаимодействие ионизированного и нейтрального газов сильно изменяет структуру и физические характеристики родительского облака вблизи формирующихся массивных звезд, приводя к образованию сгустков плотного газа и пыли, в которых может быть индуцирована новая фаза звездообразования. На примере области W40 показано, что механизм индуцированного звездообразования «накопление и коллапс» может реализовываться на близком расстоянии от звезды в относительно однородной среде с высокой плотностью.

Данные результаты получены благодаря финансовой поддержке РФФИ и ДНТ (совместные российско-индийские проекты №№ 11-02-92690, 13-02-92697 и 15-52-45057).

Литература

1. Pirogov L., Ojha D. K., Thomasson M., Wu, Y.-F., Zinchenko I., Molecular-line and continuum study of the W40 cloud, MNRAS, Volume 436, Issue 4, p.3186-3199 (2013).
2. Mallick K. K., Kumar M. S. N., Ojha D. K., Bachiller Rafael, Samal M. R., Pirogov L., The W40 Region in the Gould Belt: An Embedded Cluster and H II Region at the Junction of Filaments,



Программа российско-индийского сотрудничества по комплексам соединений палладия и платины с халькогенатными производными карборанов

В.И. Брегадзе, В.К. Джейн

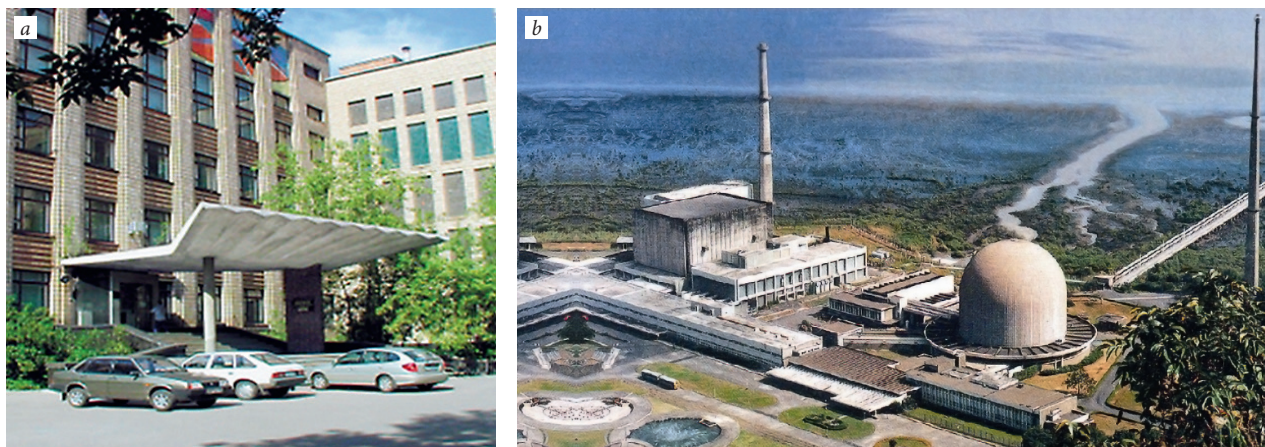


Рис. 1. ИНЭОС РАН, г. Москва (а) и Атомный центр, г. Мумбаи (b).

Российско-индийское научное сотрудничество между Институтом элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской академии наук (ИНЭОС РАН) (рис. 1а) и Химическим отделом Атомного исследовательского центра им. Бхабха (ХОАИЦ) (рис. 1б) в 2008-2013 гг. явилось логическим продолжением научного сотрудничества между АН СССР и Департаментом науки и технологий (ДНТ) Правительства Индии, начатого еще в 1988 г. Сотрудничество в тот период заключалось в проведении ежегодных индийско-советских (российских) симпозиумов в 1988-1993 гг. поочередно в Индии и России и во взаимных научных визитах индийских ученых в Россию и российских — в Индию. В этих контактах при-

нимали участие и руководители данного проекта. С середины 90-х годов прошлого века финансирование таких проектов по известным причинам прекратилось. Активное возобновление научных контактов в 2000-е позволило нам начать переговоры о научном сотрудничестве. Предложенные нами проекты получили поддержку сначала в рамках сотрудничества между РАН и Департаментом науки и технологий Правительства Индии (2008-2010), а затем дважды по программам сотрудничества между Российским фондом фундаментальных исследований и ДНТ (проекты №№ 10-03-92657 и 12-03-92696).

Сотрудничество между коллективом профессора В.К. Джейна в ХОАИЦ и Лабораторией алюминий- и борорганических соединений ИНЭОС РАН (заведующий лабораторией, профессор В.И. Брегадзе) основано на том, что достижения обеих лабораторий дополняют друг друга, так как первый коллектив работает в области сульфо- и селенпроизводных металлов платиновой группы, а второй — в области химии карборанов.



БРЕГАДЗЕ
Владимир Иосифович
профессор,
Институт элементоорганических
соединений
им. А.Н. Несмеянова РАН



ДЖЕЙН В.К.
руководитель Химического отдела
Атомного
исследовательского
центра им. Бхабха



10. O.B. Zhidkova, S.A. Glazun, Z.A. Starikova, V.I. Bregadze, N.P. Kushwah, M.K. Pal, A. Wadawale, V.K. Jain, Abstr. XIX EuCHEMS Conference on Organometallic Chemistry (EuCOMC), Toulouse, France, July 2011, P247.
11. V.I. Bregadze, S.A. Glazun, Z.A. Starikova, M.K. Pal, A.P. Wadawale, V.K. Jain, Abstr. 20th EuCheMS Conference on Organometallic Chemistry, St Andrews, Scotland, 30 June-4 July, 2013.
12. S. Glazun, Z. Starikova, R. Takazova, A. Buyanovskaya, P. Petrovskii, M. Pal, V. Jain, A. Wadawale, V. Bregadze. Abstr. International conference "Organometallic and Coordination Chemistry: Fundamental and Applied Aspects" September 1-6, 2013, N.Novgorod, Russia.

Summary

The Indian-Russian program on chalcogenocarborane complexes of palladium and platinum was initiated through the DST and ILTP/RFBR, projects numbers 10-03-92657 and 12-03-92696. The program involved an expertise of two groups working in different areas, viz., chemistry of platinum group metal chalcogenolates (Laboratory of Prof. V. K. Jain) and carboranes (Laboratory of Prof. V. I. Bregadze). The previous investigations of the Indian team showed the numerous applications of platinum group metal chalcogenolates, in particular, in electronics as molecular

precursors for palladium chalcogenide nanomaterials.

The Indian-Russian collaboration team developed methods of synthesis of novel chalcogenocarborane complexes of platinum and palladium with different molecular compositions. The compounds where platinum and palladium atoms are linked with the carborane moiety via sulfur or selenium atom, as well as compounds where the carboraneselenolatoligand plays the bridging role between two platinum or palladium atoms. Some of these complexes were used as molecular precursors for palladium chalcogenide nanomaterials.



Наночастицы металлов в полимерной матрице как прекурсоры сенсорных материалов

А.Д. Помогайло, Г.И. Джардималиева, Б.Ч. Ядав, П. Тандон

Развитие нанотехнологий предоставляет уникальные возможности для создания новых сенсорных материалов. Принимая во внимание, что на базе нанотехнологий можно создавать устройства в масштабе размера отдельных молекул, новые методы контроля и обнаружения обеспечат высокие уровни чувствительности (минимальный предел обнаружения) и селективности (способность определять конкретные химические вещества или процессы), а также способность детектировать процессы или события, которые ранее обнаружить было невозможно.

Определение состава газовых сред необходимо для контроля ряда производственных процессов, сжигания топлива в тепловых агрегатах, содержания горючих или вредных примесей в производственных помещениях, на шахтах, около газопроводов и т.п. Сенсоры на основе твердых оксидных электролитов обладают уникальными свойствами по точности, нижнему пределу чувствительности определения некоторых газовых компонентов и стабильности работы. На сегодняшний день основными материалами, используемыми при изготовлении сенсоров, являются полупроводниковые оксиды металлов (SnO_2 , ZnO , WO_3). Подобные газовые сенсоры имеют приемлемую чувствительность к изменениям состава окружающей газовой среды, но обладают низкой селективностью к различным газам и их смесям. Актуальной проблемой является анализ влажности в различных средах и технологических процессах [1]. Весьма привлекательным

для сенсорных датчиков влажности является использование полимерных систем из-за быстрого отклика, простоты интегрирования и низкой стоимости [2,3]. Однако недостатком многих полимерных систем в качестве сенсорных элементов является низкая стабильность в условиях влажности, высокие значения импеданса при низкой влажности и т.д. Большинство этих проблем можно решить с использованием полимер/неорганических наноконкомпозитов, которые уже находят применение в качестве химических сенсоров [4,5].

Настоящая работа посвящена апробации различных полупроводниковых (оксидных и сульфидных типов) металлополимерных систем в качестве сенсорных материалов для анализа сжиженных нефтяных газов при комнатной температуре.

Результаты и их обсуждение

Получение и характеристика металлополимерных наноконкомпозитов. Акриламидные (AAm) комплексы нитратов Co(II) , Cd(II) ,



ПОМОГАЙЛО
Анатолий Дмитриевич

профессор,
Институт проблем
химической физики РАН



ДЖАРДИМАЛИЕВА
Гульжиан Исаковна

Институт проблем
химической физики РАН



ЯДАВ
Бал Чандра

профессор,
Университет
им. Бхимрао Амбедкара



ТАНДОН
Пунам

профессор,
Лакхнауский университет



Для сенсорных материалов важными характеристиками являются наличие развитой поверхности и пористость. В таблице 2 приведены данные об удельной поверхности и размере пор для рассматриваемых металлоксидных нанокompозитов. Они имеют микропористую структуру, характеризуются гомогенным распределением сферических наночастиц в матрице композита, что способствует эффективной адсорбции анализируемых газообразных веществ.

Таблица 2. Удельная поверхность и размеры пор металлоксидных нанокompозитов

Образец	$S_{уд}$, м ² /г	$V_{пор}$, см ³ /г	$\bar{r}_{пор}$, Å
Продукт термоллиза $Co(CH_2=CHCONH_2)_4(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ (IV)*	5.6	0.069	245.7
Продукт термоллиза $Cd(CH_2=CHCONH_2)_4(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ (III)**	4.0	0.036	178.3

* Продукт термоллиза при 370 °С, 1 ч, в самогенерируемой атмосфере.

**Продукт термоллиза при 450 °С, 2 ч, на воздухе.

Металлосульфидные нанокompозиты. Получение наночастиц халькогенидов металлов в полимерных матрицах традиционными путями зачастую сопряжено с определенными трудностями, связанными с проблемами совместимости компонентов и фазовой однородности, длительностью процессов и т.д., что может отражаться на фотостабильности получаемых нанокompозитов, ослаблении или «тушении» их люминесцентных свойств и др. [8, 9]. В настоящей работе нами предложен новый подход для получения нанокompозитов рассматриваемого типа, который заключается в формировании полимерной матрицы и наночастиц сульфидов металлов *in situ* в ходе фронтальной полимеризации акриламидных комплексов I-III. На стадии приготовления мономерной смеси — «шихты» — в систему вводили расчетное количество сульфидирующего агента — тиомочевины, затем реакционная смесь подвергалась фронтальной полимеризации. Фазовое содержание формирующихся наночастиц определялось концентрационными соотношениями. Другими словами, формирующиеся металлополимерные цепи в ходе самораспространяющегося полимеризационного процесса при таком подходе рассматриваются как химические нанореакторы.

О формировании композита в ходе фронтальной полимеризации свидетельствует характерное изменение окраски твердой реакционной смеси —

от белого до лимонно-желтого цвета в случае системы CdS/ПААм и до черного — для ZnS/ПААм и PbS/ПААм. Данные РФА подтверждают наличие кристаллической фазы CdS, ZnS и PbS в соответствующих нанокompозитах. Размытость дифракционных пиков и уширение линий указывает на формирование наночастиц. Размеры нанокристаллитов, рассчитанные по уравнению Дебая–Шеррера, составили 5-6 (CdS) и 4.5 нм (PbS). Важно, что дополнительный отжиг полученных нанокompозитов при 450 °С не приводит к изменению фазового состава металлосульфидных наночастиц и их размера, как это продемонстрировано в случае системы на основе CdS. Одновременное формирование полиакриламидной матрицы и металлосульфидных наночастиц подтверждается данными спектроскопии комбинационного рассеяния (КР). На рисунке 3 приведен КР-спектр нанокompозита полиакриламид/CdS. В низкочастотной области спектра имеются пики при 354, 560 и 708 см⁻¹, которые относятся к оптическим колебательным модам наночастиц CdS в полимерном композите.

Сенсорные свойства металлополимерных нанокompозитов. В качестве детектируемых газов выбраны сжиженные нефтяные газы, основными компонентами которых являются пропан и бутан. Принцип действия полупроводниковых химических сенсоров основан на изменении электрофизических свойств чувствительного слоя полупроводникового образца при изменении состава анализируемой газовой среды. В кристаллах полупроводников электроны проводимости генерируются при ионизации кислородных вакансий

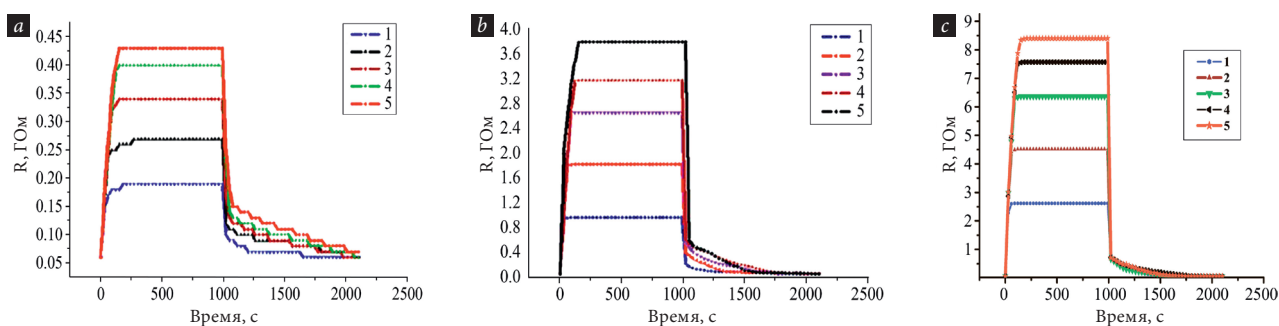


Рис. 4. Изменение электропроводности сенсорного материала на основе $\text{Co}(\text{CH}_2=\text{CHCONH}_2)_4(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (a), нанокompозита IV (b) и продукта термоллиза $\text{Cd}(\text{CH}_2=\text{CHCONH}_2)_4(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (III) (c) при комнатной температуре для различных концентраций сжиженных нефтяных газов как функция времени.

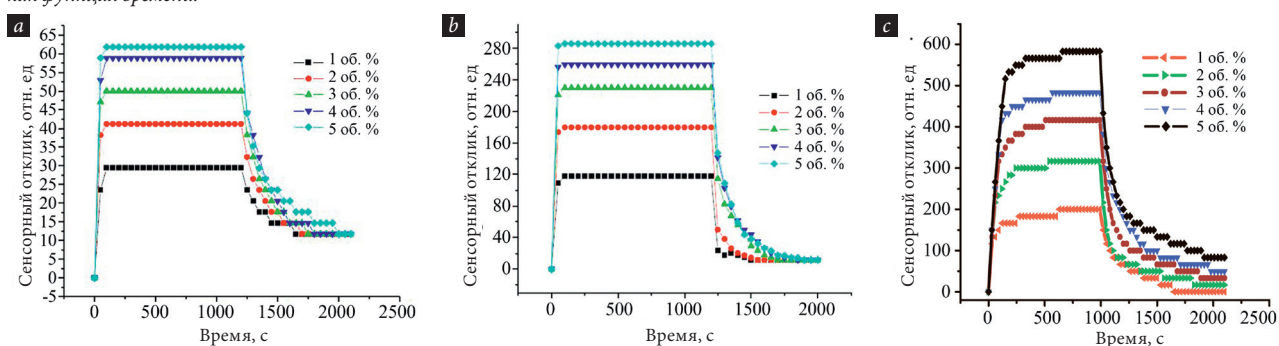


Рис. 5. Сенсорный отклик халькогенидных нанокompозитов ZnS/PAAm (a), PbS/PAAm (b) и CdS/PAAm (c) как функция времени и концентрации сжиженных нефтяных газов.

го значения до 0,9, и временем восстановления. Для образца IV время отклика и восстановления составили 2 и 9 мин, в случае нанокompозита III — 2 и 8 мин. Максимальные значения чувствительности сенсорных материалов на основе $\text{Co}(\text{CH}_2=\text{CHCONH}_2)_4(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и нанокompозита IV равны соответственно 2,9 и 23,6 МОм/с. Важно отметить, что исследуемые сенсорные материалы отличаются стабильностью действия. Воспроизводимость сенсорных характеристик по истечению одного месяца составила 96% и 97% для образцов нанокompозитов IV и III соответственно.

Металлосульфидные нанокompозиты. Нами апробированы газочувствительные свойства нанокompозитов на основе ZnS, PbS и CdS в полиакриламидной матрице (ZnS/PAAm, PbS/PAAm и CdS/PAAm). Все исследованные образцы обнаруживают быстрый сенсорный отклик по отно-

шению к сжиженным нефтяным газам при комнатной температуре (рис. 5, табл. 4). После экспозиции сжиженных нефтяных газов наблюдается вначале резкое увеличение сопротивления, затем насыщение, после выпуска газа сопротивление возвращается в исходное состояние.

Таким образом, основные газочувствительные характеристики — быстрый сенсорный отклик при комнатной температуре, хорошая чувствительность и стабильность действия исследуемых нанокompозитных материалов позволяют — рекомендовать их в качестве сенсорных элементов для детек-

Таблица 5. Газочувствительные характеристики металлосульфидных полимерных нанокompозитов

Нанокompозит	Максимальная чувствительность, МОм/мин	Время отклика, мин	Время восстановления, мин	Воспроизводительность, %
ZnS/PAAm	2	2	8	83*
PbS/PAAm	12	3	5	91*
CdS/PAAm	1300	3	16	92**

* Воспроизводительность через 3 месяца.

** Воспроизводительность через 1 месяц.



тирования сжиженных нефтяных газов в промышленности и мониторинга окружающей среды.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты №№ 11-03-00769 и 13-03-92693).

Литература

1. R.E. Ruskin, Humidity and Moisture, Vol.1, Reinhold, 1965; Kulwicki B. M., Humidity Sensors, *J. Am. Ceram. Soc.*, 1991, 74, 697-708.
2. Zhi Chen, Chi Lu., Humidity sensors: A review of materials and mechanism, *Sensors Letters*, 2005, 3, 274
3. Yang Li, Mu-Jie Yang and Yong She, Novel resistive humidity sensor based on sodium polystyrenesulfonate/TiO₂ nanocomposites, *Chinese Journal of Polymer Science*, 2002, 20, 237.
4. Hua Bai and Gaoquan Shi, Gas Sensors Based on Conducting Polymers, *Sensors* 2007, 7, 267.
5. E. Massera, A. Castaldo, L. Quercia and G. Di Francia, Fabrication and characterization of polysilsesquioxanes nanocomposites based chemical sensor, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2008 Vol. 129, Issue 1, 487.
6. Помогайло А.Д., Джардималиева Г.И. Успехи и проблемы фронтальной полимеризации металлосодержащих мономеров. *Высокомолекулярное соединение А*. 2004, 46, 437.
7. Помогайло А.Д., Джардималиева Г.И., Розенберг А.С., Шершнева В.А., Леопольд М. Реакционная способность металлосодержащих мономеров. Сообщение 69. Получение и магнитные свойства металлополимерных нанокмозитов. *Изв. АН. сер. хим.*, 2011, 1453.
8. X.G. Peng, M.C. Schlamp, A.V. Kadavanich, A.P. Alivisatos. Epitaxial Growth of Highly Luminescent CdSe/CdS Core/Shell Nanocrystals with Photostability and Electronic Accessibility. *J. Am. Chem. Soc.*, 1997, 119, P. 7019.
9. Sheng, W., Kim, S., Lee, J. Kim, S.W., Jensen, K., Bawend M. G. In-situ Encapsulation of Quantum Dots into Polymer Microspheres. *Langmuir*. 2006. 22, 3782.
10. Singh S., Singh M., Yadav B.C., Tandon P., Pomogailo S.I., Dzhardimalieva G.I., Pomogailo A.D. Experimental investigations on liquefied petroleum gas sensing of CdS in poly acryl amide synthesized via frontal polymerization // *Sensors and Actuators: B*. 2011, 160, 826.
11. Singh S., Yadav B.C., Tandon P., Singh M., Shukla A., Dzhardimalieva G.I., Pomogailo S.I., Golubeva N.D., Pomogailo A.D. Polymer-assisted synthesis of metallopolymer nanocomposites and their applications in liquefied petroleum gas sensing at room temperature. *Sensors and Actuators B*. 2012, 166– 167. 281.
12. Sberveglieri G., Depero L.E., Nelli P., Perego C., Sangaletti L., Ferroni M., Guidi V., Martinelli G. A novel method for the preparation of nanosized TiO₂ thin films. *Adv. Mater.* 1996, 8, 334.

Summary

A new approach has been proposed for producing nanocomposite gas-sensing materials: in situ preparation of a polymer matrix and metal sulfide or oxide nanoparticles through the frontal polymerization of metal acrylamide complexes. This is a promising method to obtain metallopolymer nanocomposites which allows one to combine the formation of metal

(oxide, sulfide) nanoparticles and stabilizing polymer shell in one stage. The nanocomposites have been tested as room-temperature liquefied petroleum gas sensors. Rapid sensor response, good sensitivity, and stability demonstrate the promise of the nanocomposite materials obtained for liquefied petroleum gas detection in industrial and environmental monitoring.



Российско-индийское сотрудничество в области гликонаук при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Департамента науки и технологий

Н.Е. Устюжанина, Р.К. Саксена, С. Саран, А.И. Усов, М.И. Билан, М.Л. Генинг, П. Талукдар, Д.В. Титов, Ю.Е. Цветков, Д.Е. Цветков, Р. Кумар, В.К. Варшни, К.Н. Ганеш, Н.Э. Нифантьев,

Более 25 лет между Россией и Индией действует комплексная долгосрочная программа (КДП) научно-технического сотрудничества. К сожалению, вот уже долгое время адресное финансирование КДП с российской стороны практически не проводится, поэтому реализуемая РФФИ и индийским Департаментом науки и технологий (ДНТ, Department of Science and Technology) программа стала практически единственным средством поддержки совместных научных исследований.

На заседаниях Совета КДП в 2007 и 2008 годах в качестве одного из новых приоритетных направлений междисциплинарного сотрудничества были выбраны гликонауки. Приставка «глико» обозначает принадлежность органического соединения к углеводам, соответственно, в область гликонаук вовлечены исследовате-



УСТЮЖАНИНА
Надежда Евгеньевна
Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН



САКСЕНА
Ражендра Кумар
профессор, Южный кампус Университета Дели



САРАН
Саурабх
Южный кампус Университета Дели



УСОВ
Анатолий Иванович
профессор, Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН



БИЛАН
Мария Ивановна
Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН



ГЕНИНГ
Марина Леонидовна
Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН



ТАЛУКДАР
Пинаки
Индийский институт науки, образования и исследований



ТИТОВ
Денис Валерьевич
Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН



ЦВЕТКОВ
Юрий Евгеньевич
Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН



ЦВЕТКОВ
Дмитрий Евгеньевич
Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН



КУМАР
Ракеш
Институт лесных исследований Индии



ВАРШНИ
Винай
Институт лесных исследований Индии



ГАНЕШ
Кришна
профессор, Индийский институт науки, образования и исследований



НИФАНТЬЕВ
Николай Эдуардович
член-корреспондент РАН, профессор, Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН



2. Структурные, синтетические и биологические исследования бактериальных липополисахаридов.
3. Структурные, синтетические и биологические исследования углеводных соединений из морских животных и водорослей.
4. Структурный анализ и изучение биологической активности растительных полисахаридов.

В последние годы в рамках этих направлений успешно выполнен ряд инициативных исследований в форме двусторонних проектов РФФИ–ДНТ. Они включали изучение новых подходов в химии углеводов и создании блокаторов углеводсвязывающих белков (лектинов), поиск углеводмодифицирующих ферментов, создание наноразмерных соединений на основе углеводных матриц, а также исследование ценных природных фенольных соединений, в особенности таких, как лигнаны, флавоноиды, стильбены и другие. В качестве примеров остановимся на недавно завершенных проектах.

В выполнении первого из них («Ферментативная модификация фукоиданов как основа для разработки лекарственных препара-

тов, структурные и функциональные исследования образцов из водорослей, собранных в Индии и России») участвовали сотрудники лаборатории профессора Ражендры Саксены из факультета микробиологии Южного кампуса университета Дели, а с российской — сотрудники Института биомедицинской химии им. Ореховича РАМН, Российского онкологического научного центра им. Н.Н. Блохина и ИОХ РАН. В результате проведенного исследования обнаружен фермент, модифицирующий полисахариды фукоиданы (рис. 1), что после характеристики специфичности и свойств фермента открывает путь к его использованию для получения широко востребованных лекарственных продуктов на основе фукоиданов. Разработанные подходы позволяют получить и другие фукоиданмодифицирующие ферменты, которые до сих пор систематически не исследованы. Первые результаты работ опубликованы в специализированном журнале *Pure & Applied Chemistry* (IF = 3.4) [1].

Второй российско-индийский проект, который хотелось бы отметить («Изучение способности производных цикло-(1→6)-β-D-глюкозамин образывать трансмембранные ионные каналы и оценка их антибактериальной активности»), выполнен под руководством молодых исследователей — к.х.н. М.Л. Генинг из ИОХ РАН и доктора П. Талукдара из Индийского института науки, образования и исследований в Пуне.

В ходе работ по проекту российскими участниками была синтезирована серия конъюгатов циклоолиго-β-(1→6)-D-глюкозамин, состоящих из 2-5 остатков D-глюкозамина с гидрофобными заместителями различной длины. Эти соедине-

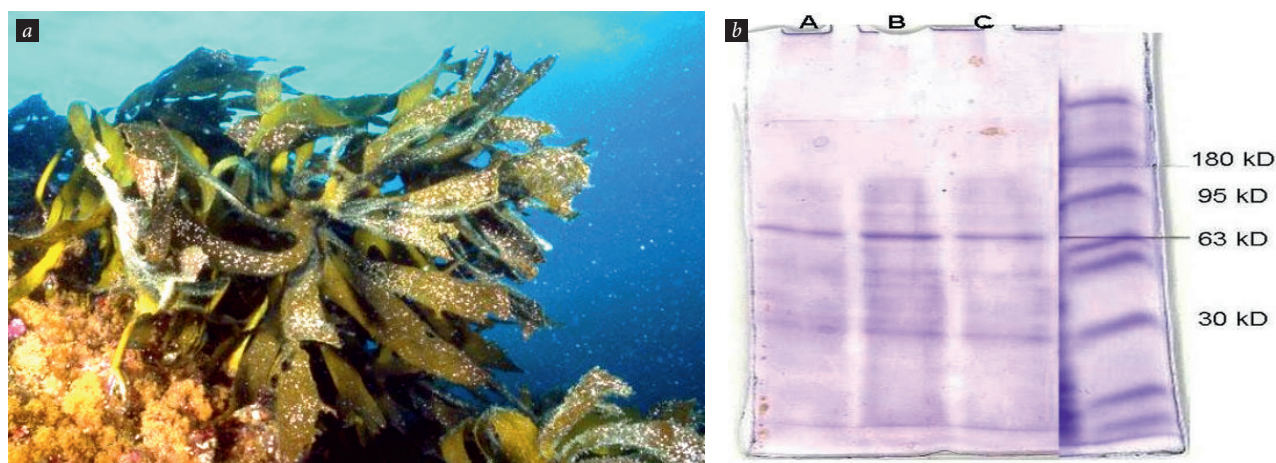


Рис. 1. Микроорганизмы рода *Pseudoalteromonas*, паразитирующие на бурых водорослях (а), и характеристика с помощью гель-электрофореза фермента фукозилтрансферазы (в разных концентрациях), полученного из культуральной жидкости микроорганизма *Pseudoalteromonas citrea* (P.c.) (б).



- ucosamine Based Artificial Channels for Tunable Transmembrane Ion Transport”, *Chem. Commun.*, 50 (2014) 5514-5516.
- [4] A. Roy, T. Saha, M.L. Gening, D.V. Titov, A.G. Gerbst, Y.E. Tsvetkov, N. E. Nifantiev, P. Talukdar “Trimodal Control of Ion Transport Activity on Cyclo-oligo-(1→6)-β-D-Glucosamine Based Artificial Ion Transport Systems” *Chem. Eur. J.*, 21 (2015) 17445-17452.
- [5] D.E. Tsvetkov, A.S. Dmitrenok, Yu. E. Tsvetkov, V.M. Menshov, D.V. Yashunsky, A.Ya. Yashin, Ya.I. Yashin, R. Kumar, V.K. Varshney, N.E. Nifantiev, “Phenylethanoid Glycosides from Teak Wood Knots and Their Antioxidant Activity”, *Journal of Biologically Active Products from Nature*, 6:4 (2016), 272-281.

Summary

This paper summarizes the results of the Russian-Indian Symposium on Glycosciences (June 13-16, 2011, N.D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry, Russian Academy of Sciences), which was organized with the support from the RAS, RFBR, and DST, as well as the results of some RFBR-DST bilateral projects in the field of glycosciences. Thus, the project directed to search for fucoidan-modifying enzymes led to discovery of an enzyme capable of specific transforming fucoidan polysaccharides. It opens a way to obtaining medicinal products from these polysaccharides. Another project was directed to exploring the ability of derivatives of cyclo-(1→6)-β-D-glucosamine to form transmembrane ion channels. Antibacterial

activity of these substances was evaluated. Identification of structural features determining their high activity provides the development of a new type of drugs. The third project is devoted to a complex study of knot area extracts of Indian trees and the structural study of the phenolic components of the extracts. An amazing structural diversity of phenolic products was discovered in wood of Indian trees. In particular, the compounds related to the flavonoids, cycloheptadienes, phenylethanoids, and their glycosylated derivatives have been isolated and structurally characterized. Important scientific results obtained in the course of these projects prove the necessity of continuation and extension of joint investigations in the described areas.



Совместные российско-индийские проекты по исследованию производных желчных кислот и реакциям, катализируемым наночастицами палладия

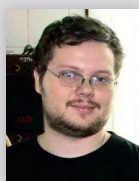
*Н.В. Лукашев, Д.А. Ерзунов, У. Майтра, Б.Н. Тхота,
Р.К. Шарма, А.В. Казанцев, Г.Н. Бондаренко, О.Г. Ганина, И.П. Белецкая,*

Совместный проект РФФИ и ДНТ правительства Индии (№ 08-03-91308) был поддержан в 2008 г. для совместных исследований химического факультета МГУ и Индийского института науки (г. Бангалор) в области химии производных желчных кислот. Желчные кислоты — редкий тип фациальных амфифилов, имеющие жесткую гидрофильную полость за счет гидроксильных групп, направленных в одну сторону, и изогнутую липофильную внешнюю поверхность. Производные желчных кислот широко используются в фармакологии, супрамолекулярной химии, нанотехнологиях. Соли желчных кислот являются эффективными биологическими поверхностно-активными веществами, играющими важную роль в организме животных и человека — они участвуют в сольubilизации жиров и метаболизме холестерина. Амфифильность желчных кислот можно модулировать с помощью введения дополнительных полярных групп или создавая олигомеры, в которых возможно проявление совместного действия нескольких

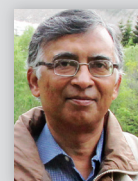
фрагментов желчных кислот. Хотя известно достаточное количество супрамолекулярных композиций на основе кислот, их амфифильное поведение и способность к комплексообразованию с анионами были мало изучены. Российская группа ученых во главе с академиком И.П. Белецкой более 40 лет исследует химические реакции, катализируемые комплексами переходных металлов и имеет большой опыт в создании новых лигандов необычной архитектуры. Индийская группа ученых во главе с профессором У. Майтрой более 15 лет исследует методы синтеза, комплексообразующие, телеобразующие, супрамолекулярные и другие физико-химические свойства производных желчных кислот, в том



**ЛУКАШЕВ
Николай Вадимович**
профессор,
МГУ им. М.В. Ломоносова



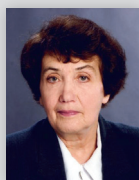
**ЕРЗУНОВ
Дмитрий Александрович**
МГУ им. М.В. Ломоносова



МАЙТРА Удай
профессор,
Институт
науки и технологий



ТХОТА Балу
Институт
науки и технологий



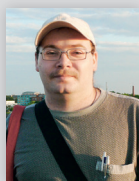
**БЕЛЕЦКАЯ
Ирина Петровна**
академик,
МГУ им. М.В. Ломоносова



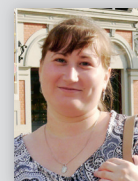
ШАРМА РАКЕШ
профессор,
Индийский институт
технологий



**КАЗАНЦЕВ
Алексей Витальевич**
МГУ им. М.В. Ломоносова



**БОНДАРЕНКО
Григорий Николаевич**
МГУ им. М.В. Ломоносова



**ГАНИНА
Ольга Григорьевна**
МГУ им. М.В. Ломоносова



числе обладающих дендримерной структурой. Главной задачей проекта было объединение усилий интернационального коллектива химиков, владеющих современными методами органического синтеза, классического органического синтеза производных желчных кислот, с широкими возможностями и многолетним опытом по исследованию физико-химических и различных прикладных свойств наноразмерных молекул — производных желчных кислот, включая их возможную биологическую, в частности фармакологическую активность.

Использование металлокатализируемых реакций принципиально важно для получения высоких выходов подобных сложных молекул, поскольку именно в координационной сфере переходного металла происходит «встреча», слабое комплексообразование и последующее взаимодействие двух линейных фрагментов, что приводит либо к замыканию в макроцикл, либо к образованию молекул со сложной архитектурой. Наши партнеры по проекту было показано, что именно полости

дендримеров на основе желчных кислот могут выполнять роль своеобразного наноразмерного реактора, способного влиять на направление и скорость реакции. Среди реакций, катализируемых комплексами переходных металлов, нами использованы два основных подхода для синтеза — реакции Pd-катализируемого аминирования с использованием полиаминов, а также диполярное циклоприсоединение азидов и ацетиленов в присутствии соединений меди, приводящие к триазольным мостикам с высоким выходом (CuAAC, или так называемая click-реакция по Шарплесу) [1–3].

Применение CuAAC-реакции для синтеза разнообразных стероидных производных оказалось очень плодотворным. Оно позволило получать разнообразные пинцерные лиганды, сложные химерные молекулы — триподы, способные образовывать молекулярные «карманы» и сложные супрамолекулярные композиции. Образование триазольных мостиков имеет не только химический смысл (быстрая реакция, высокий выход), но и биохимическое значение, поскольку известно, что триазольные производные желчных кислот обладают значительной противогрибковой активностью, причем эта активность связана с ионофорным действием подобных соединений.

Расчет предпочтительной конформации триподальных лигандов показал критическое влияние на геометрию молекулы конфигурации третьего атома углерода стероидного каркаса (рис. 1).

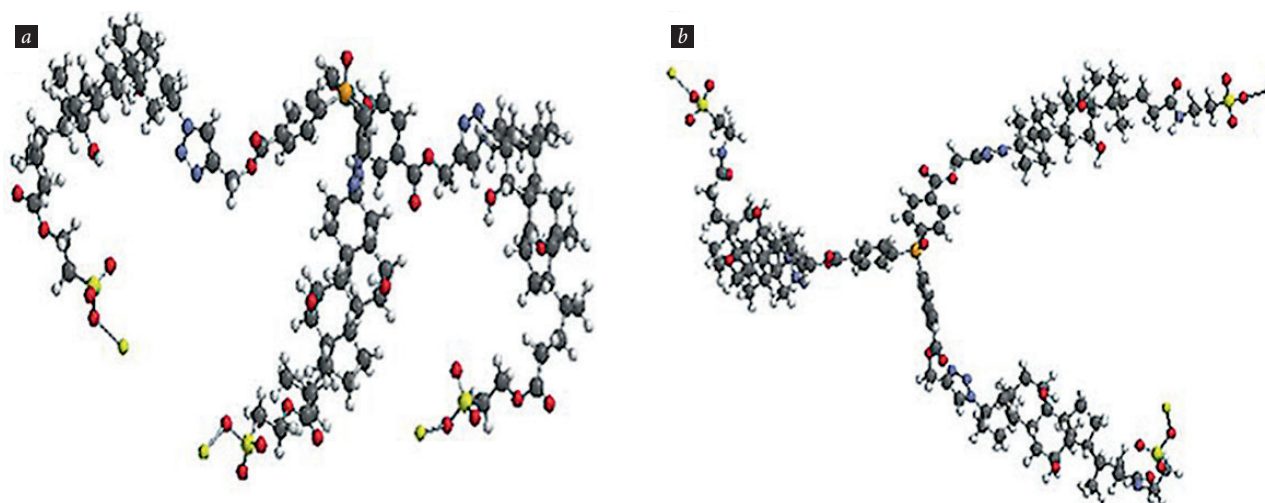


Рис. 1. Расчет возможного пространственного строения триподальных лигандов с α - (a) или β -ориентацией (b) триазольного кольца фрагмента желчной кислоты.



Подводя итог, можно сказать, что плодотворное сотрудничество российских и индийских научных групп заключалось в международном разделении труда, поскольку каждая группа ученых работала в той области, где она имеет наибольший опыт. В рамках проекта академик И.П. Белецкая выступила с лекциями в Индийском ин-

ституте науки (г. Бангалор) и в Технологическом университете (г. Мумбай), профессор У. Майтра прочитал замечательную лекцию на химическом факультете МГУ. Совместная работа российских ученых с индийскими коллегами привела к получению фундаментальных результатов по катализу наночастицами палладия и создало основу для продолжения исследований в области синтеза и исследования полезных свойств разнообразных лигандов на основе желчных кислот.

Литература

1. Averin, A.D.; Ranyuk, E.R.; Lukashev, N.V.; Beletskaya, I.P. *Chem. Eur. J.* 2005, 11, 7030-7039.
2. Thota, B.N.S.; Savyasachi, A.J.; Lukashev, N.; Beletskaya, I.; Maitra, U. *Eur. J. Org. Chem.* 2014, 1406-1415.
3. Erzunov, D.A.; Latyshev, G.V.; Averin, A.D.; Beletskaya, I.P.; Lukashev, N.V. *Eur. J. Org. Chem.* 2015, 6289-6297.
4. Lukashev, N.V.; Grabovyi, G.A.; Erzunov D.A.; Kazantsev A.V.; Latyshev G.V.; Averin, A.D.; Beletskaya I.P. *Beilstein J. Org. Chem.* 2017, 564-570.
5. Бондаренко Г.Н.; Ганина О.Н.; Шарма Р.К.; Белецкая И.П. *Изв. АН Сер. хим.*, 2014, 1856-1859.

Summary

The copper-catalyzed CuAAC reaction was used for the synthesis of tripodal ligands derived of bile acids capable of forming molecular «pockets» and complex supramolecular compositions, as well as exhibiting the properties of ionophores. The research of the supramolecular structure of the products obtained was carried out. A critical concentration of micelle formation was determined, and the possibility of solubilizing hydrophobic and hy-

drophilic molecules in solvents with opposite solubilizing properties was observed. The size of nanoparticles was established by the DLS. Similar tripodal ligands obtained by the CuAAC process were subsequently used in the Russian group to study their complexation with anions. The catalytic reactions based on palladium nanoparticles (PdNPs) deposited on carbonaceous materials have been studied in various reactions to form a new carbon-carbon bond.



10 лет сотрудничества Российского фонда фундаментальных исследований и Департамента науки и технологий в области системной биологии

В.Ю. Макеев

На международной зимней школе по биоинформатике в университете г. Хайдерабад в декабре 2006 года одним из наиболее ярких выступлений была лекция профессора Ш. Манде про дубликации шаперонов у *Mycobacterium tuberculosis*. В своей лекции он также затронул тему анализа сетей белок-белковых взаимодействий у бактерий. Областью его основной специализации был рентгеноструктурный анализ, но в последнее время он больше занимался сетями белок-белковых взаимодействий в бактериальных клетках.

Мы обнаружили, что наши исследования во многом дополняли друг друга. Действительно, транскрипция генов регулируется белками, синтез которых контролируется продуктами других генов. Однако знание активности генов в различных условиях недостаточно для того, чтобы восстановить сеть молекулярных взаимодействий, ответственную за переключения генов бактерий, поскольку многие белки-регуляторы могут работать, только будучи активированными (например фосфорилированными) белками-ферментами. Поэтому реальное значение имеет только сеть, объединяющая как взаимодействия ДНК-белок, так и белок-белковые взаимодействия. В настоящее время собрано довольно много данных по активности бактериальных генов в различных условиях и по белок-белковым взаимодействиям у бактерий. Однако эти данные получены различными экспериментальными методами и в различных условиях, поэтому их интеграция сталкивается с большими сложностями. Несмотря на относительную простоту генетического аппарата бактерий, полная модель, позволяющая аккуратно предсказывать изменения активности генов, например при воздействии лекарств, до сих пор не по-

строена даже для хорошо изученной кишечной палочки.

При нормальном росте метаболизм бактериальной клетки достаточно сложен и большое количество генов работает в самых разнообразных условиях, поэтому восстановить структуру системы регуляции генов по данным о разнородной активности генов в серии конкретных условий не очень легко. В то же время при сильном стрессе, например повреждении ДНК или резком повышении температуры, нормальной реакцией клетки является остановка работы практически всех генов, обеспечивающих нормальную жизнедеятельность, и запуск генов, отвечающих за выживание клетки в экстремальных условиях. Например, при повышении температуры синтезируются специальные белки-шапероны, защищающие функциональные белки клетки от тепловой денатурации. Список генов, работающих в условиях стресса и, как следствие, набор присутствующих в клетке белков, должен представлять отчетливый контраст с генами, работающими при нормальной жизнедеятельности клетки, и характерными для этих условий белками.

Наша работа сводилась к сравнению профилей экспрессии генов



МАКЕЕВ
Всеволод Юрьевич
член-корреспондент РАН,
профессор,
Институт
общей генетики РАН
им Н.И. Вавилова



бактерий, полученных на экспрессионных чипах и лежащих в открытом доступе, с данными по белок-белковому взаимодействию, полученными разными высокопроизводительными методами, в частности с помощью параллельной иммунопреципитации. Эти методы давали информацию об активности генов и концентрации белков в масштабе полного генома и протеома, но вероятность ошибочного значения для каждой отдельной молекулы была достаточно высока. Тем не менее весь комплекс данных открывал новые возможности благодаря тому, что впервые открылась картина синхронных переключений групп генов при переходе от одних условий культивирования бактерий к другим. Мы сформулировали задачу поиска самосогласованных данных, которые бы позволили выделить надежную информацию о согласованных изменениях экспрессии групп генов при включении ответа на стресс на фоне колебаний фоновой экспрессии генов в разных образцах. Анализ данных, полученных на чипах, был темой работы Ш. Хежд, у нее уже были процессированные чипы по экспрессии генов *E. coli* в разных условиях, и после ряда попыток нам удалось построить внутренний контроль, основываясь на генах, принадлежащих одному и тому же оперону. Благодаря этому удалось оценить «шум» в данных, что стало хорошей стартовой точкой для дальнейшей работы.

К сожалению, большая загруженность Ш. Манде не позволила ему приехать в Россию в 2008 году, и мы продвигали наш проект используя электронные средства коммуникации. К этому времени Ю.А. Медведевой удалось создать оригинальную программу по опре-

делению модулонов в бактериях, основанную на совместном анализе экспрессионных, функциональных и геномных данных, которая не уступала мировым аналогам. Нам удалось найти несколько генов, имеющих отношение к отклику на те или иные стрессы, которые не были описаны ни в аннотации генома, ни в популярных интернет-ресурсах. Однако при внимательном изучении литературы оказалось, что информация о практически всех этих генах уже была опубликована в различных статьях, посвященных экспериментальным исследованиям реакций на стресс.

В дальнейшем по предложению Ш. Манде мы переключились на генные сети возбудителя туберкулеза — бактерии *Mycobacterium tuberculosis*, которая значительно менее изучена, чем *E. coli*. В то же время это достаточно сложный для изучения внутриклеточный паразит, для которого определение характерных состояний клетки может привести к большим успехам в медицинской практике. В лаборатории Ш. Манде был выделен и кристаллизован белок *Mycobacterium tuberculosis*, взаимодействующий с ДНК и имеющий структуру, сходную со структурой белков-шаперонов, отвечающих за стабильность белковых молекул при тепловом стрессе. Для выяснения специфики взаимодействия нового белка с ДНК в Индии были проведены эксперименты по иммунопреципитации хроматина антителами на новый белок. Мы провели обработку этих экспериментов, специфичность которых была не очень высока, и с помощью вычислительных методов смогли повысить качество определения участков ДНК, специфически взаимодействующих с этим белком. Эти вычислительные эксперименты стали одной из первых тестовых площадок для нашей программы ChIPmunk, анализирующей специфику взаимодействия сегментов ДНК с регуляторными белками. Анализ данных Ш. Манде позволил нам существенно улучшить эту программу, что в дальнейшем легло в основу ряда публикаций нашей лаборатории.

В результате нашей работы был разработан метод, позволяющий по ряду признаков надежно определять, какие группы генов совместно активируются (так называемые модулоны) [1]. Метод был протестирован на кишечной палочке [2] и успешно применен на туберкулезной микобактерии.



Литература

1. Хежд Ш., Климова Е.Ю., Манде Ш., Медведова Ю.А., Makeev В.Ю., Пермина Е.А. Использование пар генов, входящих в один оперон, для определения порога значимости коэффициента корреляции уровней экспрессии генов. *Биофизика*, 2011, т. 56, вып. 6, стр. 1062-1064.
2. Permina E.A., Medvedeva Y.A., Baeck P.M., Hegde S.R., Mande S.C., Makeev V.J. Identification of self-consistent modulons from bacterial microarray expression data with the help of structured regulon gene sets. *J. Biomol. Struct. Dyn.* 2013;31(1):115-24.
3. Mande S. Prediction of genome-wide interactions reveals communication signals during Mycobacterial latency. Proc. 5Th Moscow Conference in Computational Molecular Biology, MCCMB'11, Moscow July 21 — July 24, 2011.

Summary

Prof. Vsevolod Makeev made the acquaintance with Prof. Shekhar Mande in December 2006, when Vsevolod took part in the Winter Bioinformatics School in Hyderabad, Andhra Pradesh. Vsevolod was greatly impressed by Shekhar's lecture on the protein-protein interaction networks in bacteria. Since Vsevolod's lab in Moscow studied the regulation of transcription by proteins interacting with DNA, it became clear that two groups had the highly complementary experience. Indeed, many protein factors involved in switching of gene activity must be activated by other proteins. So, to understand gene network operation it is necessary to analyze both DNA-protein and protein-protein interactions. Stress response was selected as a test system.

The collaboration was supported by the RFBR/DST program for 2008. The planned research activities included a number of travels to India for Russian collaborators and return visits of Indian collaborators to Moscow. Basically, the research consisted in comparing bacterial gene expression data obtained from public microarray databases with high throughput protein-protein interaction data obtained from various sources. The main problem was the variable data quality, with some samples displaying very clear results, whereas other samples being very noisy. We developed a set of data internal controls, which allowed automatic discarding of poor quality samples. The algorithm for automatic identification

of bacterial modulons with parallel quality controlling [1] was published in the *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics* [2] and later served as a starting point for a number of approaches to automatic data analysis developed in Moscow. The project was renewed twice in 2010 and 2012, with graduate switching from *E. coli* to *M. tuberculosis* as the primary object. *M. tuberculosis* is a significantly less studied species than *E. coli*, but it is obviously very important for human well being.

The Indian counterparts visited Moscow in 2009 and 2011, with one graduate student (Shubhada Hegde) coming to Moscow for several months in 2012. A Russian-Indian workshop in Moscow was supported by the RFBR-DST collaborative call, and took place in 2011 as a follow up to the Moscow Conference in Computational Molecular Biology [3]. It allowed 10 leading Indian scientists to present their results for a high level audience in Moscow and to form new contacts with Russian colleagues. The participants are very thankful to the officers of the Embassy of India in Moscow for their thoughtful support, and particularly to Rama Swami Bansal, the counsellor in science and technology, for a warm reception in her residence.

The authors are deeply thankful for the RFBR and DST, which made possible this exciting and fruitful collaboration. The research was supported by the RFBR-DST projects 08-04-91318, 10-04-92663, 11-04-92753, and 13-04-92710.



Взаимовыгодное сотрудничество ученых России и Индии — основа успешного развития науки

С.И. Аллахвердиев, А. Джаджу

Уже в течение более 20 лет ученые Института фундаментальных проблем биологии Российской академии наук (ИФПБ РАН) (ранее Институт фотосинтеза и почвоведения РАН) плодотворно (более 26 совместных научных публикаций) сотрудничают с учеными Индии нескольких научно-образовательных центров в решении вопросов действия абиотических стрессов (включая гербициды и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)) на фотосинтетический аппарат. В группе наших индийских коллег есть как известные и признанные во всем мире ученые: Анжана Джаджу (Anjana Jajoo), Прасана Моханти (Prasanna Mohanty); Судхакар Бхарти (Sudhakar Bharti); так и начинающие исследователи, студенты и аспиранты: Пуджа Мехта (Pooja Mehta); Сонал Матур (Sonal Mathur); Рупал Синг Томар (Rupal Singh-Tomar); Тина Тонгра (Teena Tongra); Дивья Агравал (Divya Agrawal), School of Life Science, Devi Ahilya University, Indore 452017, MP, India.

Область научных интересов

В область научных интересов объединенной российской-индийской научно-исследовательской группы входит широкий круг вопросов, связанных с исследованием молекулярных механизмов фотосинтеза. Изучается влияние полициклических ароматических углеводородов на первичные процессы фотосинтеза на всех уровнях фотосинтетического аппарата, включая фотосистему 2 (ФС-2) и фотосистему 1 (ФС-1); механизмы действия ПАУ и продуктов их разложения, индуцированного светом видимого и ультрафиолетового диапазона, на фотохимическую активность ФС-2, на про/антиоксидантный баланс при кратковременном и длительном воздействии; пути регу-

ляции трансдукции стрессового сигнала при действии данных поллютантов и пути их трансформации в малотоксичные соединения; возможности быстрого скрининга полициклических ароматических углеводов на суспензиях микроводорослей и цианобактерий; мониторинг окислительного стресса в присутствии ПАУ; уровни активных форм кислорода (перекись водорода, супероксиданион-радикал и ОН-радикал), образующихся в высших растениях в стрессовых условиях.

Совместные научные проекты

За последние десять лет были одобрены три наших совместных научных проекта:

1. Проект № INT/ILTP/B-6.27 «Характеристика гетерогенности ФС-2 и ее изменений в условиях высокотемпературного и солевого стресса» (руководитель с российской стороны — С.И. Аллахвердиев, руководитель с индийской стороны — Анжана Джаджу успешно завершен.
2. Проект № 11-04-92690-ИНД_а «Исследование молекулярных механизмов, лежащих в основе повреждающих эффектов поллютантов окружающей среды, — полициклических



АЛЛАХВЕРДИЕВ
Сулейман Ифханоглы
Институт физиологии растений
им. К.А. Тимирязева РАН,
Институт фундаментальных
проблем биологии РАН



ДЖАДЖУ
Анжана
Школа наук о жизни,
Университет Дэви Ахилия



личных органах растений. Объединение усилий нашей и индийской, сильных, взаимодополняющих научно-исследовательских групп, обеспечивает плодотворность совместных исследований. Несомненно, что именно благодаря существующему международному сотрудничеству между учеными

России и Индии стало возможным получением значимых результатов в рамках выполняемого проекта. Наглядным показателем успешности нашего сотрудничества в рамках совместных проектов между Россией и Индией служат научные публикации в ведущих международных журналах с достаточно высоким импакт-фактором. Считаем целесообразным продолжение финансирования этих исследований.

Список основных публикаций

Список основных совместных публикаций, отражающих результаты взаимовыгодного сотрудничества ученых России и Индии:

1. Agrawal D., Allakhverdiev S.I., Jajoo A. (2016) Cyclic Electron Flow Plays an Important Role in Protection of Spinach Leaves Under High Temperature Stress. — *Russian Journal of Plant Physiology*, 63 (2): 210-215.
2. Franz-Josef Schmitt, V.D. Kreslavski, G. Shirshikova, C. Keuer, S.K. Zharmukhamedov, A. Jajoo, S.I. Allakhverdiev, T. Friedrich. Fluorescence imaging of light induced reactive oxygen species (ROS) in plant cell tissue. Abstracts book of International Conference "Photosynthesis Research for Sustainability-2014: In honor of Vladimir A. Shuvalov" (Eds. S.I. Allakhverdiev, I.A. Naydov. Pushchino, Russia), 2014, p. 100-101.
3. Singh-Tomar R., Mathur S., Allakhverdiev S.I., Jajoo A. (2012) Changes in PS II heterogeneity in response to osmotic and ionic stress in wheat leaves (*Triticum aestivum*). — *J Bioenerg Biomembr* v. 44, p. 411-419.
4. Mohanty P., Kreslavski V.D., Klimov V.V., Los D.A., Mimuro M., Carpentier R., Allakhverdiev S.I. (2012) Heat Stress: Susceptibility, Recovery and Regulation. *In: Photosynthesis: Plastid Biology, Energy Conversion and Carbon Assimilation* (Eds: Eaton-Rye J.J., Tripathy B.C., Sharkey T.D.), Springer Dordrecht Heidelberg, London, New York, pp. 251-274.
5. Allakhverdiev S.I., Kreslavski V.D., Fomina I.R., Los D.A., Klimov V.V., Mimuro M., Mohanty P., Carpentier R. (2012) Inactivation and Repair of Photosynthetic Machinery under Heat Stress. *In: Photosynthesis: Overviews on Recent Progress and Future Perspective*, (Eds: Itoh S., Mohanty P., Guruprasad K.N.) I. K. International Publishing House Pvt. Ltd. New Delhi, India, pp. 189-216.
6. Mehta P., Kreslavsky V.D., Bharti S., Allakhverdiev S.I., Jajoo A. (2011) Analysis of salt stress induced changes in Photosystem II heterogeneity by prompt fluorescence and delayed fluorescence in wheat (*Triticum aestivum*) leaves. — *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.* 104: 308-313.
7. Tongra T., Mehta P., Mathur S., Agrawal D., Bharti S., Los D.A., Allakhverdiev S.I., Jajoo A. (2011) Computational analysis of fluorescence induction curves in intact spinach leaves treated at different pH. — *Biosystems* 103(2): 158-63.
8. Mathur S., Allakhverdiev S.I., Jajoo A. (2011) Analysis of high temperature stress on the dynamics of antenna size reducing side heterogeneity of Photosystem II in Wheat leaves (*Triticum aestivum*). — *Biochimica et Biophysica Acta (BBA-Bioenergetics)* 1807: 22-29.
9. Mehta P., Allakhverdiev S.I., Jajoo A. (2010) "Characterization of photosystem II heterogeneity in response to high salt stress in wheat leaves (*Triticum aestivum*). — *Photosynth Res.* 105(3):249-55.



23. Allakhverdiev S.I., Karacan M.S., Somer G., Karacan N., Khan E.M., Rane S.Y., Padhye S., Klimov V.V. and Renger G. "Binuclear manganese (III) complexes as electron donors in D1/D2/Cytb559 preparations isolated from spinach photosystem II membrane fragments" *Z. Naturforsch.* (1994), v.49C, P.587-592.
24. Padhye S., Yerande R., Kumbhar A., Hegde U., Klimov V.V., Ananyev G.M., Allakhverdiev S.I. and Zharmukhamedov S.K. "Functional models of water oxidation complex in photosystem II"-In: *Indo-US Global Climatic Changes. Photosynthesis and Plant Productivity*, New-Delhi, (1991), pp.132
25. Yerande R., Hegde U., Padhye S., Klimov V.V., Ananyev G.M., Allakhverdiev S.I. and Zharmukhamedov S.K. "Artificial photosynthesis: Monomeric quinone complexes of iron (+2) and manganese (+2), (+3) and (+4) in photoreactivation of pea subchloroplast particles" -In: *Proc. of Workshop on Recent Advances in Bioenergetic Processes*. JNU, New-Delhi (1990), p.12-15
26. Klimov V.V., Ananyev G.M., Allakhverdiev S.I., Zharmukhamedov S.K., Mulay M., Hegde U., Padhye S., Dismukes G.C. and Sheats J.S. "Reconstitution of Mn containing complex of photosynthetic oxygen evolution"-In: *Soviet-Indian Symposium on Regulation of Photosynthesis*, Pushchino, (1990), pp.12
27. Klimov V.V., Ananyev G.M., Allakhverdiev S.I., Zharmukhamedov S.K., Mulay M., Hegde U. and Padhye S. "Photoreactivation and photoinactivation of photosystem II after a complete removal of manganese from pea subchloroplast particles" -In: *Current Research on Photosynthesis* (ed. Baltscheffsky M.) Kluwer Acad. Publishers (1990), v.1, pp.247-254.

Summary

For more than 20 years, a group of scientists of the Institute of Basic Biological Problems, Russian Academy of Sciences (IBBP RAS) (formerly the Institute of Soil Science and Photosynthesis) successfully collaborate with scientists from India (more than 26 joint scientific publications), belonging to several research and education centers in the field of the photosynthetic apparatus (PA) responses to abiotic stress (including herbicides and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)). The group of our Indian colleagues includes outstanding scientists: Anjana Jajoo, Prasanna Mohanty, Sudhakar Bharti and several junior researchers, undergraduate and graduate students: Pooja Mehta, Sonal Mathur, Rupal Singh-Tomar, Teena Tongra; Divya Agrawal,

School of Life Science, Devi Ahilya University, Indore 452017, MP, India. The area of scientific interest of the Russian-Indian research team includes a wide range of issues related to the study of the molecular mechanisms of photosynthesis particularly under the influence of PAHs and their decomposition products at all levels of PA including photosystem 2 and photosystem 1; transduction pathways of regulation stress signal under the influence of pollutants and ways of transforming them into low-toxic compounds; the possibility of rapid screening of PAHs in suspensions of microalgae and cyanobacteria; monitoring the presence of oxidative stress in PAH; levels of reactive oxygen species formed in plants under stress conditions.



Большое видится на расстоянии: цикл российско-индийских проектов в области компьютерного зрения

Л.М. Местецкий, А.И. Майсурадзе, Н.Ф. Дышкант

В ноябре 2008 года доктор Б.Х. Шекар (Мангалорский университет, Индия) и профессор Л.М. Местецкий (МГУ имени М. В. Ломоносова, Россия) оперативно собрали команды и согласовали заявку, на которую в апреле 2009 года было получено положительное решение от РФФИ и Департамента науки и технологий (ДНТ) Правительства Индии. Так началась работа по первому совместному проекту, посвященному компьютерному зрению.

Кроме решения непосредственных научных задач проекта с индийскими коллегами, были согласованы дополнительные задачи:

- обмен идеями, знакомство с разработками друг друга;
- обмен опытом по организации совместных научных исследований в университетах;
- публикация совместных работ в высокорейтинговых англоязычных международных журналах.

В ходе выполнения первого проекта возникла перспектива сотрудничества в более широком контексте — с привлечением других российских и индийских коллег, работающих в области компьютерного зрения. Уже после его успешного завершения эти идеи нашли свое воплощение в организации российско-индийского научного семинара. Такой семинар — «Перспективные прикладные задачи компьютерного зрения» — также получил поддержку РФФИ и был проведен в 2011 году в МГУ. На него приехали индийские и российские ученые из различных научных центров. Главным достижением семинара стало согласование направлений дальнейшего сотрудничества, а также издание сборника трудов,

представляющего работы авторов из обеих стран.

В ходе семинара была совместно обсуждена и согласована тема нового проекта, заявка на который была подана на конкурс РФФИ–ДНТ в программу 2012–2013 годов. Второй проект также получил поддержку и был успешно выполнен.

В 2014–2015 годах общение с индийскими коллегами не прекращалось, формировались новые темы для сотрудничества. На их основе была подана заявка на конкурс РФФИ–ДНТ в программу 2016–2017 годов. Заявку поддержали, началась работа над третьим совместным проектом.

Начало: особенности первого проекта

Надо быть готовым к случаю — именно эта формула позволила российско-индийскому проекту успешно стартовать.

Сотрудничество с коллегами из Индии началось с электронного письма, которое 19 ноября 2008 года доктор Б.Х. Шекар прислал Ю.М. Баяковскому — заведующему лабораторией компьютерной графики и мультимедиа факультета вычислительной математики и кибернетики (ВМК) МГУ. В этом письме содержалось



МЕСТЕЦКИЙ
Леонид Моисеевич
профессор,
МГУ им. М.В. Ломоносова



МАЙСУРАДЗЕ
Арчил Ивериевич
МГУ им. М.В. Ломоносова



ДЫШКАНТ
Наталья Федоровна
МГУ им. М.В. Ломоносова



предложение подумать над совместным проектом по программе ДНТ и РФФИ «Indo-Russian Joint Research — 2009». В России специалисты по машинной графике и компьютерному зрению довольно хорошо знакомы с темами исследований своих коллег. Этому способствуют, в том числе, российские и международные конференции соответствующей тематики, проведение которых (или участие в них) поддерживает РФФИ. К сожалению, российским специалистам иногда сложно распространять информацию о собственных исследованиях на международном уровне. И их потенциальным партнерам из-за рубежа не всегда удается в удобной для себя форме узнать, над чем и в каких вузах работают российские исследовательские группы.

Но в данном случае российская команда оказалась готова к сотрудничеству. В ее состав вошли студенты и аспиранты ВМК МГУ под руководством профессора Л.М. Местецкого. Вместе с доктором Шекаром были согласованы тема проекта и состав исполнителей с каждой стороны. Положительную роль сыграло то, что тематика работ двух научных групп оказалась весьма близкой. Общими усилиями работа над заявкой была выполнена за две недели, со 2 по 15 декабря 2008 года.

При подготовке заявки внимание уделялось не только научным составляющим проекта, но и организационным аспектам. Несмотря на отсутствие опыта совместной работы, обнаружили хорошие возможности для успешного сотрудничества интернационального молодежного коллектива, по-

лучившего поддержку со стороны университетов в России и Индии.

С российской стороны научный коллектив был составлен из преподавателей и аспирантов факультета ВМК МГУ. В Индии в соответствии с формальными требованиями ДНТ в проекте участвовали представители нескольких университетов.

Тема первого проекта № 09-07-92652-ИНД_а «Пространственное моделирование человеческих лиц для анализа и классификации в реальном времени» (2009-2010) заинтересовала обе стороны. В российской команде основным исполнителем по этой проблематике была аспирантка факультета ВМК МГУ Н.Ф. Дышкант. Усилия рабочей группы были направлены на разработку метрики сравнения поверхностей лиц и эффективных алгоритмов для такого сравнения. Проект был направлен на создание математических моделей и методов для работы с пространственными портретами человеческих лиц, полученными с помощью современных трехмерных сканеров. Трехмерные сканеры российских разработчиков и производителей успешно конкурируют на рынке с лучшими мировыми образцами. Индийская команда имела к тому времени результаты в области сравнения лиц по видеопоследовательностям, полученным с помощью видеокамер.

Задачи анализа и классификации получаемых изображений возникают во многих приложениях, связанных с биометрической идентификацией, медицинской диагностикой, планированием и оценкой результатов операций в косметологии, ортодонтии, а также с распознаванием эмоций по выражению лица человека.

В ходе проекта были получены следующие результаты:

- разработан метод сравнения и подгонки непрерывных моделей человеческих лиц, полученных с помощью трехмерных сканеров;
- разработан метод выделения статических и динамических элементов формы для трехмерных изображений на основе сравнения и подгонки их поверхностей;
- разработан подход к оценке точности алгоритмов реконструкции пространственной модели лица по серии плоских изображений;

