

наука

производство

рынок

В номере:

Стенограмма
Парламентских слушаний
«Законодательное
обеспечение
инновационного развития
экономики»

Ответы Нобелевских
лауреатов на вопросы
редакции

Открытие
нанотехнологического
центра в ЦНИИ
КМ «Прометей»

И. В. Горынин
Создание конструкционных
наноматериалов

В. Я. Шевченко и др.
От фундаментальных
исследований к разработке
новых технологий

Е. Ф. Панарин
Полимерные наносистемы

Е. В. Шляхто
Нанотехнологии в
медицине

В. В. Лучинин
Наноиндустрия —
инвестиции в человеческий
капитал

Нанотехнологии Петербурга



Учредители:

- Министерство образования РФ;
- Российский государственный университет инновационных технологий и предпринимательства;
- Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»;
- ОАО «ТРАНСФЕР»;
- Фонд СИНД.

Обязанности издателя возложены на ОАО «ТРАНСФЕР».
 Генеральный директор Б. А. Новиков.

Редакционный совет:

Д. В. СЕРГЕЕВ (председатель), М. В. АЛФИМОВ, Г. Г. АНДРЕЕВ, Н. В. АРЗАМАСЦЕВ, А. Я. БАШКАРЕВ, И. М. БОРТНИК, С. В. ВАЛДАЙЦЕВ, А. Д. ВИКТОРОВ (зам. председателя), Б. А. ВИНОГРАДОВ, В. А. ГЛУХИХ, Г. В. ДВАС, В. В. ИВАНОВ (зам. председателя), Н. И. ИВАНОВА, А. Б. КАЗАКОВ, И. И. КЛЕБАНОВ, В. В. КОЗЛОВ, Г. В. КОЗЛОВ, С. И. КОЛЕСНИКОВ, С. В. КОНДРАТЬЕВ, А. С. КУЛАГИН, В. М. КУТУЗОВ, Б. К. ЛИСИН, Г. Х. ЛОБАНОВ, Е. А. ЛУРЬЕ, Г. А. МЕСЯЦ, Л. Э. МИНДЕЛИ, В. Н. НЕВОЛИН, Б. А. НОВИКОВ, К. И. ПЛЕТНЕВ, Д. В. ПУЗАНКОВ, С. К. СЕРГЕЕВ, В. А. СТАРЫХ, А. В. СУВОРИНОВ, А. Н. ТИХОНОВ, В. П. ФЕТИСОВ, А. Н. ФОЛОМЬЕВ, А. Г. ФОНОТОВ, В. Н. ФРИДЛЯНОВ, А. А. ФУРСЕНКО, А. А. ХАРИН, Ю. В. ШЛЕНОВ, В. Е. ШУКШУНОВ, Ю. В. ЯКОВЕЦ

**Региональные
представители журнала:**

в Москве – Г. Г. Андреев,	(495) 235-35-85;
в Нижнем Новгороде и Волго-Вятском экономическом районе — А. Н. Зайцев,	тел./факс (8312) 19-39-46;
в Уральском регионе — Г. Б. Лехова,	(3432) 74-51-35;
в Западно-сибирском экономическом районе — А. Н. Солдатов,	(3822) 41-57-43;
в Восточной Сибири — Э. С. Бука,	(3912) 66-03-87;
в Северном регионе — В. В. Сокол,	(81622) 203-23;
в Новгороде Великом — В. Н. Михайлов,	(8162) 66-14-54;
в Воронежской области — С. П. Волошин,	(0732) 71-28-72;
в Калужской области — Е. А. Пашин,	(08439) 956-44;
в Ярославской области — А. Н. Киселев,	(0852) 21-81-44, 45-89-74;
в Белгородской области — А. В. Симачев,	(0722) 26-26-09;
в Ульяновске — Г. К. Рябов,	(8422) 44-16-88;
в Краснодарском крае — Г. А. Попова,	(8612) 52-05-30; (8612) 24-12-68
на Украине, в Луганске — В. И. Качан,	(0642) 53-13-93;
во Владимирской области — В. И. Заборин,	(49244) 2-10-55; (8910)-671-87-74
в Республике Беларусь — В. А. Гулецкий	(37517) 232-83-42;
в Республике Саха (Якутия) — Н. Е. Егоров	(84112) 25-35-90

Распространение:

Распространяется на территории Российской Федерации и СНГ по подписке через каталог «Роспечати», подписной индекс 38498, и по подписке через объединенный каталог «Пресса России», подписной индекс 42228, а также через каталог российской прессы «Почта России», подписной индекс 99233.

Адресная доставка

руководителям предприятий, инновационно-промышленных комплексов, инновационно-технологических центров, технопарков, НИИ, КБ, вузов, федеральным и региональным органам власти и управления.

**Адрес дирекции
и редакции журнала:**

197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5,
 ОАО «Трансфер».
Для писем: 197022, С-Петербург, а/я 66.
 Тел/факс: (812) 234-09-18; тел. 234-66-58.
 E-mail: transfer@eltech.ru
 Электронная версия: <http://innov.eltech.ru> и www.mag.innov.ru

Редакция журнала:

Издатель — Б. А. Новиков
 Выпускающий редактор — С. А. Кожевников
 Рубрика «Инновационная экономика» — В. В. Иванов
 Рубрика «Биржа технологий и контактов» — Ю. П. Нешитов
 Рекламные материалы, подписка — А. Б. Каминская
 Референт — А. А. Иванова
 Электронная версия — А. Б. Новиков
 Дизайн и администрирование электронной версии — А. Г. Бархатов
 Оригинал-макет журнала подготовлен в редакции

Формат 60×84/8, установочный тираж 2000 экз.
 Отпечатано в типографии

Заказ №

Журнал издается при содействии Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям

Редакция и издатель журнала не несут ответственности за содержание и достоверность рекламно-информационных сообщений, размещенных в журнале.

Журнал зарегистрирован Госкомитетом РФ по печати.

Регистрационное свидетельство № 016292 от 30 июня 1997 г.

Журнал включен в перечень рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук (редакция октябрь–декабрь 2006 г.).

© ОАО «Трансфер»

СОДЕРЖАНИЕ

ИЗ ОФИЦИАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 3 СТЕНОГРАММА ПАРЛАМЕНТСКИХ СЛУШАНИЙ КОМИТЕТА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ДУМЫ ПО НАУКЕ И НАУКОЕМКИМ ТЕХНОЛОГИЯМ НА ТЕМУ: «ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ. НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

НАУКА И ОБЩЕСТВО

- 23 НАУКА И ОБЩЕСТВО. Ответы участников 3-й Петербургской встречи Нобелевских лауреатов на вопросы редакции
26 СИЛА В ЧИСЛЕННОСТИ И РАЗНООБРАЗИИ. Интервью с Лореном Грехэмом

СОБЫТИЯ И ФАКТЫ

- 28 ОТКРЫТИЕ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО РАЗРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ В ФГУП ЦНИИ КМ «ПРОМЕТЕЙ»

НАНОТЕХНОЛОГИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

- 34 И. В. Горьнин
СОЗДАНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ
44 В. Я. Шевченко, В. В. Гусаров, Я. Б. Данилевич, В. А. Жабрев
ОТ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ К РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ
50 Е. Ф. Панарин
БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ НАНОСИСТЕМЫ
54 Е. В. Шляхто
ИННОВАЦИОННЫЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ И БИОЛОГИИ
60 В. В. Лучинин
НАНОИНДУСТРИЯ – ИНВЕСТИЦИИ В ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ КАПИТАЛ
66 О. Ф. Вывенко, Ю. В. Чижов, И. В. Рождественский, И. А. Горлинский
ТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ЦЕНТРЫ ВУЗОВ КАК ОПОРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СЕГМЕНТА РОССИЙСКОЙ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ
70 В. Л. Трушко, М. А. Пашкевич
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР НАНОТЕХНОЛОГИЙ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ГОРНОМ ИНСТИТУТЕ

- 75 А. С. Удовиченко
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. А. Ф. ИОФФЕ И ПОСТРОЕНИЕ НАНОИНДУСТРИИ В РОССИИ
80 А. О. Шпаков, М. Н. Перцева
ПЕПТИДНАЯ НАНОСТРАТЕГИЯ – НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В МОЛЕКУЛЯРНОЙ ЭНДОКРИНОЛОГИИ
84 В. В. Егоров, М. И. Дюков, А. А. Шалджян, А. В. Васин, П. А. Некрасов, А. К. Сироткин, М. А. Плотникова, Ю. П. Гармай, О. И. Киселев
РАЗРАБОТКА СПОСОБНЫХ К САМООРГАНИЗАЦИИ ПЕПТИДОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ
88 А. А. Абрамов, П. Г. Петров, В. Л. Гиршов, С. К. Гордеев, В. В. Смирнов
НЕКОТОРЫЕ РАЗРАБОТКИ ФГУП «ЦНИИМ» В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ
92 Ю. И. Карташов, В. Н. Румянцев, С. В. Половцев, Н. И. Алексеев, М. В. Ахтырский, Ю. Г. Осипов, А. К. Сироткин
ОЦЕНКА МЕХАНИЗМОВ ОБРАЗОВАНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ФОРМЫ И ХАРАКТЕРА УГЛЕРОДНЫХ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ЛИТИЯ И МАГНИЯ В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ
97 С. А. Керножицкая, С. М. Галилеев, Т. М. Петрова, В. И. Мануйлова, И. М. Белозеров
ПРИРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОТХОДЫ ПРОМЫШЛЕННОСТИ – ИСТОЧНИК МАССОВОГО МАЛОЗАТРАТНОГО ПОЛУЧЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ – МОДИФИКАТОРОВ И НАПОЛНИТЕЛЕЙ БЕТОНОВ И ОРГАНОПОЛИМЕРОВ
101 А. Л. Тер-Мартirosян
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Стенограмма парламентских слушаний Комитета Государственной Думы по науке и наукоемким технологиям на тему: «Законодательное обеспечение инновационного развития экономики. Наукоемкие технологии»*

*Здание Государственной Думы. Малый зал.
12 мая 2008 года. 14 часов.*

Председательствует председатель Комитета по науке и наукоемким технологиям В. А. Черешнев.

Председательствующий:

— Эти слушания проводятся в соответствии с решением Совета Думы от 20 марта 2008 года. Тогда было принято решение, что по этой важной теме — по инновациям — будет организовано три этапа слушаний. Прошлый месяц были слушания по информационным технологиям, сейчас мы слушаем о законодательном обеспечении инновационной экономики, и социально-экономические вопросы будут рассмотрены в июне.

Буквально два слова хочу сказать, почему мы много говорим об инновациях. Мы посмотрели за последние 15–20 лет: какие основные документы по инновациям приняты? 15 лет в диссертациях, в монографиях идет обсуждение инновационного процесса, инновационного обеспечения, без инноваций никуда, инновациям нет альтернативы. Повторяю, это с 1991–1992 года. Тем не менее, спустя 17–18 лет, видим, что страна в основном остается сырьевой, мы по-прежнему, как образно говорят, на трубе, на игле (газовой и нефтяной). И поэтому мы не можем ждать саморазвития инновационной экономики, надеюсь, что рынок все поставит на свои места. Уже надо принимать решительные меры, потому что у нас беспредельно мал процент наукоемких предприятий, высокотехнологичных, безотходных, экологически чистых.

Надо, я еще раз хочу повторить, принимать очень серьезные меры. Потому что страну нашу называют сейчас в мире ресурсной кладовой. И как бы ни называли: мегаресурсная кладовая, просто ресурсный донор, в конечном итоге остается все равно — кладовая. А как вы знаете, в кладовую заходят только за тем, и включают свет там, когда нужно что-то взять и вынести. Я имею в виду, прежде всего, свет образования, свет науки, настоящее университетское образо-

вание, настоящую фундаментальную, академическую науку, прикладную, вузовскую науку. И при условии, конечно, четкого демократического выбора. Потому что мы уже понимаем, спустя 17–18 лет, что узколиберальные реформы не прибавляют нашей стране ни авторитета, ни уважения, ни престижа, если они не сопровождаются социальной устойчивостью.

И поэтому главное, что и провозглашено и в Послании Президента, и в речах при инаугурации — это народосбережение и природосбережение. И поэтому отрадно, что человек вновь провозглашен главным национальным богатством нашей страны. Теперь надо только практически это все доказать.

Задачи хорошие поставлены в Послании президента, в его выступлении на Государственном Совете 8 февраля 2008 года, причем, я хочу сказать, символично, что выступал Владимир Владимирович Путин в День российской науки.

Он четко сказал, первое — вернуться в лидеры технологические. Второе — повысить в три–четыре раза к 2020 году производительность труда, не менее 60–70 процентов населения должно составить средний класс, уменьшить в полтора раза смертность, и до 75 лет увеличить продолжительность жизни.

И очень импонирует выступление нового Президента Дмитрия Анатольевича Медведева, который сказал, что наша стратегия сегодня — это стратегия развития.

Должен сразу сказать, что в отличие от либеральной экономики политика развития — это наукоемкая политика, это сложный наукоемкий процесс, который требует подготовленности и от руководителей, и должны быть подготовленными исполнители, в отличие от либеральной экономики.

Поэтому мы вновь переживаем серьезный момент — временной период, который позволяет на десятилетия вперед определить и научного лидера, и экономическую конкурентоспособность, и национальную безопасность. И поэтому столь велики наши надежды на слушания, которые мы проводим.

* Публикуется в сокращенном варианте. Полный текст опубликован на сайте <http://innov.eltech.ru> в разделе «Аналитика. Документы».

Сейчас мы готовим закон по инновациям. Может быть, это будет несколько законов. И поэтому все советы, все, что накоплено в научном сообществе, у производителей, в разных сферах науки и образования, все это очень важно и это будет, безусловно, учтено с тем, чтобы закон состоялся, чтобы он учел максимально широко все, что относится к инновациям...

В. К. Осипов — заместитель председателя Комитета Государственной думы по науке и наукоемким технологиям:

— Инновационное развитие экономики отнесено к числу высших приоритетов государственной политики Российской Федерации.

Такое развитие означает выработку и реализацию механизмов максимально быстрого превращения новых знаний в наукоемкие технологии и интеграцию их в основные сферы деятельности общества.

Перспективам развития отечественной инновационной системы было посвящено заседание Президиума Государственного Совета Российской Федерации 18 апреля 2008 года в подмосковной Дубне, которое провел Президент России Дмитрий Анатольевич Медведев.

На заседании отмечалась недопустимая для страны ситуация, когда доля промышленных предприятий, осуществляющих разработку и внедрение технологических инноваций, не превышает 10 процентов, а доля инновационной продукции в общем объеме промышленного производства составляет 5,5 процента.

В российском экспорте преобладает не высокотехнологичные продукты. А импортируем мы, наоборот, технологическое оборудование и другие наукоемкие товары и услуги, что создает угрозу технологической независимости России.

На этом же заседании были обозначены масштабные и вместе с тем реальные, по мнению Президента России, ориентиры, на которые должна выйти экономика страны к 2020 году.

В том числе доля предприятий, осуществляющих технологические инновации, должна вырасти до 40–50 процентов.

Доля инновационной продукции в общем объеме промышленной продукции должна увеличиться до 20–25 процентов.

Внутренние затраты на исследования и разработки должны измениться с одного процента до трех процентов ВВП, прежде всего, за счет увеличения расходов частного бизнеса на науку.

Выход на эти показатели невозможен при нынешнем состоянии отечественной инновационной системы и ее законодательном и нормативно-правовом обеспечении.

Чем же характеризуется это состояние? Прежде всего, необходимо констатировать, что на сегодня отсутствует целостность инновационной системы.

Созданы и работают только ее отдельные элементы, циклы инновационного процесса слабо увязаны друг с другом и не состыкованы, поэтому отдача от инновационной деятельности остается низкой.

Такое положение в значительной мере объясняется несовершенством законодательства и нормативно-правовой базы по созданию инновационных наукоемких технологий и финансированию процессов их коммерциализации.

Руководители государства на встрече в Кремле 11 марта 2008 года с Руководством Государственной Думы и лидерами фракций подчеркивали, что основной акцент законодательной деятельности необходимо сосредоточить на обеспечении долгосрочного плана экономического развития России до 2020 года. Особенно на стимулировании инновационного развития экономики.

Россия имеет необходимый научно-технический задел по отдельным перспективным наукоемким макротехнологиям.

Прежде всего, авиационным и космическим, ядерной энергетике, энергетического машиностроения, спецметаллургии, производства современных видов вооружений.

Есть хорошие перспективы в области нано- и биотехнологий, водородной энергетики, топливных элементов, теле- и радиоаппаратуры, средств связи, медикаментов, отдельных областей химии и наук о материалах, оптоэлектронных и лазерных технологий.

Сегодняшняя Россия способна успешно конкурировать только по 10-15 направлениям разработки и производства наукоемкой продукции из 50 ключевых.

Это осуществимо при условии последовательной реализации научно-технической, технологической и инновационной политики, и при наличии соответствующего законодательства.

При хорошем уровне финансирования реализуется значительное число федеральных целевых и инновационных программ, и государственных инновационных проектов.

Крупные корпорации стали проявлять заметный интерес к новым наукоемким технологиям, поэтому перед Федеральным Собранием и Правительством Российской Федерации поставлена задача подготовить законодательный каркас инновационного развития страны и разработать необходимое для этого нормативно-правовое обеспечение.

Нельзя не отметить, что выполнять указанную задачу депутатам Государственной Думы пятого созыва предстоит не на пустом месте.

Глава государства раз в четыре года утверждает приоритетные направления развития науки, технологий и техники, и перечень критических технологий Российской Федерации.

Министерством образования и науки Российской Федерации в 2007 году разработан проект долгосрочного прогноза научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2025 года.

Выстроены национальные приоритеты научно-технологического развития.

Последние годы всеми ветвями власти велась активная работа над развитием отечественной инновационной системы и ее инфраструктуры.

Приняты десятки новых законов, указов Президента России, постановлений Правительства Российской Федерации.

К числу основных документов, регламентирующих деятельность в области управления инновациями в стране, относятся: основы политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу; основные направления политики Российской Федерации в области развития инновационной системы на период до 2010 года; Федеральный закон «О науке и научно-технической политике» с изменениями и дополнениями; Федеральный закон «Об особых экономических зонах в Российской Федерации».

С января 2008 года вступил в силу Федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части формирования благоприятных налоговых условий для финансирования инновационной деятельности».

Однако увеличение количества законодательных актов, к сожалению, не означает существенного повышения качества законодательного обеспечения инновационной деятельности.

В различных законах имеет место большое число нестыковок, отмечается существенное разночтение между новыми законодательными положениями и действующими нормативными документами.

За примерами не надо далеко ходить.

Принята четвертая часть Гражданского кодекса Российской Федерации, которая целиком посвящена важному для развития инновационной деятельности вопросу — об урегулировании прав на интеллектуальную собственность.

Однако до сих пор нет соответствующих нормативных документов, делающих работу субъектов инновационной деятельности по новому Гражданскому кодексу прозрачной и понятной.

На основании патентного закона Российской Федерации 2003 года все права на результаты научной деятельности, полученные за счет средств федерального бюджета, должны принадлежать исполнителю за исключением вполне обоснованных случаев. Вместе с тем, нормативной документацией четко не отрегулированы отношения всех субъектов инновационной деятельности.

После принятия федерального закона номер 122 «О разграничении полномочий между федеральными органами исполнительной власти и органами власти субъектов Российской Федерации и местного самоуправления» возникла масса вопросов по совместному финансированию центром и регионами научных программ и проектов. Доходит до абсурда, когда регион, имеющий финансовую возможность поддерживать инновационный проект, не имеет права этого сделать.

Требуют решения на законодательном уровне многие проблемы терминологии. Формируя сегодня программы инновационного развития страны, нельзя мириться с тем, что основные понятия инновационной системы, такие как инновационная политика, ориентированные фундаментальные исследования и другие, не определены в законодательном порядке. Из-за отсутствия ясности, даже в таком ключевом понятии, как инновационная деятельность трудно обоснованно сказать, кто относится к субъектам ин-

новационной деятельности, а что к объектам ее инфраструктуры. Все это приводит к межведомственным разногласиям, значительно осложняет жизнь субъектов инновационной деятельности.

Следует, наконец, определиться, нужен ли закон об инновационной деятельности или достаточно внести соответствующие изменения и дополнения в закон о науке?

Надо внести ясность, насколько объективен статистический учет в России, в том числе и по малым предприятиям. Отражает ли он реальную ситуацию по оценке уровня отечественного инновационного развития. Необходимо ускорить рассмотрение и принятие законопроекта о передаче технологий и скорейшее принятие закона о патентных поверенных. Пора определиться с созданием малых предприятий, бюджетными учреждениями, снять существующую неопределенность в отношении статуса и обеспечения деятельности государственных научных центров в современных условиях. И это далеко не полный перечень серьезных проблем в законодательно-правовом обеспечении.

Прежде всего необходимо, чтобы инновационный сценарий развития экономики России стал основой долгосрочного прогноза развития страны и до 2020 года, и до 2030 года.

Создание системы стратегического планирования, управления и долгосрочного предвидения особенно важно в связи с тем, что развитые страны переходят к шестому технологическому укладу. Механизм законодательного нормативно-правового регулирования этих вопросов должен быть разработан в федеральном законе о долгосрочном прогнозировании и стратегическом планировании. Такой механизм позволит согласовать действие Федерального Собрания, правительства, всех органов исполнительной власти, центра и регионов по реализации прогноза.

В условиях глобальной конкуренции и открытой экономики необходимо сконцентрировать усилия государства на высокотехнологичных секторах экономики, которые смогут укреплять позиции страны на мировом рынке, позволят в максимальной степени реализовать национальные конкурентные преимущества.

В инновационном развитии экономики есть четыре ключевых аспекта: это кадры для инновационной деятельности, это идеи, составляющие основу и содержание этой деятельности, это востребованность идей инновационных разработок экономикой, и, наконец, инновационная инфраструктура.

Дефицит кадров необходимой квалификации остро ощущается в инновационной деятельности бизнеса, науки и образования. Благодаря реализации национального проекта «Образование», Минобрнауки России удалось запустить масштабный проект в инновационные университеты, впервые системно решающие вопросы подготовки кадров для инновационной сферы, и которые необходимо развивать далее, находя для этого новые формы.

Основные принципы создания внедрения новых технологий обучения и современных подходов к управлению научными и образовательными учрежде-

ниями нашли отражение в принятом в декабре 2007 года федеральном законе №308 «О внесении изменений, в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам интеграции образования и науки».

В нем нормативно закреплены многие существовавшие на практике формы работы, что обеспечивает возможность их дальнейшего развития в рамках предусмотренных правовыми механизмами. Но этого явно недостаточно. По мнению руководителей промышленных предприятий требуется законодательная поддержка выработки и осуществление комплекса мер по привлечению и закреплению молодежи на предприятиях, развивающих наукоемкие технологии, причем не только для успешных предприятий.

Всестороннее рассмотрение данного вопроса состоялось 3 апреля сего года на заседании «круглого стола» на тему: «Законодательная поддержка процесса формирования кадрового потенциала инновационного развития России», проведенном Комитетом по науке и наукоемким технологиям во взаимодействии с Комитетом по образованию.

Новые научные идеи — это основы, на которые должны появляться новые инновационные наукоемкие технологии и разработки. Не секрет, что в течение десяти лет в стране существенно недофинансировалась наука. Это породило много проблем, привело к оттоку большого числа талантливых ученых и специалистов в другие сферы деятельности, и в том числе за рубеж, отразилось на несоответствии экспериментальной базы науки по многим видам оборудования, современным мировым требованиям.

Государственный сектор науки, представленный организациями государственных академий, вузов, государственных научных центров является одним из основных генераторов знания в России и практически единственным исполнителем военно-ориентированных, фундаментальных и прикладных исследований.

За последние годы финансирование фундаментальной науки заметно увеличилось. Пока у России имеется серьезный научный потенциал, есть все основания полагать, что прогрессивные идеи для инновационного развития экономики не заставят себя ждать.

Заметную роль в стимулировании инновационной деятельности, интеграции новых идей в поддержку, разработке наукоемких технологий особенно на начальных стадиях их создания призваны сыграть целевые фонды, в том числе: Российский фонд фундаментальных исследований, Российский гуманитарный научный фонд, Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Надеемся, что принятие нового устава Российской академии наук, существенно расширяющее ее полномочия позволят РАН активнее заниматься инновационной деятельностью, прежде всего, ориентированными фундаментальными исследованиями в ее обеспечении.

Думается, что реализация аналогичных решений по другим государственным академиям наук будет

способствовать их инновационной активности, реализуя конструктивные меры, в том числе по укреплениям материально-технической базы научных организаций РАН и вузов.

Показательно в связи с этим, что одним из первых указов, подписанным Президентом России Дмитрием Анатольевичем Медведевым, стал указ о создании сети федеральных университетов, которые должны занять достойное место в отечественной инновационной системе.

В то же время, несмотря на положительную динамику финансирования науки из федерального бюджета, темпы роста расходов на науку отстают от темпов роста ВВП. Доля финансирования науки из негосударственных источников все еще невелика. До сих пор не запущен механизм выполнения задачи, поставленной Президентом России по обеспечению расходов на науку в размере трех процентов ВВП страны, прежде всего, за счет внебюджетного финансирования.

В Бюджетном кодексе Российской Федерации и в федеральных законах о бюджете на текущий и плановый период необходимо законодательно закрепить непрерывный процесс финансирования со стороны государства, всего научно-инновационного процесса по технологическому коридору, начиная от фундаментальных исследований и, кончая инновационными проектами или программами по приоритетным для государства направлениям.

Этот процесс должен исключать возможность межведомственных барьеров и разрывов. На государственном уровне в нормативном порядке должны быть сняты все неясные вопросы финансирования научной и инновационной деятельности, возникающей в результате законодательного разграничения полномочий между центром и регионами.

Востребованность идей экономикой. Федеральный бюджет вынужден вкладывать значительные средства в прикладные исследования, поскольку частный бизнес в России еще не начал их финансировать в достаточном для инновационной экономики объеме в отличие от ситуации за рубежом. Там на одну часть государственных средств в общих расходах на науку приходится не менее двух частей денег от частного бизнеса.

У нас в России ситуация прямо противоположная. Это является свидетельством того, что инновационные идеи пока не востребованы отечественной экономикой.

Нельзя сказать, чтобы частный бизнес совсем не проявлял интереса к инновационной деятельности. Но на данном этапе развития он больше тяготеет к организационным и маркетинговым инновациям.

Стала проявляться потребность выполнения технологических исследований, но уровень таких запросов пока очень далек от решения поставленной задачи — по доведению доли предприятий, осуществляющие технологические инновации до 40–50 процентов. Необходимо законодательным путем запустить систему экономических стимулов, обеспечивающих необходимые темпы роста востребованности идей инновационного развития экономики.

При этом очевидно надо думать не только о предоставлении льгот, но и о введении санкций в отношении тех корпораций, которые в достаточной степени не занимаются инновационной деятельностью и ставят таким образом Россию перед лицом угрозы национальной безопасности, технологической зависимости от других стран.

Недостаточная связь фундаментальной и прикладной науки в России с экономикой, неразвитость механизмов коммерциализации результатов научных исследований не позволяет в достаточной мере использовать потенциал науки для удовлетворения инновационных потребностей экономики и общества.

Вопрос о необходимости законодательного определения статуса государственного сектора науки, то есть его состава, механизма поддержки, включая структуру ГНЦ, был поставлен 30 ноября 2007 года на заседании совета при Президенте Российской Федерации по науке, технологиям и образованию.

Следующий вопрос взаимоотношений науки и бизнеса — это вопрос о правах на интеллектуальную собственность для получения и реализации инновационного продукта. Базовым условием инновационного развития экономики является формирование рынка интеллектуальной собственности, обеспечивающее баланс интересов инновационной мотивации автора, предприятий и организаций. Однако анализ показывает, что в решении вопросов мотивации много проблем. Медленно разрабатывается стандартный вариант государственного контракта для гражданских отраслей, в котором учитывались бы интересы государственного заказчика, разработчика и перспективы дальнейшего использования интеллектуальной собственности.

Требуется особое рассмотрение решение проблемы поставки на баланс объектов интеллектуальной собственности. Трудности состоят в неоднозначности процедур оценки рыночной стоимости патента и необходимости при постановке на баланс платить налог на прибыль без гарантий получения доходов в будущем.

Еще больше неясностей возникает при защите результатов научной деятельности в режиме ноу-хау, особенности в части учета ноу-хау, нематериальных активов и постановки их на баланс предприятий. Законодательно должным образом не отрегулирован порядок использования лицензионных платежей. Академический институт, продавший лицензию и даже получивший лицензионные платежи, не имеет права ими распоряжаться, не может платить авторское вознаграждение, использовать эти средства для дальнейшего развития научной и инновационной деятельности. И в итоге остается в убытке от участия в инновационной деятельности.

Такая ситуация приводит к резкому сокращению числа заключаемых лицензионных договоров и сдерживанию развития инновационных разработок.

У малых и средних предприятий и организаций на начальных этапах инновационных разработок нет достаточных средств на покупку лицензий. Целесообразно продумать создание системы государственной поддержки лицензионных соглашений на их на-

чальном, наиболее рискованном этапе. Необходимо выстроить систему повышения эффективности дальнейшего использования государственного сектора науки путем его последовательного встраивания в систему государственного частного партнерства с бизнесом в сфере науки и инноваций.

До сих пор не решен вопрос учреждения государственными высшими учебными заведениями и научными организациями РАН малых инновационных предприятий. Представляется целесообразным снять ненужные ограничения и разрешить государственным высшим учебным заведениям и научным организациям РАН учреждать малые инновационные предприятия, внося в качестве уставного вклада оцененные права на РНТД, а также имущество и денежные средства, полученные учреждением за счет внебюджетных источников финансирования.

Необходимо четко определить порядок передачи бюджетным учреждениям для коммерциализации результатов своей научно-технической деятельности, созданных за счет средств федерального бюджета.

И, наконец, инновационная инфраструктура.

В настоящее время отечественная инновационная инфраструктура — это более 120 активно действующих технопарков и инновационно-технологических центров, в которых работает более тысячи малых предприятий, 80 бизнес-инкубаторов оказывают поддержку начинающим предпринимателям и малым предприятиям, предоставляя им на льготных условиях: помещения, средства связи, оргтехнику и оборудование, консалтинговые, образовательные и офисные услуги.

Важнейшим элементом инфраструктуры поддержки инноваций стало создание государством особых экономических зон. В настоящее время в четырех особых экономических зонах технико-внедренческого типа — Москве, Московской области, Томской области и Санкт-Петербурге — зарегистрировано 57 резидентов, являющихся разработчиками высокотехнологичной и наукоемкой продукции, конкурентоспособной на мировых рынках.

Промышленно-производственные зоны созданы в Татарстане и Липецкой области.

Госкорпорации являются также важным звеном в развитии инновационной сферы, их в России около 10, включая Российскую корпорацию нанотехнологий, целью деятельности которой является содействие реализации государственной политики в сфере нанотехнологий и развитию инновационной инфраструктуры.

Создан и действует целый ряд государственных организаций, который выполняет функции институтов развития. Среди них Российская венчурная компания, созданная для стимулирования развития индустрии венчурного инвестирования. За 2 года она планирует создать 10–12 новых венчурных фондов с совокупным капиталом около 30 миллиардов рублей. В том числе Фонд посевного инвестирования с целью поддержки проектов на ранней стадии инновационного развития. Средства этих фондов позволят в рамках государственно-частного партнерства осуществлять крупные проекты коммерциализации наукоемких технологий и концентрации ресурсов на

перспективных направлениях развития инновационной экономики.

Регионами России при участии государства созданы и уже функционируют на территории Российской Федерации свыше 20 региональных венчурных фондов. Активную позицию в этом вопросе в ряду других субъектов Федерации занимает Республика Мордовия, которая совместно с управляющей компанией «Алекс РОСНО» ведет работу по увеличению созданного ранее регионального венчурного фонда при поддержке Минэкономразвития России, создает самый большой из существующих региональных венчурных фондов объемом 1 миллиард 160 миллионов рублей. Эти фонды могут стать эффективными механизмами государственно-частного партнерства и задействованы, в том числе, для поддержки малого инновационного бизнеса в научно-технической сфере.

Малый инновационный бизнес является ключевым элементом инновационной системы, так как позволяет отрабатывать множество новых идей и направлений бизнеса с минимальным ущербом для всей экономики. Сегодня число малых предприятий, действующих в разных отраслях экономики, по ориентировочным оценкам, составляет до 100 тысяч. В законе об инновационной деятельности или в законе о науке должны найти отражение четкие позиции государства по таким важным элементам инновационной инфраструктуры: как центры трансфера технологий, инновационно-технологические центры, инновационно-промышленные комплексы, бизнес-инкубаторы, сектор сопутствующих услуг — это патентные поверенные, патентно-правовые, оценочные и прочие аналогичные фирмы.

Важным элементом инновационной инфраструктуры является материально-техническая база науки. Вопросы налогообложения научных организаций обострились в момент отмены льгот по уплате налогов на имущество и земельного налога.

Особенно актуальны они для институтов, ведущих научные исследования в области двойных технологий, проведение которых обычно требует наличия значительной инфраструктуры и территории. Быстрое решение этой проблемы позволило бы уберечь от разрушения материально-техническую базу науки, необходимую для осуществления инновационной деятельности и для создания алиментов инновационной инфраструктуры.

Необходимы законодательные инициативы по представлению права государственным организациям науки и образовательным учреждениям создавать на своих площадях объекты инновационной инфраструктуры. При этом должен быть обеспечен льготный режим арендных отношений для участников инновационной деятельности.

Вот кратко те задачи, для решения которых требуется усиление в законодательном обеспечении.

О. Н. Смолин — заместитель председателя Комитета Государственной Думы по образованию:

— Я действительно хочу остановиться только на одной проблеме и напомнить вам, что когда-то, ког-

да мы были студентами, нас учили, что главное для развития экономики, тогда еще термина «инновационная экономика» не было. Главное для развития экономики, как нас учили, это — первое подразделение первого подразделения, производство средств производства для производства средств производства. Сейчас ситуация совершенно другая. Сейчас все, в том числе самые высокие власти выговаривают слова «человеческий потенциал» и «человеческий капитал», хотя, я позволю себе напомнить, что еще в 1930-е годы в Советском Союзе тогда появился лозунг, потом заимствованный японцами, звучащий предельно коротко: «Кадры решают все». Я убежден, что этот лозунг чуть в модифицированном виде, увы, никак не утратил своей актуальности.

Я хотел бы напомнить вам, уважаемые коллеги, что в 1990-х годах по части науки, инновационного развития страна понесла тяжелейшие кадровые потери. Есть разные данные у разных экспертов, но вот что касается количественного состава. По одним данным с 1 миллиона 900 до 770 тысяч сократилось количество людей, занятых в науке, а по другим данным, примерно, с 1 миллиона 530 до 814 тысяч сократилось их количество, в том числе количество исследователей тоже приблизительно в два раза с 800 с небольшим тысяч до 414 тысяч. Другими словами, мы получили экспоненту наоборот. То есть нарастающее сокращение кадрового потенциала в науке.

Что касается статуса? Я хотел бы напомнить, что во всем мире заработная плата профессора и депутата парламента приблизительно сопоставима. В Советском Союзе тоже так было 20 лет назад, 500 рублей депутат Верховного Совета и профессор. Сейчас бюджетная заработная плата профессора и депутата парламента различается эдак раз в семь приблизительно. Что касается министров, то здесь я не говорю.

На протяжении всех 1990-х годов наука регулярно занимала четвертое место снизу по уровню оплаты труда. Только где-то в районе 2004 года она, зарплата в науке чуть превысила среднюю заработную плату по стране и составляла порядка восьми тысяч рублей.

Я хотел бы напомнить символические данные. В Советском Союзе самую высокую зарплату получал президент академии наук — 1 тысяча 200 рублей, секретарь обкома официально получал — 500–600 рублей в тот период.

Я хотел бы напомнить известное высказывание, в котором говорилось, что нельзя служить одновременно Богу и мамоне, имея в виду, что нельзя превращать человека науки одновременно в человека, который вынужден гоняться за деньгами. Именно это произошло у нас в постсоветский период.

Рассказывают, что в свое время Петр Ильич Капица общался с крупным иностранным деятелем, и тот выражал восхищение научным составом тогда советских ученых. Капица, правда, ему честно сказал, что это связано с тем, что ограниченные возможности самореализации в бизнесе и самые талантливые люди идут в науку.

Потери, связанные с миграцией ученых. Есть разные данные по тому, сколько человек выехало за ру-

беж. Но внутренняя миграция значительно превысила внешнюю миграцию.

Например, Российский фонд фундаментальных исследований еще в середине 1990-х годов оценивал потери, примерно, в 80 тысяч уехавших ученых. При этом подчеркивалось, что обычно 10 процентов ученых создают половину всей научной продукции. Так вот, большинство из тех 80 тысяч, которые уехали, тогда уже были из этой самой половины.

Что касается современных оценок, то я хотел бы напомнить, что недавно Фонд общественного мнения провел опрос граждан России: кто по их мнению является самым богатым и самым бедным в стране? Так вот, 49 процентов опрошенных заявили, что самые богатые — это банковские служащие, депутаты парламента тоже получились неплохо — 26 процентов, министры почему-то меньше. А вот угадайте с трех раз, кто оказался в самом низу? Правильно. По одному, примерно, проценту получили инженеры, квалифицированные рабочие, ученые и офицеры армии. Государственные приоритеты здесь выражаются очень и очень определенно.

Естественно, возникли возрастные потери. По данным авторов доклада «Развитие человеческого потенциала» пару лет тому назад средний возраст ученого в России — 48 лет, кандидата наук — 52, доктора наук — 60 лет.

Наконец, финансовые потери. Они оцениваются по-разному. Я встретил две основные группы данных. По данным все того же доклада «Развитие человеческого потенциала в России» американская прибыль, начиная с 1990-х годов в основном за счет российских ученых, порядка полтриллиона долларов. По данным моего хорошего знакомого, в прошлом физтеховеца, а ныне президента Ассоциации негосударственных вузов России Владимира Алексеевича Зернова, потери Советского Союза, а потом России от утечки умов порядка триллиона долларов.

Между тем, совершенно очевидно, уважаемые коллеги, что задачи общественного развития совершенно другие. В известном смысле история повторяется. Когда-то в аграрном обществе не могли решить проблему голода, несмотря на то, что 90 процентов населения жили в селе. И оказалось, что только тогда, когда большинство их переехало в города, проблема голода смогла решиться.

Аналогичная ситуация сейчас. Для того, чтобы обеспечивать удовлетворение необходимых потребностей человека, нужно большую часть населения из сферы материального производства перевести, извините, в сферу духовного производства.

А теперь откроем Программу и концепцию социально-экономического развития России до 2020 года, которая у нас известна больше как Программа 2020. Там есть немало хороших положений, это отдельная большая тема, в рамках моей темы хочу отметить только одно: все, так называемые, непопулярные меры, связанные с образованием и наукой, относятся к первому этапу реализации программы — 2008–2012 годы, а все основные меры, связанные с повышением статуса научно-педагогического работника, относятся к последнему этапу — 2018–2020 годы. Еще раз вы-

нужден напомнить, средний возраст доктора наук — 60 лет. Именно к 2018–2020 годам, откройте и почитайте, отнесено положение, согласно которому мы должны обеспечить меры поддержки научно-педагогических кадров, которые способны вывести нас на такой средний возраст ученого и научно-педагогического работника вообще, которые сейчас существуют в странах Европейского союза.

Уважаемые коллеги, мне есть что сказать и по бюджету, и по налогам, я вас уверяю, и по Гражданскому кодексу, но поскольку я определил только одну тему, я позволю себе сформулировать всего семь предложений. Эти предложения можно рассматривать как предложения к программе «Научно-педагогические кадры России», о подготовке которой экс-президент и премьер-министр России Владимир Путин говорил на пленарном заседании Государственной Думы не далее как 8 мая, программа должна быть на 2009–2014 годы. Так вот мне кажется, что в этой программе должны были бы отразиться следующие позиции.

Первое. Особая система отбора будущих ученых. Повторю еще раз, Единый государственный экзамен для этого не подходит. Эйнштейн бы Единый государственный экзамен с высокой вероятностью бы не сдал, для этого нужно проверять другие способности. Не память, эрудицию, натасканность, а исследовательские возможности, способность, извините, мыслить.

Второе. Особый статус студента-исследователя и будущего ученого. Это, конечно, стипендии, это, конечно, общежития и многое другое. Напомню вам, уважаемые коллеги, что 20 лет тому назад студенческая стипендия в вузе обычно составляла 80 процентов от прожиточного минимума, а у студента технического вуза, в особенности в оборонных отраслях, выше прожиточного минимума примерно на 20 процентов. Сейчас студенческая стипендия расчетная составляет порядка 22 процентов от прожиточного минимума.

Третье. Особый характер учебного процесса. Впрочем, об этом довольно много говорили. Опыт, накопленных в Физтехе и многих других наших учебных заведениях, я уверен, должен быть распространен и на максимально возможное число наших вузов для того, чтобы студент с самой юности приучался быть исследователем.

Четвертое. Это особые меры поддержки для молодых ученых — заработная плата, лаборатории, жилье, особенно я бы подчеркнул жилье. Купить жилье в научном центре практически невозможно для человека с заработной платой ученого. Это совершенно очевидно.

Пятое. Нам пора принять закон о статусе ученого в Российской Федерации. Кстати, недавно Межпарламентская Ассамблея СНГ, где я имею честь быть членом, принимала модельный закон о статусе ученого для стран СНГ, но Российская Федерация пока делает вид, что такого закона в рамках... модельного закона в рамках СНГ не существует. Я уверен, что мы вполне вправе требовать приравнивания ученого по оплате труда и социальным гарантиям к государственным служащим. Я не понимаю, почему у чинов-

ника пенсия — 75 процентов от заработной платы, а для остальных, для ученых, как и для всех остальных, коэффициент замещения меньше 25 процентов.

Шестое. Информационная среда. Коллеги, многие из нас воспитаны на программе «Очевидное — невероятное» и других научно-образовательных программах. Когда сейчас идет программа «Очевидное — невероятное» и когда сейчас идет программа «Дом-2»? Сравните и сделайте выводы, кого на самом деле мы собираемся в нашей стране воспитывать и кто будет создавать ту самую инновационную экономику.

И, пожалуй, последнее. Это уже выходит за рамки, собственно, научных кадров, это относится к системе образования в целом. Надо понять, уважаемые коллеги, в XXI веке никакое элитарное образование, только образование для элиты, обеспечить движение вперед не сможет, образование у нас должно быть как положено по лозунгу ЮНЕСКО: «Образование для всех», то есть каждому человеку дать возможность получить такое образование, на какое он способен, и содействовать этим способностям.

Заканчивая, я хотел бы сказать две вещи. Во-первых, возвращаясь к лозунгу 1930-х годов, я бы решил его перефразировать и сказать, что «в инновационной экономике научно-педагогические кадры решают все». Это первое.

И последнее. Вы знаете, когда-то академик Павлов говорил, что наука требует от человека великой страсти. Я хочу нам всем пожелать, чтобы эта страсть в нас никогда не угасала, и чтобы наши идеи, опять же, когда-нибудь воплотились в жизнь, — инновационное развитие России...

В. А. Головнев — *первый заместитель председателя Комитета Госдумы по экономической политике и предпринимательству:*

— ...Озвученная, как было сказано сегодня, экс-президентом России, сейчас премьер-министром Российской Федерации стратегия развития до 2020 года показывает, что мы должны в корне пересмотреть нашу законодательскую деятельность.

Нам нужны не полумеры, не разрозненные законы по локальным проблемам, а эффективное законодательное поле, максимально прямого действия, без двойного толкования и предельно ясное для бизнес-сообщества.

На законодательном уровне создан необходимый задел. Но уже сегодня становится очевидным, что необходимо готовиться к переходу на новое законодательство, обеспечивающее достижение целей стратегического развития нации в сжатые сроки. Уже сейчас мы можем говорить о том, что частный сектор пока вкладывает недостаточно средств в научные исследования и разработки. В структуре внешних затрат на исследование и разработки доля средств предпринимательского сектора за последний период не превышала 20 процентов.

Нас не должна устраивать ранее принятая стратегия развития науки и инновации, согласно которой до 2010 года предполагается увеличение внутренних

затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы только до двух процентов валового внутреннего продукта. Необходима целостная система законодательных инициатив, способных скорректировать сложившуюся ситуацию по стимулированию научных исследований и разработок.

Экономическая политика государства должна обеспечить возможности для инвестирования средств в инновационные технологии, а не только в освоение природных ресурсов. Для этого необходимо описание национальной инновационной системы, ее ключевых элементов.

Мы понимаем, что построение инновационной модели невозможно без изменения принципов функционирования и оборота нематериальных активов, которые практически сегодня не учитываются на российских предприятиях.

Поэтому одно из первоочередных задач законодательской деятельности в данной сфере должно стать создание эффективного правового поля для передачи технологий. Такой законопроект уже внесен в Государственную Думу.

Требуется детальное изучение зарубежного опыта в сфере нематериальных активов и адаптация этого опыта к российским экономическим реалиям. Необходимо приложить усилие по развитию предпринимательства, особенно малого и среднего. Это основной источник инновационной активности. И нам придется делать ставку на малый и средний бизнес, развивая его с совершенно иной точки зрения, как мобильный и гибкий инструмент внедрения инноваций.

Ключевым моментом для перехода к инновационной модели развития является налоговая реформа, что требует внятного и четкого решения вопросов по налогу на добавленную стоимость.

Уважаемые коллеги, создание конкурентоспособной и инновационной экономики является крайне сложным и многосторонним проектом такого масштаба, который может оказаться не под силу по отдельности ни государственным, ни частным структурам так же, как и крупным корпорациям.

Успех или неудача могут иметь долгосрочные последствия для нашей страны. Поэтому создание условий для развития в стране инновационной экономики должно обеспечить конкурентоспособность и экономический суверенитет России.

Согласно разработанной МЭРТом стратегии социально-экономического развития, которую мы с коллегами обсуждали ранее, и над реализацией которой уже ведется работа, Россия должна стать самой привлекательной для жизни страной, создать общество реальных и равных возможностей, общество без бедности возможно только на основе единства целей на основе партнерства государства и частного бизнеса...

Л. Б. Меламед — *генеральный директор госкорпорации «РоснаноТех»:*

— ...Теперь о том, что на наш взгляд сегодня составляет наибольшую проблему. Их две, как я ска-

зал, главные проблемы — длинные деньги, к сожалению, только законодательными методами этот вопрос не решается, связан с общим макроэкономическим состоянием в России. Но вторая проблема в очень сильной степени зависит от законодателя.

Что мы на сегодняшний день видим? Мы видим, что образовался некий навес в виде проектов по производству конечной продукции и, наверное, своевременные законодатели и правительство создали такой инструмент как корпорация для того, чтобы этот навес снять. И мы видим, что в течение года, двух, мы этот навес снимем. А дальше мы должны ориентироваться на те заявки, которые сегодня поступают с самых ранних стадий. Оттуда мы видим очень большую проблему.

Есть Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, который призван финансировать проекты на самых ранних посевных стадиях, но количество обращений туда для нашей страны просто уникально мало. Это несколько сотен обращений в год, учитывая, что только 10 процентов по общемировой практике доходит до следующей стадии, которая еще не есть производство продукции, то 50 обращений, вернее, 50 вышедших проектов, и это не только нанотехнологии, это всего инновационных проектов, ну, это просто уникально мало для страны.

Наибольшая проблема, которую мы видим в госкорпорации, это отсутствие той среды малых предприятий, которыми сегодня облеплены, извиняюсь за такое выражение, все университеты, научно-исследовательские центры во всем мире, которые являют собой ту среду по трансферу технологий, по переносу вот этих технологий от науки к среднему бизнесу, а дальше к крупному бизнесу.

На сегодняшний день надо, на мой взгляд, принять очень интенсивные и быстрые меры для того, чтобы эту ситуацию исправить. Мне кажется, что если мы будем стоять только на пути борьбы, а как бы чего там ученый не своровал, или как бы он там не хозяйственным образом использовал имущество этого института. Ну, на сегодняшний день в науку пошли большие деньги, это сотни миллиардов рублей, как я уже говорил, на самые ближайшие годы. Но ведь из них ничего не выйдет, если мы не откроем эти шлюзы. И в этом плане мне кажется, что если мы будем думать только о том, как держать и не «пускать», то ущерб наш будет значительно выше, чем тот разумный риск, на который мы можем на сегодняшний день пойти. Надо дать возможности авторам не только получать какую-то долю выигрыша от использования их патентов изобретений, как это сегодня предусмотрено в четвертой главе Гражданского кодекса, к которой еще надо массу нормативных актов принять, чтобы она заработала, а просто дать возможность автору распоряжаться в виде там лицензий на патент или в виде каких-то других вещей. Я думаю, что вы гораздо лучше меня знаете, как это делать.

Надо дать возможность этим коллективам лаборатории распоряжаться в определенной степени имуществом вместе с руководством института и открыть,

снять другие барьеры по созданию малых предприятий. Во многих университетах мира существуют специальные программы, которые поощряют и поддерживают, начинают обучение до выдачи грантов своим завлабам к тому, чтобы они открывали малый бизнес при том, что эти университеты не имеют там никакой доли участия, даже не претендуют на то, чтобы там получать какие-то дивиденды, это считается миссией данного университета. И зарегистрировать такое предприятие может стоить там символическую сумму. Например, в штате Пенсильвания 3 доллара стоит зарегистрировать такое малое научное предприятие...

А. Г. Свинарченко — исполнительный вице-президент *Российского союза промышленников и предпринимателей*:

— ...Нам представляется, что в первую очередь необходимы меры налогового стимулирования диверсификации экономики, и, в первую очередь, речь идет о реформе НДС. Необходимо радикальное и скорейшее снижение НДС до 10 процентов, которое будет способно обеспечить структурные изменения в экономике за счет стимулирования инвестиций на развитие производства с высокой добавленной стоимостью, как известно, основным потенциальным потребителем инноваций и наукоемких услуг и разработок. Важно, что эта мера не будет носить отраслевого характера, а будет стимулировать определенный вид деятельности — переработку, то есть она обеспечит и развитие углубленной переработки, включая нефтегазовую отрасль, развитие нефтехимии и обеспечит переработку в традиционных отраслях с высокой добавленной стоимостью и, повторяю, обеспечит повышение спроса на инновации.

При этом мы считаем, что законодательно такое решение целесообразно оформить уже в текущем году, возможно с отложенным сроком введения в действие. Учитывая то обстоятельство, что принимается в этом году стратегия «2020», бизнес должен иметь ясные перспективы для расчета своих стратегий на долгосрочный период.

Вторая проблема — это администрирование НДС в части исключения налогообложения авансов, ускорения возмещения НДС по итогам камеральных проверок, сокращение перечня документов по подтверждению права на возмещение НДС при экспорте и так далее...

Следующая мера — это предоставление налоговых каникул по налогу на прибыль и налогу на имущество организаций для вновь создаваемых перерабатывающих производств также работает на повышение спроса на инновации. Для развития соответствующих производств мы считаем целесообразно отказаться от части виртуальных налоговых поступлений, которых не существует, сохранив их у предприятий на начальном этапе деятельности для развития, включая и те предприятия, о которых сегодня многократно говорилось, малые инновационные предприятия научных организаций, вузов и малого инновационного бизнеса.

Мы также считаем целесообразным в текущем году принять решение по совершенствованию амортизационной политики в части увеличения размера амортизационной премии с 10 до 30 процентов, сокращения сроков полезного использования оборудования и пересмотра составов амортизационных групп.

В части стимулирования НИОКРов ввести прирастную льготу по налогу на прибыль в отношении расходов на НИОКР, предоставив право применять коэффициент 1,5 от фактически осуществляемых расходов на НИОКР, учитываемых при исчислении налога на прибыль.

Также целесообразно реформирование ЕСН и НДФЛ, налога на прибыль и НДС в части развития механизмов софинансирования расходов на высшее профессиональное образование, включая затраты, связанные с оплатой договоров с учебными заведениями профессионального образования по подготовке кадров.

Также целесообразно законодательно зафиксировать деятельность, которая позволяет установить достаточно четкое взаимодействие между системой образования и работодателями через организованную работу по разработке профессиональных стандартов, на основе которых и оценивать квалификацию специалистов, а не, как сегодня законодательством предусматривается, на основе образовательных стандартов.

Здесь уже несколько раз говорилось о Едином государственном экзамене. Я думаю, что Эйнштейн сдал бы, конечно, Единый государственный экзамен и мы не о нем должны переживать, а переживать мы должны о том, что почти половина учителей в целом ряде регионов не в состоянии сдать этот экзамен. Вот это вот действительно большая проблема.

Поэтому повышение квалификации и определение профессиональных требований в части, в первую очередь, педагогов, это задача, безусловно, государственная, Министерства образования и науки, потому что бизнес-сообщество готово принять на себя ответственность за разработку профстандартов по специальностям, не являющимся бюджетными. То есть за исключением педагогов, врачей, юристов и т.д.

И сегодня такая работа развернута, мы уже говорили и на «круглом столе» об этом, поэтому считаем очень важными национальную рамку квалификаций и независимую систему оценки качества профессионального образования, над чем совместно работаем.

С. М. Алдошин — *председатель Научного центра в Черногловке:*

— Я бы хотел несколько слов сказать об основном, с нашей точки зрения, начальном элементе национальной инновационной системы, это государственный сектор науки. Государственный сектор науки, он определен, понятен, определены его сегменты: это академический сегмент, отраслевой и вузовский сегменты. И понятно, что в государственный сектор науки входят институты государственной

академии наук, вузы и государственные научные центры.

Вячеслав Константинович говорил, что, к сожалению, на сегодняшний день само понятие «государственный сектор науки» законодательно не определено, не определена его структура, способы финансирования и задачи, поэтому решение этого вопроса требует скорейшего законодательного оформления. При этом необходимо законодательно оформить конкретные механизмы и процедуры вовлечения институтов государственного сектора науки в инновационную деятельность, и понятно, что Российская академия наук, которая отвечает за фундаментальные исследования, должна быть встроена в цепочку не только генерации самих фундаментальных знаний, но и доведения их до законченного вида. До такого вида, который был бы понятен для прикладной науки, понятен для инвесторов и находился бы в таком состоянии, что его можно было бы передавать уже для дальнейших инвестиций. Поэтому требуется создание целевой государственной поддержки в Академии наук по доведению таких исследований фундаментальных до законченного вида.

Надо сказать, что Российская академия наук три года назад ввела по своей инициативе такую специальную программу, из которой финансируются исследования, интересные с прикладной точки зрения. У нас было предложение такое, чтобы совместно финансировать, в том числе по нано науке, по нанотехнологиям и наноматериалам, совместно эту программу. К сожалению, пока из этого ничего не получилось, хотя на самом деле роль этой программы как раз и состоит в том, чтобы совместно с бизнесом отбирать те фундаментальные разработки, которые представляют интерес для практического применения.

Существенную роль в инновационной системе играют государственные научные центры. Они, как правило, выполняют полный цикл, начиная от ориентированных и прикладных исследований, и, заканчивая изготовлением конечной продукции. И они являются важным элементом инновационной системы, потому что они, в отличие от институтов Российской академии наук, имеют право выпускать продукцию, которую можно реализовывать на внутреннем и внешнем рынках.

И, таким образом, вот в единой цепочке: вузы, институты государственных академий наук и государственные научные центры, они представляют собой неразрывный элемент национальной инновационной системы, с которой собственно все и должно начинаться.

И здесь я не могу не сказать о тех несовершенствах и противоречиях в законодательстве, которые на самом деле мешают развитию инновационной деятельности в государственном секторе науки. О многих из них уже здесь шла речь, и я не буду детально останавливаться, но о некоторых вещах я все-таки скажу.

И самое главное, что многие проблемы требуют не только законодательного решения, требуется просто убрать бюрократические препоны для решения

тех или иных вопросов. Требуется просто какое-то нормативное решение, и не надо выходить на уровень законодательного решения.

Вот Вячеслав Константинович здесь говорил о государственной контракте, стандартном государственной контракте, который бы учитывал интересы не только государственного заказчика, но и интересы разработчика, и самое главное — прописывал бы процедуру их дальнейшей работы вместе. Потому что понятно, что государственный заказчик, получив результаты исследований, какие бы они законченные ни были, не сможет сам коммерциализовать и использовать этот результат, кроме как вместе в содружестве с разработчиком.

Вот это, к сожалению, в государственном контракте не прописано, а в законе «О передаче технологий», который в самое ближайшее время будут обсуждаться, там вообще этот кусок выпал.

Выпал громадный кусок коммерциализации научных результатов, когда права на научные результаты принадлежат исполнителям, организациям-исполнителям выполнения той или иной научной работы.

Вот этого куска просто нет в законе «О передаче технологий», рассматривается только передача законченных технологий, права на которые принадлежат государству или субъекту Российской Федерации.

Здесь уже шла речь о постановке на баланс объектов интеллектуальной собственности, и вопрос, о котором много говорится, и до сих пор он не сдвинут, хотя сама идея постановки патентов на баланс института, который их не использует для своей профессиональной деятельности, она вообще выглядит сомнительной.

Большой вопрос, который тоже здесь поднимался, это право научных организаций создавать малые инвестиционные фирмы и предприятия, которые могли бы начать свою деятельность в бизнес-инкубаторах, в технопарках. До сих пор этот вопрос не решен, хотя новым Уставом Российской академии наук предусмотрена такая возможность, что Академия наук от лица институтов имеет право создавать такие малые предприятия. Но процедурно, как это будет происходить, до сих пор не понятно.

Очень тяжелый вопрос в российской науке и вузах — высших учебных заведениях — это вопрос уплаты налогов на имущество и земельные налоги.

Работа, которая занимает у руководителя организации больше половины времени. К сожалению, те государственные компенсации, которые обещаны по налогам на имущество и землю приходят несвоевременно, в институтах накапливается пени, задолженности, суды, арестовываются счета, закрываются институты.

В течение последних 2,5 лет это стало вот для Академии наук просто катастрофической проблемой. И, почему я попросил сейчас слова, потому что вот в научном центре в Черноголовке мы уже 2,5 года не можем размежевать землю, там две с лишним тысячи гектар земли государство в свое время дало на создание научного центра.

Более того, мы не можем даже от нее отказаться, мы должны за нее платить каждый год 100 миллионов рублей налога в местную казну. Фактически

академию наук так же, как и вузы, сделали неким насосом перекачивания денег федеральных на местный уровень, и при этом ответственными за неисполнение работы вот этого насоса.

Поэтому мы несколько раз поднимали эти вопросы, они требуют скорейшего решения, потому что с прошлого года, несмотря на то, что формально налоги все выплачены, осталось пени, до сих пор в институтах арестованы счета.

И, таким образом, государственные организации: вузы и института Академии наук оказались крайними в решении вот этой проблемы передачи денег из федерального бюджета по земле, например, в местный бюджет.

Вопрос технопарков. Это очень важный вопрос, особенно для тех научных центров, которые расположены вокруг Москвы и в регионах. Это будущее развитие этих центров, будущее развитие наукоградов.

К сожалению, при создании технопарков ни вузы, ни институты Государственной академии наук, ни сама Академия наук, не прописаны, как участник, в создании таких технопарков. В результате этого блокируется сама идея на местах создания технопарков, потому что финансирование, которое выделяется на развитие этих технопарков, не может быть внесено в инфраструктуру, принадлежащую Академии наук или вузам.

Несколько раз мы обращались в правительство по этому поводу, например, прописать Российскую академию наук, как равноправного участника создания технопарков, куда она могла бы передать и некоторые земельные участки, свободные от научной деятельности и имущество. На самом деле до сих пор этот вопрос не решен.

Большой сдвиг произошел в политике МЭРТа, и здесь я бы хотел с трибуны сказать ему большое спасибо. МЭРТ начал создавать бизнес-инкубаторы, в том числе, бизнес-инкубаторы в Российской академии наук. И первые инкубаторы уже созданы, они готовы к функционированию. Но стоит проблема управления опять имуществом.

Вопросы льготного предоставления площадей на этих площадках для малых предприятий остается открытым, потому что имущество в Академии наук является федеральным, находится у институтов в оперативном управлении, и, кроме как в виде сдачи в аренду с оценкой по рыночной стоимости и по тендеру, мы сделать не можем. Таким образом, сама подбивается идея создания бизнес-инкубаторов. А основная идея, которая состоит в том, чтобы вот это была цепочка между фундаментальной наукой и малым бизнесом, когда разработки, сделанные в науке, начинают коммерциализоваться в виде малых предприятий в бизнес-инкубаторе и который живет на льготных условиях в течение трех лет, а потом переходит в технопарк, они разрушаются тем, что мы не понимаем, как можно представить теперь помещение, созданное в бизнес-инкубаторах для развития малых инновационных предприятий.

От решений всех этих проблем, от решения всех этих проблем зависит на самом деле и судьба инно-

вационного процесса в России. И я еще раз повторю, что научная общественность с большой надеждой смотрит на работу Государственной Думы и надеется, что в самое ближайшее время решения по этому поводу будут приняты...

Ю. Б. Зеленский — заместитель председателя Комитета по финансовому рынку:

— ...Я просто приведу классическое, но просто, как уж говорят, примитивное, но понимаемое всеми финансистами, определение инновации.

Инновация — это есть материализованный, как правило, финансовый результат от внедрения инноваций. Когда мы говорим о том, что наши молодые ученые уходят за рубеж, ...многие из них говорят о том, что им интересно на Западе не только потому, что там платят много денег, и даже не столько потому, а интересно, потому что все, что они там разработали, при их не только жизни, как это у нас в России частенько бывает, но в очень обозримом промежутке они видят в виде конкретных разработок, продаваемых на полках магазинов. И вот в этом главная проблема.

Кстати, когда выступал господин Меламед, он очень четко говорил одну вещь, вот мы его может, не услышали, для меня это была ключевая вещь. Когда он говорил о том, что все научные центры Запада облеплены буквально малыми предприятиями, которые как горячие пирожки выхватывают разработки и тут же моментально запускают их в оборот.

Я вам хочу сказать, это наша, конечно, беда, что нет таких предприятий, и эту беду вот сегодня надо было обсуждать. Почему? Да потому что, поверьте, это не только проблема науки, это вообще проблема нашей сегодняшней экономики, отсутствие грамотных, опытных, хорошо мотивированных внедренцев, грамотных предпринимателей. Кстати, когда мы говорим об определении понятия «предприниматель», то опять есть классическое определение, которое не длинное, говорит: предприниматель — это организатор тире новатор. То есть это человек, который в состоянии организовать, довести до конкретной реализации какую-то новацию. Вот этих предпринимателей, к сожалению, не хватает.

Я могу вам сказать, что сегодня буксует, например, проект ипотечного кредитования, хотя, может, к этой теме он не имеет, но я просто проиллюстрирую. Почему он буксует? Финансы есть, гигантский поток сегодня выделен по линии государства и по линии банковского сектора на поддержку ипотечного кредитования как такового. Есть предприниматели, надо отдать должное, в строительной сфере, которые в состоянии это дело довести.

Упираются две вещи — нет совершенной базы производства должного вида материальных ресурсов, и что самое печальное — нет рабочих, которые сегодня будут это дело все реализовывать. Средний возраст каменщика по целому ряду регионов 62 года. Средний возраст штукатура — 60 лет. И такую же картину мы видим здесь, у нас сегодня очень мало тех каменщиков инновационных и тех шту-

катуров, которые то, что разработано наверху, будут внедрять.

Главнейшая тема. Поэтому когда говорим о кадровом обеспечении, я вас уверяю, нужно разделить два понимания: научный процесс создания новаций и процесс инноваций как таковой, который производится совершенно другими инструментами, совершенно на других основах и если хотите, совершенно другими людьми.

Опять был очень интересный тезис, сегодня прозвучал, этот тезис заключался в следующем. Везде на Западе разведены те, кто создает новацию, то есть ученые, ученая база, и те, кто ее реализуют. Другое дело, конечно, там создатели инноваций защищены патентно, защищены законно, их экономические интересы учтены. И вот то, о чем здесь сегодня говорили, о слабости вот этой законодательной составляющей, конечно, это надо обязательно, Вячеслав Константинович, записать, это нужно сделать. Но согласитесь, не зря же в медицине фармацевты и врачи разведены. И это правильно.

И поэтому я просто хочу вам сказать, что на сегодняшний день далеко не финансовая составляющая тормозит развитие инновационного процесса. Я вот взял с собой тезисы съезда ассоциаций российских банков, членом совета которого я являюсь много лет. Вот я просто даже зачитаю то, о чем говорят банкиры. Тезис третий: кредитование инвестиционной деятельности, это, кстати, тезисы, которые съезд принял, и на базе которых должны разрабатываться определенные предложения, определенные технологии. Я зачитаю просто: кредитование инвестиционной деятельности должно стать важнейшей стратегической задачей банков. Необходимо создать условия для расширения участия банков в финансировании инвестиционной деятельности предприятий.

На это в том числе, а не только на борьбу с инфляцией должна быть нацелена денежно-кредитная политика правительства и Банка России, которая должна способствовать ускорению модернизации экономики. Это тема банка. Но на чем базируется? Основными причинами низкой инвестиционной активности банков является отсутствие достаточного количества предприятий, надежных заемщиков, имеющих возможность обслуживать и желание привлечь кредитные ресурсы по предлагаемым на рынке условиям.

На сегодняшний день вообще бизнес в России тяжелая штука, очень рискованная, слабо мотивированная, будем говорить, законодательно незащищенная. А бизнес в инновационной сфере сегодня — это просто высший пилотаж, для которого у нас сегодня, к сожалению, нет четкой и ясной программы подготовки кадров, соответствующей мотивации. И я вам могу сказать, да, мы говорим: молодежь сейчас плохо идет в науку. Но в моем понимании те молодые ученые, у которых есть желание, есть талант заниматься бизнесом в этой сфере, они должны быть очень мотивированы, в том числе и научным сообществом. С пониманием одной только вещи: если сегодня не будет класса людей, которые в состоянии, имеют желание, и самое главное, имеют на это талант, потому что

здесь тоже определенный нужен талант, если этот класс не создастся, все разговоры о продвижении этого процесса, они останутся разговорами.

Я убежден, что такого закона, который бы в одночасье решил бы все проблемы продвижения инноваций, такой, если хотите, инновационной виагры, очень сложно себе представить. Это большой кропотливый труд. Но мне бы хотелось все-таки, чтобы мы, в частности, финансисты, услышали мнение научно-общества и вообще мнение общества.

Каким образом? Нужно мотивировать создание вот этого класса предпринимателей в инновационной деятельности. А то, что для банков сегодня этот класс людей будет очень желанен, если хотите, потому что это будут первоклассные ссудозаемщики. Первоклассные. Не мошенники, сколь сегодня больше чем нужно, мы видим среди своих клиентов, а это будут первоклассные заемщики, которые с одной стороны будут заниматься высокодоходным бизнесом, и с другой стороны, они мотивированы на то, чтобы всерьез и надолго работать с финансовым сектором.

А. В. Хлунов — директор департамента государственной научно-технической и инновационной политики Минобрнауки:

— Прежде всего, здесь уже упоминалось, что состоялось заседание президиума Госсовета, где рассматривался вопрос о развитии инновационной системы Российской Федерации и главный вывод этого Госсовета заключался в том, что необходимо комплексное развитие национальной инновационной системы, а не ее отдельных элементов. Именно вот это комплексное развитие способно обеспечить рост внутреннего валового продукта преимущественно за счет инновационного развития. Последнее положение, мы хотим, чтобы оно было учтено в концепции долгосрочного развития. Это тот проект документа, который в настоящее время разрабатывается.

Здесь уже упоминалось о том, что два основных документа действуют в сфере инновации, это основы политики Российской Федерации в области развития науки и технологии до 2010 года и основные направления политики в области развития инновационной системы, это тоже в период до 2010 года. Хотел бы подчеркнуть, что вот здесь 2010 год, он является определяющим, и в мае мы начали формировать рабочие органы с тем, чтобы смогли эти органы разработать эти два документа на период после 2010 года.

Действительно с 1 января 2008 года вступила в действие четвертая часть Гражданского кодекса. Правительством принято положительное решение и передано в Государственную Думу два законопроекта «О передаче технологий» и «О патентных поверенных». Мы надеемся о том, что эти два законопроекта получат рассмотрение уже в весенний, в ближайший период времени работы Государственной Думы.

Для реализации четвертой части Гражданского кодекса принят ряд постановлений правительства и разработаны остальные постановления. Однако они не могут быть приняты правительством в связи с тем,

что не утверждены законы «О передаче технологий» и «О патентных поверенных». Тем не менее, согласование межведомственные по этим постановлениям практически завершены. И они могут быть рассмотрены правительством после принятия законопроектов.

Здесь упоминалось о создании благоприятного налогового режима для научных исследований инновационной деятельности. Целый ряд законов был принят Государственной Думой. Имеется наработанное предложение по другим мерам налогового стимулирования, и они находятся на рассмотрении, видимо, в зависимости уже с вопросами по НДС, по целому ряду вопросов налогообложения.

Следует отметить прогрессивный характер изменения в сфере бухгалтерского учета. Я хотел бы обратить внимание, что Минфином в начале 2008 года утверждены положения по бухгалтерскому учету и учету нематериальных активов. Это ключевое положение, которое позволяет сейчас работать с поставкой на учет нематериальных активов организациям сферы науки и образования.

Приняты поправки в Закон «О науке» и принят устав Российской академии наук, который наделяет Российскую академию наук, как, впрочем, и другие государственные академии наук, правом самостоятельно определять основные направления фундаментальных исследований, распоряжаться правами на объекты интеллектуальной собственности и другие результаты научно-технической деятельности.

Мы сейчас не видим никаких сложностей с тем, чтобы эти права были реализованы государственными академиями наук. И считаем, что те изменения, которые произошли и законодательно, и на уровне правительства, они позволяют государственным академиям наук получить большую экономическую самостоятельность и свободу при принятии решения с одновременным повышением ответственности за результаты своей деятельности, которые, в конце концов, должны привести к росту эффективности научных исследований.

В прошлом году в декабре был принят федеральный закон по интеграции науки и образования. И в настоящее время разрабатывается два постановления правительства об утверждении порядка создания на базе высших учебных заведений научных лабораторий, а также утверждение порядка создания высшими учебными заведениями на базе научных организаций кафедр.

Мы полагаем, что до конца года правительство примет эти два постановления, и мы сможем создать нормативную базу для нормальной реализации интеграции науки и образования.

Я хотел бы подчеркнуть, что сейчас создана полноценная система государственного учета результатов научной и научно-технической деятельности. И нормативная база в этой сфере за последние три года как раз озаменована принятием целого ряда постановлений правительства.

Кроме того, принято постановление об осуществлении контроля в сфере правовой охраны и использования результатов научно-исследовательских и

опытно-конструкторских работ. И сейчас Роспатент получил необходимые права для проведения контрольных мероприятий.

Результаты государственного учета, контроля и надзора будут использованы для эффективного распоряжения результатом научно-технической деятельности.

Министерством начата работа по организации проекта долгосрочного прогноза научно-технологического развития по методологии «Форсайт». Мы надеемся, что к концу 2008 года мы сможем доложить Совету Безопасности первые результаты в этом направлении.

Кроме всего прочего принято решение о том, что при вступлении Российской Федерации в организацию экономического сотрудничества и развития будет проведена международная экспертиза инновационной политики Российской Федерации. И Организация экономического сотрудничества такое решение также положительно приняла. Работа будет начата в конце этого года и продлится полтора года.

Действительно идет сейчас полемика по поводу необходимости создания всеобъемлющего закона «Об инновационной деятельности». Мы знаем, что история уже порядка 10 лет имеет. И были проекты и Креса, и Глубовского, и Швелухи, целый ряд других. Работала межведомственная рабочая группа при администрации президента. Разброс мнений в этой связи очень велик: от подмены законопроекта глоссарием, определяющим основную терминологию инновационного процесса, до подмены законопроекта программным документом по стратегии инновационного развития.

Но так или иначе мы становимся частью мирового сообщества. И глоссарий уже давно создан, он имеет название «Руководство Осло». И мы должны все-таки принять этот глоссарий к исполнению. Целый ряд моментов уже постановлениями правительства они утверждены.

С другой стороны, действительно, работа по программным документом «Стратегии инновационного развития» будет начата, и здесь нам надо в дискуссиях принять единственно правильное решение дальнейшей разработки законодательного обеспечения инновационной деятельности. Вместе с тем уже сейчас ясно, что необходимо законодательно определить основные цели, принципы государственной инновационной политики, правомочие органов государственной власти, как федеральных органов, так и субъектов Федерации, и органов местного самоуправления по урегулированию и поддержке инновационной деятельности. Вот этот вопрос мы считаем приоритетным, и он мог бы быть законодательно закреплен.

Хотел бы доложить уважаемым собравшимся о том, что министерство разработало, вот здесь много раз упоминалось уже, о необходимости создания малых инновационных компаний научными организациями и образовательными учреждениями. Министерством разработана концепция законопроекта, наделяющая бюджетные учреждения науки и образования правом создания хозяйственных обществ с

целью практического применения результатов интеллектуальной деятельности. Данная концепция разослана, и мы ожидаем, что в соответствии с регламентом в течение месяца мы получим замечания федеральных органов исполнительной власти.

Много здесь говорилось о проблеме кадров. Действительно, я бы не смешивал проблему кадров в целом для инновационной деятельности, но кричащей является проблема научных кадров, и на ближайшем заседании правительства (я надеюсь, это будет в этот четверг) будет рассмотрен вопрос о научных и научно-педагогических кадрах. Одним из элементов этого вопроса является принятие решения по новой Федерально-целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры». Стоимость ее оценивается в 90 миллиардов рублей. Из них 80 миллиардов будут бюджетными средствами. Такая программа разработана, завершается ее межведомственное согласование, и концепция программы утверждена правительством в прошлом месяце.

Завершая свое краткое выступление, я хотел бы сказать, что необходимо выделить 4 основные направления развития национальной инновационной системы. Прежде всего, как уже здесь несколько раз упоминалось, это развитие образования, фундаментальной науки и повышение эффективности сектора исследования и разработок. Этот момент является ключевым для всех государств, включая и Россию. Здесь можно это формулировать названием «Развитие человеческого капитала». Так или иначе, этот элемент развития инновационной системы является ключевым.

Кроме всего прочего, второе направление — это развитие повышения спроса реального сектора экономики на технологии и инновации. И здесь без развития реальной конкуренции, без действительно снижения доли монопольных процессов в развитии экономики нашей страны, трудно ожидать результатов.

Третий элемент, третье направление — это развитие компонентов национальной инновационной системы и инновационной инфраструктуры. Такая работа идет. Требуется большая координация между федеральными органами исполнительной власти, между теми элементами, которые уже начали работать. И действительно кричащей является проблема стартапов. Она кричащая и для Банка развития, и для Российской венчурной компании, и для Роснано-тех. И на правительственной комиссии было принято решение об интенсификации работы правительственных органов по развитию стартапов.

Здесь решение видится и по реанимации РФТР (Российского фонда технологического развития) и программ, которые могли бы финансироваться Российской венчурной компанией. И действительно у нас накоплена определенная база, в том числе и Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, которые могли бы реализовывать эти мероприятия.

И четвертое направление — это повышение эффективности использования результатов научной и научно-технической деятельности. Принятие законов, находящихся в Госдуме, и тех постановлений

правительства, которые уже разработаны, позволят создать необходимую нормативную базу.

И. В. Осколков — директор департамента корпоративного управления Минэкономразвития России:

— ...На мой взгляд, на взгляд Минэкономразвития иллюзия в том, что дадим больше денег на науку и увеличим финансирование фундаментальной науки, и у нас инновационная система заработает, экономика станет инновационной.

Ничего подобного, скорее всего, не произойдет. Почему? Потому что на этапе, когда фундаментальные знания превращаются в готовый продукт, о котором сегодня тоже уже много говорили, готовый продукт, который должен лежать на полках магазинов, работает так называемый предпринимательский актив, работает предприниматель. Без него, без его активного участия, как угодно это можно называть, можно называть это кадрами для инновационной экономики, можно это называть предпринимательским потенциалом инновационной экономики, но без этого ничего не заработает. И на наш взгляд, конечно, нужно концентрировать усилия именно вокруг создания в экономике класса предпринимателей.

Что здесь нужно делать? Достаточно много пунктов существует: и система образования, конечно, должна работать в этом направлении, и система государственного стимулирования предпринимательской деятельности, малой предпринимательской деятельности должна существовать, и, если хотите, привитие предпринимательской культуры, начиная, может быть, с детского садика. Когда мы говорим «предприниматель», чтобы это не было ругательным словом, чтобы это сопровождалось ассоциациями положительного характера, начиная с маленьких детей.

Проблем, на самом деле, очень много. И проблема одна, которая иногда уходит в тень, это проблема конкуренции за предпринимательский актив. В нашей традиционной экономике с ориентацией на сырьевой сектор любой актив, тем более людской актив, он дефицитен.

И представьте себе молодого человека, заканчивающего институт по инженерной специальности, который решает, куда ему пойти работать. Пойти ли ему работать в инновационную сферу, в малые предприятия инновационные, или пойти ему работать на хорошую зарплату, достаточно хорошую зарплату с хорошим соцпакетом в крупную компанию финансовую или не финансовую — добывающую нефть, добывающую газ, в металлургическую компанию.

Он принимает решение. Какое решение он примет, где система стимулов? Это большой вопрос. И на наш взгляд, конечно, им нужно заниматься очень активно.

Второй момент. Это нескоординированность. Нескоординированность в деятельности, в том числе федеральных органов исполнительной власти между собой. Я здесь два коротких примера приведу.

Один пример — это множественность институтов развития у нас на сегодняшний день. Уже создано

большое количество госкорпораций: это и Банк развития, и Роснано, и Роснотех, и ОАО (открытое акционерное общество) «Российская венчурная компания».

На сегодняшний день у инноваторов в инновационном бизнесе пока не существует четкого понимания, куда, в какой момент, за какими деньгами можно идти, за какой поддержкой, вообще говоря. И мы очень часто видим предложения, просто в которых инноватор очень, понятное дело сметливый, предлагает создать условно фонд поддержки инновационных бизнесов, в котором участниками будут Внешэкономбанк, Банк развития, Роснано, Роснотех, Российская венчурная компания, ну и на маленькую еще долю частный бизнес.

На самом деле в этом проблема, то есть проблема в том, что нет разграничения на сегодняшний день, есть еще масса институтов, которые созданы не сейчас и не в прошлом году — тот же самый фонд поддержки малых средних предприятий в научно-технологической сфере. Нужна информированность, и нужно информировать предпринимательское сообщество, инновационное сообщество, о том какие инструменты существуют и нужно позиционировать эти инструменты, один дифференцировать от другого, то есть так чтобы было понятно, когда к кому пойти.

Второй пример очень простой. Вот мы говорим об инновационной экономике — это означает, что небольшие бизнесы должны получать финансирование для того, чтобы осуществлять свои инвестиции, в том числе в инновации.

Небольшая компания, которая, привлекая инвестора, наверно, не хочет отдавать контроль, но с другой стороны ей нужны деньги для развития в банке, ну вот правильно сказано, банки не будут кредитовать такую компанию. Это пока что еще не кредитор для банков, она подрастет, окрепнет, получит рынок, и тогда она придет в банк за кредитом. На этой стадии нужны достаточно существенные вложения от инвестора долевого, от инвестора пайщика, если хотите условно. От инвестора, который будет собственником.

Что мы делаем сейчас? У нас сейчас Комитет по собственности Госдумы внес законопроект «О внесении изменений в 68 статью Закона «Об акционерных обществах», так называемые дедлоки.

Предлагается в некоторых экстренных ситуациях переносить решение с уровня совета директоров на уровень общего собрания, причем, меня квалификацию.

Не квалифицированным большинством, а уже простым большинством.

На самом деле это удар по рукам инноваторам и удар по рукам инвесторам очень существенный. Я вот призываю обратить на это внимание, потому что нельзя говорить только вот о Законе «Об инновациях» и еще о двух-трех законопроектах, которыми занимается сейчас Минобрнауки. В связи с инновациями, в связи с инновационной экономикой нужно говорить, так скажем, и о корпоративном законодательстве.

Понятно, что нужно говорить о налогах и много еще о чем, но координировать деятельность, если мы

сказали: «Инновационная экономика», необходимо обязательно.

Вот очень краткая иллюстрация к тому, что на сегодняшний день предпринимательский актив для нас дефицит. Вот посмотрите, пожалуйста, у нас удельный вес малых предприятий на сегодняшний день в ВВП — это 14–15 процентов.

Это очень-очень мало, то есть, малые предприятия — это форма ведения бизнеса, которая просто сама по себе очень мало развита.

Количество малых предприятий на тысячу жителей у нас шесть всего составляет, в то время как Австрия, Франция — 30–35. И в то же время количество инновационных предприятий среди малых у нас всего лишь процент, в то время как во всем мире — это примерно половина в развитых экономиках. То есть, половина малого бизнеса — это как раз тот самый инновационный бизнес, который мы должны развивать.

Наверное, речь не о том, что у нас традиционные бизнесы должны отдать просто свою долю, снижая свой вклад в ВВП. Нет, должен вырасти вклад ВВП, но, в первую очередь, он должен вырасти за счет инновационных малых предприятий.

Здесь как раз то самое формирование предпринимательского потенциала должно сработать.

Вот следующий момент по поводу координации. У нас есть все инструменты. Вот, если мы сюда поставим рядом такую же картинку с инновационной системой Швеции, Финляндии, Израиля, Соединенных Штатов, если хотите, будет все то же самое практически.

На всех уровнях, начиная от определения государственной политики, и, заканчивая крупносерийным производством ... Давайте, задумаемся, все есть, и иллюзия, еще раз я повторю, в том, что денег нет. Это иллюзия!

Да, может быть, можно говорить о том, что на ряде стадий развития бизнеса не хватает как раз финансового ресурса, но, вообще говоря, инструментарий есть, присутствует.

Три ведомства, правда, у нас занимаются разных: Минобразования, Минэкономразвития и Минсвязи, еще и другие министерства подключаются по ряду направлений.

Безусловно, нужно разводить виды деятельности определенные, но координации, еще раз повторю, здесь не хватает. Вот здесь, конечно, к совету, который существует при комитете, очень большие ожидания. В том числе, на мой взгляд, при таких органах должны координироваться действия. То есть, орган должен собирать, безусловно, все заинтересованные стороны и проблематику. Начиная от законодательной, и, заканчивая, может быть, нормативными актами ведомств, и, может быть, нормативными внутренними актами компаний, госкорпораций. Нужно обсуждать на какой-то площадке, безусловно.

Вот еще одна иллюзия состоит в том, что у нас нормально работают предыдущие стадии, и в частности, стадии генерации знаний. У нас замечательная система Академии наук, замечательная вузовская наука. Не хотелось бы умалять здесь всех достоинств

и преимуществ того, что у нас создано в советские времена, но на сегодняшний день полуфабрикаты для инновационных бизнесов не генерируются, или генерируются в недостаточном объеме, или не доводятся.

И здесь вся проблематика должна быть, конечно, озвучена и с передачей прав, и прочими вещами, которые касаются вывода результатов интеллектуальной деятельности на рынок. Но тем не менее, там тоже есть проблема. Вот мы говорим о том, что у нас 0,3 процента от ВВП расходы на науку, а в Соединенных Штатах, например, 3 процента. Так у них, знаете, эти 3 процента на 80 процентов — это конкурсное распределение денег. А у нас даже 0,3 процента, конкурсное распределение денег только на 10 процентов.

Кого мы финансируем? Правильно, нужно поднимать, повышать это финансирование. Но нужно стимулировать те разработки, которые потом пойдут на рынок.

Хорошо, для того, чтобы закончить, один, наверное, позитивный момент здесь скажу. Безусловно, государственная поддержка на сегодняшний день, финансовая поддержка, она велика. И государственных денег на рынок через институты развития, звучал здесь и Внешэкономбанк помимо прочих институтов, выведено достаточно много. Вот если сумму посчитать, даже я не буду ее называть, чтобы не пугать никого, это действительно сотни миллиардов рублей.

И вопрос в том сейчас, чтобы скоординировать деятельность органов исполнительной власти, безусловно, в том, чтобы правильно направить эти средства не в смысле выбрать правильные проекты, вот вам приносят десять проектов, вы семь выбрали, три не выбрали. Государственные средства, они в первую очередь должны быть направлены на то, чтобы процесс самого по себе предпринимательства инициировать и стимулировать. То есть если мы говорим о создании seed-фондов и вообще о seed-финансировании со стороны государства, то мы должны говорить о создании такой системы, которая не просто даст денег, вбросит их в систему, а там дальше будь что будет, вырастет, что вырастет. А которые стимулируют создание бизнесов, стимулируют частный капитал на то, чтобы он приходит туда, приходил в инновации, об этом уже говорили, стимулируют крупные компании, которые на сегодняшний день, между прочим, опять же проводился опрос, они очень мало пользуются почему-то вузовской наукой и наукой из системы Российской академии наук. В основном предпочитают иметь собственные подразделения. Почему? Вот если мы ответим на вопросы, мне кажется, у нас и будет инновационная экономика...

А. Н. Сисакян — директор Объединенного института ядерных исследований, член-корреспондент Российской академии наук:

— ...Я думаю, что у многих экономистов несколько ошибочное мнение существует, что у истоков вот этого инновационного движения, ну, был какой-то абстрактный экономист, главный экономист. Но, на са-

мом деле, не совсем так, потому что в начале 1990-х годов мы имели возможность с присутствующим здесь Владимиром Игоревичем Кадышевским беседовать с Гайдаром и ставили вопросы о том, что наука России должна вписываться в рыночную экономику, и говорили фактически о том, что вокруг центров нужно создавать то, что сейчас называется особыми экономическими зонами. Они сейчас созданы, через 15 лет после того, как ученые говорили, причем мы основывались на опыте наших предшественников. Очень важна триада: наука, образование и новация. Эта триада называлась триадой Лаврентьева–Флерова. Лаврентьева — в Сибири, Флерова — в Дубне. И нельзя из этой триады ни один из элементов выдергивать.

Поэтому вот уважаемый господин Зеленский говорил о том, что нужно развести науку и инновационную деятельность. Никого не надо разводить. Если бы мы внимательно читали, даже вот последнее заседание Госсовета, в котором председательствовал Медведев, он говорил, наоборот, что у нас есть эти элементы инновационного комплекса, но они между собой слабо взаимодействуют.

Государство до сих пор на себя функцию довести большое количество проектов, которые у нас в заделе есть, до продукта, не взяло еще в полной мере, хотя государственные институты развития, венчурные фонды, ... и так далее должны этим заниматься. ...Об этом никто не говорит, чтобы дать какую-то хорошую премию, вознаграждение автору, потому что большинство идей вынашивалось в институтах наших; и Российской академии наук, и в других институтах вынашивались. И институты тоже должны получить какой-то дивиденд от внедрения, не только автор. Причем эти институты, которые были созданы много-много лет тому назад. И иной раз мы здесь эксплуатируем то, что было создано в советский период, а следующего шага мы не делаем.

Поэтому, если говорить об инновационном процессе, глядя не только в сегодня и во вчера, а в завтра, то нужно говорить о том, что в стране должна создаваться современная научная база. Тогда никто не поедет от нас. Тогда мозги будут к нам притекать. Тогда мы будем мощной инновационной державой в дополнение к тому, как мы есть мощная сырьевая.

И я думаю, одну экономику другой противопоставлять не нужно. Инновации эти, в первую очередь, наверное, в сырьевую экономику у нас должны проникнуть. Наверное, нужно и бизнес стимулировать, и все такое. Тут много о чем можно поговорить.

Я бы в заключение просто рассказал одну историю очень короткую.

В свое время к Фарадею пришел премьер-министр Великобритании. Фарадей ему показал электрический генератор, который изобрел, а премьер спросил: «Какая польза от вашего изобретения будет, господин Фарадей?». Он сказал: «Я точно не знаю. Но точно знаю, что государство обложит эту пользу налогом». И действительно, через, приблизительно, 10 лет Эдисон, Ладыгин изобрели лампочку, и первый налог был введен в Великобритании. И с тех пор достижениями науки стали пользоваться люди, ко-

торые были разведены по терминологии Зеленского с наукой.

Я думаю, что Госдума Российской Федерации должна подать хороший обратный пример, когда наука будет действительно получать дивиденды, которые не получили ни Максвелл, ни Фарадей, ни Ладыгин, ни Яблочков, ни Попов, никто другой.

А. Е. Суворов — начальник Управления радиоэлектронной промышленности и систем управления Федерального агентства по промышленности:

— Несмотря на наметившиеся в последние годы положительные сдвиги по многим параметрам, характеризующим экономику страны, Россия существенно отстает по уровню инновационного развития от большинства стран Организации экономического сотрудничества и развития...

Многие принимаемые в этой области меры сегодня имеют декларативный и локальный характер. Объемы финансирования промышленных предприятий, выпускающих высокотехнологичную инновационную продукцию в полтора–два раза ниже необходимого уровня.

Для изменения сложившейся ситуации необходимо обеспечить модернизацию практических всех отраслей промышленности страны. И, на мой взгляд, необходимо разработать программу — конкретную и реальную программу перехода к инновационному пути развития.

Я хотел бы сказать, что, на мой взгляд, одной из основных движущих сил вот этих преобразований должны стать предприятия оборонно-промышленного комплекса. Сложилось это благодаря тому, что, как и прежде, ВПК в настоящее время является одним из основных национальных источников, поставляющих высокие технологии, в том числе и в гражданский сектор производства.

В этом отношении Россия отличается от ведущих государств Запада и США, где научно-технический прогресс одинаково характерен и для оборонки, и для гражданки. И зачастую даже из гражданской сферы в оборонную перекачиваются отдельные высокотехнологические процессы.

На долю ОПК сегодня приходится 70 процентов всей научной продукции в стране.

В оборонных отраслях занято свыше 50 процентов научных сотрудников. ОПК обеспечивает производство 70 процентов всех средств связи, 60 процентов сложной медицинской техники, 30 процентов оборудования для топливно-энергетического комплекса.

Но и тут есть проблемы. В последние годы в ОПК существенно замедлились темпы роста гражданской продукции с 11–13 процентов — в 2002 году до 4–5 — в 2003–2004 и 0,3–0,5 — в 2006. То есть, основные усилия направлены на разработку оборонной продукции.

Хотя доля выпуска, в общем-то, я говорил о темпах, доля выпуска по-прежнему, скажем так, высока, примерно 46 процентов, а должно быть, мы считаем, нормальным примерно 70 процентов — это выпуск гражданской техники, и где-то 30 — оборонной продукции.

К факторам, тормозящим формирование инновационной модели экономического роста, взаимного трансферта технологий военного и гражданского секторов экономики, на наш взгляд, можно отнести следующее.

Это высокая изношенность производственного оборудования, устаревшая технологическая структура, недостаток собственных финансовых ресурсов предприятий. Получение так называемых длинных денег, низкий платежеспособный спрос на новую продукцию, несовершенство законодательной базы.

Этими проблемами должны заниматься и исполнительные, и законодательные органы власти.

В процессе подготовки к данным слушаниям в рамках комитета были образованы рабочие группы, и группа по промышленности сформулировала свои предложения по совершенствованию законодательного механизма Российской Федерации в области осуществления научно-технической и инновационной деятельности.

Мы их разбили на целый ряд пакетов, в том числе, мы считаем, совершенно необходимым принятие федерального закона «Об инновационной деятельности», чтобы мы говорили с вами на одинаковом языке, чтобы можно было понять, какое предприятие назвать инновационным.

Мы считаем необходимым внести соответствующие изменения в Закон «О науке и государственной научно-технической политике в Российской Федерации».

Внести соответствующие изменения в статьи Налогового кодекса, которые позволили бы нам поддерживать предприятия, занимающиеся внедрением инновационных идей и разработкой высокотехнологичной продукции.

Кроме этого, мы считаем необходимым: ввести целый ряд изменений в правовую охрану научно-технических результатов и в подготовку кадров, а также в вопросы технического перевооружения и модернизации производственных предприятий, развивающих наукоемкие технологии...

А. А. Рац — *руководитель особой экономической зоны Московской области, город Дубна:*

— ...Созданные технико-внедренческие особые экономические зоны — один из инструментов национальной инновационной системы, безусловно. На мой взгляд, прежде всего, знаете, должно стать, как Израиль для евреев, то есть такое место, когда ты себя не находишь в жизни, а хочешь заниматься наукой и техникой, ты всегда должен в этих местах, в стране себя найти — это так вот, образно.

На мой взгляд, этот проект стартовал нормально. Мы сегодня по Дубне имеем 22 резидента, в конце мая еще восемь будет рассмотрено бизнес-планов. Всего, думаю, что в течение десяти лет, порядка 300 инновационных компаний будут резидентами особой экономической зоны в Дубне. Из тех, кто уже пришел в зону: 12 компаний подписали с нами соглашение о строительстве за свои деньги, не за государственные научно-производственных комплексов на террито-

рии особой экономической зоны, то есть на земельных участках, которые им будут предоставлены.

Что тревожит? Во-первых, тревожит то, что не скомплексирован сегодня проект особой экономической зоны с проблемой обеспечения жильем приглашаемых специалистов. В Дубне проект полностью направлен на то, чтобы людей привести из разных городов и весей. Собственно говоря, так создавалась Дубна в 1950-е, в 1960-е годы, потому что там ничего не было до этого. Без решения жилищной проблемы — это невозможно.

Сегодня, к сожалению, законодатель в законодательстве прописал, что «жилище — это только коммерческий проект строительства жилья». И, соответственно, землю под жилье можно предоставить только на основании аукциона и тому, кто заплатит больше денег. Значит, строительство целевого жилья для ученых-специалистов не предусмотрено законодательством.

Мы, таким образом, проект составить не сможем. И мы подали соответствующее предложение, чтобы в 24-ю и 30-ю статьи Земельного кодекса внести изменения, которые бы разрешали муниципалитетам и акционерному обществу «Особые экономические зоны» строить жилье в интересах резидентов особых экономических зон, привлекая средства резидентов особых экономических зон либо специалистов компании резидентов «Особых экономических зон».

Мы здесь не просим денег, просим поменять механизм, таким образом, чтобы жилье могло строиться целевым образом. Надо сказать, что такую же проблему обнаружат и в других научных центрах, не только в особых экономических зонах. Потому что, для примера: объединенный институт ядерных исследований в Дубне всегда строит жилье. Сейчас, слава Богу, у него есть земельные заделы, но когда они кончатся, он должен будет придти на аукцион и выиграть у девелоперов. Я думаю, что на этом жилищная программа объединенного института закончится, если мы до этого не сможем поменять законодательство.

Второе, о чем хотелось бы просить — это о расширении спектра видов деятельности, разрешенных в технико-внедренческих особых экономических зонах. Сейчас разрешено то, что входило раньше в понятие НИОКР, то есть вплоть до опытного образца и для крупных корпораций это вполне приемлемо, потому что они могут иметь свои подразделения исследовательские и финансировать их по смете. А вот для малого и среднего бизнеса — это неприемлемо, потому что малый и средний бизнес не может жить без выпуска продукции и ее реализации, он не может заниматься только разработками.

Поэтому наше предложение: разрешить в технико-внедренческих особых экономических зонах производство научно-технической продукции, созданной в особых экономических зонах, а также производство продукции в сфере нано и биотехнологий.

Мы такое предложение, соответственно, сформулировали. Хотел бы также внести то, что называется: надо подумать, два вопроса, которые носят более общий характер и не обязательно связан с особыми экономическими зонами.

Знаете, конечно, у нас одна из проблем инновационной деятельности то, что наши корпорации еще не стали на ноги, и фактически имеют мало очень опыта в финансировании научно-технической деятельности.

Тем не менее давайте сравним: Соединенные Штаты, где с 1933 года действует рузвельтовский закон: «Покупайте американское!» До сих пор до настоящего времени, несмотря на требования ВТО создают преференции для закупки американских товаров в общественных интересах. И сегодня этот закон действует, причем у них сильные корпорации. Наши должны без государственной поддержки, соответственно, составить им конкуренцию, имея фактически еще и меньший опыт.

На мой взгляд, вообще, нужно подумать законодателям о том, чтобы преференции российских научно-технических компаний при закупках в общественных интересах, а если расширить, то и при закупках корпорациями, контролируруемыми государством, чтобы такие приоритеты были.

Вы знаете, с 1933 года, вообще, только если в 2 раза отличалась стоимость, тогда покупали не американский товар и это действовало 50 лет. Сейчас 6 процентов разница. Определено все, закон этот есть у нас, текст, мы можем передать, в общем-то, для того, чтобы посмотреть.

И небольшой, может быть, вопрос. Во всех таблицах, которые мы видели, бизнес-инновационные инкубаторы присутствуют, значит, в законодательстве не присутствуют. Значит, есть в приказе МЭР-Та 2005 года, который действовал только в 2005 году, определение что это такое. Но это на самом деле не дает возможности использовать федеральное имущество для бизнес-инкубаторов. Мы в Дубне имеем бизнес-инкубатор инновационный, построенный на федеральной собственности.

Как это дело происходит? Значит, муниципалитет арендует по коммерческим ценам по результатам рыночной оценки у федерального, значит, цен у Росимущества. После этого датирует свои средства для того, чтобы можно было компаниям предоставлять льготы. Ясно, что это не рабочая схема. Нам нужно в законодательстве, во-первых, определить, что такое бизнес-инновационный инкубатор. Во-вторых, законодательно предусмотреть возможность предоставления льгот тем компаниям, которые находятся в бизнес-инкубаторе, иначе весь смысл этого инкубатора теряется. В-третьих, предусмотреть возможность субаренды, потому что арендатор основной арендует федеральное имущество, а субаренда там не разрешена. И это делает невозможным на сегодняшний день использование федерального имущества для бизнес-инкубатора.

С. И. Колесников — заместитель председателя Комитета Государственной Думы по охране здоровья, академик Российской академии медицинских наук:

— Уважаемые коллеги, я напомним вам некоторые слова великого поэта Байрона. Он сказал так: «Открытий много и тому причина блестящий гений и

пустой карман»... Я хочу напомнить, что весь развал науки индустриальной и фундаментальной науки произошел по причине культивирования, пожалуй, пяти мифов.

Первый миф — у нас избыточное количество ученых. Могу вас заверить, это прекратилось в 1994 году. У нас слишком много денег тратится на науку на душу населения. Сегодня у нас тратится, опять же подсчеты, 30 долларов на душу населения, хотя развитые страны тратят свыше 100 долларов, свыше, минимальный порог 100–120, 130 долларов и выше на душу населения на науку.

Третье, что корпоративная наука не является активом профильным, не является материальным активом, что это не профильная деятельность, поэтому она не учитывалась при приватизации индустриального сектора и наука была развалена полностью.

И еще один миф о том, что наука не бывает отечественной, она бывает мировой. И поэтому давайте, не важно сколько у нас ученых, куда, для кого мы их готовим, куда они уехали, важно, что они работают на мировой прогресс. Сегодня мы схватились и понимаем, что мы платим больше за конечный продукт, потому что мы ликвидировали вот эти последовательности.

Доля науки составляет в валовом внутреннем продукте в России ниже практически всех развитых стран мира и даже с учетом, что в 2008 году произошел прирост за счет нанотехнологий, мы все равно не догоняем развитые страны. И предлагается, опять же в концепции 2015 года предлагается увеличивать частные инвестиции, но не предлагается увеличить государственные.

Структура у нас извращена научных исследований, потому что у нас, как вы видите, 90 процентов научных исследований ведется в секторе академическом, потому что мы уничтожили университетский и корпоративный сектор, в то время как в других странах как раз корпоративный сектор доминирует. Мы говорим, не надо финансировать науку фундаментальную, но одновременно не замещаем корпоративной наукой это.

И сегодня основная задача там создать инструменты развития, инструменты благоприятствования, а они как раз создаются только финансовым путем.

Наука о человеке, особенно вопиющая вещь, наука о человеке у нас составляет всего три процента от фундаментальной науки. Вот, когда за рубежом уже за 30 переваливают ассигнования фундаментальных исследований науки о человеке. То есть, мы движемся в таком тупиковом варианте, все время говорим о развитии какой-то другой науки, не связанной с человеком.

И вот, если взять вот этот оборотный круг, который, конечно, нельзя разрывать, и банковский сектор может все что угодно говорить, этот круг разорвать нельзя.

Образование, наука, инновации, технологии, рынок — разрывать его нельзя, и на это действует вся вот эта система стимулов от населения в лице неправительственных организаций до исполнительной, законодательной власти и особенно средства массовой информации.

Мы сегодня вообще не рассматриваем роль средств массовой информации в том, чтобы население воспитывать и прививать хоть какое-то понимание того, что наука в нашем государстве нужна.

Понятно, вы об этом говорили, что такое преодоление технологического отставания, не буду эти аксиомы повторять.

Насчет инновационной терминологии. Действительно в 2006 году постановлением правительства была сделана попытка ввести терминологию инновационной деятельности.

Когда мы попытались ее внести в законодательство, правительство ответило категорическим отказом — не надо в законодательство вносить эти термины.

Простите, но тогда как мы будем рассчитывать преференции и как мы будем вообще определять: кому давать льготы, кому не давать льготы? Как мы будем кредиты льготные выдавать, как мы будем эти кредиты погашать процентно?

Инновационная система была декларирована в постановлении правительства, нет ее на сегодня, два года прошло.

Нет института инновационного, в правительстве нет инновационного института ни Министерство образования и науки, ни Министерство промышленности не являются такого рода институтами.

Это должен быть надведомственный орган, который должен курировать, конечно, премьер, и, который должен разрабатывать инновационную стратегию.

Теперь четвертая часть Гражданского кодекса. Начали внедрять, масса проблем. Я договорился с Крашенинниковым Павлом Владимировичем, что мы создаем вместе с Комитетом по науке и наукоемких технологиям все-таки небольшую секцию при Экспертном совете.

Что мы предложили сделать? Мы внесли 18 законов, то есть, здесь 10 законов, в принципе, их было больше, четыре из них мы убрали, осталось 14. Из них правительство использовало вот эти четыре закона для того, чтобы сделать свой закон по льготам в инновационной сфере, остались вот эти вот законы — это 15-процентный единый социальный налог, как в особых экономических зонах для инновационных

предприятий. Капвложение 50-процентное, правительство, наконец-то, соглашается, надо делать.

Упрощенную систему налогообложения, о налогах говорили. И есть даже такой, немножко фантастический, закон о пенсионном обеспечении наших научных кадров, чтобы они освобождали место для молодежи. Понятно. Так делается в Китае, допустим. И ограничения, по снятию ограничений по банковским платежам, потому что, вы знаете, что сегодня ты взял банковский кредит и тебе только половину включается в расходы. Это неправильно.

Есть модельный закон уже инновационной деятельности, принятый, я его докладывал в Санкт-Петербурге 16 ноября. Правительство не обращает на него внимания, к сожалению, его, естественно, надо дорабатывать для специфики России, применять. Но он есть уже, его можно доработать и пустить в дело.

И программа общественно-государственного партнерства. Она сейчас реализуется на площадке Центра социальной консервативной политики на примере развития медицинской индустрии. Если это общественно-государственного партнерства схема сработает на одном секторе, мы надеемся, что он будет взят за основу.

И роль общественных организаций, — мне кажется, что пора создавать некую серьезную саморегулируемую организацию типа РСПП или ТПП или на их базе, которая объединяет наукоемкие предприятия, но не по принципу профсоюза работодателей, как это делает РСПП. Это должен быть совсем другой орган, саморегулируемая организация, которая должна лоббировать интересы наукоемкой отрасли на уровне правительства и на уровне Государственной Думы.

У нас нет еще одного органа, который создан во многих парламентах мира, — это так называемое бюро технологических оценок. Во всех парламентах существует специальный орган, который оценивает последствия принятия законодательных решений — это независимые эксперты, высокооплачиваемые, 5–10 человек, которые должны глубоко анализировать, в том числе с компьютерными технологиями последствия принятия решения. У нас этого нет. У нас работает система лоббирования и не более того. Вот почему нужен координационный, цельный орган при Государственной Думе.



в Интернете

Редакция журнала «Инновации» предлагает своим читателям
электронную версию журнала в сети Internet
по адресам:

<http://innov.eltech.ru>

<http://www.mag.innov.ru>

Наука и общество.

Ответы участников 3-й Петербургской встречи Нобелевских лауреатов на вопросы редакции

Жорес Алферов
Нобелевская премия по физике 2000 г.



1. *Что наиболее значительного произошло в вашей области знания после присуждения вам Нобелевской премии?*

Наиболее важное развитие в моей области получили исследования «квантовых точек» — «искусственных атомов» — в полупроводниковых гетероструктурах.

Теоретические основы этих исследований были заложены еще в 70–80-гг. прошлого столетия, экспериментальный прорыв начался в середине 1990-х, а в настоящее время развиваются и реализуются важнейшие применения, особенно лазеров на квантовых точках.

Я рад, что очень весомый вклад в эту область внесли мои ученики — молодые члены-корреспонденты РАН: Н. Н. Леденцов, В. М. Устинов, А. Е. Жуков, к.ф.-м.н. Н. А. Ковш, мои немецкие друзья и коллеги проф. Д. Бимберг, д-р М. Грундман.

2. *Какое из событий последнего времени в науке в целом вы бы отметили? Решения каких задач вы ожидаете в ближайшее десятилетие?*

Чрезвычайно интересные события происходят в астрофизике, и я надеюсь, что величайшие загадки «черной материи» найдут свое решение в ближайшие десятилетия.

Замечательный английский ученый Д. Портер, президент Лондонского Королевского общества в 1980–1990 гг., заметил, что вся наука — прикладная, разница только что в одних случаях приложения наступают очень быстро, а в других через десятилетия и даже больше.

Приложения фундаментальных исследований полупроводниковых гетероструктур происходили очень быстро, и сегодня одним из важнейших я считаю развитие фотоэлектрического преобразования солнечной энергии на основе многослойных гетероструктур. Работы моего ученика проф. В. М. Андреева в значительной степени определяют успешное решение этой проблемы в ближайшем будущем.

Энергетические проблемы для человечества всегда играли важную роль. В поиске новых возобновляемых источников энергии одно из самых перспективных решений я вижу в получении топлива из древесины, например, из целлюлозы, и в этой принципиально новой технологии могут найти самые неожиданные применения исследования наноструктур.

3. *Отношения между наукой и обществом включают в себя отношения между наукой и властью, наукой и бизнесом, наукой и гражданами. Какой компонент для вас сегодня наиболее важен, и почему?*

Во взаимоотношениях науки и общества для нашей страны самой важной проблемой является невосприимчивость научных результатов, включая и имеющиеся уже сейчас приложения, нашей экономикой.

Создание отраслей промышленности, основанных на высоких технологиях — это главная задача России. Тогда и фундаментальная наука займет достойное место в обществе, будут действительно востребованы экономикой и обществом Российская наука и образование — сокровищницы моровой культуры.



Клод Коген-Танноджи
Нобелевская премия по физике 1997 г.

1. *Что наиболее значительного произошло в вашей области знания после присуждения вам Нобелевской премии?*

Получение новых состояний материи (ультрахолодных квантовых дегенеративных газов), обнаруживающих макроскопические квантовые свойства (когерентность, сверхтекучесть). Лучшее понимание жестко скоррелированных систем.

Получение сверхточных атомных часов (10 в минус шестнадцатой), позволяющих новые строгие проверки фундаментальных физических законов.

2. *Какое из событий последнего времени в науке в целом вы бы отметили? Решения каких задач вы ожидаете в ближайшее десятилетие?*

Нынешнюю возможность более точного контроля всех параметров квантовых атомных систем

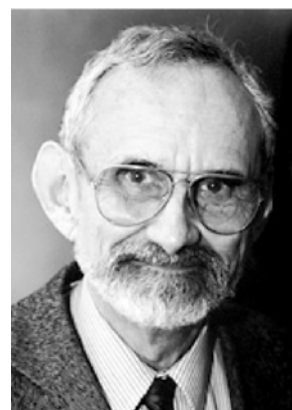
(температуры, плотности, силы взаимодействий). Прогресс в нашей способности манипулировать атомными системами может открыть новые перспективы для квантовой переработки информации.

3. *Отношения между наукой и обществом включают в себя отношения между наукой и властью, наукой и бизнесом, наукой и гражданами. Какой компонент для вас сегодня наиболее важен, и почему?*

Я думаю, что важно объяснять гражданам значение науки не только как деятельности, способной обеспечить решение проблем, с которым столкнулся наш сегодняшний мир (источники энергии, здоровье, окружающая среда), но и как средства повышения культурного уровня наших обществ.

Роберт Курл

Нобелевская премия по химии 1996 г.



1. *Что наиболее значительного произошло в вашей области знания после присуждения вам Нобелевской премии?*

В связи с моим нобелевским исследованием, несомненно, наиболее важно открытие способов синтеза объемных количеств фуллеренов, которое было сделано Вольфгангом Кречмером и Дональдом Хаффманом совместно с их учениками Ламбом и Фостирополисом. Оно открыло целую область химии фуллеренов для химиков и материаловедов.

Вторым наиболее важным достижением в этой области было открытие одностенных углеродных нанотрубок, а также описание их необычных свойств, развитие методов для их синтеза и поиск их применения.

2. *Какое из событий последнего времени в науке в целом вы бы отметили? Решения каких задач вы ожидаете в ближайшее десятилетие?*

Двумя из наиболее вдохновляющих зон научного поиска, с точки зрения взаимосвязи знаний, явля-

ется связь между физикой элементарных частиц и экспериментальной космологией, с одной стороны, и вдохновляющими продвижениями в сторону истинного понимания природы жизни, сделанными молекулярной биологией и клеточной биологией. Возникает шанс объяснения темной материи и «темной энергии» в течение следующего десятилетия. Вероятно, биологические исследования в ближайшем десятилетии будут продвигаться медленнее, но значительно более устойчиво, без больших изменений в исходных посылах.

Наиболее важным для нас в практическом отношении будет замещение солнечными источниками энергии ископаемого топлива. Я надеюсь и жду, что это случится в ближайшее десятилетие.

Жан-Мари Лен
Нобелевская премия по химии 1987 г.



1. *Что наиболее значительного произошло в вашей области знания после присуждения вам Нобелевской премии?*

Химия продолжает развиваться как центральная наука на стыке биологии, материаловедения и физики. Особенно важные продвижения совершены в новых реакциях и процессах, в развитии химической биологии, и — применительно к теме нынешней встречи — в приложении химия для нанонауки и нанотехнологий.

2. *Какое из событий последнего времени в науке в целом вы бы отметили? Решения каких задач вы ожидаете в ближайшее десятилетие?*

Невозможно определить, на какие вопросы будут получены ответы, какие открытия будут сделаны, какие изобретения развиты в следующее десятилетие. В случайную выборку немногих достижений могут попасть обнаружение бозонов Хиггса, получение

3. *Отношения между наукой и обществом включают в себя отношения между наукой и властью, наукой и бизнесом, наукой и гражданами. Какой компонент для вас сегодня наиболее важен, и почему?*

Я думаю, что наиболее важным компонентом сегодня являются отношения между наукой и правительствами. Мы столкнулись с глобальной нехваткой энергии, но правительства не осознают, что необходимо работать для замещения ископаемого топлива возобновляемыми источниками энергии (из которых, по моему мнению, наиболее перспективна солнечная энергия). Конечно, в демократических обществах всегда действенна убежденность граждан, которые стараются убедить свои правительства.

энергии в термоядерном реакторе проекта ITER, нанонаука и нанотехнологии, новые терапевтические подходы к лечению рака и болезни Альцгеймера, высокоэффективные химические процессы, прогрессирующее понимание процессов самоорганизации материи из молекулы в живой организм, более глубокое понимание функционирования мозга, происхождение сознания и так далее, так далее, так далее!

3. *Отношения между наукой и обществом включают в себя отношения между наукой и властью, наукой и бизнесом, наукой и гражданами. Какой компонент для вас сегодня наиболее важен, и почему?*

Наука, несомненно, связана с обществом, но ее исходная роль заключается в расширении знания. Отсюда проистекают ее возможности создания лучшей жизни для граждан и для экономического развития через технологии и бизнес. Взаимосвязь науки с властями должна быть как можно слабее, наука нуждается в свободе от возможных помех и ограничений.



Ивар Гиавер

Нобелевская премия по физике 1973 г.

1. *Что наиболее значительного произошло в вашей области знания после присуждения вам Нобелевской премии?*

Я получил Нобелевскую премию за работу в сфере туннельных эффектов и сверхпроводимости в 1973 году. Наиболее значимым событием после этого стало открытие высокотемпературных сверхпроводников.

2. *Какое из событий последнего времени в науке в целом вы бы отметили? Решения каких задач вы ожидаете в ближайшее десятилетие?*

Сегодня наиболее вдохновляющей областью является биология, и исследования клетки обещают самые значительные результаты.

3. *Отношения между наукой и обществом включают в себя отношения между наукой и властью, наукой и бизнесом, наукой и гражданами. Какой компонент для вас сегодня наиболее важен, и почему?*

Наиболее важен переход от научных открытий к практическому применению и к коммерчески успешным предприятиям.

СИЛА В ЧИСЛЕННОСТИ И РАЗНООБРАЗИИ

21–23 апреля 2008 года в Санкт-Петербурге прошли «Дни науки», организованные фондом «Династия» — первым в России нового времени семейным благотворительным фондом, основанным Дмитрием Зиминим, почетным президентом «Вымпелкома».

В его конференции «**Математика и философия**» приняли участие философы, математики, историки науки из Санкт-Петербурга, Москвы, Новосибирска, Парижа и Массачусетса. Профессор Массачусетского технологического института **Лорен Грехэм** отвечает на вопросы «Инноваций». Вопросы задавал Юрий Нешитов.



Лорен Грехэм

— *Как давно вы занимаетесь изучением работ и роли представителей Московской математической школы Егорова, Лузина, Флоренского? В чем вы видите ее основной вклад в математику и философию? Что дало это изучение вам как историку науки?*

— Я занимаюсь исследованиями и пишу об истории науки и техники в России уже более сорока лет, а собственно историей Московской математической школы — около десяти. Полагаю, что ее история заслуживает глубокого внимания, поскольку школа оказала огромное влияние на развитие мировой математики в целом. Математики в России работали в ряде городов, но Москва в течение десятилетий была представлена математическим сообществом, которое было одним из самых сильных в мире.

Московская школа математики, основанная Дмитрием Егоровым и Николаем Лузиным в 1914–1929 годах, разрослась до нескольких десятков известных математиков. Она породила теорию дескриптивных множеств, и была источником замечательных работ по многим направлениям, включая анализ функций, топологию и теорию вероятности. Изучение этих работ чрезвычайно обогатило мое понимание

математики и науки в целом. Примечательно, что одним из различий, существовавших между Егоровым, Лузиным и Флоренским с одной стороны, и большинством их коллег, работавших на том же самом поле (особенно во Франции) был глубокий интерес к философии, метафизике и религии. Некоторые метафизические воззрения помогли московским математикам концептуализировать трансфинитные числа и дескриптивную теорию множеств.

Хотя техническая сторона работ Московской школы хорошо известна и была подробно описана выдающимися русскими историками математики, социальный и философский аспекты остаются во многом неразработанными. Одна из причин этого политическая. Егоров, долгое время бывший президентом Московского математического общества, был арестован, обвинен в «смешении математики и религии» и умер от истощения в лагере. Лузин подвергся политическому «суду», но тюрьмы избежал. Флоренского арестовывали несколько раз, а затем он был казнен секретной полицией. В силу политической судьбы их история в советское время не относилась к числу привлекательных для исследования предметов, и даже до сегодняшнего дня не получила надле-

жащей исторической разработки, которой заслуживает с полным основанием.

— *Отношения между наукой и обществом включают в себя отношения между наукой и властью, наукой и бизнесом, наукой и гражданами. Какой компонент вам кажется сегодня наиболее важным, и почему?*

— Отношения между наукой и обществом были очень важны всегда, но сегодня их особенности меняются. Очевидные изменения происходят в отношениях между наукой и бизнесом. Во многих наиболее инновационных отраслях — биотехнологиях, информационных технологиях и коммуникациях, в фармацевтической индустрии, в альтернативной энергетике — связи между наукой и бизнесом сегодня тесны и непосредственны.

Здесь лежит область специфических российских проблем, поскольку инновационная культура, необходимая для коммерческого восприятия высоких технологий, не имеет глубоких традиций в России. Россия была сильна в «науке на классной доске» — фундаментальной науке — но не была успешна в предложении миру невоенных высокотехнологичных продуктов, конкурентных экономически и технически. Проблема заключается не в качестве российских ученых и инженеров — это способные и хорошо образованные люди (хотя и нуждающиеся в дополнительных экономических знаниях). Проблема скорее заключается в психологии и социоэкономической позиции. Многие российские ученые по-прежнему относятся к коммерциализации научных результатов с известным пренебрежением, как к чему-то, что ниже их чувства собственного достоинства, как к занятию «для других людей». Пока такое отношение преобладает, России будет трудно стать большим игроком на поле высоких технологий.

Другая проблема заключается в надежде, что правительство сможет каким-то образом решить все проблемы, сфокусировавшись на высоких технологиях. Это то, что французы называют «дирижизмом» — вера, что правительство способно произвести важнейшие изменения «сверху». Решением же проблемы является создание в России культуры экономической подпитки технологических инноваций. Это решение должно придти «снизу» — от инновационных молодых ученых, от инвесторов с предпринимательским духом, от индустрии стартапов. Именно здесь есть люди, которые ищут «следующую большую вещь». Они гордятся своим участием в инновациях, и, конечно, стремятся разбогатеть, в чем нет ничего предосудительного. Безусловно, правительство способно помочь стимулирующими налогами и инвестиционной политикой, но правительство не может предугадать инновационный процесс. Оно обычно делает это плохо. Многие инноваторы внизу также делают это плохо, но если их достаточно много, и они активно продвигают различные продукты, кто-то нащупает правильный путь. А для тех, кто оказался неправ и потерпел неудачу, нет ничего постыдного. Они восстанавливают силы и пробуют сделать что-то еще.

— *Можно ли говорить о каких-то особых вызовах, которые не существовали ранее и которые предъяв-*

ляются науке сегодня? В какой степени оправданы мнения о кризисном состоянии сегодняшних естественнонаучных парадигм?

— Я не думаю, что в глобальном отношении наука сейчас в кризисе. Фактически дела идут неплохо. Просто у различных стран возникают разные проблемы. В Соединенных Штатах мы нуждаемся в улучшении начального и среднего образования. В России нуждаются в более тесной связке обучения и исследований на уровне высшего образования. По моему мнению, Советский Союз совершил большую ошибку, разделив обучение и исследования. Когда исследования проводятся в институтах Академии наук и промышленных министерств, а обучение ведется преимущественно в университетах, то нарушаются жизненно важные творческие связи между способными студентами и умудренными исследователями. В Соединенных Штатах большинство наиболее инновационных компаний основано людьми, положившими еще в студенческие годы. К ним относятся Хьюлетт-Паккард, ПолярOID, Майкрософт. Без погружения в атмосферу исследований и коммерческую культуру в стенах университетов, основатели этих компаний вряд ли смогли совершить то, что им удалось.

— *Иногда говорят, что ученый-естественник нового времени в своем стремлении овладеть силами природы, по сути, не отличается от магов древности. Справедливо ли это? Если да, то в чем сильные и слабые стороны такого подхода?*

— Не думаю, что ученые сегодня напоминают древних мудрецов или магов. Говорить так, по-моему, значить использовать слова слишком произвольно. С другой стороны, не следует рассматривать науку как тотально рационалистичное занятие, раскладывающее все по полочкам. В науке требуется воображение, творческие подходы, а иногда даже метафизические импульсы. Но в окончательном итоге все то, что производит ученый, верифицируется таким образом, который магии недоступен.

— *Какое из событий последнего времени в науке в целом вы бы отметили? Решения каких задач вы ожидаете в ближайшее десятилетие?*

— По-моему, предсказание будущего науки или инноваций не то занятие, на успешности в котором я либо кто-то другой должен настаивать... Однако очевидно, что молекулярная генетика и нанотехнологии имеют блестящие перспективы для демонстрации своих достижений уже в ближайшем будущем. Я также полагаю, что распознавание голоса в компьютерных технологиях скоро приведет к очень большим изменениям. Думаю, что в ближайшие пятьдесят лет принципиально изменятся наши источники энергии. Чтобы все это осуществилось, необходимо поощрять великое разнообразие инноваторов, способных найти наиболее успешные приложения раскрывающихся возможностей. В численности и разнообразии скрыты огромные силы — как скажет любой биолог-эволюционист.

Открытие научно-технологического комплекса по разработке конструкционных наноматериалов в ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей»

16 апреля 2008 года в ФГУП Центральном научно-исследовательском институте конструкционных материалов «Прометей» состоялось открытие научно-технологического комплекса по разработке конструкционных наноматериалов. В открытии комплекса участвовали министр образования и науки А. А. Фурсенко, председатель Президиума СПбНЦ РАН Ж. И. Алферов, вице-губернатор Санкт-Петербурга М. Э. Осеевский, председатель Комитета по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга А. Д. Викторов, руководитель НПО «Энергия» В. А. Лопота, первый заместитель директора РНЦ «Курчатовский институт» О. С. Нарайкин, директора научно-исследовательских институтов, ректоры вузов, представители промышленных компаний и организаций инновационной инфраструктуры.

Это событие было приурочено к совместному заседанию Научно-технического совета при Правительстве Санкт-Петербурга, Президиума Санкт-Петербургского научного центра РАН и научно-технического совета ЦНИИ КМ «Прометей». Заседание открыл директор ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», академик РАН Игорь Васильевич Горынин, который рассказал об опыте реализации инновационных проектов в области нанотехнологий и наноматериалов, в частности, в области создания конструкционных материалов.

За 70 лет работы института был создан целый ряд конструкционных материалов, как для гражданской, так и для оборонной техники. В последние годы проводятся работы по наноструктурированным матери-

алам, создаются специальные лаборатории и центры. Уже сегодня институт имеет лаборатории с современным оборудованием, что дает возможность квалифицированно диагностировать наноструктуры, оценивать варианты получения наноструктурированных материалов.

Выступавший в своем докладе рассказал о работе трех лабораторий, которые созданы при институте, а также о результатах реализации проекта «Металл», который выполнялся в сотрудничестве с Череповецким металлургическим комбинатом ОАО «Северсталь». Были созданы хладостойкие стали, которые оказались востребованы промышленностью благодаря весьма привлекательному для потребителя комплексу свойств: высокой прочности, пластичности, высокой вязкости и технологичности.

Также Игорь Васильевич рассказал о реализации инновационного проекта государственного значения «Магистраль», в результате которого была разработана технология производства труб с повышенными характеристиками для экстремальных условий эксплуатации. Неуклонно растут объемы реализации промышленной продукции, созданной в рамках реализации двух инновационных проектов государственного значения. На сегодняшний день компания «Северсталь» продала металлопродукции новых марок, созданных в результате реализации этих проектов на 6 млрд руб., после 2007 года этот объем достигнет 8 млрд, а затем и 10 млрд руб.

ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» имеет все предпосылки для внедрения и реализации технологии





получения наноструктурированных материалов, что обеспечит прорыв в повышении потребительских свойств материалов и конструкций, заключил выступавший.

Президент Санкт-Петербургского научного центра РАН, академик Жорес Иванович Алферов (*на фото*) в своем выступлении коснулся программы фундаментальных исследований, которая была представлена на общем собрании Российской академии наук 19 декабря 2007 года. Одним из важнейших в программе, по мнению докладчика, является раздел «Физические основы технологии квантовых наноструктур». В области физики твердого тела, физики конденсированного состояния, исследования наноструктур и квантоворазмерных эффектов вышли, прежде всего, из исследований полупроводниковых гетероструктур. Очень многие исследования в данной области начинались в Физико-техническом институте имени А. Ф. Иоффе.

Сегодня одна из важнейших задач, по мнению докладчика, — это разработка новейших физических основ технологии наноструктур. Развитие микроэлектроники во второй половине XX века привело не только к огромному изменению в науке, технологии, в научно-техническом прогрессе, развитии микроэлектроники, но и привело к огромному изменению социальной структуры общества, к совершенно другому уровню цивилизации. Все это произошло благодаря нескольким очень крупным открытиям. Это, прежде всего, открытие транзистора, это открытие кремниевых интегральных схем и полупроводниковых гетероструктур. Сегодня развитие микроэлектроники в целом основано на двух столпах: гетероструктурах и кремниевых интегральных схемах. Те страны, которые занимают передовые позиции в этой области, будут определять в будущем не только научно-технический и научно-технологический, но и социальный прогресс.

Применение наногетероструктур в лазерной технике уже привело к кардинальному изменению ситуации в целом. И в будущем, по прогнозу очень многих компаний, именно полупроводниковые лазеры на гетероструктурах станут практически основным типом лазера для самых разнообразных применений. Гетероструктуры перспективны для создания принципиально новых детекторов инфракрасного излуче-

ния в относительно далекой инфракрасной области. Возможно их применение в СВЧ-технике, что принципиально меняет систему радиолокации, а также авиацию и многие военные применения.

С использованием современных нанотехнологий связано и создание солнечных фотоприемников, КПД которых может составить до 50% (теоретически КПД таких многокомпонентных гетероструктур составляет 87%). Существуют оценки, что развитие фотовольтаической технологии на основе наноструктур приведет к 2050 году к производству 69% энергии США за счет фотовольтаики. А к 2100 год планируется практически полностью покрыть энергетические потребности страны. Эти технологии могут полностью изменить ситуацию в энергетике.

По мнению Ж. И. Алферова, наноматериалы — это та область, где используются все современные достижения современной физики и современной химии. Ее основой являются различные типы наноматериалы: объемные трехмерные, двумерные наноматериалы, одномерные, нульмерные, нанопорошки, нанокристаллы.

Жорес Иванович подчеркнул, что вложение средств в развитие нанотехнологий — это самое выгодное экономическое вложение средств в развитие фундаментальных исследований. Очень важным он считает создание крупных междисциплинарных федеральных научно-образовательных центров и поддержку научно-образовательных центров, ведущих вузов в области нанотехнологий и их совместной работы с промышленными и академическими исследовательскими организациями.

По мнению докладчика, сегодня очень важная компонента образования в области нанотехнологии — это принципиально другая постановка аспирантского образования, переход на четырехгодичную аспирантуру. Во всех областях науки, а особенно в нанотехнологиях, учеба в аспирантуре должна заключаться не только в исследовательской работе в чистом виде, но и в обучении.

Именно для этой цели был создан уникальный Физико-технологический научно-образовательный центр в Санкт-Петербурге. Сегодня это комплекс, который включает и центр, и академический университет, и физико-технический факультет Политехнического института.



Есть надежда, что этот центр станет одним из федеральных научно-образовательных центров в области нанотехнологии. Санкт-Петербургский научный центр РАН, Санкт-Петербургский политехнический университет и Научно-образовательный технологический центр подписали соглашение о создании консорциума для реализации этой программы.

Доклад директора НИИ кардиологии Евгения Владимировича Шляхто был посвящен разработкам в наномедицине. Наномедицина — это область медицинской науки, которая, в основном, использует достижения, имеющиеся в нанотехнологиях. Современные биологические микрочипы — это одна из наиболее интересных и широко используемых областей наномедицины, которая тесно связана с медициной и с техникой. С момента своего создания в 1993 г. биологические чипы приобрели огромное значение в области диагностики, медицины и биологии. В наши дни биологические микрочипы применяются для скрининга биологически активных образцов, для диагностики заболеваний, для исследования патологических состояний, для того, чтобы сформировать группы риска, наблюдать и прогнозировать течение тех или иных заболеваний. В основном, это диагностика. Сегодня появляется возможность применения наночастиц, которые позволяют усилить сигнал с микрочипа и без предварительных процедур быстрее ставить диагноз.

Евгений Владимирович отметил, что институтом в этом направлении сегодня реализуется проект разработки тест-системы на основе биологических микрочипов для молекулярно-генетической диагностики сердечно-сосудистых, эндокринных и гематологических заболеваний и определения факторов кризиса их развития. Соисполнителями выступают Санкт-Петербургский медицинский университет им. академика И. П. Павлова и Институт акушерства и гинекологии им. Д. О. Отта РАМН.

Следующее направление, о котором рассказал докладчик, — это доставка лекарственных веществ. Одна из важнейших проблем современной медицины — это трансплантация органов и тканей, в частности, трансплантация костного мозга у пациентов с онкогематологическими заболеваниями. Большая проблема — это проведение такого режима трансплантации, когда в трансплантате отсутствуют опухолевые клетки. В последние годы для того, чтобы убрать опухолевые клетки трансплантата, используется новый подход, когда на основе нанотехнологий создаются золотые наночастицы, которые соединяются вместе с антителами и фиксируются на клеточной поверхности в опухолевых клетках. Данная золотая частица проникает внутрь опухолевой клетки, образуются кластеры и дальше их возможно модифицировать внешним излучением. Облучение крови лазером приводит к тому, что в золотых частицах образуются микропузырьки, золотые частицы разрушаются, что приводит к гибели опухолевых клеток.

Еще одно направление — трансплантация органов и тканей. Это важнейшее направление, которое сейчас развивается во всем мире. Здесь также имеется определенный задел. Нет необходимости говорить

о важности решения этой проблемы для пациентов, у которых есть повреждения сосудов сердца и нижних конечностей, особенно пациентов с сахарным диабетом, когда многие из них подвергаются ампутации нижних конечностей. Проблема эта и экономически и социально очень значима. Решение в том, чтобы попытаться стимулировать ангиогенез, вызывать образование новых сосудов. Уже есть ряд экспериментальных результатов. В этом направлении реализуется проект «Усиление ангиогенеза нижних конечностей путем направленной доставки генетического материала в ишемизированные зоны при облитерирующем заболевании сосудов нижних конечностей». Это совместный международный проект ряда центров Петербурга и Хьюстона (США). Сегодня имеется ряд экспериментальных данных в этом направлении, и по окончании экспериментальных исследований предполагается создать пилотный проект лечения больных с критической ишемией нижних конечностей, где геометрическая конструкция в наночастице будет доставляться в ишемизированную нижнюю конечность.

Следующее направление — создание лекарственных веществ. Сегодня с СПбГУ ведутся исследования по созданию полимерных наноматериалов с антиоксидантной активностью, где синтезируется антиоксидант, который соединен с высокомолекулярными полимерами. Данная конструкция сегодня используется в эксперименте для предотвращения последствий ишемии и геморрагического кровотечения. Просто возмещение кровопотери не приводит к повышению артериального давления, а замещение кровопотери с плазмозаменителем — полимерными антиоксидантами приводит к восстановлению уровня артериального давления. Более того, это приводит к тому, что предварительное введение полимерных антиоксидантов на основе нанотехнологий, увеличивает выживаемость с 8 до 52%.

Далее выступающий рассмотрел вопрос, касающийся наноматериалов. Это очень важные для экономики страны материалы. В связи с реализацией национального проекта «Образование», увеличением числа пациентов, нуждающихся в высокотехнологичной медицинской помощи, увеличивается количество имплантируемых устройств и стентов. Проблема, которая связана со стентированием, — это тромбоз как металлизированных, без лекарственных покрытий, стентов, так и стентов с лекарственным покрытием.

Поэтому сегодня вместе с Институтом робототехники и технической кибернетики предлагается модификация технологии изготовления коронарных стентов с целью обеспечения направленной доставки лекарственных препаратов. Поверхность металлического ребра стента специальным образом модифицируется, образуются микрорезервуары, в которые помещаются наночастицы — углероды с депорином и другими лекарственными препаратами, которые позволяют уменьшить вероятность тромбоза.

В заключение своего выступления Е. В. Шляхто обратил внимание на проблему контактов с техниками, химиками, физиками, математиками. Для созда-

ния опережающего развития наномедицины нужна организация взаимодействия всех специалистов. Он выразил пожелание, чтобы на примере нашего города было показано тесное взаимодействие медиков, биологов и техников, и чтобы, действительно, наномедицина была достойно представлена в тех проектах, которые реализуются сегодня государством. Есть оборудование, прекрасные кадры, поэтому можно реализовать все, что задумано.

Проректор по научной работе СПбГЭТУ «ЛЭТИ» Владимир Петрович Афанасьев в своем докладе проанализировал ситуацию в вузах Санкт-Петербурга в области нанотехнологических исследований. Оказалось, что в Санкт-Петербурге 21 вуз проводит работы в области нанотехнологий в той или иной степени. Вуз имеет определенные конкурентные преимущества по сравнению с другими организациями. Это связано с тем, что нанотехнологии междисциплинары, то же относится и к большинству вузов. К преимуществам относятся и достаточно высокий научный потенциал вузов, а также то, что в вузах есть молодежь, которая сегодня является основным фактором будущего развития в области нанотехнологий.

Далее докладчик выделил основные функции вузов. К ним относятся: интеграция научно-образовательной деятельности, проведение фундаментальных и прикладных исследований, обеспечение взаимодействия с академическим сектором науки и разработка программ обучения.

Существенное изменение ситуации с точки зрения положения технологической базы в отрасли связано с тем, что ряд ведущих вузов Санкт-Петербурга оказались победителями конкурса образования, получили соответствующие средства в рамках инновационного образовательного проекта, что позволило уже в прошлом и позапрошлом годах вложить определенные средства в создание базы нанотехнологий. Сегодня можно говорить о том, что федеральная целевая программа развития инфраструктуры наноиндустрии в РФ тоже позволяет рассчитывать на существенное улучшение ситуации по этому направлению. Пять вузов Санкт-Петербурга получили финансирование в рамках этой программы, причем СПбГУ получил финансирование еще в прошлом году, и сегодня создание научно-образовательного центра по направлению «Нанотехнологии» в данном университете находится на стадии завершения. Эта ситуация оказалась благоприятной для университета еще по той причине, что в нем представлено несколько направлений развития нанотехнологий.

Докладчик обратил внимание на то, что специализации, по которым проводятся работы, в разных университетах существенно отличаются. Получается так, что сегодня в петербургских вузах складывается достаточно удачная ситуация, когда можно закрыть широкий спектр направлений по нанотехнологиям, если обеспечить соответствующую интеграцию и взаимосвязь действий между различными вузами. Из этого вытекает требование координации работ в научно-образовательных центрах по выполнению исследований в области наноматериалов и нанотех-



нологий. Что чрезвычайно важно, поскольку научно-образовательные центры — это центры, призванные обеспечить подготовку кадров. Необходимо формирование на базе пяти инновационных университетов недорогой, унифицированной, экспериментальной базы, создание оперативно обновляемых информационных фондов и, соответственно, координация работы секторов образовательных технологий научно-образовательных центров. Это те направления, которые сегодня реально можно реализовать, если активно пойти по пути кооперации.

Еще один принципиально-важный аспект, на который обратил внимание В. П. Афанасьев — это подготовка и переподготовка кадров по направлению «Нанотехнологии». В настоящее время в Санкт-Петербурге проводится подготовка специалистов для nanoиндустрии в каждом вузе по разным программам. На сегодняшний день в Санкт-Петербурге в области нанотехнологий и наноматериалов проводится лицензированная подготовка по 14 направлениям и более чем по 30 магистерским специальностям. Сегодня 7 вузов успешно развивают партнерские связи с научными центрами за рубежом в области нанотехнологий. Соответственно, потенциал вузов позволяет реализовать подготовку кадров для региона в области наноматериалов и нанотехнологий и nanoиндустрии в целом.

В завершение своего выступления В. П. Афанасьев предложил создать гармонизированную сеть научных центров, обеспечивающих подготовку кадров в области нанотехнологий, в первую очередь, базируясь на базе пяти научно-образовательных центрах и создать информационно-аналитический центр для их информационно-методического обеспечения, а также включить в программу подготовки и переподготовки кадров предприятий и организаций Санкт-Петербурга позицию, связанную с подготовкой кадров в области нанотехнологий и наноматериалов.

В своем выступлении технический директор и главный инженер Череповецкого металлургического комбината ОАО «Северсталь» А. Н. Луценко затронул практические аспекты внедрения наноструктурированных материалов в промышленное производство. ОАО «Северсталь» осознает важность этого направления, занимает активную позицию во вза-



имодействии с головными отраслевыми институтами.

Размер зерен электротехнических динамных сталей составляет от 60 до 125 микрон, автомобильных — от 20 до 44 микрон, размер зерен трубных сталей составляет уже от 1 до 10 микрон. Есть предпосылки для создания стали с субмикронной структурой и некоторых сталей, где размер зерна уже составляет менее 0,5 микрон и наностали с размером зерна менее 100 нанометров.

Основными типами конструкционных материалов, обеспечивающих оптимальное сочетание, продолжают оставаться металлические материалы и сплавы. В общем объеме конструкционных материалов они составляют порядка 90 процентов.

Ключевыми продуктами для Череповецкого металлургического комбината являются метизы, трубные стали, конструкционные легированные стали и ряд других. Выявлены новые потребительские предпочтения по коррозионной стойкости, конструкционной надежности. В качестве перспективы рассматривается разработка технологии производства стали с матричной структурой в субмикро- и нанодиапазоне.

Структурными параметрами материалов, требующих изменения для создания наноструктур, являются размеры и формы зерен, кулонов решетчатой дислокации, дефекты на границе зерен, кристаллографическая структура, неоднородность инфраструктуры, изменения фазового состава. Основными методами для регулирования параметров являются легирование химического состава интенсивной пластической деформацией (ИПД), изменение химического состава и термомеханическая обработка стали. ИПД сталей приводит к измельчению зерен вплоть до наноуровня, изменению фазового состава.

Другим инструментом для создания наноструктурированного материала является вариации химического состава стали и термомеханическая обработка. Выступавший рассказал о практических результатах, когда варьирование химсостава и термомеханическая обработка позволяют получать различные структуры. Марка X-80 на сегодняшний день освоена. В апреле 2008 года прошли испытания трубы из стали марки X-80 на Урале. Результаты испытаний показали ее хорошие характеристики.

Новая технология производства метизов с применением наноструктурирования, позволяет сократить количество технологических операций и при этом перейти на простые, более дешевые марки стали, сохраняя и улучшая комплексно-механические характеристики метизов.

Обобщая информацию по программе «Основные направления работ по нанотехнологиям», докладчик отметил, что в настоящий момент «Северсталью» рассматривается 35 предложений по разработке и освоению нанотехнологий, общая сумма финансирования предложений составляет несколько миллиардов рублей. Практически все головные отраслевые структуры представили на рассмотрение свои предложения по реализации этой тематики.

В настоящее время планируется провести аналитический анализ по перспективам использования нанотехнологий в металлургии в России и за рубежом, ознакомиться с опытом работы по нанотехнологиям в России и в мире, сформировать концепцию работ по нанотехнологии, проработать требования к технологическому оборудованию, в том числе с использованием оборудования существующих центров коллективного пользования. Далее планируется приступить к практической реализации отобранных предложений. Выступавший отметил, что опыт совместной работы с научно-исследовательскими организациями по реализации инновационных проектов государственного значения придает уверенность в успешной работе в области разработки наноматериалов и нанотехнологий в металлургии.

Первый заместитель директора РНЦ «Курчатовский институт» Олег Степанович Нарайкин (*на фото*) в своем докладе коснулся организационных проблем. Он отметил, что организационная управленческая структура в РФ на сегодняшний день в области нанотехнологий в значительной степени сформирована и находится на достаточно высоком уровне, примерно соответствующем уровню США.

Президентская стратегия развития nanoиндустрии определяет национальные цели в этой области. Сформирован правительственный совет по нанотехнологиям, основной функцией которого, является мониторинг программы работ, а в необходимых случаях и коррекция путей достижения стратегических целей, определенных президентской инициативой.



Для того чтобы эффективно осуществлять эти функции, при Правительстве РФ созданы три рабочие группы, одна из них — по стратегии развития нанотехнологической сети, другая — по законодательному регулированию, и третья — по новой продукции, по связям с бизнес-сообществом и с промышленностью. Еще одним важнейшим элементом является госкорпорация «Роснано» как специализированный финансовый инструмент, который призван обеспечить необходимые условия для достижения стратегических целей.

По уровню бюджетного финансирования нанотехнологий Российская Федерация осуществляет финансирование в объемах, сопоставимых с объемами финансирования, которое осуществляет правительство США на аналогичные задачи.

Уже сейчас на рынке существует достаточно широкий спектр продукции нанотехнологий, которая реализуется. Таким образом, нанопроекты в некоторой своей части, являются самокупаемыми. Второй сегмент программы — сегмент продукции, которая сейчас находится на выходе или которая будет на рынке через 3–5 лет. Это сфера действия федеральных целевых программ, т. е. уже научно-техническая сфера, где сейчас все планируется на среднесрочную перспективу.

Третий сегмент — сегмент перспективных исследований. Это та часть разработок, которые определяют новую технологическую базу экономики основанной на знаниях. Это, прежде всего, фундаментальные исследования или фундаментально-ориентированные исследования.

Выступавший констатировал, что Российская Федерация на сегодняшний день не утратила возможности и потенциала по производству сложной высокотехнологичной техники для нанодиагностики, нового технологического оборудования, являющегося в некоторой степени прообразом средств производства по нанотехнологиям.

Проблема, по мнению докладчика, состоит в критически устаревшей инфраструктуре и системе организации работы. Сложившаяся на сегодняшний день система управления и существующая законодательная база едва ли способствуют решению этой проблемы.

Деятельность в сфере нанотехнологий в силу ее многоаспектности, многофункциональности, междисциплинарности требует очень высокой координации работ и формирование такой структуры, которая бы обеспечила синергический эффект. Поэтому оптимальным является формирование в стране сетевой структуры. Такая структура национальной нанотехнологической сети уже формируется. Те организации, которые сейчас фигурируют в программе создания инфраструктуры нанотехнологической сети, уже являются узлами сети. Национальная нанотехнологическая сеть вновь введена и детализирована в программе координации работ и президентской инициативе по

стратегии развития нанотехнологической сети. По результатам конкурса, проведенного Министерством образования и науки, определены главные научные организации нанотехнологической сети. Это Российский научный центр «Курчатовский институт», на который возлагается научно-методическая координация исследований и разработок, комплексная научно-технологическая экспертиза, научно-методическое сопровождение проектов международного научно-технического сотрудничества и вопросы подготовки кадров.

По данным национальной нанотехнологической инициативы, в США на 2008 год, \$1400 млн выделено бюджетом, столько же, даже немного больше, выделяет бизнес. У нас же на сегодняшний день такого бизнеса нет. Государство должно взять на себя эту функцию, заменить отсутствующий сегмент. ГК «Роснано» — это, прежде всего, финансовый инструмент такого рода. Основная его функция — финансировать проекты, имеющие серьезное коммерческое значение. Но это не значит, что другие проекты не могут финансироваться. Например могут финансироваться проекты по прорывным направлениям.

Докладчик отметил, что начато формирование координационного научно-технического совета национальной нанотехнологической сети, в которую войдут представители всех участников сети, т. е. и региональных, и отраслевых организаций, научно-образовательных центров. К осени уже будут известны и состав координационного научно-технического совета, и рабочие группы, которые будут осуществлять всю практическую деятельность по координации исследований и разработок по коммерциализации.

Законодательная база, существующая в данной области, не только не помогает, а препятствует реализации полного инновационного цикла, от идеи до конечного продукта. В этой связи очень важным представляется участие координационного совета и национальной нанотехнологической сети в целом в подготовке предложений для внесения изменений в действующее законодательство.

В заключение своего выступления докладчик отметил, что при формировании национальной нанотехнологической сети надо постараться избежать традиционных ошибок, которые обычно сводятся к тому, что создается дорогостоящая мощная исследовательская, технологическая инфраструктура, и забывается обо всем остальном. Забывается о социальной инфраструктуре, организационно-экономической, юридической и т. д.

Уже сейчас проходит согласование проект концепции по формированию национальной нанотехнологической сети где предполагается, что сеть будет сформирована на 6 платформах. Это действительно системный подход, данные платформы будут охватывать все сферы деятельности в области нанотехнологий.

Создание конструкционных и функциональных наноматериалов



И. В. Горин,
*генеральный директор ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей»,
академик РАН*

Введение

Развитие общества неразрывно связано с совершенствованием технологий получения и использования материалов. Бронза, сталь, полимерные и композиционные материалы определили направление эволюционного развития цивилизации. На этом пути было несколько качественных скачков. Сегодня наблюдается следующий этап в области материаловедения, обусловленный накоплением знаний об определяющем влиянии наноструктуры на свойства материалов. Рис. 1 иллюстрирует влияние структуры материала на его эксплуатационные свойства, а в табл. 1 приведены значения свойств некоторых материалов при различных состояниях их структуры.

Развитие технологий, связанных с исследованием, созданием и использованием наноматериалов в ближайшие годы приведет к кардинальным изменениям во многих сферах человеческой деятельности — в электронике, информатике, материаловедении, энергетике, машиностроении, биологии, медицине, сельском хозяйстве, экологии. Нанотехнологии рассматриваются ведущими странами как рычаг для приобретения мирового экономического, финансового, политического и военного господства.

Важным шагом на пути преодоления Россией прогрессирующего отставания в области нанотехно-

логий и перехода экономики от сырьевой зависимости к инновационному развитию является создание в стране национальной нанотехнологической сети (ННС) с узловыми центрами на базе предприятий, сохранивших высокий научный и образовательный потенциал, а также лидирующее положение в соответствующих областях своей деятельности. В качестве одного из инструментов для достижения указанной цели на данном этапе выступает Федеральная целевая программа «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в РФ на 2008–2010 гг.», утвержденная постановлением правительства № 498 от 2 августа 2007 г.

В рамках программы определены головные организации отраслей по основным направлениям развития нанотехнологий. ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» определен головной организацией отрасли по направлению конструкционных наноматериалов. В рамках этой программы на базе института создается «Научно-технологический комплекс по разработке конструкционных наноматериалов» («Наноцентр-Прометей»), открытие первой очереди которого состоялось 16 апреля 2008 г. Проект «Наноцентра» рассчитан до 2010 г. и делится на четыре взаимосвязанных пусковых комплекса, последовательно создаваемых и вводимых в эксплуатацию.

В 2007 г. создан и в этом году введен в эксплуатацию пусковой комплекс № 1, инфраструктура которого формируется в соответствии с современными требованиями приборно-инструментальной, информационной, нормативно-правовой и кадровой составляющими наноиндустрии в составе ННС для обеспечения

Таблица 1

Фундаментальные свойства материалов в аморфном, нанокристаллическом и крупнокристаллическом состояниях

Свойство	Материал	Значение		
		А	НК	КК
Магнитная проницаемость, μ	Fe-Cu-Nb-Si-B	2000	35000	500
Коэффициент диффузии, m^2/c	Медь в никеле	–	$1 \cdot 10^{-14}$	$1 \cdot 10^{-20}$
Предел растворимости при 293 К	Углерод в α -Fe	–	1,2	0,06
Модуль Юнга, ГПа	Cu	–	115	128
Твердость, ГПа	Fe-Cu-Nb-Si-B	8	14	–

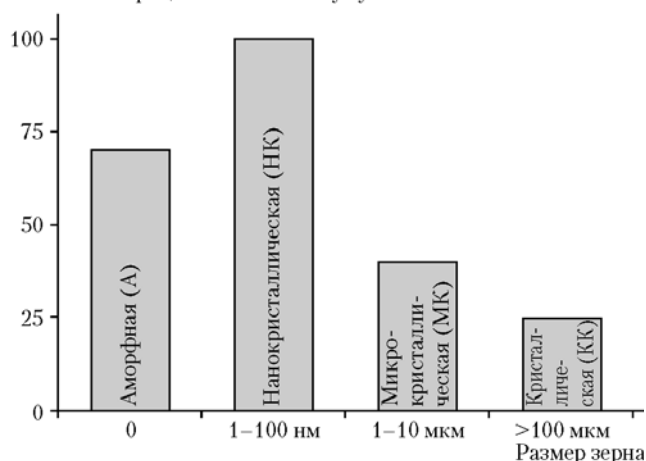


Рис. 1. Влияние структуры материала на его эксплуатационные свойства

печения компьютерного моделирования, получения и исследования структуры и свойств металлических и полимерных конструкционных наноматериалов, модифицированных наноструктурированными пленками и покрытиями различного функционального назначения.

Инфраструктура пускового комплекса № 2, формируемая в 2008 г., осуществляет функции координатора и исполнителя в области конструкционных полимерных нанокомпозитов, создание которых происходит одновременно с изготовлением конструкций из них. Научно-исследовательская база комплекса формируется с целью моделирования и оптимизации структур конструкционных полимерных нанокомпозитов широкого спектра применения, получения и исследования структур и свойств конструкционных полимерных нанокомпозитов и опытно-экспериментальной отработки новых нанотехнологий, создания наноструктурированных триботехнических композиций, разработки опытных технологий получения наномодифицированных пресс-материалов.

Пусковой комплекс № 3 создается в 2009 г. для выполнения координаторских и исследовательских функций по направлению металлических нанокомпозитов и формируется с целью разработки технологических процессов получения и исследования нанофазных структур в конструкционных металлических материалах методами объемного и поверхностного модифицирования.

В 2010 г. вводится в эксплуатацию пусковой комплекс № 4, который формируется с целью изучения и разработки технологических процессов получения конструкционных материалов и композитов с наноструктурой методами интенсивной пластической деформации (ИПД) и порошковой металлургии, а также технологических процессов сварки наноструктурных материалов. В состав комплекса предполагается также включить лаборатории прецизионной аттестации структуры и свойств наноматериалов и стандартных испытаний конструкционных наноматериалов и материалов с наноструктурными покрытиями.

Формируемая инфраструктура головной организации (узла) в виде крупного специализированного научно-технологического центра по разработке конструкционных наноматериалов обоснованно обеспечит форсированную организацию материально-технического базиса национальной нанотехнологической сети отрасли по данному направлению. Опираясь на собственный и учитывая мировой опыт в институте будут развиваться технологии получения конструкционных наноматериалов на основе современных подходов, которые представлены ниже.

Основные подходы к получению конструкционных наноматериалов

Если исходить из того, что конструкционный материал представляет собой, прежде всего, некоторый объем, занимаемый твердым телом — металлом, полимером, керамикой и т. д., то в первом приближении можно выделить, как минимум, четыре основных способа управления свойствами и созданием такого



Рис. 2. Основные подходы в получении конструкционных наноматериалов

материала. Во-первых, это управляемое создание наноструктуры в объеме материала, во-вторых — направленное создание материала, в-третьих — инжиниринг поверхности, и в-четвертых — соединение материалов. Каждый способ может охватывать несколько более конкретных подходов, которые представлены на рис. 2.

Представленные подходы позволяют выбрать перспективные технологии получения конструкционных наноматериалов. Сегодня к таким технологиям можно отнести следующие:

1. Управляемое создание наноструктуры в объеме материала:
 - ♦ прецизионная термическая обработка;
 - ♦ интенсивная пластическая деформация;
 - ♦ введение наночастиц.
2. Получение исходных материалов:
 - ♦ дезинтеграторно-активаторная технология измельчения;
 - ♦ высокоскоростная закалка из расплава;
 - ♦ получение нанопорошков химическим, плазмохимическим, электроискровым и другими методами.
3. Направленное создание материала:
 - ♦ лазерное послойное создание материала заданного состава, структуры и формы (SLS, SLM и LENS технологии);
 - ♦ спекание материала в присутствии электрического поля (Spark Plasma Sintering, Field Assisted Sintering).
4. Инжиниринг поверхности материала:
 - ♦ нанесение функционально-градиентных покрытий;
 - ♦ поверхностная обработка и упрочнение.
5. Соединение материалов:
 - ♦ лазерная сварка и гибридные виды сварки;
 - ♦ сварка трением.
6. Диагностика наноматериалов.

Представленный перечень достаточно полно охватывает перспективные технологии, которые позволяют проводить исследования и разработки по созданию конструкционных наноматериалов на базе наноцентра.

Рассмотрим основные возможности и преимущества перечисленных технологий.

Управляемое создание наноструктуры в объеме материала

Одними из наиболее перспективных методов создания наноструктурированных в объеме конструкционных материалов являются различные модификации метода интенсивной пластической деформации (ИПД), разработкой и исследованием которого в ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» занимаются уже много лет. Научной основой для понимания закономерностей процесса формирования наноструктур при интенсивной пластической деформации, выбора схем деформирования и оптимизации технологических режимов является разработанная ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» теория фрагментации – феномена разбиения в ходе интенсивной пластической деформации однородно ориентированных зерен на сильно разориентированные между собой фрагменты, поперечные размеры которых близки к 100–200 нм, а углы разориентировки увеличиваются с ростом деформации по линейному закону: $\theta = \alpha (\varepsilon - \varepsilon_0)$, где ε – истинная логарифмическая макродеформация, соответствующая началу фрагментации, α – безразмерный параметр, определяющий скорость развития фрагментации.

При температурах ниже температуры рекристаллизации закономерности фрагментации носят универсальный характер и сохраняются при любых способах деформирования для конструкционных материалов любого химического состава, кристаллического строения и исходной структуры (рис. 3).

В общем случае, при специальной термомеханической обработке (ТМО) сталей с фазовым превра-

щением создание фрагментированных структур может быть реализовано путем измельчения иерархически сопряженных элементов разного масштабного уровня. По характеру структурного отклика на термомеханическое воздействие можно выделить четыре эффекта:

- 1) измельчение аустенитного зерна в процессе динамической рекристаллизации в режиме высокотемпературной ТМО;
- 2) фрагментация аустенита при пластической деформации (ПД) ниже температуры рекристаллизации;
- 3) формирование дисперсных структур за счет фазового превращения в процессе охлаждения;
- 4) формирование развитой фрагментированной структуры в конечной (превращенной) фазе при ПД ниже температуры A_{r3} .

Таким образом, принципы создания наноструктурированных материалов предполагают комплексный подход к созданию нанотехнологий, включающий процессы сталеплавильного комплекса, интенсивной пластической деформации и специальной термической обработки.

Получение исходных материалов

Успехи в разработке нанотехнологий во многом зависят от успехов в создании исходных наноматериалов в виде порошков, волокон, нанопроводов. Данные наноматериалы в дальнейшем выступают теми «кирпичиками» из которых формируется наноструктурированный конструкционный материал при помощи специальных технологических процессов в

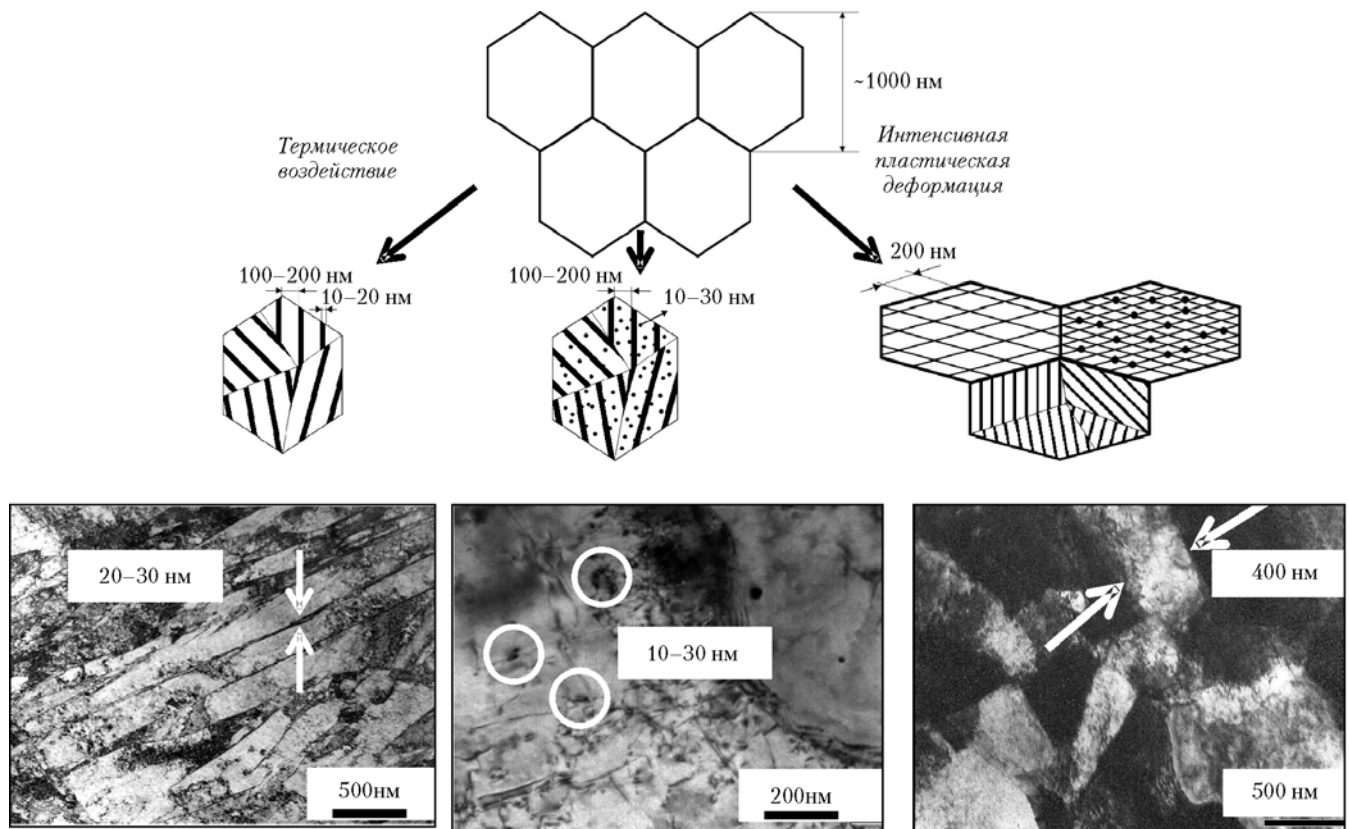


Рис. 3. Управляемое создание наноструктуры в объеме материала

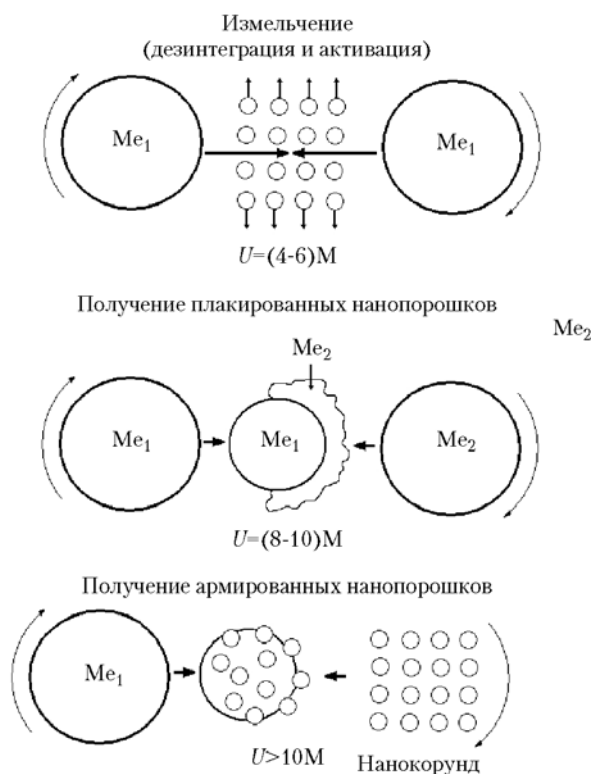


Рис. 4. Схема процессов, осуществляемые в высокоскоростных дезинтеграторных установках при измельчении и механосинтезе наноструктурированных и наноразмерных дисперсных материалов (U – средняя скорость разгона металлических фрагментов (Me))

рамках основных подходов, о которых упоминалось в предыдущем разделе.

Наиболее перспективные, по нашему мнению, технологии получения наноразмерных и наноструктурированных порошков следующие:

- универсальная дезинтеграторно-активаторная (УДА) технология;
- плазмохимический синтез;
- химические технологии.

Сущность УДА-технологии сводится к обработке вращающимися навстречу друг другу со скоростями до 24000 об/мин. ударными роторами. Скорости обработки материалов при этом превышают 10 скоростей звука (10М). Разработанные технологические схемы позволяют проводить измельчение до наноразмеров практически любых материалов; получать композитные порошки или достигать объемно-поверхностного армирования порошковых материалов фракции 10–60 мкм твердыми наночастицами фракцией от 10 до 100 нм.

Следует отметить, что описанный технологический принцип известен и широко используется для получения дисперсных порошковых материалов в дезинтеграторных установках, выпускаемых промышленностью. Однако развитие современной приводной техники, в частности, создание мощных высокооборотных приводов, позволило создать высокоскоростные дезинтеграторные установки с частотой вращения рабочих роторов до 400 с^{-1} и выше. На таких установках при выборе соответствующих скоро-



Рис. 5. Высокоскоростной воздушный дезинтегратор Д18 с частотой вращения роторов 300 с^{-1}

стных режимов можно решать ряд задач по измельчению (дезинтеграция и активация) и механосинтезу с получением наноразмерных, а также армированных и плакированных наноструктурированных порошков (рис. 4).

Для реализации этих задач в части получения наноразмерных и наноструктурированных порошковых материалов создан специализированный участок получения нанопорошков, оснащенный современным технологическим и диагностическим оборудованием, обеспечивающим все звенья технологической цепочки от предварительного дробления и измельчения до



Рис. 6. Высокоскоростной дезинтегратор 1А5 для работы в среде инертных газов и вакууме с частотой вращения роторов 400 с^{-1}

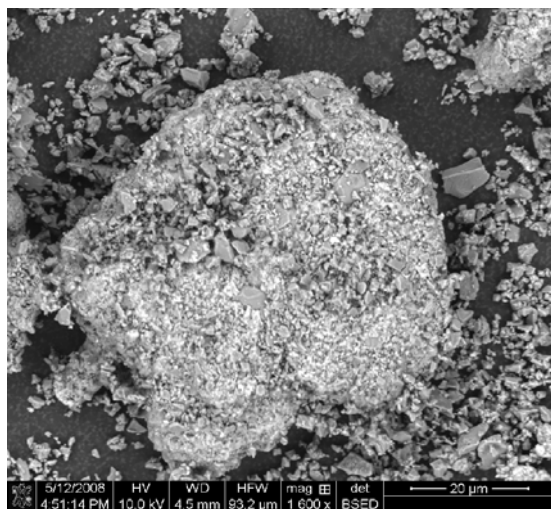


Рис. 7. Наноструктурированный порошок системы $Al-Al_2O_3$ полученный с использованием высокоскоростного дезинтегратора Д18

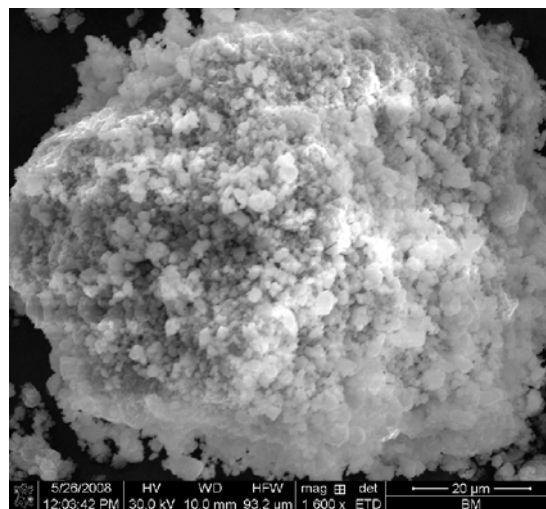


Рис. 8. Наноструктурированный порошок системы $Al-Al_2O_3$ полученный с использованием шаровой мельницы

получения конечного продукта в виде наноразмерных и наноструктурированных порошков. При оперативной диагностике используются приборы высокого разрешения для определения формы, удельной поверхности, размера, структуры, фазового и химического состава частиц (лазерные дифрактометры, электронные микроскопы (ТЕМ, SEM), рентгеновские дифрактометры и др.) на каждом этапе технологической цепочки.

Узловым элементом технологической схемы являются высокоскоростные дезинтеграторные установки для работы в воздушной среде типа Д18 (рис. 5) (с частотой вращения роторов до 300 с^{-1}) и установки типа 1А5 для работы в среде инертных газов и в вакууме (рис. 6) (с частотой вращения роторов до 400 с^{-1}). На таких установках, например, в ЦНИИ КМ «Прометей» был получен наноструктурированный порошок системы $Al-Al_2O_3$, используемый для нанесения износ- и коррозионностойких покрытий (рис. 7–8).

Участок также оборудован и классическими установками для получения наноразмерных порошковых материалов — планетарными, шаровыми и вибрационными мельницами. Эти установки позволяют получать нанокристаллические порошки различных материалов: металлов, сплавов, интерметаллидов, керамики, композитов. При этом средний размер получаемых порошков может составлять от 200 нм до 5–10 нм. Используемые в установках принципы механического истирания и механического сплавления позволяют достигать полной растворимости в твердом состоянии таких элементов, взаимная растворимость которых в равновесных условиях пренебрежимо мала. Особенностью процесса получения нанопорошков на данных установках является очень значительное время размолла. Процесс может занимать от 4 до 100 часов в зависимости от вида обрабатываемого материала. Данные установки, также используются для механосинтеза наноструктурированных порошковых материалов. На рис. 7–8 представлены фотографии наноструктурированного порошка сис-

темы $Al-Al_2O_3$ полученного на шаровой мельнице (время технологического цикла 4 часа).

Примером еще одной перспективной технологии получения наноразмерных порошков является плазмохимический синтез (также известный как метод испарения–конденсации), основной принцип которого заключается в реализации химических процессов окисления–восстановления в среде плазмообразующего газа (аргон, азот, кислород) при температуре от 1200 до 4000 К. В результате реакции могут быть получены нанопорошки чистых металлов (Cu, W, Mo и др.); нитридов и карбонитридов Ti, Zr, Hf, Nb; оксидов Ti, Zr, Si, Ge, Sn и др.; а также композиционные порошки системы металл–неметалл. Основы метода были заложены еще в СССР в институте металлургии и материаловедения РАН им. А. А. Байкова (ИМЕТ РАН), в котором до сих пор продолжают успешные исследования в этом направлении. Управляемая конденсация парогазовых смесей из плазменных струй обеспечивает принципиальную возможность получения наночастиц с размером близким к критическому зародышу кластерного размера. Плазмохимический синтез обеспечивает получение порошков сферической формы, что, наряду с высокой производительностью процесса, в ряде случаев, является решающим преимуществом. Принципиальная схема процесса приведена на рис. 9.

Технология синтеза нанопорошков металлов и их соединений основана на взаимодействии дисперсного сырья с плазменной струей газа-реагента. В объеме реактора происходит испарение частиц сырья, высокотемпературные химические реакции, приводящие к образованию паров целевого продукта, их последующая конденсация в виде наночастиц. Сформировавшиеся наночастицы осаждаются на стенках реактора и на фильтре, откуда производится их периодическое удаление в приемные сборники получаемых нанопорошков.

Прекурсором для процесса плазмохимического синтеза является порошок размером менее 60 мкм. Возможности синтеза во многом определяются хими-

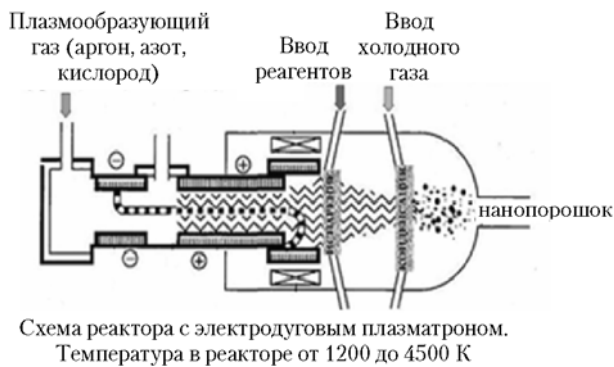


Рис. 9. Схема процесса плазмохимического синтеза

ческим составом плазмообразующего газа. Так, термическая плазма, содержащая углеводороды, является перспективной средой для получения карбидов, карбонитридов и металлуглеродных смесей для последующего твердофазного синтеза карбидных наносистем. Основными плазмообразующими газами для управляемой конденсации в плазме являются азот, воздух, смеси водород–аргон, водород–азот, кислород–аргон. Достаточно широкий перечень используемых газов определяет спектр составов получаемых наночастиц: чистые металлы, нитриды и карбонитриды металлов, оксиды металлов, а также композиционные порошки системы металл–неметалл. Освоены технологические процессы получения следующих наноразмерных порошковых материалов:

- металлы: W, Mo, Ni, Co, Zn, Cu, Ta, Nb с размером частиц от 20 до 100 нм;
- оксиды металлов: Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 с размером частиц от 50–200 нм;
- соединения: TiC_xNy , TiN, TaC, NbC с размером частиц от 30 до 200 нм и W–C с размером частиц от 30 до 200 нм.

Возможность контроля конечных свойств полученных наноразмерных порошков путем изменения управляющих параметров, в том числе обеспечивающих необходимое пересыщение систем, является одним из важнейших преимуществ метода. Плазмохимический синтез обеспечивает получение порошков сферической формы, что, наряду с высокой производительностью процесса, в ряде случаев, является существенным преимуществом. Также следует отметить узкое распределение полученных в процессе синтеза частиц по размерам.

Наконец, третьей технологической схемой получения нанопорошков являются химические технологии. Одним из наиболее универсальных и доступных методов в химических технологиях получения нанопорошков является золь-гель метод. Нанопорошки получают из растворов солей гидроксидов или алкоксидов металлов. В результате направленного термического воздействия происходит образование нанопорошков в виде чистых металлов, оксидов или гидроксидов, нитридов или других соединений. Схема и фотография одной из лабораторных установок, используемых для реализации золь-гель метода, приведена на рис. 10.



Рис. 10. Схема установки для проведения гидролиза золя при получении наноразмерных порошков

Метод включает в себя следующие технологические операции: получение коллоидного раствора (золя) путем одновременного смешения электролитов; проведение гидролиза полученного золя в течение необходимого времени (рис. 9); фильтрация и очистка золя от электролита; сушка золя с помощью органических веществ или с применением термических методов и переводение золя в гель; термическая обработка геля при необходимой температуре (прокаливание). Для получения золя проводят гидролиз солей слабых оснований ($AlCl_3$, $TiCl_4$, $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ и т. д.) или алкоколятов. Можно использовать и другие реакции, приводящие к образованию гелеобразных осадков. Для сдерживания процессов взаимодействия наночастиц с окружающей средой сушку проводят в органической среде.

Золь-гель метод в настоящее время широко используют для получения наночастиц из неорганических неметаллических материалов. Многостадийность открывает возможность управления размером частиц и их структурой на наноуровне. Перспективно проведение гидролиза солей слабых оснований в неводных средах при малой концентрации твердой фазы. Это замедляет процессы роста частиц и их агрегации. Гидролиз разбавленных спиртовых растворов алкоксидов в большом избытке воды позволяет получать достаточно устойчивые золи наночастиц. Высокая степень неравновесности обеспечивает получение частиц с наноразмерами, а малая объемная концентрация наночастиц предохраняет их от агрегации. При проведении гидролиза разбавленных алкоксидов в водоспиртовых растворах с соотношением «вода – алкоксид», близким к стехиометрическому, проявляется обратный гидролизу процесс взаимодействия гидроксида металла со спиртом – этерификация. Это может приводить как к уменьшению размеров частиц, так и к их росту.

Преимуществом этого метода является простота, экономичность, экологическая безопасность процесса, а также, возможность совмещения процессов получения нанопорошков с нанесением функциональных покрытий на изделия сложной формы. Нанесение покрытий осуществляется методом пропитки в золе подложки в течение различных периодов времени с одновременным перемешиванием золя. В дальнейшем покрытия отжигаются при нужной температуре в течение некоторого времени.

Вышеописанный метод имеет перспективы применения в водородной энергетике для нанесения на конструкционные элементы объемно-пористых покрытий различного функционального назначения, нанесения активаторов на носители катализаторов конверсии углеводородного топлива, а также в сфере создания материалов-геттеров для систем накопления и хранения водорода.

Полученные тремя вышеописанными методами дисперсные материалы в виде наноразмерных и наноструктурированных порошков используются в качестве исходных для нанесения функционально-градиентных наноструктурированных покрытий, объемного модифицирования расплавов металлов и сплавов и компактирования нанопорошков различными методами.

Направленное создание материала

Лазерный синтез

Методы скоростного изготовления трехмерных деталей сложной конфигурации и структуры с использованием порошков, спекаемых (или сплавляемых) пучком лазерного излучения, управляемым компьютером, имеют почти двадцатилетнюю историю развития. Вначале эти методы были предназначены для быстрого изготовления трехмерных моделей реальных объектов из порошков легкоплавких полимерных материалов. Эти модели использовались для экспрессного выявления ошибок конструирования, оценки внешнего вида деталей и степени их совместности в сборке. По этой причине на первых этапах развития методы 3D-формирования деталей из нанопорошков получили в зарубежной литературе название RP-методы (от английских слов Rapid Prototyping, означающих быстрое изготовление прототипа).

В последние годы основное внимание за рубежом уделяется изготовлению такими методами не моделей, а реальных коммерческих продуктов, в том числе, деталей, сформированных из порошков различных металлов (Al, Ti, Ni, Fe, Cu, W) и керамики.

Преимущество методов лазерного 3D-формирования состоит в том, что конечный продукт в виде детали формируется из порошка без каких-либо приспособлений и инструментов, а лишь путем послойного селективного наращивания материала, которое производится под управлением компьютера в соответствии с 3D компьютерными чертежами, выполненными в стандарте САД. Здесь термин «селективное наращивание» означает, что наращивание производится под действием лазерного излучения лишь в тех местах сечения детали, где в данном слое отсутствуют внутренние полости. К настоящему времени известно несколько лазерных технологий быстрого 3D-формирования деталей. Они отличаются друг от друга используемыми механизмами отвердевания порошка, наличием или отсутствием полного расплавления порошка, способом подачи порошка в зону лазерного воздействия, наличием или отсутствием нагрева порошка иными (помимо лазерного) источниками энергии. В литературе эти технологии назы-

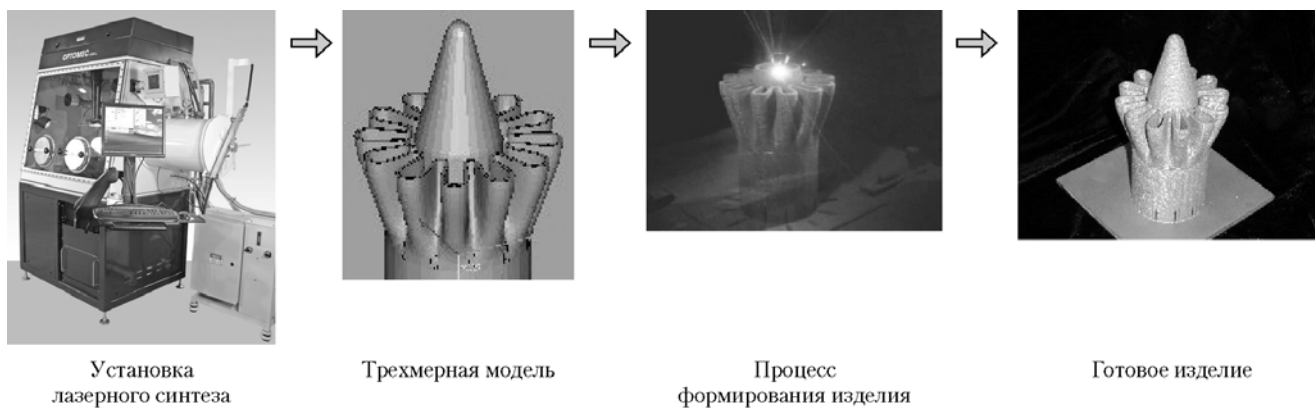
ваются по-разному, в зависимости от фирмы, занимающейся разработкой технологии, и тех или иных особенностей процесса.

Для изготовления металлических изделий, выполненных из порошков соединений Fe–Cu, инструментальных сталей, нержавеющей стали, сплавов титана, сплавов на основе никеля, сплавов на основе кобальта, а также алюминия используются, в основном, три технологии. Это селективное лазерное спекание (SLS, от Selective Laser Sintering), селективное лазерное плавление (SLM, от Selective Laser Melting), и трехмерное лазерное покрытие (3D Laser Cladding) или иначе LENS technology (Laser Engineering Net Shaping). Указанные методы позволяют быстро (в течение нескольких часов) изготавливать сложные металлические детали, причем в случае двух последних методов изготавливаемые из порошков детали по своим свойствам (плотность, твердость, упругость и т. д.) практически не отличаются от соответствующих металлических деталей, изготавливаемых обычными средствами, и в ряде случаев не требуют никакой финишной обработки. При этом следует отметить, что при использовании лазерного излучения обеспечиваются большие скорости нагрева и охлаждения материала — 10^3 – 10^5 К/с. Такие скорости дают возможность управлять структурой материала изделия в процессе его получения.

В последние годы порошковые методы лазерного 3D-формирования находят все более широкое применение в аэрокосмической и автомобильной промышленности, а также в биомедицине. Особое преимущество лазерные порошковые методы изготовления имеют в тех случаях, когда необходимо быстро изготовить единичные изделия (например, индивидуальные импланты костей или зубов), а также детали, со сложной внутренней структурой, требующиеся в малых количествах (например, сложные по форме детали космических аппаратов), или детали, состоящие из нескольких металлов одновременно.

Электроразрядное спекание нанопорошков (SPS-синтез)

Методы компактирования нано- и наноструктурированных порошков, позволяющие сохранить структуру и размер частиц порошка, представляют в настоящее время наибольший интерес. К числу таких методов относится электроразрядное спекание (ЭРС) или SPS-синтез. Преимущество данного метода перед другими заключается в том, что спекание происходит в присутствии электрического тока. Использование импульсов постоянного тока приводит к дополнительному увеличению диффузионной активности спекания при прессовании. Возбужденные импульсами процессы в узлах контакта частиц порошка (джоулев нагрев, инициация плазмы, электромиграция и т. д.) позволяют получать широкий спектр консолидированных материалов. Благодаря такому способу спекания требуются значительное более низкие температуры, а также значительно меньшее давление, чем при традиционном горячем прессовании и спекании.



Установка лазерного синтеза

Трехмерная модель

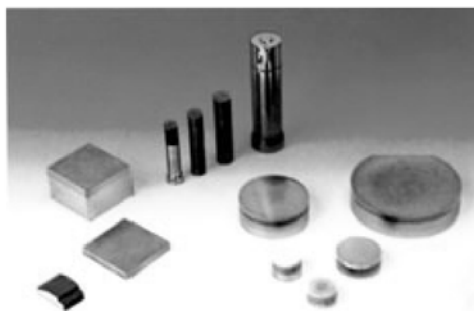
Процесс формирования изделия

Готовое изделие

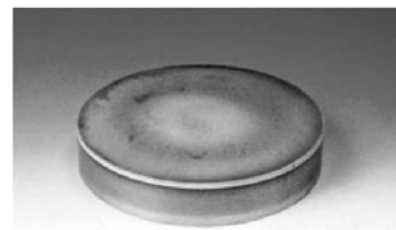
КОМПАКТИРОВАНИЕ НАНОПОРОШКОВ



SPS-синтез



Функционально-градиентные материалы



Порошковый катод

Рис. 11. Технология направленного создания конструкционных наноматериалов

Это позволяет получать материалы с исключительными свойствами, например:

- спекание нанопорошков без значительного роста зерна;
- функционально-градиентные материалы;
- композитные материалы;
- новые карбидные, оксидные и нитридные материалы;
- интерметаллиды;
- структурная и функциональная керамика.

Для решения этих задач «Наноцентр-Прометей» оснащается современным оборудованием по лазерному и ЭРС синтезу (рис. 11).

Инжиниринг поверхности материала

Для получения функционально-градиентных наноструктурированных покрытий в «Научно-технологическом комплексе по разработке конструкционных материалов» ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» используется целый ряд нанотехнологий, в том числе с использованием нанопорошков, полученных указанными выше методами, в качестве исходных материалов.

Особенностью разработанных нами технологий получения наноструктурированных покрытий является, во-первых, существенное снижение температуры гетерофазного переноса при использовании мето-

да сверхзвукового холодного газодинамического напыления (ХГДН) и, во-вторых, уменьшение времени пребывания в условиях высоких температур (метод скоростного микроплазменного напыления). При этих условиях удастся сохранить наноструктуру исходных порошков и, соответственно, высокие свойства функционального покрытия.

При методе сверхзвукового ХГДН температура частиц в гетерофазном потоке, как правило, не превышает 110°C , а скорости переноса достигают двух скоростей звука. Такие температурно-скоростные режимы обеспечивают создание беспористых покрытий, что позволяет получать покрытия с высокими показателями износо- и коррозионной стойкости.

Метод основан на эффекте образования прочного металлического слоя при взаимодействии двухфазного набегающего сверхзвукового потока с поверхностью. Частицы порошка металла (или смеси металл – оксиды металлов), находящиеся в твердом состоянии, ускоряются потоком воздуха, выходящим из сопла Ловаля, до скоростей $400\text{--}700\text{ м/с}$ и направляются на подложку. При этом температура переносимых частиц не превышает 110°C . Использование для напыления наноструктурированных композиционных порошковых материалов позволяет создавать покрытия с более высокой (3–5 раз) твердостью а использование 2 дозаторов позволяет получать градиентные

покрытия с более высокой адгезией за счет образования переходного слоя. Принципиальная схема установки сверхзвукового «холодного» газодинамического показана на рис. 12.

Этот метод лишен многих недостатков высокотемпературных плазменных методов и имеет следующие достоинства:

- частицы переносятся в «холодном» состоянии со скоростями переноса до 500–700 м/с;
- разогрев частиц происходит за счет преобразования кинетической энергии в тепловую в процессе взаимодействия с поверхностью, т. е. непосредственно при формировании покрытия;
- технология обеспечивает напыление наноструктурированных покрытий из Al, Zn, Pb, Ni, Cu, Co, Fe и их сплавов армированных мелкодисперсными окислами;
- возможность получать покрытия, полностью адекватные по составу напыляемому порошку;
- отсутствие заметного термического воздействия на материал подложки, не приводящей к деформации изделия (температура подложки в процессе напыления менее 150°С);
- низкое энергопотребление (до 2 кВт);
- возможность получать покрытия в 4–5 раз превышающие твердость основного металла;
- пористость покрытий не превышает 5%;
- адгезия покрытий достигает 80 МПа.

Указанные преимущества метода ХГДН позволяют решать широкий спектр материаловедческих задач при создании наноструктурированных градиентных износостойких покрытий с управляемой структурой. Сохранение исходной структуры напыляемого материала создает предпосылки для получения конструкционных материалов с более высокими эксплуатационными характеристиками. Для примера введение наночастиц электрокорунда до 50% веса в сплавы алюминия повышает твердость покрытия в 1,5–2 раза, пористость снижается до 1,5%. Адгезионная прочность покрытия к подложке повышается на 30–50% и значительно превышает аналогичный параметр у методов газотермического напыления. Это объясняется предварительным созданием ювенильной высокоразвитой поверхности (рис. 13) за счет введения нанопорошка корунда в исходный порошок. Повышение плотности покрытий объясняется разрушением оксидных пленок на поверхности частиц алюминия и увеличении за счет этого сил сцепления, что также повышает и когезию покрытия.

Как видно из представленных фотографий, высота неровностей в исходном состоянии достигает 7 мкм, после напыления покрытия совместно с наночастицами корунда (<1 мкм) — не превышает 30–40 мкм.

Полученные методом ХГДН покрытия весьма перспективны для решения современных проблем инженерии новых материалов в машиностроении.

В «Наноцентре-Прометей» создан технологический модуль на базе установок ХГДН для исследова-

Схема установки сверхзвукового «холодного» газодинамического напыления (ХГДН)

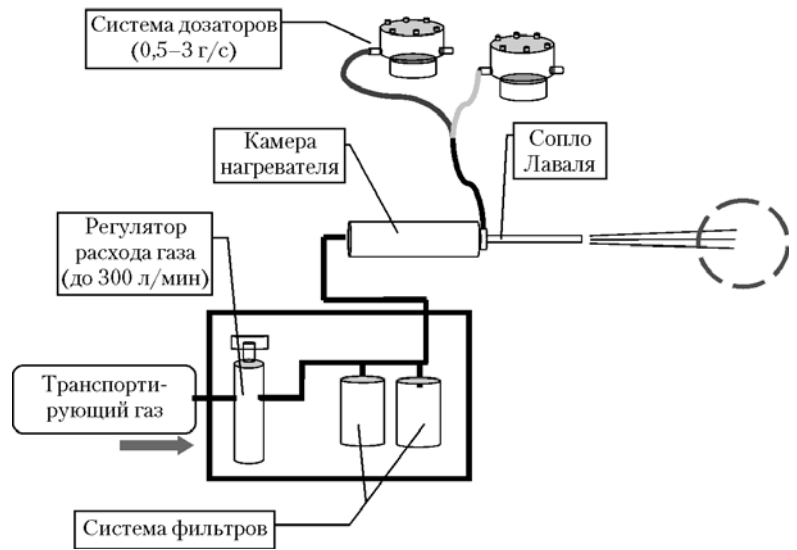


Рис. 12. Принципиальная схема установки сверхзвукового холодного газодинамического напыления

ния и разработки технологии нанесения функциональных покрытий для пар терния, арматуры, восстановления и ремонта узлов и деталей машин.

Такие же результаты достигаются нами при использовании другого метода нанесения наноструктурированных покрытий — метода скоростного микроплазменного напыления с использованием порошковых материалов на основе чистых металлов, сплавов, оксидов и карбидов металлов (рис. 14).

Отличительной особенностью этого метода от традиционного плазменного напыления является, как сказано выше, менее интенсивный разогрев частиц напыляемого материала и малое время пребывания частиц в плазменной струе. За счет этого удается сохранить исходную наноструктуру и получать с использованием наноструктурированных порошков покрытия с высокими эксплуатационными свойствами. Так, например, с помощью микроплазменного напыления нами были получены электродные материалы с нанокристаллической структурой на основе сплавов системы Ni–Al для альтернативных источников энергии, объемно-пористые материалы ката-

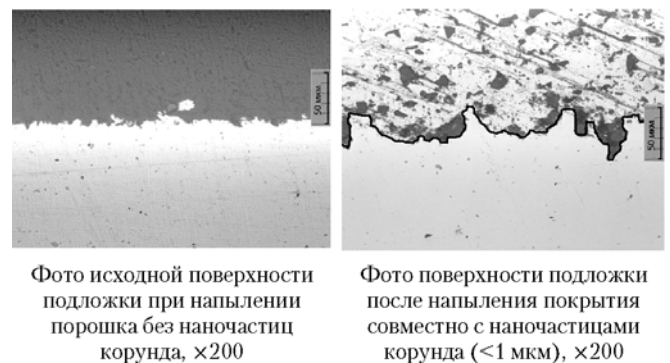


Рис. 13. Фотографии поверхности при напылении методом ХГДН



Рис. 14. Схема технологического процесса микроплазменного напыления наноструктурированных покрытий

литического класса для термохимических реакторов и многослойные композиты для конденсаторов.

Весьма перспективен, с нашей точки зрения, метод электрохимического легирования окисляемой поверхности, при котором реализуются микроплазменные разряды на поверхности анода, что обеспечивает модифицирование поверхности вводимыми в электролит наночастицами и существенно повышает потребительские свойства обрабатываемых изделий.

Технология плазменно-химического легирования поверхности используется для защиты изделий из цветных конструкционных металлов и сплавов на их основе (Ti, Al, Mg, Nb, Zr) за счет формирования на поверхности наноструктурированного покрытия толщиной до 20 мкм. Обработка поверхности осуществляется в режиме анодной поляризации (до 1000 В). Поляризация осуществляется с помощью программируемого высоковольтного источника напряжения. При этом возникает множество устойчивых плазменно-искровых разрядов под слоем электролита на границе металл-электролит. Плюс источника питания подается на изделие. В процессе увеличения толщины покрытия начальный рабочий ток уменьшается. Параметры источника напряжения корректируются с помощью блока управления с цифровым регулятором. Для получения специальных свойств поверхности (низкая электропроводность, высокая твердость, коррозионная и эрозионная стойкость, сорбционная способность) в электролит вводят нерастворимые компоненты, формирующие эти свойства, в виде нанодисперсных порошков. В процессе направленной обработки поверхности могут быть использованы практически все соединения с низкой электропроводностью (Al_2O_3 , TiO_2 , Cr_2O_3) и не содержащие депассивирующие элементы. Электролитом может быть насыщенный раствор Na_3PO_4 . Количество нанопорошка определяется поверхностью обрабатываемого образца и составляет 100 гр/год. При интенсивном

перемешивании раствора мелкодисперсные порошки попадают в зону микроплазменного разряда, образуя наноструктурированное покрытие. По сравнению с другими известными способами модификации металлической поверхности (основанных на других физических явлениях) такие как лазерная обработка, бомбардировка ионами больших энергий и др. данная технология микроплазменной электролитической обработки оказывается в десятки раз дешевле и экологически безопаснее, что делает ее высококонкурентоспособной. Технология по своей сути является новой и прямых аналогов не имеет.

Использование указанных методов позволяет решать еще одну актуальную материаловедческую задачу по снижению шумов в корпусных конструкциях и функциональных элементах за счет нанесения наноматериалов с высоким уровнем вибродемпфирующих и звукопоглощающих характеристик.

Для решения всех вышеперечисленных задач «Наноцентр-Прометей» оснащается целым комплексом современного технологического и диагностического оборудования, а также расчетными программными комплексами для математического моделирования указанных процессов.

Заключение

Создаваемый на базе ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» Научно-технологический комплекс головной организации (узла) ННС по направлению конструкционные наноматериалы является уникальным в мировой практике государственным Научным центром, в котором в едином научно-технологическом пространстве скоординированно сконцентрированы на основе единых системных научно-технологических, технических и организационно-экономических принципах основные известные на сегодняшний день перспективные направления и технологии создания и обработки конструкционных наноматериалов; специальное экспериментальное, диагностическое, метрологическое и научно-технологическое оборудование, эффективная эксплуатация и использование которого проводится в интересах организаций в составе ННС; системы поддержки информационных обменов между организациями в составе ННС в целях повышения эффективности их деятельности, подготовки кадров, коммерциализации и популяризации знаний в области технологий конструкционных наноматериалов. Это позволит комплексно и оперативно решать сложнейшие научно-технические проблемы в этом принципиально новом направлении современного материаловедения и создавать для машиностроения не имеющие аналогов наноматериалы конструкционного назначения.

От фундаментальных исследований

к разработке новых материалов и технологий

В. Я. Шевченко,
директор ИХС РАН,
академик



Я. Б. Данилевич,
академик



В. В. Гусаров,
чл.-корр. РАН



В. А. Жабрев,
чл.-корр. РАН



Ордена Трудового Красного Знамени Институт химии силикатов им. И. В. Гребенщикова Российской академии наук

В статье представлены достижения Института химии силикатов в области фундаментальных и прикладных исследований, выполнения научно-технических и инновационных проектов в области нанотехнологий.

Работы Института в области теоретического и экспериментального изучения наносостояния вещества находятся на уровне передовых мировых результатов химии, физики и биологии.

Изучение химических и физических аспектов наноразмерного состояния вещества, структуры и свойств наночастиц осуществляется на базе Центра коллективного пользования по исследованию наночастиц, наноструктур, нанокмполитов.

Задачи практической реализации разработанных в Институте технологий решает Инновационно-технологический центр «Новые материалы и химические технологии».

The achievements of I. V. Grebenshchikov Institute of Silicate Chemistry RAS in the field of fundamental and applied researches, applied and innovative projects in the field of nanotechnologies are presented in the article.

Fundamental works of the Institute in the field of theoretical and experimental studying nanostate became a break in modern chemistry and biology.

Investigations of chemical and physical aspects of substance nanosize conditions, structure and properties of nanoparticles is carried out on the basis of the Center of collective using on research of nanoparticles, nanostructures, nanocomposites.

Innovative-technological center «New materials and chemical technologies» solves the problems of practical realization of the technologies developed in Institute.

Институт химии силикатов является ведущим институтом в области неорганической химии на Северо-Западе России.

В течение многих лет Институт решает проблемы разработки физико-химических основ создания новых неорганических и органо-неорганических материалов.

К основным достижениям Института в области фундаментальных исследований относится большой объем систематических исследований по синтезу оксидных соединений и твердых растворов на основе оксидов I–IV групп, изучению механизма и кинетики их образования, фазовых соотношений, полиморфных превращений, в том числе сверхпроводящих соединений.

Эти данные обобщены в многотомных справочных изданиях «Диаграммы состояния систем тугоплавких оксидов». Кроме того, следует отметить работы:

- по определению условий синтеза важнейших типов цеолитов из натриево- и калиево-алюмосиликатных гелей и изучение их адсорбционных характеристик;
- по синтезу и исследованию методами рентгеноструктурного анализа строения нанометровых полупроводниковых кластеров, образующихся в полостях цеолитов и придающих кристаллам уникальные электрофизические свойства;
- по изучению собственных и примесных дефектов и их влияния на фазообразование и электрические свойства оксидов элементов переменной валентности.

К другим важным достижениям можно отнести экспериментальное обнаружение и создание теории явления метастабильной несмешиваемости в стекло-

образующих системах, а также доказательство неоднородного строения однофазных стекол, разработку теоретических основ зарождения и роста кристаллов в объеме и на поверхности силикатных стекол, изучение диффузионной кинетики межфазных взаимодействий в стеклах и стеклообразующих расплавах.

В результате изучения зависимости термодинамических свойств систем тугоплавких оксидов от их химического состава и температуры сформулирована химическая концепция строения оксидных расплавов и стекол, позволяющая количественно описывать их термодинамические и физико-химические свойства.

Настоящим прорывом в современной неорганической химии стали фундаментальные работы Института в области теоретического и экспериментального изучения наносостояния вещества, направленные на познание основополагающих принципов создания наноструктур и наноматериалов.

Существенные успехи достигнуты в решении экологических проблем атомной энергетики и в создании новых функциональных материалов и покрытий.

Деятельность Института направлена на проведение научных исследований в соответствии с Приоритетными направлениями развития науки, технологий и техники, Перечнем критических технологий Российской Федерации, основными направлениями фундаментальных исследований РАН, утвержденными Президентом Российской Федерации.

Тематика основных направлений развития фундаментальных исследований ИХС РАН в настоящее время характеризуется многопрофильностью:

- исследования в области наночастиц, наноматериалов и нанокompозитов на основе оксидных и гидроксидных соединений;
- синтез новых неорганических веществ, исследование структуры и свойств высокотемпературных оксидных соединений, фазовые равновесия оксидных систем;
- изучение химической связи и химического строения, стеклообразное состояние вещества;
- разработка новых принципов и методов создания новых материалов и химических продуктов с улучшенными свойствами;
- химическая энергетика и экология.

Сохранена преемственность исторически сложившихся направлений при появлении новых, доступных к исследованиям только на современном уровне развития экспериментальной базы.

Академики В. Я. Шевченко, М. Г. Воронков, Я. Б. Данилевич, члены-корреспонденты РАН В. А. Жабрев и В. В. Гусаров в настоящее время возглавляют фундаментальные исследования по основным научным направлениям.

В Институте действуют две ведущие научные школы Российской Федерации: научная школа академика В. Я. Шевченко «Химия, биология и физика наноразмерного состояния» и научная школа академика Я. Б. Данилевича «Научные исследования и разработка электромеханических преобразователей энергии нового типа».

Научные подразделения Института выполняют фундаментальные и прикладные исследования в рам-

ках программ Президиума РАН, Отделения химии и наук о материалах (ОХНМ); Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления (ОЭММПУ), федеральных целевых и региональных программ, по грантам Президента РФ и Российского фонда фундаментальных исследований.

Институт издает журнал «Физика и химия стекла» (Physics and Chemistry of Glass). По рейтингу цитируемости журнал занимает одно из первых мест среди журналов Отделения химии и наук о материалах РАН. Англоязычную версию журнала покупают библиотеки крупнейших научно-исследовательских центров мира.

В Институте с 2004 года действует Центр коллективного пользования по исследованию наночастиц, наноструктур, нанокompозитов (ЦКП ННН). Цель его создания заключается в объединении усилий российских исследователей в области изучения химических и физических аспектов наноразмерного состояния вещества, структуры и свойств наночастиц как основы создания наноматериалов и нанокompозитов — нового поколения неорганических и органо-неорганических материалов для радиотехники, электроники, оптики, компьютерной техники и других наукоемких отраслей народного хозяйства.

Инновационно-технологический центр «Новые материалы и химические технологии» (ИТЦ НМ), созданный в 2002 году, позволяет решать многие задачи практической реализации разработанных в Институте технологий.

В 2005–2007 годах получены результаты, демонстрирующие значительные достижения в области наук о материалах по разделу: *развитие теории химического строения и химической связи, кинетика и механизмы химических реакций, реакционная способность химических соединений, стереохимия, кристаллография.*

В рамках ведущихся исследований свойств наносостояния академиком В. Я. Шевченко сформулировано определение наномира: **«Наномир — это часть пространства, в котором из атомов путем самоорганизации формируется вещество, живое или не живое».**

Академиком В. Я. Шевченко разработаны основные элементы геометрической концепции самоорганизации наночастиц, включающей в себя: внутреннюю кривизну пространства, локальный порядок (геометрический структурный комплекс), клеточный автомат, самоподобие, диалог вещества и информации.

В. Я. Шевченко **сформулирован общий принцип формирования структур икосаэдрических алмазоподобных наночастиц, который может быть положен в основу концепции «неорганического гена».** Показана возможность образования икосаэдрических углеродных наночастиц, локальное окружение атомов углерода в которых практически не отличается от алмаза.

Строение наноалмазов рассмотрено в рамках модели икосаэдрических наночастиц с локальным алмазоподобным порядком и оболочечным строением. Показано, что в углеродных наночастицах обратимые структурные превращения икосаэдрических частиц в частицы с оболочечным строением могут происходить без обрыва связей и нарушения их топологической целостности.

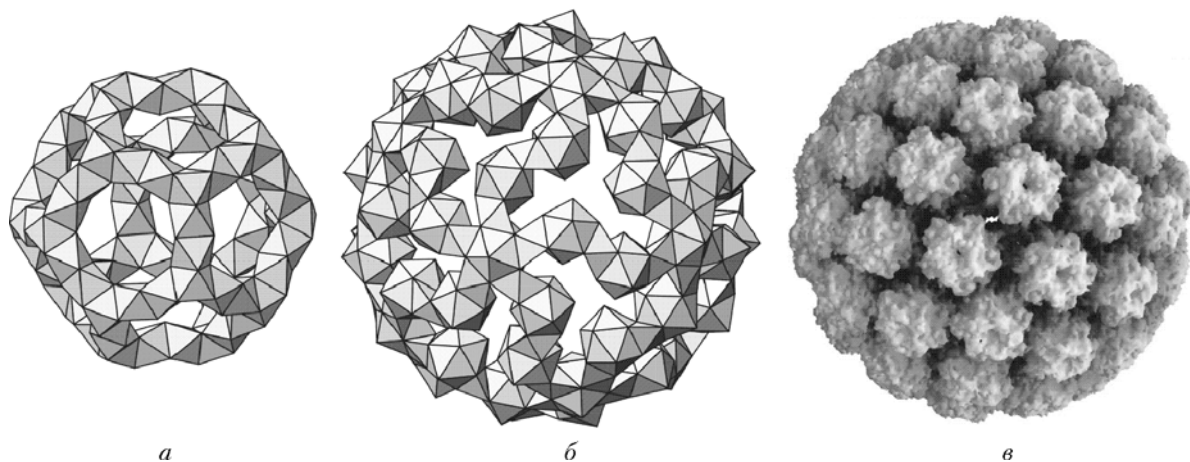


Рис. 1. Модель вируса папилломы:
а — внутренний «каркас», *б* — внешняя упаковка из 72 пентамеров,
в — вирус папилломы человека, реконструкция экспериментальных данных

С точки зрения развиваемых представлений нет принципиального различия в строении наночастиц биологического и неорганического типов (рис. 1).

В последние годы в отечественной и мировой энергетике возникли тенденции все большего дерегулирования централизованного энергоснабжения в усложняющихся условиях длительной эксплуатации физически и морально стареющего оборудования, отсутствия перспективных заказов на самые крупные машины, переноса внимания многих производителей на повышение надежности оборудования и проблемы энергосбережения. Все это делает актуальным развитие децентрализованных (автономных) энергоустановок малой мощности на возобновляемых источниках окружающей среды для обеспечения собственной энергетической и экологической безопасности и энергосбережения. Огромный потенциал таких источников как энергия воды, ветра, солнца, теплота ядра Земли, биомассы, в перспективе — водорода, а также достаточно энергоемких отходов промышленности и сельского хозяйства, сулящий полное энергетическое изобилие и решение экологических проблем, в настоящее время используется крайне незначительно, составляя менее 1% в мировом потреблении энергии.

Под руководством академика Я. Б. Данилевича осуществляется поиск новых научно-технических решений по переходу на альтернативные невозобновляемые источники высокой удельной плотности, создаются основы автономной энергетики повышенной эффективности и экологичности с использованием возобновляемых источников энергии (солнечные батареи, ветро- и приливные электростанции, переработка биомассы и т. д.) с запасанием и хранением энергии в виде водорода или высокоэффективных электрохимических источников тока, топливных элементов, суперэнергоемких накопителей энергии (аккумуляторы, конденсаторы), установок когенерационного типа.

Основу малых энергетических установок составляют новые материалы, разработанные в Институте с использованием нанотехнологий.

Спроектирована и создана модельная установка первой ветроэлектростанции (рис. 2) для комплекс-

ного производства электроэнергии (до 10 кВт), тепловой энергии и водорода (ветротурбина, генератор, система управления, электролизер, накопитель водорода). Выполнен комплекс исследований механических и электрофизических характеристик материалов, создаваемых на базе нанотехнологий и рекомендуемых к использованию при разработке электромеханических преобразователей энергии: электромеханических сталей и металлов для проводников с особой наноструктурой, роторных сталей с улучшенными механическими характеристиками, изготавливаемых с применением фуллеренов, композиционных материалов с включением нанотубулярных и других аналогичных структур, наноматериалов для высокоэнергетических постоянных магнитов, ферромагнитных жидкостей и прочее.

Значительные достижения получены в области **синтеза и изучения новых веществ, разработки материалов и наноматериалов с заданными свойствами и функциями (полимеров и полимерных материалов, композитов, сплавов, керамик, продуктов биологического и медицинского назначения, оптических, сверхпроводящих, магнитных материалов и особо чистых веществ).**

В лаборатории члена-корреспондента РАН В. В. Гусарова получены более десятка новых химических соединений со слоистой структурой. Экспериментально построены фазовые диаграммы около сотни оксидных систем, получены нанокристаллы, нанотрубки, нанослои, нановолокна различного состава и строения, определены механизмы формирования и трансформации наночастиц, изучены их свойства. Показано, что слоистые соединения с нанометровой толщиной слоя можно рассматривать как новый тип структур, являющихся переходными от индивидуального химического соединения к гетеронаноструктуре и находящимися в состоянии безразличного равновесия.

Изучен механизм формирования нанотубулярных гидросиликатов и разработаны физико-химические основы направленного синтеза нанотрубок в гидротермальных условиях. Разработан метод модифицирования поверхности нанотрубок обработкой различными химическими соединениями, позволяющий

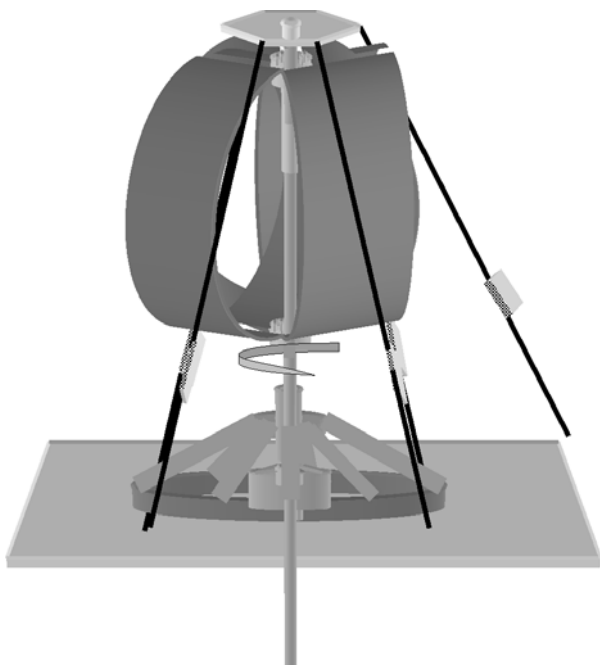


Рис. 2. Ветроустановка типа Дарье, генератор на постоянных магнитах для ветроэлектростанции, применимой в городских условиях

получить нанокompозиты с ценными механическими, люминесцентными и электрофизическими свойствами, перспективными для создания функциональных материалов.

Впервые исследована теоретически и экспериментально динамика образования неорганических гидросиликатных нанотрубок в вязкой жидкости (рис. 3).

Разработан метод синтеза нанокompозитов, в которых органический и неорганический компоненты связаны химической связью, путем совместной гидролитической поликонденсации комплексов переходных металлов с органическими лигандами.

Получены материалы с высокой концентрацией и равномерным распределением активного компонента в химически инертной и прозрачной матрице (кремнезем). Композиты на основе комплексов меди и рутения обладают светочувствительностью $(3-8) \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{Дж}$, интенсивной люминесценцией в области 550–650 нм и перспективны для создания светочувствительных материалов электролюминесцентных устройств.

Член-корреспондент РАН В. А. Жабрeв с сотрудниками разработал оригинальный метод синтеза легированного лантаном титаната висмута в расплаве нитрата калия из оксидов висмута и титана в присутствии хлорида лантана при 750–900°C. Метод позволяет обеспечить равномерное легирование титаната висмута лантаном, достичь которого в гидротермальных условиях синтеза или твердофазным методом не удается.

Для эффективного внедрения объектов интеллектуальной собственности Института по решению Ученого совета Института создан Инновационно-технологический центр «Новые материалы и химические технологии».

ИТЦ создан для внедрения результатов научно-исследовательских работ прикладного характера в

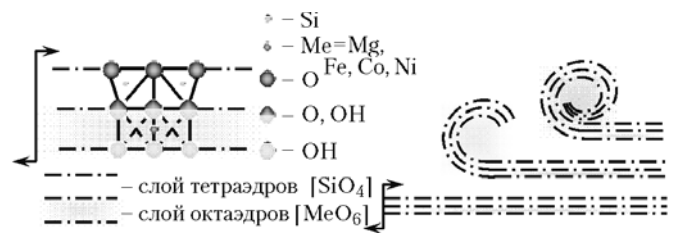


Рис. 3

разработку новых химических технологий и производство материалов для машиностроения, приборостроения, здравоохранения, городского хозяйства и жилищного строительства.

Малые предприятия с помощью ИТЦ доводят научно-техническую разработку Института до малотоннажного производства. В течение ряда лет Институт занимался исследованиями в области направленной кристаллизации силикатных расплавов. ИТЦ совместно с инженерным центром «Шлаколит» разработал технологию изготовления строительных конструкций, используя направленную кристаллизацию металлургических шлаков. Были изготовлены опытные партии рельсовых вкладышей, тубингов для метро, контейнеров для захоронения радиоактивных отходов и другой продукции.

При реставрации и строительстве многих сооружений, таких как Ростральные колонны, невские мосты, исторические здания города использованы органосиликатные композиции высокого качества и надежности, разработанные ИХС РАН.

В настоящее время ИТЦ НМ вместе с малыми предприятиями реализует разработки Института в мелкосерийном производстве растворителей, препаратов для экспресс-анализа минерального сырья, реагентов для флотационного извлечения металлов из руд и другие.

Институт внедрил объекты интеллектуальной собственности в ряде организаций:

- ОАО «Раменский приборостроительный завод» (изготовление опытной партии стеклоцемента (герметика));
- ООО «Промресурс» (разработка и выпуск опытной партии керамических фильтрующих элементов по прототипу заказчика);
- НПО «Радон» (стеклообразные матрицы для захоронения);
- ОАО «Московский завод «Сапфир» (герметики для соединения деталей из титана и сапфира);
- ОАО «Техприбор» (стеклокерамический материал для герметиков);
- ОАО «Торговый дом завода имени Морозова», ОАО ИТЦ «Завод «Ленинец», ФГУП «ПО «Северное машиностроительное предприятие», ЗАО «ИЗОТЕРМ», ФГУП ОКБ «Гидропресс», ОАО «Ратеп», ГУП «Альфа», Российский федеральный ядерный центр, Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, ФГУП «НПО им. С. А. Лавочкина», Уфимское НПО «Молния», Новочебоксарский химкомбинат (опытные партии органосиликатных композиций);
- ГНЦ «ЦНИИ КМ «Прометей» (изготовление опытной партии стеклокомпозитов для сварочных электродов);

- ФГПУ «Центральный научно-исследовательский институт автоматики и гидравлики» (ЦНИИ АГ) (разработка программного обеспечения компьютерных технологий изготовления индивидуальных биофункциональных имплантантов);
- ФГУП «Всероссийский институт авиационных материалов» (ВИАМ) (проведение технологических испытаний высокотемпературных стеклокристаллических матриц и изготовление композитов на их основе);
- ФГУП «Альфа» (ситаллоцемент СЦ50);
- Московский электроламповый завод, ОАО «Московская стеклотара» (опытная партия пресс-волокнита на органосиликатном связующем).

ИТЦ в 2007 году проводил работу по хозяйственным с широким кругом предприятий, в том числе с Морозовским химическим заводом, НПО «Церта», ФГУП УНП «Молния» и др.

Институт имеет ряд новых оригинальных разработок, готовых к практическому применению.

Материалы и технологии водородной энергетики

- Разработан протонпроводящий гибридный мембранный материал. Золь-гель методом синтезированы органо-неорганические гибриды — силикофосфатные наноконкомпозиты, которые могут быть превращены в тонкослойные мембраны двух типов для использования в полимер-электролитных топливных элементах. Протонпроводящий гибридный мембранный материал прошел испытания в Институте электрофизики УрО РАН.
- Разработана функциональная нанокерамика с высокой прочностью и трещиностойкостью. В гидротермальных условиях получены монофазные нанопорошки с узким распределением частиц по размерам. Функциональная нанокерамика использована на ФГУП ЦНИИ АГ и ООО «Промресурс».
- Синтезированы наноструктурированные оксидные пленки на основе оксидов олова и кадмия на керамических подложках. Созданы резистивные сенсоры с пленками из оксида олова, чувствительные к изменению парциального давления кислорода. Оксидные пленки из оксида кадмия рекомендованы для реализации на Смоленском ФГУП «Аналитприбор» в качестве оксидных электродов в твердых электролитах на основе оксидов циркония.

Нанобиокерамика и композиты на ее основе

- Созданы костнозамещающие имплантанты на основе пористых остеокондуктивных апатитсиликатных материалов, предназначенные для нейрохирургии с целью восстановления костей черепа и различных отделов позвоночника. На разработанные имплантанты НИС-Р в трех модификациях получена лицензия № 64/2003-0022-0035. На базе ОАО «Экспериментальный керамический завод» организован участок мелкосерийного производства наборов биофункциональных имплантантов.

- Разработаны композиционные биофункциональные материалы на основе самоотверждающейся матрицы и стекловидных кальцийфосфатных и силикатных наполнителей для применения в стоматологии. Совместно с НПФ «Элкор» разработан биоимплантант «Биосит-МХ», который разрешен к клиническому испытанию.
- Разработан метод синтеза наноразмерных органо-неорганических гибридных структур, компоненты которых связаны между собой химическими связями.

Синтез подобных структур осуществляется путем совместной гидролитической поликонденсации комплексов переходных металлов (Ru^{2+} , Er^{3+} , Yb^{3+}) с неорганическими лигандами, содержащими триметоксисилильные группы, тетраметоксисилоном. Этот метод позволяет распределять на молекулярном уровне в инертной матрице кремнезема или кварцевого стекла органические или неорганические вещества, обладающие интересными и перспективными фотофизическими или электрохимическими свойствами.

Опытная технология особо чистого кварцевого стекла

- Создано безгидроксильное, оптически однородное стекло КС-4В, с малыми потерями в ультрафиолетовой, инфракрасной и видимой части спектра, не содержащее газовых включений. Оно обладает повышенной радиационно-оптической устойчивостью. Создана опытно-промышленная установка, получены 4 патента РФ. Результаты работы переданы в НПО «Дальняя связь», Институт кварцевого стекла, ГОИ имени С.И. Вавилова и на Миасский машиностроительный завод.

Опытная технология пористых стекол

- Подготовлены инновационные предложения по опытной технологии производства пористых стекол и керамики для осмотической водоочистки промышленных вод, на материалы на основе алюмомагнезиевой шпинели и алюмосиликатов с открытой пористостью. Полученные материалы могут быть использованы для фильтрации агрессивных веществ и соединений при высоких температурах.

Температуроустойчивые покрытия, клеи, герметики

- Разработана высокотемпературная органосиликатная композиция на основе уюоплавких оксидов ОС-52-24 для тензометрии, предназначенная для изготовления и наклейки высокотемпературных тензорезисторов для измерения статических и динамических деформаций в интервале температур от -40 до $1100^{\circ}C$. Тензорезисторы, изготовленные на органосиликатном связующем прошли испытания в новейших теплоэнергетических установках, двигателях внутреннего сгорания авиационной техники на ФГУП ММП «Салют» ФГУП «НПО им. Лавочкина», в Уфимском НПО «Молния».

- Клеевые швы и покрытия обладают высокой стойкостью к термоударам, высокой вибропрочностью и влагостойкостью. Созданы пасты для термо-, влаго- и электроизоляционной защиты прецизионных проволочных резисторов, элементов нагревателей и кабелей, обладающие высокой устойчивостью к термоокислительной деструкции при нагревании на воздухе до 300°C, выдерживая не менее 10 циклов теплосмен от -60 до 300°C.
- Созданы силикатные каталитические покрытия для полупроводниковых газовых сенсоров. Разработанные каталитические покрытия служат для активации процесса взаимодействия тестируемого газа с газочувствительным резистивным слоем и повышения чувствительности газового сенсора. Покрытия формировались на основе гидролизованного тетраэтоксисилана с добавками допирующих элементов (платины, палладия или марганца) золь-гель методом с последующей обработкой. Изготовленные сенсоры обладают чувствительностью к CO 10⁻⁴ мг/л уже при 50–100°C (вместо 350–400°C), что в 1,5–2 раза улучшает надежность работы и срок службы сенсора. Технология разработанных каталитических покрытий использована в технологическом процессе изготовления полупроводниковых газовых сенсоров на монооксид углерода и метан в ЗАО «Авангард-Микросенсор».
- В Институте созданы гибкие стеклокерамические покрытия на основе гидролизованного тетраэтоксисилана с добавками тугоплавких оксидов на провода и термоэлектродные сплавы, отвечающие требованиям эксплуатации в условиях атомных электростанций. Покрытия прошли испытания в ФГУП «ВНИИ Метрологии им. Д. И. Менделеева».
- Разработаны гибридные органо-неорганические покрытия, содержащие бор и гадолиний в качестве диффузантов, на основе которых получены тонкостенные кремниевые мембраны повышенной прочности. Технология использована в ЗАО «Авангард-Микросенсор».

Разработки для малой энергетики

- Разработаны конструкции микротурбогенераторов с возбуждением от постоянных магнитов для локальных нужд малой энергетики широкого ряда мощностей от 400 кВт до 5 МВт и в диапазоне частот вращения от 4500 об/мин до 30000 об/мин.
- Изготовлены и успешно испытаны синхронные генераторы мощностью 200 кВт для каталитической ТЭС, передвижных установок, а также быстрходный генератор мощностью 50 кВт с частотой вращения 15000 об/мин для газотурбинных установок.
- Спроектирована и создана модельная установка первой ветроэлектростанции для комплексного производства электроэнергии, тепловой энергии и водорода с использованием нанотехнологий,

выполненная для работы в городских условиях, в том числе на крышах зданий.

Решение экологических проблем

- Разработана опытная технология разделительных мембран на основе пористых стекол. Разделительные мембраны могут использоваться в установках по очистке бытовых и промышленных вод, регенерации продуктов жизнедеятельности человека, в медицинских установках «искусственная почка» для коррекции ионного состава. Мембраны использованы в ГУП «Водоканал».
- Синтезировано из оксидов в наноразмерном состоянии соединение с туннельной структурой K₂Ca₂Ti₆O₁₆, обладающее высокой каталитической активностью.
- Соединение является эффективным катализатором, обеспечивающим 90%-е окисление CO до CO₂ при 250°C. Материалы на основе этого соединения перспективны для нейтрализации и очистки атмосферы от токсичных продуктов неполного сгорания углеводородов и использования в ряде отраслей химической промышленности.
- Разработана опытная технология керамических диафрагм на основе алюмосиликатов. Пористые диафрагмы трубчатой формы предназначены для эксплуатации систем по очистке воды в ядерно-энергетических установках Сосновоборской АЭС.
- Разработана концепция нового класса функциональных материалов — опытно-промышленная технология жертвенных материалов для устройства локализации расплава активной зоны при тяжелых авариях ядерных реакторов. Впервые в мире в соавторстве с сотрудниками НИТИ им. А. П. Александрова был разработан, прошел экспертизу МАГАТЭ и внедрен при строительстве в Китае и Индии атомных электростанций нового поколения с повышенным уровнем безопасности новый функциональный материал для устройства локализации расплава активной зоны ядерного реактора. При изучении взаимодействия расплава активной зоны ядерного реактора с функциональным материалом теоретически предсказан и экспериментально подтвержден новый тип горения материалов, названный жидкофазным горением.

Научные и практические разработки нашли отражение в российских и международных выставках, в которых Институт регулярно участвует: «ЭКСПО-ХИМИЯ», международный промышленный форум «Российский промышленник», международная выставка-конгресс «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции».

В последние годы Институт инициировал и организовал проведение ряда международных конференций «Геометрия, информация и теоретические основы наномира» (2007), «Наночастицы, наноструктуры и нанокompозиты» (2004), «Структурная химия частично упорядоченных систем, наночастиц и нанокompозитов» (2006).

Биологически активные полимерные наносистемы

Е. Ф. Панарин,

д. х. н., профессор, директор Института высокомолекулярных соединений РАН, член-корреспондент РАН, заслуженный изобретатель РФ



Предложен новый подход к созданию эффективных лекарственных средств путем наноструктурирования биологически активных веществ в ходе комплексообразования с водорастворимыми функциональными полимерами. Практическая ценность данного подхода продемонстрирована на примере лекарственных препаратов, представляющих собой полимерные комплексы поверхностно-активных веществ, нанодисперсного серебра и наноструктурированных биополимеров (ДНК, гемоглобин).

The new approach has been proposed for preparation effective medicinal substances by means of creation a complex between molecules of biological active substances and water-soluble functional polymers. A practical value of the approach is illustrated by medicinal substances for which reactants are polymer complexes biological active substances, nanodispersed silver or nanostructured biopolymers such as DNA and hemoglobin.

Важной задачей современной химиотерапии является поиск новых биологически активных веществ (БАВ), а также модификация известных лекарственных веществ с целью улучшения их терапевтических свойств: снижение токсичности, устранение отрицательных побочных эффектов, увеличение продолжительности действия в организме, обеспечение целевого транспорта в заданный орган-мишень, расширение спектра биологического действия и пр.

Одним из подходов, позволяющих решить эти задачи, является наноструктурирование лекарственных веществ с использованием функциональных биосовместимых полимеров. Существует несколько подходов наноструктурирования БАВ: создание наноразмерных структур путем формирования полиэлектролитных комплексов полимеров с дифильными ионами биологически активных веществ; синтез наночастиц биогенных элементов и получение их нанодисперсных композитов, стабилизированных водорастворимыми полимерами; наноструктурирование природных биополимеров — белков, нуклеиновых кислот путем межцепного связывания биомолекул и формирование комплексов с синтетическими полимерами — полиэлектролитами. В Институте высокомолекулярных соединений РАН совместно с организациями биомедицинского профиля (НИИ гриппа РАМН, ИЭМ РАМН, НИИ гематологии и трансфузиологии МСЗР, НИИ травматологии и ортопедии им. Р. Р. Вредена, ВНИИ защиты растений и др.) проводятся исследования по указанным направлениям, в которых изучаются биологические свойства различных полимерных наносистем.

Полимерные наносистемы. Полиэлектролит — поверхностно активное вещество

Классическими биологически активными ионами являются ионогенные поверхностно активные вещества (ПАВ), которые содержат группу, несущую положительный или отрицательный заряд и гидрофобный (жирный) радикал. Макромолекулы водорастворимых полимеров также могут иметь ионогенные группы и, соответственно, положительные и отрицательные заряды, которые расположены вдоль цепи макромолекулы. При взаимодействии молекул ионогенных ПАВ с макромолекулами, несущими противоположный заряд, формируются обратимодиссоциирующие комплексы полимер-ПАВ, образующие надмолекулярные наноразмерные структуры мицеллярного типа с размерами частиц 10–100 нм (рис. 1).

Определяющий вклад в образование таких систем вносят электростатические, а также гидрофобные взаимодействия заряженных макромолекул с дифильными ионами ПАВ. Надмолекулярная организация, стабильность системы, ее физико-химические зависят от химического строения ПАВ и полимера, а также от величины и характера распределения зарядов по цепи макромолекулы, наличия поливалентных низкомолекулярных неорганических ионов и ряда других параметров.

Катионные поверхностно-активные вещества (КПАВ) обладают широким спектром антимикробного действия и их используют в санитарии в качестве моющих и дезинфицирующих средств. Однако высокая токсичность и кожно-раздражающее действие препятствуют их использованию в качестве

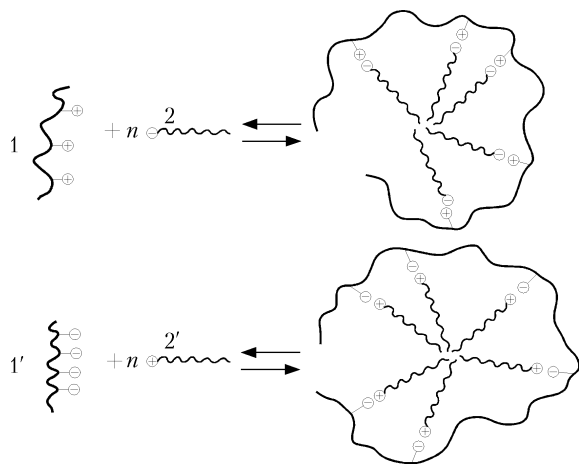


Рис. 1. Схема формирования комплексов полимер-ПАВ:
1, 1' — полимерная цепь полиэлектролита;
2, 2' — молекула амфифильного ПАВ

лекарственных средств. Связывание КПАВ ионогенными сополимерами N-винилпирролидона и формирование обратимодиссоциирующих нанодисперсных систем мицеллярного типа с размером частиц 10–50 нм приводит к существенным изменениям их свойств. Токсичность снижается в 1,5–2 раза, а кожно-раздражающее действие — в 10 раз при одновременном повышении уровня антимикробной активности в 3–5 раз. Путем оптимизации химического строения полимера КПАВ, структуры комплекса и его надмолекулярной организации был создан полимерный антисептик «Катапол», разрешенный для медицинского применения (регистрационный номер 91/146/7). Наночастицы «Катапола» активно взаимодействуют с цитоплазматической мембраной бактерий, разрушают оболочковые вирусы (например, гриппа, рис. 2), проявляя высокое антимикробное и вирусицидное действие при концентрациях 0,5–0,005%.

Применение «Катапола» в виде 0,3–1% водного раствора, особенно в сочетании с антибиотиками при лечении раневой инфекции у больных с ожогами, гнойными ранами мягких тканей, переломами костей, трофическими язвами, пролежнями и т. п. в 2–3 раза эффективнее лечения традиционными антисептиками. В наночастицы «Катапола», как в наноконтейнеры, могут быть включены другие лекарственные вещества (анестетики, вещества, обладающие сепаративной активностью и др.)

На этом пути были разработаны полимерные наноконструкции, которые, наряду с антимикробной активностью, обладают способностью стимулировать процессы заживления ран, удалять некротизированные ткани, проявлять обезболивающее действие, что важно для современной терапии раневых инфекций. Указанные композиции рекомендованы для использования в медицинской практике в составе перевязочных материалов, пленок марки ПК-2, изготовленных из поливинилового спирта и предназначенных для закрытия раневых поверхностей. В качестве антисептического средства «Катапол» предназначен также для использования в птицеводстве, ветеринарии, пищевой и рыбоперерабатывающей промышленности. Катапол подавляет рост многих возбудителей

болезней сельскохозяйственных культур, фитопатогенных грибов и бактерий. На основе катапола разработан защитно-стимулирующий препарат «Катазар» (совместно с Всероссийским институтом защиты растений), предназначенный для предпосевной обработки зерновых, овощных культур и картофеля от комплекса грибных и бактериальных болезней. Полевые испытания продемонстрировали высокую эффективность предпосевной обработки зерновых культур от корневой гнили; картофеля от черной ножки, ризоктониоза, бактериоза; моркови от фитариоза и белой гнили; свеклы от корневая. Прибавка урожая при этом достигла 10–30%.

При взаимодействии анионных ПАВ с катионными сополимерами N-винилпирролидона (ВП) формируются наноструктуры мицеллярного типа. В зависимости от химического строения ПАВ и степени заполнения полимерной цепи ионами они могут менять свою морфологию от сферических внутримолекулярных мицелл размером ~20 нм, когда ионы ПАВ связаны с полимерной цепью, до псевдоамеллярных ассоциатов, размер которых превышает 50 нм, образованных большим числом (~1000) молекул ПАВ, связанных с макромолекулой. Исследование биологических свойств наносистем, полученных на основе высших алкилсульфатов и катионных сополимеров ВП, показали, что они проявляют широкий спектр биологической активности — ингибируют или активируют протеолитические ферменты, влияют на проницаемость клеточных мембран, ускоряют или замедляют процессы роста молодых животных, влияя на процессы белкового, жирового и минерального обмена, и пр.

Оптимизация структур наносистем привела к созданию высокоэффективного ветеринарного препарата «Доксан» и кормовых добавок на его основе «Доксан М», повышающих продуктивность сельскохозяйственных животных (свиньи, овцы, крупный рогатый скот, птица (куры-несушки и бройлеры)). Углубленные фармакологические исследования доксана, выполненные в НИИ экспериментальной медицины РАМН, выявили у доксана мощное антигипоксическое, анальгезирующее и противошоковое дей-

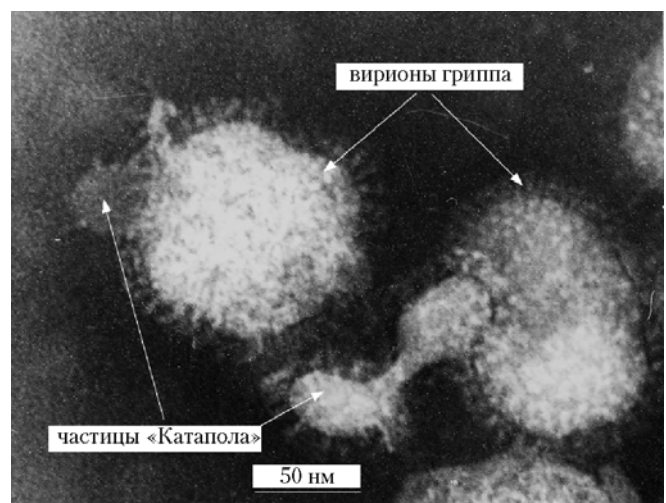


Рис. 2. Инактивация вириона гриппа частицами «Катапола» (электронно-микроскопическая фотография)

стве. Кроме того, доксан усиливает секрецию эндогенных нейромодуляторов, а также потенцирует действие экзогенных биологически активных веществ (анальгетики, спазмолитики и др.), действующих на центральную и периферическую нервную систему, что позволяет существенно понижать их терапевтические дозы.

Создание высокой локальной концентрации биологически активных веществ в самоорганизующейся и легко перестраиваемой полимерной системе, а также кооперативный перенос молекул БАВ на мишень обеспечивают повышение уровня биологической активности, появление у супрамолекулярной наносистемы новых свойств и новых видов биологической активности.

Полимерные наноконкомпозиты на основе серебра

Широкое распространение в хирургических клиниках штаммов микроорганизмов, устойчивых к антибиотикам, снизило эффективность их применения, несмотря на введение в арсенал медицины все новых антибиотиков. В связи с этим возрос интерес к веществам широкого спектра антимикробного действия, альтернативным антибиотикам. Среди этих веществ особое место занимает серебро и препараты на его основе. Препараты серебра, такие как протаргол и полларгол, используются в медицине более ста лет. Вместе с тем, исследования, направленные на повышение эффективности препаратов серебра, не прекращались. Как было отмечено выше, перевод вещества в наноразмерное состояние приводит к резкому изменению его физических, физико-химических и биологических свойств.

Восстановление ионного серебра Ag^+ до Ag^0 в водной и водноспиртовой среде в присутствии поливинилпирролидона и других поли-N-виниламидов приводит к формированию наночастиц металлического серебра с размерами от 2 до 100 нм. Частицы могут быть кристаллическими или аморфными и иметь различную форму — сферы, стержни, пирамиды, отрезки «проволоки» (рис. 4). Поливинилпирролидон выполняет две функции — полимерного реагента, который наряду с этанолом участвует в реакции восстановления ионов серебра за счет своей концевой альдегидной группы, и полимерной матрицы, стабилизирующей наночастицы, как в ходе синтеза, так и после восстановления серебра (рис. 3).

С использованием поливинилпирролидона в качестве стабилизатора были синтезированы композиции с содержанием серебра от 2 до 70 масс.%, способные после высушивания к самопроизвольному повторному диспергированию в воде. Среди исследованных композиций была выявлена система, образованная кластерами серебра с размерами 2–30 нм, про-

являющая необычайно высокую антимикробную активность и широкий спектр действия.

Она подавляет рост аэробной, анаэробной, грамположительной и грамотрицательной микрофлоры, в том числе, устойчивой к антибиотикам. На основе этой композиции было разработано нанолечение — антисептик Повиаргол (регистрационный номер 97/167/7), разрешенный для медицинского применения. Он выпускается СКТБ «Технолог» (Санкт-Петербург) и используется в виде 1–5% водных растворов. Широкое клиническое изучение повиаргола показало его высокую эффективность при лечении гнойно-воспалительных осложнений (нагноений операционных ран, трофических язв и т. д.), термических ожогов и обморожений высоких степеней; в отоларингологии и пульмонологии (ринит, гайморит, ангина, гнойные формы трахеобронхитов и т. п.); в стоматологии при санации полости рта, в урологии, акушерстве, гинекологии (гнойные уретриты, циститы, кольпиты и т. п.); в офтальмологии (профилактика гнойного конъюнктивита). В отличие от препаратов ионного серебра, повиаргол стимулирует репарацию тканей на стадии эпителизации, а также гуморальный и клеточный иммунитет, проявляя свойства тимус-независимого антигена. Высокая антимикробная активность повиаргола и, как следствие, прекрасные клинические эффекты обусловлены высокой удельной поверхностью наночастиц серебра препарата и их способностью непрерывно генерировать ионы серебра, восполняя их потерю вследствие связывания ионов биосубстратами. Введение повиаргола вызывает полноценный иммунный ответ в короткие сроки без существенной его пролонгации, что открывает перспективу его практического применения в медицине при лечении иммунодефицитных состояний, аутоиммунных заболеваний и т. п. При внутрижелудочном введении нанодисперсное серебро проявляет адаптогенные свойства, повышая устойчивость организма к гипоксии, боли, шоку, а также потенцирует действие ряда веществ, действующих на центральную нервную систему. Таким образом, перевод металлического серебра в нанодисперсное состояние позволяет не только обеспечить его высокие антимикробные свойства, но и приводит к появлению новых видов биологической активности.

При вариации условий синтеза, как было отмечено выше, формируются наночастицы серебра различной морфологии. Это открывает возможность управления ростом анизотропных наночастиц серебра и позволяет синтезировать не только сферические частицы, но также нанопроволоку, наностержни, нанопризмы. Наноматериалы такого типа могут найти приме-

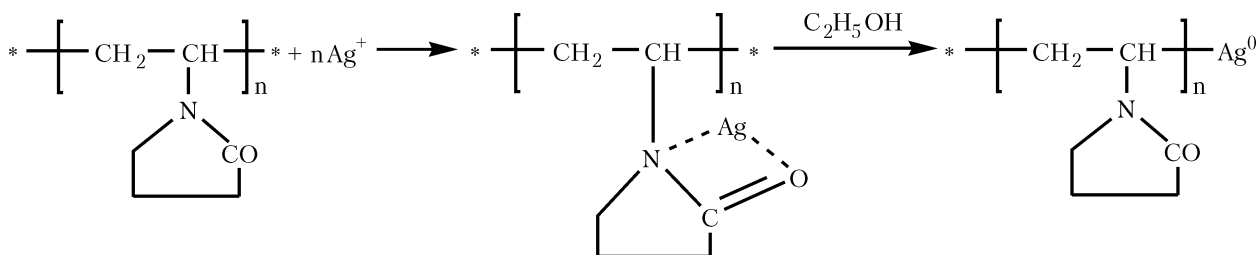


Рис. 3

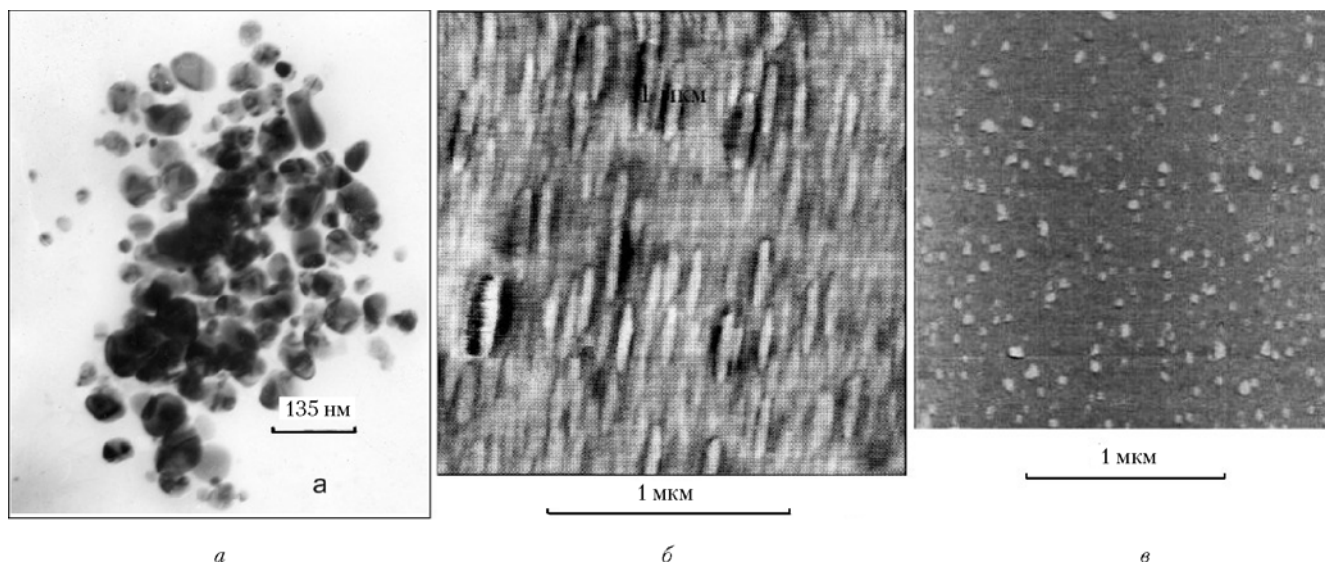


Рис. 4. Микрофотографии наночастиц серебра (Повиаргол) по данным: а — электронной просвечивающей микроскопии, б, в — атомно-силовой микроскопии

нение в электронике, оптике, сенсорных системах, использоваться как катализаторы и микрореакторы.

Наноструктурированные системы на основе биополимеров

Адресная доставка модифицированного генетического материала (ДНК) в клетки-мишени является перспективным методом решения ряда проблем медицины и биологии. Создание невирусных безопасных носителей для доставки генов в клетки обеспечивает успешное использование таких систем в медицине. Необходимым условием для доставки ДНК в клетки является защита ее от агрессивных факторов среды, что можно достичь, создав с помощью полимера-носителя компактные частицы размером 40–80 нм. Используемый для этого полимер должен содержать в своей структуре специфические лиганды и группы, обеспечивающие взаимодействие частиц с клеточными мембранами. Поскольку ДНК является полианионом, несущим отрицательно заряженные фосфатные группы, она легко взаимодействует в воде с поликатионами — полимерами, несущими положительно заряженные группы. При этом, вследствие кооперативного связывания макромолекул, формируются полимерные комплексы, представляющие собой компактные наноструктуры. В таких компактных наносистемах ДНК сохраняет свою нативную структуру, защищена от действия ферментов и протонирования. В настоящее время синтезировано большое число поликатионов различного химического строения, содержащих amino- и четвертичные аммониевые группы. Среди них найдены нетоксичные, обеспечивающие наибольшую транспортную активность. Следует отметить, что эффективность транспорта наносистемы ДНК-поликатион в клетки существенно зависит от химического строения полимера, его молекулярной массы, структуры сформированной наносистемы.

Большой интерес представляет наноструктурирование белковых макромолекул с целью придания им новых свойств. Важным в практическом отношении

является, например, наноструктурирование гемоглобина — белка, выполняющего газотранспортную функцию крови — обратимый перенос кислорода от легких в ткани. Молекула природного белка состоит из четырех субъединиц, легко диссоциирующих на отдельные субъединицы, что приводит к резкому ухудшению газотранспортных свойств гемоглобина. Более того, введение гемоглобина в организм приводит к необратимому повреждению почек. Поэтому гемоглобин не используется в кровезаменяющих растворах при больших кровопотерях. Путем использования специальных полифункциональных реагентов удалось осуществить сборку нескольких молекул гемоглобина в более крупные частицы размером 10–30 нм. Такие частицы можно рассматривать как модели «миниэритроцитов». Они, в отличие от нативного гемоглобина, могут более длительное время циркулировать в кровяном русле (10–14 часов), не блокируя почечные канальцы, а самое главное, они способны осуществлять обратимый перенос кислорода почти также хорошо, как эритроциты крови.

На основе полимерного наноструктурированного гемоглобина сотрудниками Института высокомолекулярных соединений РАН и НИИ гематологии и трансфузиологии разработан первый отечественный кровезаменитель «Геленпол», осуществляющий газотранспортную функцию крови. В отличие от донорской крови геленпол не обладает групповой специфичностью, поэтому может вводиться любому пациенту без предварительных проб на совместимость. Следует отметить, что кровь доноров требует проведения проб на совместимость и функционально активна только в течение 5–7 дней со времени заготовки. Геленпол в сухой форме хранится без изменения функциональных свойств в течение двух лет, что удобно для накопления запасов на случай экстренных ситуаций и транспортировки на дальние расстояния.

Таким образом, наноструктурирование биологически активных веществ с помощью полимеров позволяет создавать новые лекарственные средства с новыми улучшенными лечебными свойствами.

ИННОВАЦИОННЫЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ И БИОЛОГИИ

Е. В. Шляхто,
профессор, член-корр. РАМН,
директор ФГУ «Федеральный центр сердца, крови
и эндокринологии (ФЦСКЭ) им. В. А. Алмазова Росмедтехнологий,
Санкт-Петербург, Россия



В статье рассмотрены основные направления наномедицины и проекты, разрабатываемые в Федеральном центре сердца, крови и эндокринологии им. В. А. Алмазова Росмедтехнологий. Несомненный научный и практический интерес представляет проект по диагностике и мониторингу маркеров различных заболеваний сердечно-сосудистой, эндокринной систем, а также систем крови. Создание надежных тест-систем на основе биологических микрочипов для широкомасштабного скрининга маркеров заболеваний позволит осуществить существенный прорыв в диагностике, лечении и прогнозе развития таких заболеваний. Изучение проблемы направленной доставки золотых наночастиц для очистки трансплантата гемопоэтических стволовых клеток при онкогематологических заболеваниях, возможность использования наномашин для адресной доставки лекарственных средств в клетки-мишени при остром инфаркте миокарда и по доставке факторов ангиогенеза в зоны ишемии при хронической артериальной недостаточности нижних конечностей позволит улучшить результаты лечения этой группы заболеваний. Разработка новых наноматериалов позволит создать инновационный подход к профилактике тромбозов артериальных стентов в сердечно-сосудистой хирургии и к предотвращению патогенного воздействия электромагнитного излучения на сердечно-сосудистую систему за счет их экранирующих свойств, а создание гемо- и биосовместимых макромолекулярных систем (наноструктур) с антиоксидантной активностью — новых эффективных плазмозаменителей для борьбы с острой кровопотерей.

Current paper reviews major directions of nanomedicine and projects being developed in V. A. Almazov Federal Center for Heart, Blood & Endocrinology (Rosmedtechnology Federal Agency). A project aiming diagnostics and monitoring of various heart-, blood-, and endocrinology- related disorder markers is of a great research and practical value. Developing reliable biological microchip-based systems for large-scale screening of disease markers would allow a critical breakthrough in diagnostics, treatment and prognostics of the diseases. To improve treatment outcome, a potential of gold nanoparticles targeted delivery is evaluated in purifying a population of hematopoietic stem cells transplant in hemablastoses; that of nanomachines (nanites) for targeted delivery of synthetic molecules the target cells affected by acute myocardial infarction; and that of targeted delivery of genetic constructs/angiogenic factors to the areas of limb ischemia in chronic peripheral arterial disorders. Creating novel nanomaterials would allow developing a new approach in the prophylactics of arterial stent thrombosis in cardiac surgery and in intercepting cardiovascular system-targeting electromagnetic emanation (due to the barrier properties of the novel nanocomposite materials). Moreover, a development of the novel hemo- and biocompatible macromolecular systems (nanostructures) possessing antioxidant activity could contribute to the development of the novel types of effective blood substitutes applicable in acute blood loss.

Наномедицина, по каноническому определению ведущего ученого в данной области Р. Фрейтаса — это: «..слежение, исправление, конструирование и контроль над биологическими системами человека на молекулярном уровне, используя разработанные наноустройства и наноструктуры». Условно можно выделить два направления в этой области. В одном случае наночастицы непосредственно входят в контакт с клетками, белками,

ДНК и др. молекулярными структурами организма. При этом эксплуатируются такие свойства наночастиц, как их высокая способность проникновения в клетку, а также их уникальные оптические свойства. Второе направление связано с созданием материалов, обладающих заданными свойствами. В этом случае наномедицина эксплуатирует используются свойства таких материалов, а не отдельных наночастиц.

Наночастицы создаются с химически модифицированными поверхностями, к которым могут присоединиться различные лиганды. Это позволяет превратить такие наноматериалы в биосенсоры, флуоресцентные ярлыки молекулярного масштаба, в факторы визуализации, средства направленной доставки лекарственных веществ и другие средства, полезные в биологии. Поэтому сферами использования наночастиц в медицине являются: диагностика/мониторинг (выявление маркеров заболеваний), скрининг лекарственных веществ (мечение), репарация органов и тканей, диагностика (приборы и мечение), направленная доставка лекарственных веществ (терапия), белков, ДНК и создание новых наноматериалов с заранее заданными свойствами.

Сотрудники Федерального центра сердца, крови и эндокринологии им. В. А. Алмазова Росмедтехнологий в Санкт-Петербурге начали активные исследовательские работы практически по всем основным нанотехнологическим направлениям в биологии и медицине.

Диагностика/мониторинг (выявление маркеров заболеваний) является одним из наиболее распространенных направлений применения нанотехнологий в медицинских исследованиях. С момента своего создания в 1993 г. биологические микрочипы (микроматрицы) революционизировали современную биологию и медицину. В наши дни биологические микрочипы разных типов с успехом применяются для широкомасштабного скрининга биологических образцов с целью идентификации диагностических и прогностических маркеров, терапевтических мишеней многих заболеваний, а также для экспресс-диагностики определенных патологических состояний, и идентификации и факторов риска их развития.

Значительный прогресс в технических аспектах создания микрочипов (в первую очередь мембранных микрочипов), сопровождавшийся минимизацией размеров и повышением точности нанесения на них биологического материала, позволил в течение буквально нескольких лет перейти от микрочипов, содержащих лишь десятки и сотни точек нанесения, к микрочипам, содержащим десятки тысяч таких точек [1–4]. Для изучения экспрессии генов наибольшее распространение получили мембранные ДНК-микрочипы, а именно олигонуклеотидные и основанные на кДНК, позволяющие получить количественную информацию о

полном или близком к полному профилю транскрипции генов в исследуемых клетках [5].

Основным направлением работы ФЦСКЭ им. В. А. Алмазова в этом разделе является разработка тест-систем на основе биологических микрочипов для молекулярно-генетической диагностики сердечно-сосудистых, эндокринных и гематологических заболеваний и факторов риска их развития. Данная работа проводится ФЦСКЭ совместно с Санкт-Петербургским государственным медицинским университетом им. акад. И. П. Павлова и ГУ НИИ АГ им. Д. О. Отта РАМН (Санкт-Петербург).

Использование олигонуклеотидных микрочипов, основанное на гибридизации образца с зафиксированными на мембранах или твердофазных поверхностях синтезированными фрагментами ДНК (длинной от 20–25 до 70–75 нуклеотидов) позволяет добиться высокой точности и достоверности абсолютных значений гибридизации. Хотя абсолютная точность гибридизационного сигнала (как функции уровня экспрессии генного продукта в образце) является меньшей, чем для олигонуклеотидных микрочипов (из-за неодинаковой длины гибридизуемых фрагментов кДНК и ряда других показателей), кДНК микрочипы наиболее удобны для крупномасштабного скрининга генов, отвечающих изменением своей экспрессии на внешнее воздействие: такое, как применение лекарственного препарата, дифференциация, патология, или старение. Важным является и то, что многие разрабатываемые микрочиповые платформы используют экспрессированные сиквенсные ярлыки, чтобы еще более расширить возможности применения микрочипов для первичного скринингового анализа генов-мишеней. Такой подход в настоящее время может рассматриваться как метод выбора для широкоформатного скрининга, предназначенного для количественного анализа профилей экспрессии генов в контрольных и экспериментальных образцах.

Прогресс технологии, способствующий многократному увеличению точности нанесения на поверхность платформы ДНК-материала (обычно специфичных олигонуклеотидов) в аспекте погрешности объема используемого материала и распределения точек его нанесения, позволил многократно уплотнить микрочиповые платформы, непосредственно достигнув уровня «наночипов». Это обеспечивает увеличение числа генов-мишеней (или их копий), тестируемых в ходе одного эксперимента, а также снижает объем расходуемых реагентов, что позволяет, в частности, изготовить большее количество плат-

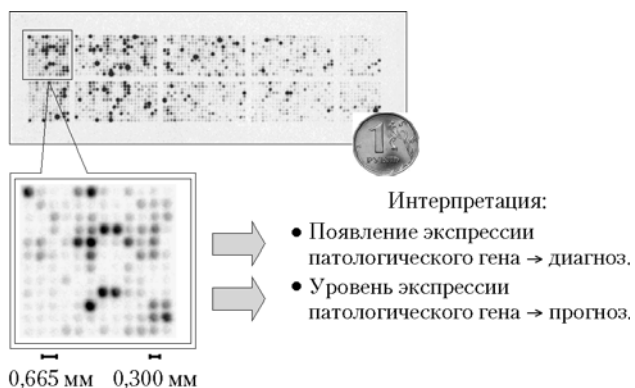


Рис. 1. Биологические микрочипы: кДНК платформа

Одновременная детекция по двум каналам (пациент и контроль)

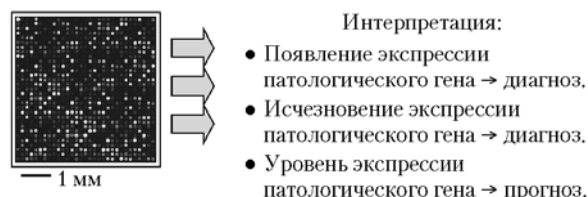


Рис. 2. Биологические микрочипы: олигонуклеотидная платформа

форм и уменьшить расход реагентов в ходе их практического применения. Важными факторами стали также повышение разрешения систем сканирования сигнала с микрочиповых платформ и создание новых синтетических материалов, позволяющих надежно фиксировать нано-объемы ДНК-материала [6]. Весьма показательно, что в практике с успехом используются не только мембранные/твердофазные, но и другие подтипы наночипов, в том числе волномерические (трехмерные) и микроэлектронные [7]. Интересным подходом, позволяющим повысить эффективность микрочиповых платформ стало также применение наночастиц разной природы [8, 9].

Направленная доставка лекарственных веществ белков, ДНК, молекул — это доставка перечисленных структур с помощью наночастиц либо за счет «упаковки», т.е. когда нековалентные агрегаты молекул носителя инкапсулируют множество переносимых молекул, или путем «мечения», используя ковалентные соединения с лигандом мишени или полимера-носителя.

Наночастицы могут быть изготовлены из разных материалов: железа, золота, платины и многих других металлов. Им может быть придана разная форма, и все это вместе придает им уникальные свойства. Прежде всего, мы говорим здесь о золотых наночастицах. Золото делает их биологически инертными и биосовместимыми. Особенности химических процессов, протекающих на их поверхности, способствуют биоконъюгации, поэтому можно присоединить к ним антитела, позволяющие наночастицам направленно связываться с клетками определенных типов. Наконец, поскольку они металлические и поглощают свет, они преобразуют его в тепло, которое весьма эффективно передают в окружающую среду.

В настоящее время метод аутологичной трансплантации гемопоэтических стволовых клеток (ГСК) является эффективным способом лечения онкогематологических заболеваний. В то же время 90% рецидивов после проведения данной терапии связано с присутствием опухолевых клеток в заготовленном трансплантате. Все описанные выше свойства наночастиц позволили нам начать разработку нанотехнологической очистки трансплантата гемопоэтических клеток от контаминации опухолевыми клетками с целью уменьшения частоты рецидивов заболевания после ауто трансплантации гемопоэтических стволовых клеток, с использованием методики нанотермолизиса. Работа проводится ФЦСКЭ им. В. А. Алмазова совместно с Fairway Medical Technologies (Houston, USA).

Было показано, что, если после заготовки аутологичного костного мозга у больного с онкогематологическим заболеванием экстракорпорально произвести обработку полученной взвеси гемопоэтических клеток, осуществив селективную нагрузку остаточных опухолевых клеток золотыми или серебряными наночастицами, с последующей обработкой этой взвеси лазерным излучением с длиной волны 1064 нм, эта процедура приводит к эффективной очистке костного мозга опухолевых клеток. Селективность действия достигается путем предварительного связыва-

ния наночастиц с моноклональными антителами, направленными против антигенов опухолевых клеток. Золотые и серебряные наночастицы обладают высокой оптической абсорбционной способностью в области около-инфракрасного света и под действием подобного облучения образуют микропузырьки пара, разрушающие опухолевые клетки. Нормальные клеточные элементы прозрачны для данного спектра, что позволяет добиться избирательности терапевтического воздействия.

Другой подход к проблеме адресной доставки демонстрирует следующий проект, разрабатываемый в рамках этого направления: изучение возможности использования наномашин для адресной доставки продуктов целенаправленного синтеза в клетки-мишени.

Белки и нуклеиновые кислоты их надмолекулярные комплексы с участием других молекул представляют собой то, что можно назвать наномашинами, так как они способны выполнять важные биологически целесообразные «задания». Одной из целей медико-биологического направления нанотехнологии является попытка встроиться инженерными наноструктурами в систему естественных взаимодействий в наносреде белков и нуклеиновых кислот с целью коррекции их функционирования. Мишени и маркеры для нанотехнологичных подходов идентифицируют и исследуют методами протеомно-геномного анализа, позволяющих выявлять тонкие фенотипические и патогенетические особенности. Примером документирования и использования биомаркеров может быть развитие представлений об ишемическом каскаде.. Специфические биомаркеры одновременно являются важными молекулами, участвующими в развитии патологического процесса, они осуществляют коммуникацию сигнальных путей между клетками участниками развития нестабильности атеросклеротической бляшки с последующим тромбозом и некрозом ишемизированной ткани [10]. После возникновения инфаркта в зоне ишемии, например, при остром инфаркте миокарда, процесс во многом зависит от пришедших в эту зону клеток — макрофагов. Важно, чтобы эти клетки работали на сохранение и восстановление кардиомиоцитов. Сегодня это может достигаться в том, числе с помощью бионанотехнологи. Альфа-2-макроглобулиновая бионаномашинка может доставить в очаг наночастицы с ингибитором синтеза провоспалительного фактора — оксида азота продукта макрофагальной NOS и антибиотика.

На основе альфа-2-макроглобулиновой бионаномашинки мы создаем медицинскую технологию лечения сердечно-сосудистых заболеваний избирательным локальным влиянием на клеточные активности. Наночастицы с производными полигидроксиаргина или метилированными по гуанидиновой группировке производными, а также антибиотик, включенные в активированный альфа-2-макроглобулин предназначены для коррекции метаболизма и цитокиновой активности макрофагов. Лечебная бионаномашинка для коррекции функции макрофагов и возможно эндотелиоцитов, гладкомышечных клеток (ГМК) будет иметь размеры около 15–20 нанометров. Фун-

кционально может быть построена из активированного альфа-2-макроглобулина, полиаргинин-гуанидин-derivата и антибиотика. При введении в организм бионаномашина будет занимать сорбционные кластеры LRP-рецепторов [11] в вышеуказанных клетках с последующим эндоцитозом всего наноконплекса в клетки. Применение макроглобулиновых наномашин имеет большие перспективы, как в профилактике сердечно-сосудистых заболеваний, так и в реабилитационном периоде ведения больных.

В рамках этого же направления с целью стимуляции и регуляции процесса ангиогенеза начат проект по адресной доставке генетических конструкций, несущих факторы ангиогенеза, в зоны ишемии. при хронической артериальной недостаточности нижних конечностей Данная работа осуществляется сотрудниками ФЦСКЭ им. В. А. Алмазова и институтом экспериментальной медицины Fairway Medical Technologies, Houston, USA.

Актуальность данного исследования связана с тем, что облитерирующие заболевания сосудов нижних конечностей встречаются у 10% лиц старше 50 лет, а у больных с диабетом этот процент существенно увеличивается. Существующие терапевтические и хирургические методы лечения далеко не всегда оказываются эффективными. В течение последнего десятилетия широкое распространение получила концепция терапевтического ангиогенеза как метода лечения, позволяющего без хирургического вмешательства частично восстановить кровообращение в поврежденном органе. Основу новой лечебной тактики составляет введение в область ишемии ангиогенных факторов роста или их генов для стимуляции развития сосудов в области ишемии. В экспериментальных работах по терапевтическому ангиогенезу использовались как рекомбинантные ангиогенные факторы роста (FGF-1 и 2 и VEGF165), так и их гены (VEGF165, VEGF121, VEGF189 и FGF-5): Практически во всех случаях введение факторов роста или их генов стимулировало развитие коллатералей и новых капилляров, которые, что очень важно, не регрессировали после прекращения введения факторов роста; однократное введение гена заменяло многократные инъекции или инфузии рекомбинантных факторов роста. Важно, что при введении генов практически не отмечалось побочных эффектов, таких как гипотензия, наблюдавшихся при введении факторов роста.

Существует ряд подходов к доставке генетического материала в клетки и ткани-мишени: 1 — внутримышечные инъекции вектора экспрессии, 2 — доставка генетических конструкций в клетки-мишени за счет вирусных частиц, 3 — способы доставки ДНК и РНК, упакованных в различные липидные оболочки (липосомы), поликатионные частицы и другие, 4 — применение наночастиц. Исследования последнего подхода начались сравнительно недавно, но уже сейчас можно с уверенностью говорить, что наночастицы способны обеспечить прорыв в области технологий доставки терапевтических агентов, в том числе ДНК, в ткани и клетки пациента. На настоящий момент, конечно, нельзя говорить о том, что нанотехнологии и наночастицы позволяют разработать способ

доставки генетических конструкций в полной мере лишенных недостатков. Однако, уникальные свойства и размер наночастиц позволяет им с высочайшей эффективностью проникать через барьеры организма, и, что самое главное, дает им возможность после проникновения в клетку перейти в ядро через ядерные поры, что гарантирует чрезвычайно эффективное и быстрое начала экспрессии переносимой конструкции.

Известно, что формирование сосудов во взрослом организме представляет собой многоэтапный процесс, контролируемый на разных уровнях множеством генетических факторов. В первую очередь необходимо разрушить внеклеточный матрикс в месте ответвления будущего сосуда. Для формирования трубки необходима миграция, пролиферация и адгезия эндотелиальных клеток — этап, контролируемый огромным количеством факторов. На последнем этапе происходит созревание сформировавшегося сосуда, т. е. привлечение перicyтов (капилляр) или гладкомышечных клеток (артериола). Генетические факторы, которые привлекли наше внимание, ETS-1, NIF-2alfa, HEY1 и HEY2, являются одними из ключевых регуляторов этапов формирования сосудов во взрослом организме. В эксперименте планируется два способа доставки гена в зону ишемии: 1 — генетический вектор со встроенным геном заключается в наночастицу (предположительно, липосому) и инъецируется в ишемическую конечность крысы; 2 — генетический вектор с встроенным геном заключается в клетку-предшественник и клетки инъецируются в ишемическую конечность крысы. Для анализа результатов эксперимента планируется использовать ангиографию, анализ гистологических срезов и анализ экспрессии ангиогенных факторов. При получении положительных результатов предполагается проведение пилотного клинического исследования.

Наноматериалы. В рамках этого раздела выполняется исследование «Предотвращение патогенного воздействия электромагнитного излучения на сердечно-сосудистую систему за счет экранирующих свойств композиционных материалов на основе сплавов системы Co-Fe-Ni-Cu-Nb-Si-B и Fe-Cu-Nb-Si-B». Работа проводится совместно с сотрудниками Федерального государственного унитарного предприятия — Центрального научно-исследовательского института конструкционных материалов («Прометей»). Цель проекта — создание композиционных материалов на основе аморфных сплавов железа и кобальта с целью защиты биологических объектов от электромагнитных излучений.

Исследования, проведенные отечественными и зарубежными лабораториями, свидетельствуют о перспективности использования для экранирования электромагнитных полей промышленной частоты нанокристаллических сплавов на основе железа и кобальта, полученных методом контролируемой кристаллизации из аморфного состояния. Однако указанные материалы обладают нестабильностью магнитных свойств. Поэтому одной из актуальных задач является получение нанокристаллических сплавов с управляемым уровнем магнитных характеристик. Уменьшение массогабаритных характеристик, рас-

ширение рабочего диапазона частот, повышение эффективности экранирования возможно при переводе структуры аморфных магнитных сплавов в нанокристаллическое состояние. Наличие в сплаве большого количества нанокристаллов α -(Fe, Si), расположенных в остаточной аморфной матрице, позволяет повысить магнитную проницаемость за счет вращения векторов намагниченности этих нанокристаллов. Показана способность сплавов препятствовать резким изменениям артериального давления (как у нормотензивных крыс, так и у крыс с врожденной артериальной гипертензией) при электромагнитных излучениях.

Дальнейшее развитие исследований представляет интерес в плане изучения способности созданных материалов защищать от электромагнитных излучений деятельность сердца, нарушения активности вегетативной нервной системы, обусловленные этим излучением, а также возможность защиты от электромагнитного излучения носимых кардиостимуляторов.

Несомненный научный и практический интерес представляет и второе исследование «Разработка и доклиническая оценка эффективности нанотехнологических методов контролируемого высвобождения препаратов с антипролиферативной и антитромботической активностью с поверхности артериальных стентов», проводимое нами в рамках раздела «Наноматериалы». Работа проводится ФГУ ФЦСКЭ им. В. А. Алмазова, Центральным НИИ робототехники и технической кибернетики и ГОУ ВПО СПГМУ им. акад. И. П. Павлова»

Стентирование коронарных артерий представляет собой неотъемлемый этап большинства чрескожных коронарных вмешательств, направленных на реваскуляризацию ишемизированного миокарда. Внедрение в клиническую практику стентов с лекарственным покрытием (СЛП) позволило существенно снизить частоту возникновения рестеноза [12]. Входящие в состав СЛП лекарственные препараты, связанные с полимерным покрытием стента, обладают антипролиферативным эффектом и обеспечивают локальное подавление деления эндотелиальных и гладкомышечных клеток, задействованных в патогенезе рестеноза. В настоящее время в интервенционной кардиологии наиболее широко применяются СЛП, содержащие два циторедуктивных препарата — сиролимус (рапамизин) и паклитаксел (таксол). Однако, выполненные в последние годы клинические исследования показали, что использование СЛП в ряде случаев может приводить к повышению риска позднего тромбоза стента [13]. В последние годы были предложены различные подходы к оптимизации эффективности и безопасности СЛП, основанные на использовании нанотехнологий. В частности, L. Y. Huang и M. C. Yang [14] применили оригинальную технологию покрытия стентов из нержавеющей стали несколькими (до 5) нанослоями гиалуроновой кислоты и гепарина толщиной 280–630 нм. Пространства между нанослоями загружались сиролимусом с плотностью, варьирующей от 1,02 до 3,13 мкг/см², что позволяло добиться стабильной кинетики высвобождения препарата в течение 30 дней и более. В настоящее время особое внимание уделяется разработке бесполимерных

СЛП, покрытых наночастицами, содержащими антирестенозные препараты. Определенную перспективу в плане дифференцированной доставки антитромботических и антипролиферативных препаратов может представлять их помещение в микрорезервуары, сформированные в металлическом каркасе стента. При этом микрорезервуары, находящиеся на адлюминальной (обращенной в просвет сосуда) стороне ребра стента, целесообразно заполнять препаратами с антитромботической активностью (гепарин, гиалуроновая кислота и т. д.), а резервуары аблюминальной поверхности — антипролиферативными и противовоспалительными агентами. Не исключается и возможность помещения внутрь микропор наночастиц, содержащих соответствующий препарат. В настоящее время имеется опыт использования стентов с заполненными паклитаксолом микропорами в эксперименте.

Для доклинических исследований эффективности и безопасности новых модификаций коронарных стентов используются две экспериментальные модели — стентирование коронарной артерии свиньи и подвздошной артерии кролика. В 2004 году В. Langeveld [15] детально описали экспериментальную модель, предназначенную для изучения эффективности коронарных стентов у крыс *in vivo*. При этом стандартные промышленно изготовленные стенты помещали в брюшную аорту крыс с помощью катетера. Для проведения экспериментальной апробации эффективности и безопасности новых модификаций коронарных стентов нами была воспроизведена модель В. Langeveld [15]. При этом стандартные промышленно изготовленные стенты помещали в брюшную аорту крыс с помощью катетера. (размеры стентов могут варьировать от 2,0 до 2,5 мм в диаметре и от 8 до 15 мм в длину). После чего в динамике оценивается состояние кровообращения ишемизированной зоны, что позволяет судить о проходимости протеза в раннем и позднем послеоперационном периоде.

Отдельным направлением является проект «Технология создания гемо- и биосовместимых макромолекулярных систем (наноструктур) с антиоксидант-

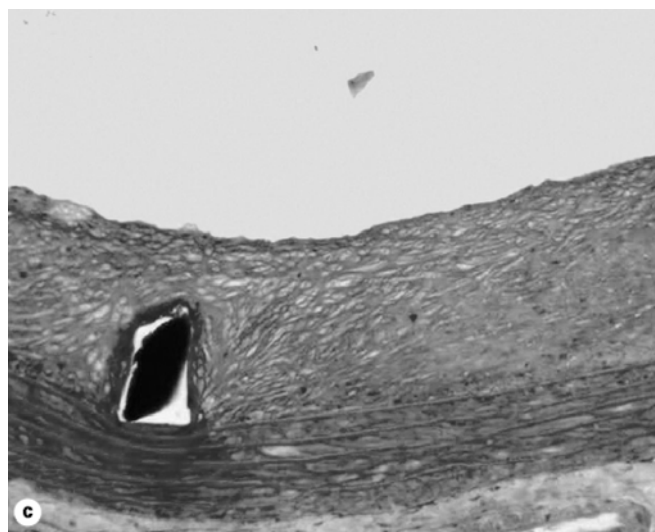


Рис. 3. Фотомикрrogramма аорты крысы с детекцией коллагена в неоинтима имплантированного стента ($\times 200$, окр. толудициновыи синий-основной фусции)

ной активностью», который выполняется совместно с сотрудниками химического факультета Санкт-Петербургского государственного университета, является разработка технологии создания гемо- и биосовместимых макромолекулярных систем (наноструктур) с антиоксидантной активностью и применение их в качестве плазмозаменителей.

Острая массивная кровопотеря остается важнейшей проблемой современной медицины, так как является главной причиной смертности при техногенных и природных катастрофах, во время военных конфликтов, а также в результате хирургических операций, сопровождающихся обширной кровопотерей. Неблагоприятные эффекты острой кровопотери связаны в первую очередь со снижением внутрисосудистого объема жидкости и уменьшением количества носителя кислорода — гемоглобина. Вследствие этого развивается ишемия органов и стресс-реакция, которые являются пусковыми механизмами активации свободнорадикальных процессов. Именно поэтому внутрисосудистое связывание активных кислородных радикалов в процессе инфузионной терапии является чрезвычайно актуальным.

В настоящее время проблему острой массивной кровопотери решают традиционным способом и для стабилизации объема циркулирующей крови используются различные плазмозаменители: коллоидные (растворы био- или синтетических полимеров) и кристаллоидные (солевые растворы). Однако все известные плазмозаменители в условиях гипоксии не защищают органы и ткани от повреждающего действия активных кислородных радикалов. Не решает проблему и применение этих плазмозаменителей с добавлением различных фармацевтических препаратов (антиоксидантов), связывающих активные кислородные радикалы.

Таким образом, на сегодняшний день существует крайняя необходимость создания новой технологии плазмозаменителей, которые сами выполняли бы функцию связывания свободных кислородных радикалов, то есть обладали бы антиоксидантными свойствами.

Для решения поставленной цели использован новый подход, заключающийся в создании макромолекулярных систем с антиоксидантной активностью, которые представляют собой гидрофильные био- или синтетические полимеры, содержащие в своей структуре функционально значимые фрагменты антиоксиданта, то есть сочетают в одной структуре макромолекулярные свойства гидрофильных полимеров и свойства антиоксиданта как регулятора свободнорадикальных процессов.

В качестве полимерной составляющей используются гидрофильные полимеры, такие как декстран, крахмал, поливиниловый спирт, которые применяются в медицинской практике в качестве основы плазмозаменителей. В качестве антиоксидантной составляющей — химические соединения, обладающие выраженными антиоксидантными свойствами и высокой биологической активностью, такие как пространственно-затрудненные фенолы (ПЗФ). Наличие разнообразных функциональных производных ПЗФ, получаемых в промышленном масштабе, предопределило целесообразность их использования в качестве антиоксидантной

составляющей макромолекулярных систем с антиоксидантной активностью (МСАО).

Проведенный коллективом авторов первоначальный скрининг и оценка фармакологического профиля МСАО в составе плазмозаменителей в условиях острой кровопотери показали, что замещение кровопотери предлагаемыми инфузионными средами позволяет поддерживать гемодинамические показатели на физиологическом уровне, а также блокировать развитие процесса свободно-радикального окисления. Предварительная инфузия плазмозаменителей с антиоксидантными свойствами приводила к снижению летальных исходов (с 98 до 52%) при массивной острой кровопотере. Это может позволить более эффективно предупреждать осложнения, возникающие при использовании аппарата искусственного кровообращения или при оперативных вмешательствах, которые сопровождаются значимой кровопотерей.

Итак, последние годы ознаменовались бурным ростом интереса к нанотехнологии и ростом инвестиций в нее. И это вполне понятно, учитывая, что нанотехнологии обеспечивают высокий потенциал экономического роста, от которого зависят качество жизни населения, технологическая и оборонная безопасность, ресурсо- и энергосбережение. Те страны, которые не обратят внимания на этот фактор, серьезно отстанут от развивающихся экономик ведущих стран мира.

Литература

1. M. Schena, D. Shalon, R. W. Davis, H. O. Brown. Quantitative monitoring of gene expression patterns with a complementary DNA microarray//Science. Vol. 270, № 5235. 1995.
2. M. Schena, D. Shalon, R. Heller et al. Parallel human genome analysis: microarray-based expression monitoring of 1000 genes//Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. Vol. 93, № 20, 1996.
3. M. E. Truckenmiller, M. P. Vawter, C. Cheadle et al. Gene expression profile in early stage of retinoic acid-induced differentiation of human SH-SY5Y neuroblastoma cells//Restor. Neurol. Neurosci. Vol. 18, № 2–3, 2001.
4. H. Suzuki, E. Gabrielson, W. Chen et al. A genomic screen for genes upregulated by demethylation and histone deacetylase inhibition in human colorectal cancer//Nat. Genet. Vol. 31, № 2, 2002.
5. R. A. Young. Biomedical discovery with DNA arrays//Cell. Vol. 102, № 1, 2000.
6. B. J. Hong, V. Sunkara, J. W. Park. DNA microarrays on nanoscale-controlled surface. Nucleic Acids Res. Jul 7, 2005.
7. B. N. Gosalia, S. L. Diamond. Printing chemical libraries on microarrays for fluid phase nanoliter reactions. Proc Natl Acad Sci USA. July 22, 2003.
8. Y. P. Bao, M. Huber, T. F. Wei, S. S. Marla, J. J. Storhoff, U. R. Mueller. SNP identification in unamplified human genomic DNA with gold nanoparticle probes. Nucleic Acids Res. Jan 19, 2005.
9. C. R. Sabanayagam, J. R. Lakowicz. Increasing the sensitivity of DNA microarrays by metal-enhanced fluorescence using surface-bound silver nanoparticles. Nucleic Acids Res. January, 2007.
10. R. S. Vasan. Biomarkers of Cardiovascular Disease Molecular Basis and Practical Considerations. Circulation. 2006.
11. А. А. Жлоба, С. Ю. Иванова. Изучение свойств и выявление экспрессии рецептора активированного альфа-2-макроглобулина человека//Клиническая лабораторная диагностика, № 4, 2002.
12. J. Ako, H. N. Bonneau, Y. Honda, P. J. Fitzgerald. Design criteria for the ideal drug-eluting stent. Am. J. Cardiol. 2007.
13. G. Nakazawa, A. V. Finn, R. Virmani. Vascular pathology of drug-eluting stents. 2007.
14. L. Y. Huang, M. C. Yang. Hemocompatibility of layer-by-layer hyaluronic acid/heparin nanostructure coating on stainless steel for cardiovascular stents and its use for drug delivery. J. Nanosci. Nanotechnol. 2006.
15. B. Langeveld, A. J. Roks, R. A. Tio et al. Rat abdominal aorta stenting: a new and reliable small animal model for in-stent restenosis. 2004.

Наноиндустрия — ИНВЕСТИЦИИ В ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ КАПИТАЛ

В. В. Лучинин,

*д. т. н., профессор кафедры микроэлектроники,
директор Центра микротехнологии и диагностики
Санкт-Петербургского государственного электротехнического
университета*



В социально-экономических приоритетах Российской Федерации особое место занимает развитие наукоемких отраслей производства с высоким уровнем интеллектуально добавленной стоимости. На современном этапе в качестве одного из таких инновационных направлений определена наноиндустрия.

Наноиндустрия — это *интегрированный комплекс, включающий оборудование, материалы, программные средства, систему знаний; технологическую, метрологическую, информационную, организационно-экономическую культуру и кадровый потенциал, обеспечивающие производство наукоемкой продукции, основанной на использовании новых, нетрадиционных свойств материалов и систем при переходе к наномасштабам.*

За сравнительно короткий промежуток времени укрепились представления о том, что:

- приставка «нано» — *скорее особое обобщенное отражение объектов исследований, прогнозируемых явлений, эффектов и способов их описания, чем простая характеристика протяженности базового элемента*, которая формально определена от единиц до ста нанометров;
- *базовые понятия с приставкой «нано» должны наиболее полно отражать именно проявление функционально-системных свойств материалов, процессов и явлений, а не только чисто геометрические параметры объектов* [1].

Уникальность направления «нано» определяется тем, что данное направление может оказаться востребованным различными социальными слоями и профессиональными группами общества, поскольку продукция наноиндустрии — это *интеллектуальная и материальная наукоемкая продукция с ранее не достижимыми технико-экономическими показателями, создаваемая с широким применением новых материалов, технологических процессов и методов контроля. Она ориентирована и востребована при решении задач обеспечения обороноспособности, безопасности и технологической независимости государства, реализацию социально и экономически значимых национальных проектов в области образования и здравоохранения, повышение качества и разнообразия современных товаров и услуг* [2].

Базисом наноиндустрии является система знаний, основанная на описании, объяснении и предсказании свойств материальных объектов с нанометрическими характеристическими размерами или объектов более высокого метрического уровня, упорядоченных или самоупорядоченных на основе наноразмерных элементов, **т. е. наука о «нано».**

Формально **нанотехнология** на основе системы знаний, умений и аппаратурно-информационного обеспечения реализует совокупность научно обоснованных действий для практического материального воплощения идей «нанонауки» в виде «нанотехники», то есть интеллектуальной и материальной продукции: машин, механизмов, приборов, устройств и материалов, созданных с использованием новых, ранее не известных свойств и функциональных возможностей материальных систем при переходе к наномасштабам, определяемых особенностями процессов переноса и распределения зарядов, энергии, массы и информации при наноструктурировании [3].

Фактически наноиндустрия ориентирована на создание интеллектуальной и материальной продукции с *высоким уровнем добавленной стоимости, формируемой (определяемой) интеллектуальным вкладом «человеческого капитала» — носителя генетического, культурного и технологического наследия.*

Интеллектуальный базис наносистем — это, безусловно, система знаний и умений, носителем которой является **«человеческий капитал»**. Основной формой инвестиций в «человеческий капитал» является предоставление образовательных услуг. Поэтому, наряду с постановкой чисто экономической задачи — повышения эффективности производства на основе опережающего развития высокотехнологичных отраслей, необходимо решать и ещё одну социальную задачу — *обеспечения требуемого интеллектуального уровня «человеческого капитала» через развитие научных исследований и предоставление образовательных услуг. Это связано с особой ролью интеллектуального фактора в конечных результатах данного наукоемкого направления и его влияния на долгосрочную перспективу любого государства.*

Целью данной статьи является анализ современного состояния в области формирования отечественного кадрового потенциала наноиндустрии, являю-

щегося важнейшей составляющей ее инфраструктуры, включая вопросы обучения, взаимодействия науки и образования, популяризации знаний, обеспечивающих формирование единой технологической культуры нового поколения.

Организационно-правовая база развития образования в области наноиндустрии

В соответствии с президентской инициативой от 24 апреля 2007 года «Стратегия развития наноиндустрии» (Пр. № 688) в рамках одного из направлений формирования наноиндустрии определено создание в ближайшие 10–15 лет в стране надотраслевой научно-образовательной и производственной среды с целью построения нового технологического базиса экономики Российской Федерации.

В рамках достижения данной цели определено решение конкретной задачи по формированию системы подготовки и переподготовки кадров для проведения исследований и разработок в области наноиндустрии.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 2 августа 2007 г. № 498 принята к реализации ФЦП «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации», в рамках которой создается национальная нанотехнологическая сеть, в состав которой включены 32 федеральных государственных образовательных учреждения высшего профессионального образования, отобранные на конкурсной основе. Основные функции вузов, ведущих научно-образовательную деятельность в сфере наноиндустрии, определены следующим образом:

- интеграция научной и образовательной деятельности на всех уровнях высшего и послевузовского профессионального образования с целью выполнения научных исследований и разработок мирового уровня;
- обеспечение взаимодействия с академическим и отраслевыми секторами науки, включая привлечение ученых и специалистов данных секторов к образовательной деятельности.

Фактически поставлена цель — создать программы обучения и популяризации знаний для сферы наноиндустрии с целью формирования единой технологической культуры нового поколения.

Организация подготовки кадров для наноиндустрии

В рамках исполнения Поручения Президента Российской Федерации от 22 мая 2003 г. № 4411 Министерством образования Российской Федерации издан приказ от 4 июня 2003 г. № 2398 «Об эксперименте по созданию нового направления подготовки дипломированных специалистов «Нанотехнология» и специальностей «Нанотехнология в электронике» и «Наноматериалы». Учебно-методический Совет по данному направлению возглавил академик Ж. И. Алферов.

Учебно-методическим советом по нанотехнологии и учебно-методическими комиссиями по специ-

альностям с активным участием вузов: СПбГЭТУ, МГИЭТ, МИСИС, МГАТХТ — в 2003 году подготовлены Федеральные государственные образовательные стандарты и примерные учебные планы подготовки специалистов по специальностям «Нанотехнологии в электронике» и «Наноматериалы», утвержденные Минобразования России.

В апреле 2004 года по представлению УМО по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации, действующего на базе Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета, Минобразования России приняло решение о реализации процесса двухуровневой подготовки кадров (бакалавров и магистров) по направлению «Нанотехнология». Для обеспечения образовательного процесса подготовлены и утверждены Федеральные государственные образовательные стандарты и примерные учебные планы.

Целесообразность введения многоуровневой системы подготовки кадров по быстро прогрессирующему направлению обусловлена:

- объективной ситуацией в развитии данного высокотехнологичного направления, характеризующейся стадией накопления знаний, то есть, в первую очередь, становлением «нанонауки»;
- отсутствием не только в России, но и за рубежом, окончательной концепции развития «наноиндустрии» как промышленного производства, ориентированного на вполне определенную номенклатуру наноматериалов и компонентов наносистемной техники;
- необходимостью гармонизации структуры отечественного образовательного процесса по базовым направлениям научно-технического прогресса с концепцией, принятой большинством промышленно развитых стран в рамках Болонской декларации.

Многоуровневая система подготовки позволяет осуществлять более целенаправленную ориентацию образовательного процесса в рамках специальных дисциплин с учетом проблемного поля направления подготовки, отраженного в магистерских программах.

Анализ возможных образовательных программ при подготовке магистров, ориентированных на область «Наноиндустрия», позволил выделить в качестве наиболее востребованных следующие программы: физика наносистем; химия наносистем; материаловедение наносистем; процессы нанотехнологии; методы нанодиагностики; наноэлектроника; нанооптика; наномеханика; микро- и наноэнергетика; биомедицинские нанотехнологии.

В настоящее время 27 вузов готовят кадры по направлению «Нанотехнология». Выпуск специалистов области нанотехнологии, начиная с 2009 года, составит 300–350 человек ежегодно.

Одновременно в «классических» университетах России реализуются основные образовательные программы по направлениям подготовки и специальностям «Физика», «Механика», «Химия», «Биология», «Геология», в рамках которых открыты специализации, а также специализированные магистерские про-

граммы, ориентированные на подготовку кадров по наноиндустрии. Общее количество выпускников вузов, ориентированных на научно-образовательную, производственную деятельность и оказание услуг в сфере наноиндустрии, с 2009 года будет составлять 500–600 человек ежегодно.

В 2007 году в рамках реализации Федеральной целевой программы развития образования на 2006–2010 годы Минобрнауки России на конкурсной основе закуплен новый федеральный образовательный стандарт подготовки бакалавров и магистров по направлению подготовки «Электроника и наноэлектроника».

В 2008 году в рамках указанной программы планируется закупить Государственный образовательный стандарт подготовки бакалавров и магистров по направлению «Нанотехнологии».

Переподготовка и повышение квалификации кадров для наноиндустрии

Важнейшими элементами обеспечения качества высшего образования являются:

- кадровый потенциал, основанный на современных научно-педагогических школах, обеспечивающих преемственность поколений в сочетании с востребованностью и быстрой адаптацией к актуальным научно-техническим проблемам без потери глубины исследований и фундаментальности образования;
- лабораторно-экспериментальная база, позволяющая гармонично сочетать возможность получения знаний-знакомств и знаний-умений.

В рамках аналитической ведомственной программы «Развитие научного потенциала высшей школы» в 2005 году подготовлены программы повышения квалификации и переподготовки профессорско-преподавательских кадров области нанотехнологии, которые прошли в 2005–2007 годах апробацию с участием преподавателей из вузов России, ориентированных на подготовку кадров для наноиндустрии.

В рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России», направление «Индустрия наносистем и материалы», в 2006 году был реализован государственный контракт «Научно-организационное и научно-методическое обеспечение апробации и распространения новых образовательных профессиональных программ подготовки магистров и научных кадров, а также переподготовки специалистов по приоритетному направлению «Индустрия наносистем и материалы».

К сожалению, к началу XXI века экспериментальная база большинства вузов в высокотехнологичных областях серьезно отставала от зарубежного уровня. Объемы средств, выделенных на реализацию инфраструктурных проектов по созданию научно-учебных центров «Нанотехнологии», в рамках существующих цен на уникальные научные приборы и технологическое оборудование позволяют приобрести лишь единичные экземпляры, что не создаст возможности реализации целостной программы подготовки и перепод-

Таблица 1

Состав модульной унифицированной «малобюджетной» учебно-научной лаборатории «Нанотехнологии и нанодиагностики»

Технологии	Контроль и диагностика
<ul style="list-style-type: none"> • Получение углеродных нанотрубок из газовой фазы. • Молекулярная химическая сборка нитридов и оксидов. • Плазменное осаждение нанокластеров углерода и металлов. • Электрохимическое формирование нанопористого кремния. • Золь-гель технология получения наноструктурированных оксидов. • Получение органических нанослоев методом Ленгмюра–Блоджетт. • Амплификация ДНК методом полимеразной цепной реакции 	<ul style="list-style-type: none"> • Оптическая микроскопия с электрической нанозондовой диагностикой. • Растровая электронная микроскопия наносистем. • Атомно-силовая микроскопия наноразмерных объектов. • Эллипсометрия нанослоевых композиций. • Оптическая спектроскопия наночастиц. • Электронный парамагнитный резонанс магнитных нанокластеров. • Хроматография белков. • Капиллярный электрофорез коллоидных частиц

готовки кадров для наноиндустрии. Поэтому возникла идея: при сохранении за вузом возможности приобретения уникальных специализированных приборов для передовых, интегрированных в мировой и отечественный научно-исследовательский процесс научно-педагогических школ, часть средств, предоставляемых государством в рамках инфраструктурной программы «Наноиндустрия», направить для выполнения вузами важнейших образовательных функций подготовки и переподготовки кадров, а также популяризации знаний в своих регионах через создание комплексных учебно-научных малобюджетных лабораторий.

Их особенностью являются:

- модульный унифицированный характер лабораторной базы при широком охвате направлений для обеспечения, в первую очередь, знаний-знакомств;
- доступность в отношении размещения, эксплуатации и, особенно, приобретения оборудования. (Средняя стоимость модуля учебно-научной лаборатории в 5–10 раз меньше аналогичного исследовательского оборудования).

Модульный характер лаборатории позволяет подбирать требуемую номенклатуру малогабаритного технологического и контрольно-диагностического оборудования, имеющего соответствующее методическое обеспечение для быстрой адаптации к учебному процессу.

Базовая номенклатура модульного оборудования для «малобюджетной» учебно-научной лаборатории нанотехнологии и нанодиагностики представлена в табл. 1.

Научные исследования и разработки вузов в области наноиндустрии

Основными направлениями научных исследований и разработок, выполняемых вузами в области наноиндустрии в тесной интеграции с научными организациями и работодателями, являются:

1. Фундаментальные исследования:
 - ♦ молекулярная динамика и наномеханика;
 - ♦ синергетические эффекты и самоорганизация в наносистемах;
 - ♦ наномасштабирование и квантово-размерные эффекты;
 - ♦ фундаментальные основы коллективных и транспортных явлений в наноразмерных системах.
2. Разработки и исследования в области наноматериалов:
 - ♦ наноконпозиционные материалы с улучшенными механическими свойствами для сверхпрочных, сверхэластичных, сверхлегких конструкций;
 - ♦ наноконпозиционные материалы, обладающие «интеллектуальными» свойствами, включая адаптивность и память;
 - ♦ наноконпозиционные и нанодисперсные материалы для высокоэффективной сепарации и избирательного катализа;
 - ♦ нанопозиции для электронных, фотонных и флюидных сенсорных, информационно-коммуникационных и исполнительных нано- и микросистем;
 - ♦ биологически активные наночастицы для nanoизбирательной биомаркировки, диагностики, фармакотерапии и генной инженерии.
3. Разработки и исследования в области нанотехнологий:
 - ♦ физико-химические технологии синтеза, атомно-молекулярной химической сборки и самосборки неорганических и органических наноматериалов, бионеорганических наноразмерных систем;
 - ♦ зондовые, пучковые и корпускулярно-полевые технологии нанослоевого синтеза, наноразмерного нанесения, удаления и модифицирования вещества;
 - ♦ биомедицинские технологии nanoизбирательной диагностики, фармакотерапии, генной инженерии и сверхлокальной инвазивной хирургии;
4. Разработки и исследования в области нанодиагностики:
 - ♦ высокоразрешающие методы и средства контроля структуры, состава и геометрии наноразмерных объектов и наноматериалов;
 - ♦ экспресс-методы и средства регистрации электрических, оптических, магнитных, акустических и других видов полей наноразмерных объектов;
 - ♦ высокочувствительные медико-биологические методы и средства анализа наноразмерных объектов в условиях биосред;
 - ♦ специальные экспресс-методы и средства обнаружения и идентификации нано- и пикоколичеств био- и взрывоопасных веществ;
5. Разработки наносистем (наноустройств):
 - ♦ нанохимические компоненты (сорбенты, катализаторы, насосы, реакторы) для высокоэффективной очистки, избирательного сверх-

скоростного высокопроизводительного синтеза, атомно-молекулярной инженерии;

- ♦ наноэлектронные компоненты (элементная база) для сверхинтегрированных сверхмощных устройств наноэлектроники, сверхскоростных систем генерации, хранения, передачи и обработки информации;
- ♦ нанооптические компоненты (элементная база — излучатели, фотоприемники, преобразователи) для энергетически эффективной светотехники, систем сверхскоростной «сверхплотной» высокопомехозащищенной регистрации, передачи и обработки информации;
- ♦ компоненты нано- и микросистемной техники (электромеханические, оптомеханические, теплофизические, флюидные, биотехнические, биологические) для сверхминиатюрных высокочувствительных сенсорных, сверхточных исполнительных и микроэнергопотребляющих робототехнических устройств;
- ♦ нано- и микрогабаритные устройства для генерации, поглощения и аккумуляции электрической, световой, тепловой и механической энергии.

Средний объем финансирования научно-исследовательских работ из всех видов источников, выполняемых в одном вузе в интересах nanoиндустрии, не превышает 10–12 млн руб. ежегодно. Среднее планируемое количество защит кандидатских и докторских диссертаций в области наноматериалов, нанотехнологии, нанодиагностики и наносистем в вузах, ориентированных на развитие работ в области nanoиндустрии: 3–4 кандидатских и 1 докторская ежегодно.

Связь вузов с организациями РАН, РАМН, РАСХН, отраслевых министерств и ведомств

Основными направлениями взаимодействия вузов с организациями государственных академий наук являются: создание научно-образовательных центров (НОЦ на базе ФТИ им. А. Ф. Иоффе, СПбГТУ, СПбГЭТУ), базовых кафедр (МГУ, СПбГУ, РХТУ им. Д. И. Менделеева), обеспечение адресной поддержки студентов (ИФХ РАН) и проведение совместных исследований. Наибольшая активность проявляется со стороны ФТИ им. А. Ф. Иоффе, ИФХЭ им. А. Н. Фрумкина, ИОНХ им. Н. С. Курнакова, ГЕОХИ им. В. И. Вернадского, ИМЕТ им. И. П. Бардина. Отраслевые организации проявляют наибольшую заинтересованность в формировании специализированных групп выпускников вузов, профессионально адаптированных к потребностям заказчика, а также в повышении квалификации специалистов, ориентированных на обеспечение реализации конкретных программ и проектов, в которых непосредственно участвует заинтересованная организация. Отраслевые организации так же, как и организации академий наук, стимулируют возрождение функционирования и создание новых базовых кафедр с обязательной практикой студентов на рабочих местах.

Наибольшую активность среди отраслевых организаций проявляют РНЦ «Курчатовский институт», ОАО «Светлана-Оптоэлектроника», НПО «Кристалл», ФГУП «ЦНИИ «Комета», ОАО «Казанский завод «Электроприбор». Однако до настоящего времени профессиональные стандарты и требования к специалистам, а также система устойчивого прогнозируемого заказа на подготовку, переподготовку и повышение квалификации кадров со стороны отраслевых организаций фактически отсутствуют. Финансовая поддержка образовательного процесса и научных исследований в вузах со стороны государственных академий и отраслевых организаций крайне ограничена.

Государственное финансовое обеспечение научно-образовательного процесса

Финансовая поддержка образовательной и научной деятельности вузов в области нанотехнологии осуществляется из различных источников:

- бюджетные средства, выделяемые вузам на внедрение инновационных образовательных программ в рамках национального приоритетного проекта «Образование» (19 вузов-победителей конкурсного отбора заявили при реализации научно-образовательных программ в качестве приоритетного направления — «Индустрию наносистем и материалов», при этом объем бюджетных средств, выделенных в 2006–2008 годах для достижения заявленных целей, составил более 4 млрд руб.);
- бюджетные средства в размере около 1 млрд руб., выделенные Роснаукой на создание на базе ведущих вузов России 8 специализированных научно-образовательных центров, ориентированных на процессы нанотехнологии и методы нанодиагностики;
- бюджетные средства, выделяемые в рамках финансирования работ по ФЦП «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008–2010 годы» на создание научно-технологического центра «Нано- и микросистемная техника» и 31 научно-образовательного центра по направлению «Нанотехнологии». Общий объем бюджетных средств, выделяемых на 2008–2010 годы, составляет более 4 млрд руб.

В качестве источников финансирования научно-исследовательской деятельности вузов по направлению нанотехнологии, наряду с указанной ФЦП «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008–2010 годы», выступают ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы» (направление «Индустрия наносистем и материалов»), ФЦП «Национальная технологическая база на 2007–2011 годы» и ФЦП «Электронная компонентная база и радиоэлектроника на 2008–2015 годы».

Общий объем бюджетного финансирования, поступившего в вузы на развитие исследований 2006–2008 гг., оценивается в более чем 6 млрд руб.

Проблемы развития образования в области нанотехнологии

Основными проблемами в развитии образования в области нанотехнологии являются:

1. Отсутствие прогноза по необходимому объему рынка образовательных услуг для наноиндустрии на подготовку, переподготовку и повышение квалификации кадров.
2. Отсутствие инфраструктуры национальной системы непрерывного образования для развития нанотехнологической культуры, включая научно-методический, информационно-аналитический и организационно-правовой базисы, обеспечивающие эффективность отечественного производства, потребления и применения продукции наноиндустрии.
3. Отсутствие профессиональных стандартов и требований, адаптированных к динамичному рынку товаров и услуг наноиндустрии, в том числе, с учетом его междисциплинарного характера.
4. Недостаточная оснащенность вузов, обеспечивающих подготовку, переподготовку и повышение квалификации кадров для наноиндустрии учебно-исследовательским и опытно-технологическим оборудованием, в том числе, специализированной учебной техникой.
5. Отсутствие эффективной системы привлечения молодежи в сферы науки, образования и высоких технологий, включая социальную инфраструктуру, для устойчивого развития отечественной нанотехнологической культуры, исследований, разработок, оказания услуг и производства продукции наноиндустрии в интересах Российского государства.

О перспективах развития образования для наноиндустрии

Основными наиболее актуальными направлениями формирования национальной системы непрерывного образования для наноиндустрии следует считать:

1. Прогнозирование количественного и качественного состава необходимого рынка образовательных услуг на подготовку, переподготовку и повышение квалификации кадров для наноиндустрии.
2. Формирование инфраструктуры национальной системы непрерывного образования для развития нанотехнологической культуры, обеспечения эффективности отечественного производства, потребления и применения продукции наноиндустрии.
3. Развитие новых образовательных технологий на основе интеграции науки, образования и инновационной деятельности.
4. Формирование системы научно-методического и организационно-правового базиса (государственные образовательные стандарты, профессиональные стандарты и требования, программы подготовки, учебные планы, учебная и учебно-методическая литература) для обеспечения национальной системы непрерывного образования в области наноиндустрии, в том числе, междисциплинарного характера.

5. Устойчивое развитие учебно-исследовательской и опытно-технологической базы вузов, в том числе специализированной учебной техники и оборудования, обеспечивающих эффективную подготовку, переподготовку и повышение квалификации кадров на основе широкой интеграции образовательного процесса, научных исследований и разработок.
6. Формирование информационно-аналитической системы и развитие современных образовательных технологий (современные библиотечные комплексы, информационные образовательные технологии, электронные учебники, системы удалённого доступа для дистанционного образования), адаптированных к динамичному рынку разработки, производства и применения продукции наноиндустрии.
7. Развитие и поддержка конкурентоспособных научно-педагогических школ, ориентированных на наноиндустрию, реализующих научный и образовательный процессы, обеспечивающие превосходство и паритет России на международном рынке товаров и услуг.
8. Создание системы эффективного привлечения молодежи в сферу науки, образования, высоких технологий, ориентированных на развитие отечественной нанотехнологической культуры.
9. Создание социальной инфраструктуры для молодых специалистов, обеспечивающей эффективную деятельность, ориентированную на развитие отечественных исследований, разработок, оказание услуг и производство продукции наноиндустрии в интересах российского государства.
10. Формирование системы региональных образовательных центров нанотехнологической культуры на основе интеграции школ, высших учебных заведений, академических и отраслевых научно-исследовательских организаций, финансовых, патентных и внедренческих организаций и промышленных предприятий.
11. Развитие системы академических обменов с зарубежными научными и образовательными учреждениями, обладающими наиболее высоким потенциалом в области научных исследований и образовательного процесса для наноиндустрии.

Заключение

Во всех промышленно развитых странах национальные программы в области нанотехнологий ориентированы далеко не только на научную или военную сферы, а рассматриваются как фактор социально-экономического развития страны применительно к повышению образовательного уровня населения, созданию дополнительных рабочих мест высокой квалификации, развития сферы оказания различных социальных услуг населению с использованием новейших материалов и технологий.

В качестве одного из основных факторов планируемого экономического роста директивными документами в различных странах определено качество «человеческого капитала».

Не отрицая важности экономических факторов в формировании эффективной системы предоставле-

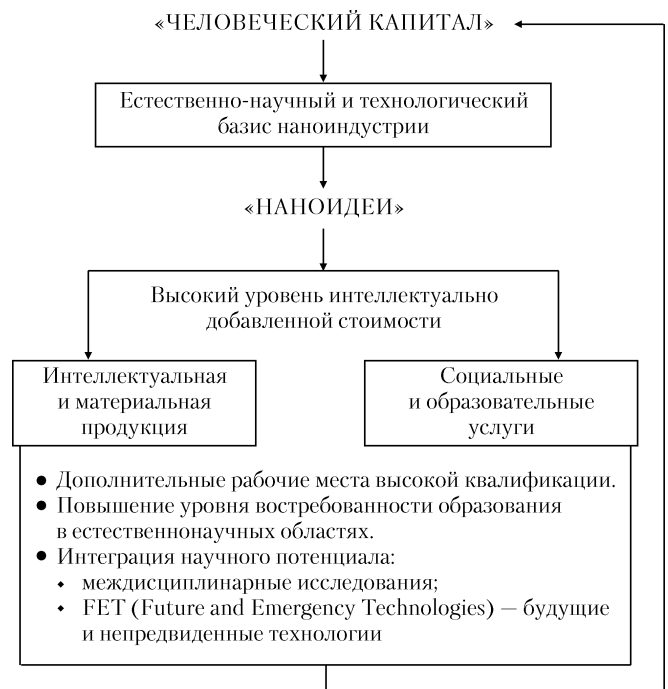


Рис. 1. Особая роль «наноидеи» как системного катализатора в развитии «человеческого капитала»

ния социальных услуг, следует особо выделить возможную роль нанотехнологий в обеспечении фактически государственного заказа на качество «человеческого капитала».

Особенностью данного госзаказа, направленного на инвестиции в человеческий капитал является:

- огромная емкость рынка социально-ориентированной продукции и услуг, их разнообразие;
- недостаточная насыщенность рынка продукцией наноиндустрии;
- социальная направленность рынка, определяющая его восприятие широкими слоями населения;
- социальная направленность рынка, определяемая возможным участием в нем организаций и предприятий различных форм собственности и численности;
- социальная направленность рынка, инициирующая исполнительные органы власти различных уровней к реализации мероприятий по развитию сферы социальных услуг.

Наноиндустрия относится к наукоемким высокотехнологичным направлениям с высоким уровнем интеллектуально добавленной стоимости. Развитие наноиндустрии в значительной степени определяется инвестициями в человеческий капитал (рис. 1). Уникальность направления «нано» заключается в том, что данное направление может быть востребованным различными социальными слоями и профессиональными группами общества, стимулирует развитие кадрового потенциала государства, интеграцию и эффективное использование высококвалифицированных специалистов.

Литература

1. Нанотехнология: физика, процессы, диагностика, приборы // Под ред. В. В. Лучинина, Ю. М. Таирова. М., Физматлит, 2006.
2. В. В. Лучинин. Наноиндустрия – базис новой экономики // Петербургский журнал электроники, № 3, 2003.
3. В. В. Лучинин. Введение в индустрию наносистем // Нано- и микросистемная техника, № 8, 2007.

Тематические научно-образовательные центры вузов как опорные элементы образовательного сегмента российской нанотехнологической сети

О. Ф. Вывенко,
д. ф.-м. н., профессор
кафедры электроники
твердого тела физического
факультета



И. А. Горлинский,
к. биол. н., профессор
кафедры биофизики



Ю. В. Чижов,
к. ф.-м. н., зав. кафедрой
фотоники физического
факультета

И. В. Рождественский,
к. ф.-м. н., советник прорек-
тора по научной работе СПбГУ
по управлению проектами



Санкт-Петербургский государственный университет

В статье предлагается концепция создания регионального образовательного сегмента национальной нанотехнологической сети на базе вузов Санкт-Петербурга, создающих в 2007–2008 годах научно-образовательные центры по направлению «Нанотехнологии». Подробно рассмотрен пример Санкт-Петербургского государственного университета по консолидации ресурсов национального проекта «Образование» и федеральной целевой программы «Развитие инфраструктуры нанопромышленности в РФ на 2008–2010 гг.» для создания инновационных образовательных программ и ресурсных центров в области исследования наносистем. Обсуждается возможность расширения термина «региональный сегмент», с включением активной кооперации с научно-исследовательскими, образовательными и промышленными организациями Финляндии.

In the article we discuss the concept of launching a regional educational segment of the national nanotechnology network based on the St. Petersburg universities which create in 2007–2008 the research and educational centers in nanotechnology. We describe in detail the experience of the St. Petersburg State University in consolidating resources of the National Project «Education» and the Federal Targeted Program of Development of the Nanoindustry Infrastructure in Russian Federation for designing and launching innovative educational programs and resource centers in the nanotechnology field. We suggest a broader meaning of the term «regional segment» by including active cooperation with the research, educational and industrial organizations of Finland.

Введение

При всем многообразии определений нанотехнологии и нанонауки, большинство специалистов сходятся на том, что принципиальной особенностью этих отраслей знаний является междисциплинарность. Поэтому исследования наносистем требуют согласованных усилий ученых различных специальностей, что приводит к уникальным результатам в разных областях человеческой деятельности, от биомедицины до конструктивных материалов. Между тем, узкие научные специализации разделены информационными, терминологическими, а порой и организационными барьерами.

Университеты, в отличие от специализированных исследовательских институтов, являются мультидисциплинарной средой повседневного научного общения, которая в большой мере способствует снятию барьеров между узкими специализациями. Поэтому они потенциально имеют возможности более быстрого продвижения в научных исследованиях в сфере нанотехнологий при условии организационного объединения различных научных направле-

ний и достаточного финансирования. Создание таких условий, в свою очередь, создает решающие предпосылки для формирования инновационной мультидисциплинарной образовательной среды, в том числе и для подготовки специалистов-нанотехнологов нового поколения.

В 2006–2007 годах высшие учебные заведения Российской Федерации получили значительные средства на создание инновационных образовательных программ и развитие научно-образовательной инфраструктуры. В 2006 году 10 млрд руб. было выделено на финансирование 17 вузов, внедряющих инновационные образовательные программы, в рамках национального проекта «Образование». В 2007 году список вузов, получивших аналогичную субсидию, значительно увеличился.

В 2007 году в рамках внепрограммной части Федеральной целевой программы «Развитие инфраструктуры нанопромышленности в РФ на 2008–2010 гг.» по тематическому направлению «Развитие приборно-инструментальной составляющей инфраструктуры нанопромышленности» 8 вузов страны получили значитель-



а



б

Фото 1:

а — учебно-научная рабочая станция нанолитографии 1540 XB CROSSBEAM («Carl Zeiss») служит для разработки физико-технологических принципов наноконструирования фотонных вентиляльных матриц и матриц фотонной памяти на основе эпитаксиальных полупроводниковых гетероструктур; б — результат действия ионного пучка на 5 мкм слой золота, нанесенного на стальной контакт

ные средства (около 130 млн руб. на вуз) на создание типовых научно-образовательных центров (НОЦ) по направлению «нанотехнологии». Этими вузами явились те из первых 17 вузов, которые внедряют инновационные образовательные программы, относящиеся к сфере нанонауки и нанотехнологий.

Следует признать, что это решение было абсолютно правильным, поскольку позволило вузам консолидировать материальные ресурсы из двух источников федерального финансирования на прорывном инновационном нанотехнологическом направлении.

Опыт Санкт-Петербургского государственного университета в консолидации ресурсов двух федеральных программ

Образовательная компонента. В 2006–2007 годах СПбГУ, при поддержке Министерства образования и науки РФ реализовывал проект «Инновационная образовательная среда в классическом университете» (общий бюджет проекта около 1,5 млрд руб.), что позволило создать и существенно модернизировать 28 образовательных программ. Ряд созданных и модернизированных программ, например «Нанобиология», «Химия, физика и механика материалов», «Молекулярная геохимия и биогеохимия», «Прикладные математика и физика», — имеют прямое отношение к нанонауке и включают в себя курсы и исследовательские проекты в области создания и исследования наносистем. Всего в СПбГУ в настоящий момент ре-



Фото 2. Учебно-научная лаборатория по нанотехнологиям на основе класса сканирующих зондовых микроскопов (5 туннельных сканирующих микроскопов)

ализуется 17 основных и дополнительных образовательных программ в сфере исследований наносистем.

Инфраструктура nanoисследований. В рамках инновационного образовательного проекта приобретен значительный объем оборудования для научной и образовательной деятельности, в частности следующие аналитические исследовательские и технологические комплексы:

- 2 растровых электронных микроскопа с высоким и сверхвысоким разрешением (фирм «Карл Цейсс» и FEI);
- рабочая станция нанолитографии «1540 XB CROSSBEAM» («Карл Цейсс») (фото 1, а, б);
- учебный комплекс сканирующих туннельных микроскопов «Nanoeducator», (фото 2).

В дополнение к этому, на средства федеральной целевой программы, выделенные на создание учебно-научного центра по направлению «Нанотехнологии», приобретено оборудование для межфакультетского центра «Нанодиагностика», включая:

- Ионный гелиевый микроскоп «ORION» с разрешением 0,5 нм, с усиленным контрастом по атомному номеру, с огромной глубиной резкости. Этот прибор является самой современной разработкой фирмы «Карл Цейсс», изготовлено всего 3 таких микроскопа, 2 поставлены в США, третий будет работать в СПбГУ (фото 3).
- Просвечивающий электронный микроскоп высокого разрешения Libra 200FE с разрешением 0,14 нм, снабженный криодержателем и системой трехмерной топографии для биообъектов.
- Многофункциональный аналитический растровый электронный микроскоп Supra 40 с разрешением 1,3 нм, с системами микроанализа, катодолюминесцентной спектроскопии и охлаждения образцов до гелиевых температур (фото 4).
- Комплекс оборудования и средств пробоподготовки твердотельных наноструктур, биологических и мягких наноматериалов.

Важно отметить, что выбор оборудования отражает особенность СПбГУ как исследовательского университета, «сильного» в основном фундаментальной составляющей исследований. Приобретенный комплекс приборов центра «Нанодиагностика» дополняет суще-

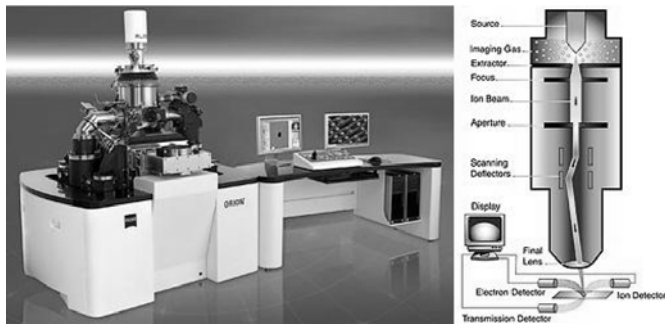


Фото 3. Ионно-гелиевый микроскоп ORION «Карл Цейсс» (разрешение 0,5 нм), единственный в РФ, второй в Европе, третий в мире. Усиленный контраст по атомному номеру, объемность изображения (огромная глубина резкости), отсутствие зарядки (рабочий ток от 1 фА)



Фото 4. Многофункциональный аналитический растровый электронный микроскоп «Карл Цейсс» Supra 40 (разрешение 1 нм). Микроанализ, охлаждение до гелиевых температур, Катодолюминесцентная спектроскопия

ствующее оборудование факультетов СПбГУ, составляя базу мультидисциплинарных и междисциплинарных фундаментальных исследований.

Проекты в области исследований наносистем. К настоящему времени завершилось формирование программы «Нанотехнологическая инициатива СПбГУ». В ее основе лежат около 80 научно-исследовательских проектов, сформированных семью факультетами. База данных проектов включает следующие основные темы (таблица).

Предложенные проекты находятся на разной стадии реализации, часть проектов осуществляется в сотрудничестве с более 100 партнерами-учреждениями в РФ и за рубежом, в них задействовано 65 рабочих групп и более 300 научных сотрудников и преподавателей университета.

Новый подход к организации научно-образовательной деятельности. Для координации работ в области подготовки высококвалифицированных кадров и развития фундаментальных и прикладных исследований

Основные темы базы данных проектов

Тема	Кол-во проектов
Физико-химические нанотехнологии, основанные на атомно-молекулярной химической сборке и самосборке органических и неорганических веществ	19
Специализированное контрольно-диагностическое оборудование и высокоразрешающие методы контроля для проведения исследований свойств наночастиц, наноструктур и наноматериалов	14
Наноэлектронные компоненты для сверхинтегрированных сверхмощных сверхскоростных систем генерации, хранения, передачи и обработки информации	13
Биомедицинские нанотехнологии для сверхлокальной наноизбирательной диагностики, терапии, хирургии и геномной инженерии	9
Нанокмпозиционные и нанодисперсные материалы для высокоэффективной сепарации и избирательного катализа	8
Нанокмпозиционные материалы для генерации, преобразования и хранения энергии	5
Нанокмпозиционные материалы с особой устойчивостью к экстремальным факторам для термически-, химически- и радиационно-стойких конструкций	5
Нанокмпозиционные материалы, обладающие «интеллектуальными» свойствами, включая адаптивность, ассоциативность, память	3

по направлению нанотехнологий, проводимых на различных факультетах, был создан научно-методический совет по нанонаукам из представителей 7 факультетов университета — физического, химического, биолого-почвенного, медицинского, математико-механического, прикладной математики и процессов управления, а также геологического.

Общий стратегический подход к роли НОЦ СПбГУ заключается в том, что создание НОЦ СПбГУ рассматривается руководством СПбГУ как системообразующий координирующий центр распределенной мультидисциплинарной системы учебно-научной деятельности в области нанотехнологий, которая включает:

- ▶ Развитие комплексных междисциплинарных исследований и разработок.
- ▶ Создание системы опережающей подготовки кадров для nanoиндустрии.
- ▶ Создание международно признанной инфраструктуры.
- ▶ Привлечение негосударственного финансирования.
- ▶ Создание системы коммерциализации результатов.

В планах развития концепции программы «Нанотехнологическая инициатива СПбГУ» предполагается создание к 2010 году на основе созданного НОЦ **Мультидисциплинарного центра превосходства** в области исследования наносистем. Задачами проекта центра являются:

- ▶ Консолидация существующей инфраструктуры исследований наносистем.
- ▶ Консолидация научно-исследовательских проектов СПбГУ в области исследований наносистем.
- ▶ Консолидация существующих и создание новых образовательных программ в области исследования наносистем.
- ▶ Организация эффективной системы целевого грантового финансирования научных и образовательных проектов.
- ▶ Расширение партнерских отношений с мировыми научными коллективами с целью создания аналогичных или комплиментарных исследовательских центров.
- ▶ Инициация и реализация совместных международных исследований в области химических, физических и биологических наносистем, в приложении к созданию новых нанотехнологий, разви-

тию нанодиагностики и созданию новейших наноматериалов.

- Разработка и внедрение международных совместных образовательных программ в области исследования наносистем.
- Развитие системы партнерств с производителями профильного научно-исследовательского оборудования для совместной деятельности в области метрологии наноизмерений.

Реализация проекта центра в 2007–2008 гг. году уже привела к значительным достижениям в области инфраструктуры и организации образовательной и научно-исследовательской деятельности, активизировала интерес к использованию оборудования как внутри СПбГУ, так и вне него включая зарубежные исследовательские и предприятия малого и среднего бизнеса.

Вывод. Опыт СПбГУ показал, что модель мультидисциплинарного научно-образовательного центра позволяет консолидировать научно-образовательный потенциал различных факультетов университета для создания современной и эффективной среды качественного образования в области нанонауки и нанотехнологий.

Немного стратегии

Масштабные федеральные инвестиции в развитие нанотехнологического образования и нанонауки на первом шаге уже привели к существенному улучшению университетской инфраструктуры. Однако дальнейшее развитие невозможно без консолидации ресурсов различных вузов с помощью развития партнерств и сетевых взаимодействий как между собой, так и с производственными организациями и научными учреждениями системы РАН. Как уже отмечалось, нанотехнологическая наука по природе своей междисциплинарна. В то же время сочетание всех необходимых квалификаций — как научных, так и преподавательских — для подготовки специалистов-нанотехнологов в одном, даже очень крупном вузе не представляется возможным.

16 мая 2008 года в Санкт-Петербургском государственном университете, в рамках II Международного форума «От науки к бизнесу» состоялся круглый стол под названием: «**Научно-образовательный сегмент российской нанотехнологической сети**». В работе круглого стола приняли участие представители вузов Санкт-Петербурга, участвующих в программе создания типовых учебно-научных центров по направлению «Нанотехнологии» — СПбГУ, СПбГУ «ИТМО», СПбГТУ, СПбГЭТУ «ЛЭТИ» и Горного института. Участники круглого стола обсудили концепцию создания регионального образовательного сегмента национальной нанотехнологической сети, подробно рассмотрели организационные вопросы создания эффективных образовательных программ в области нанотехнологий, а также основные области компетенции каждого вуза в этой сфере. В процессе обсуждения выяснилось, что усилия различных вузов дополняют друг друга, что создает основу для партнерства в области создания совместных межвузовских образовательных программ, совместных научно-исследовательских

проектов, совместного использования инфраструктуры исследований. Участники круглого стола договорились о создании рабочей группы из представителей Санкт-петербургских вузов-участников федеральной целевой программы для разработки концепции регионального научно-образовательного сегмента национальной нанотехнологической сети и о регулярных встречах на базе различных вузов-участников.

Однако региональные партнерства в области нанотехнологий не обязательно должны ограничиваться российскими участниками. В соседней Финляндии уже много лет действует программа FinNano, финансируемая государственным фондом ТЕКЕС. За годы действия этой программы возникли нанотехнологические кластеры в Оулу, Ювяскиля, Миккели и других городах Финляндии. Успешно развивается финская наноиндустрия, что является гарантией спроса на кадры и научные разработки в сфере нанотехнологий. В апреле 2008 года делегация СПбГУ в рамках проекта TACIS 2007/135-518 приняла участие в семинаре NMP Finland — Nanotechnology, Materials and new Production, подводящем промежуточные итоги реализации программы FinNano. На этом семинаре ведущие представители финской нанонауки и наноиндустрии проявили значительный интерес к докладам российских участников — главы экспертного совета корпорации Роснотех, проф. С. В. Калюжного и представителя СПбГУ. В своем выступлении проф. С. В. Калюжный, в частности, сказал, что корпорация Роснотех может рассматривать возможность инвестирования в финские нанотехнологические компании и проекты.

В результате участия в семинаре NMP, а также посещения нанотехнологических компаний в районе Espoo, в Миккели и Ювяскиля, завязались партнерские отношения между учеными СПбГУ и финскими университетами и компаниями, работающими в сфере нанотехнологий. Впоследствии представители крупнейшей контрактной исследовательской организации Финляндии VTT (годовой оборот более 230 млн евро) посетили круглый стол в СПбГУ и обсудили возможности партнерских отношений с представителями вузов Санкт-Петербурга. Таким образом, можно сказать, что сотрудничество с Финляндией в области нанотехнологий развивается в 2008 году достаточно активно. Значительно активизировались и контакты между исследовательскими лабораториями двух стран по линии конкретных научно-исследовательских проектов.

Вывод: объединение новой современной научной инфраструктуры и человеческого потенциала Северо-Запада России с развитой инновационно-производственной инфраструктурой Финляндии в области нанотехнологий позволит достичь значительного синергетического эффекта как на региональном уровне, так и в масштабе российской национальной нанотехнологической сети. Совместные межвузовские и трансграничные образовательные программы, научно-исследовательские и инновационно-внедренческие проекты дадут добавочный импульс развитию российской наноиндустрии и послужат делу интеграции российской науки и образования в мировой инновационный процесс.

Научно-образовательный центр нанотехнологий в Санкт-Петербургском государственном горном институте

Рассмотрены направления деятельности научно-образовательного центра нанотехнологий в области наноминералогии, нанометаллургии и наносистем в горном машиностроении. Представлены инновационные разработки синтеза новых наноматериалов, реализованные в промышленном производстве и новые методы наноструктурного регулирования химико-физических свойств поверхностей металлов.

Приведены данные о приборно-лабораторной базе научных исследований и развитию нанотехнологического образования в университете.

The activity directions of the research-educational center of nanotechnologies in the field of nanomineralogy, nano-metallurgy and nano-systems in mining machine building are studied. The innovative developments in the synthesis of new nano-materials, realized in the industrial production are presented as well as new methods of nano-structural regulation of the chemical and physical properties of metal surfaces.

The data about the facilities and laboratories used in scientific research and the development of nanotechnological education at the university are given.

Научно-образовательный центр нанотехнологий специализируется по трем направлениям: наноминералогия, нанометаллургия и наносистемы в горном машиностроении.

Развитие центра предусматривает реализацию полного инновационного технологического цикла от создания научных основ синтеза наноструктур и разработки нанотехнологий до их реализации в промышленном производстве с одновременной подготовкой высококвалифицированных кадров для nanoиндустрии.

Широкое использование методов наносистем в области геологии и минералогии позволяет рассчитывать как на развитие фундаментальных знаний в науке о земле, так и на создание эффективных новых технологий поиска и добычи полезных ископаемых.

Развитие исследований в области наноминералогии направлено:

- на уточнение представлений о генезисе пород, руд, источников рудных элементов, природы нефтегазоносных залежей;
- определение возраста анализируемых образований по деталям распределения изотопных отношений в зонально-секториальных индивидах;
- выявление новых поисковых критериев и прогноза масштабности промышленно ценных геологических объемов;
- выделение новых промышленных типов руд природных и техногенных месторождений (со-



В.Л. Трушко,
д. т. н., профессор,
проректор по научной
работе

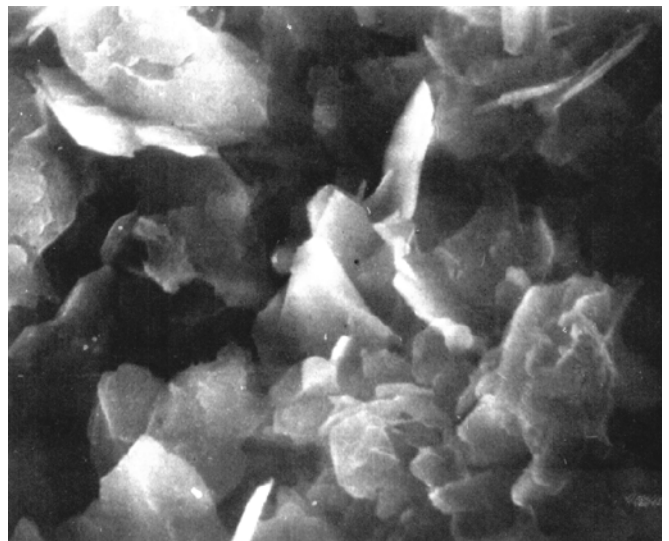


М.А. Пашкевич,
д. т. н., профессор,
зав. кафедрой
геоэкологии,
исполнительный директор
ЦКП Аналитических
исследований региональ-
ных проблем МСК

**Санкт-Петербургский государственный
горный институт им. Г. В. Плеханова
(технический университет)**

держащих полезные компоненты на микро-
наноуровне);

- создание принципиально новых материалов с необходимыми характеристиками (нанокерамики,



*Рис. 1. Сверхактивный ионообменник карбо-
сульфоалюминатного типа
(В процессе синтеза нейтральная водная среда заменена
на среду сильных электролитов, в результате время
синтеза сокращено с 6 месяцев до 40 минут.
Способ внедрен с целью полного разделения Al(III) и Si(IV)
на Ачинском глиноземном комбинате и Пикалевском
глиноземном заводе (РУСАЛ))*

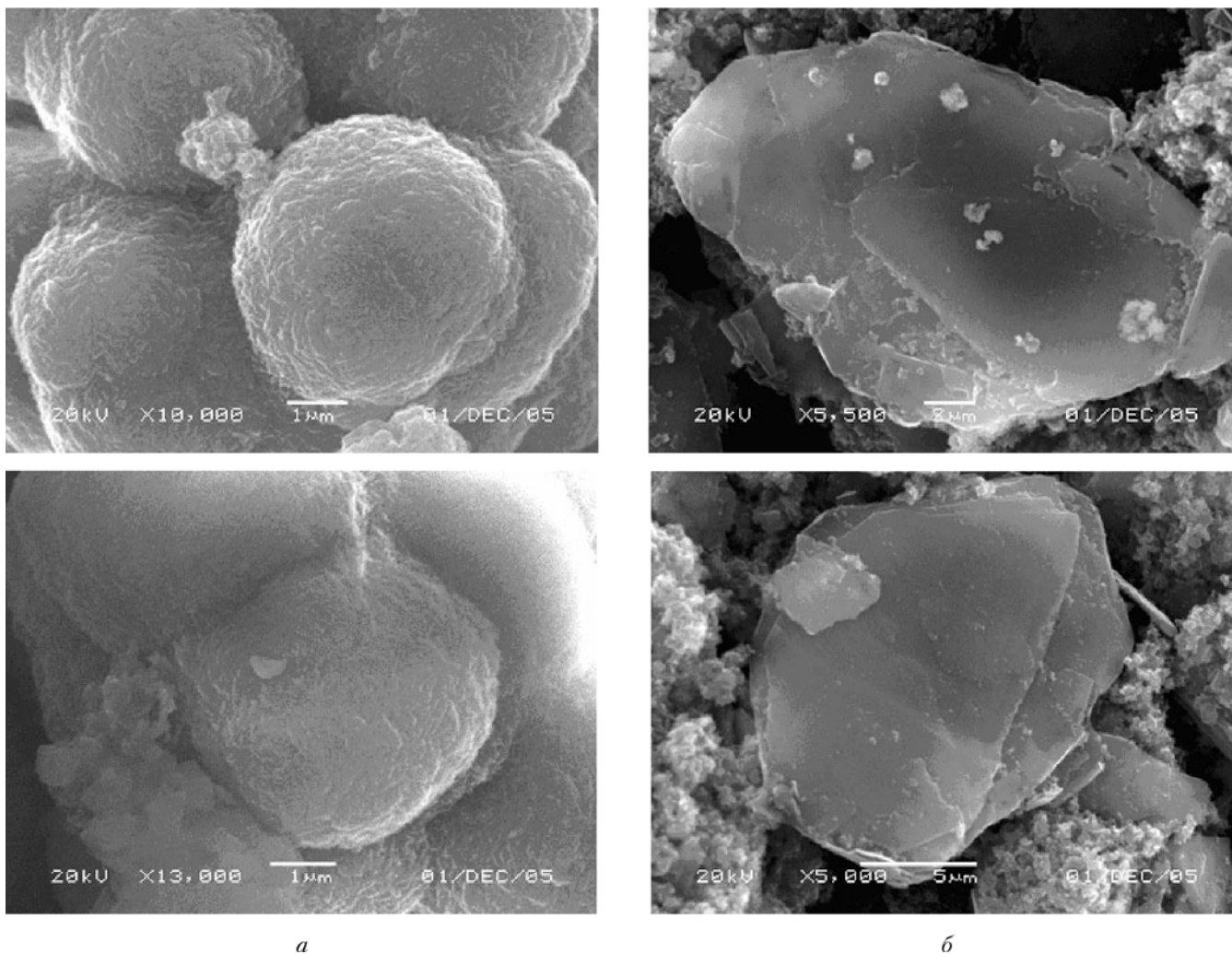


Рис. 2

а — Образцы nano-гидроксида алюминия, полученные в результате «экспресс»-карбонизации промышленных алюминатных растворов.

Толщина чешуек 30–50 нм. Применяется в технологии сорбентов и спецкерамики.

б — Пластинчатая форма частиц $Al(OH)_3$, $10^\circ C$, $t=6,5$ ч. Толщина пластинок 100–200 нм

искусственных кристаллов минералов с заданными свойствами — октаэдрических алмазов, амethystов, изумрудов и др.);

- выявление возможностей направленного модифицирования физико-химических свойств минералов с целью расширения возможностей обогачительных нанотехнологий (кристаллохимические и кристаллофизические исследования минеральных индивидов);
- выявление онтогенического подхода к оценке технологических особенностей минералов и руд (учет кроме размера зерен их формы, природы срастаний, особенностей границ и их поверхности), что обеспечивает выбор оптимальных условий раскрытия зерен полезного компонента и на этой основе прогнозирование глубины, комплексности, экологичности их переработки.

В области нанометаллургии ведущей научной школой металлургов Санкт-Петербургского государственного горного института развиваются методы нанометаллургии при получении легких и редких металлов и новейших материалов на их основе при комплексной переработке сложного минерального сырья. В этом заключается отличие и особенность

выбранного научного направления (связь высоких нанотехнологий с общей технологией комплексной переработки сырья).

Ряд разработок внедрен в промышленность, в частности, реализован синтез сверхактивных ионообменников карбо-сульфоалюминатного типа (рис. 1). Использование этих ионообменников позволило решить важную народнохозяйственную задачу — создать технологию получения глинозема высших марок из низкокачественного алюминиевого сырья — нефелинов (Пикалевский глиноземный завод, Ачинский глиноземный комбинат). Внедрение наноструктурированного карбо-сульфоалюминатного минерализатора в цементное производство обеспечило повышение качества портландцемента на основе нефелиновых шламов при существенном снижении энергозатрат. Проведены опытно-промышленные испытания многофункционального коагулянта-флокулянта нового поколения карбоалюминатного типа, действие которого при очистке промышленных стоков сложного химико-минералогического состава на порядок эффективнее известных флокулянтов. Карбоалюминатные nano-герметики использованы в системе Санкт-Петербургского метрополитана.

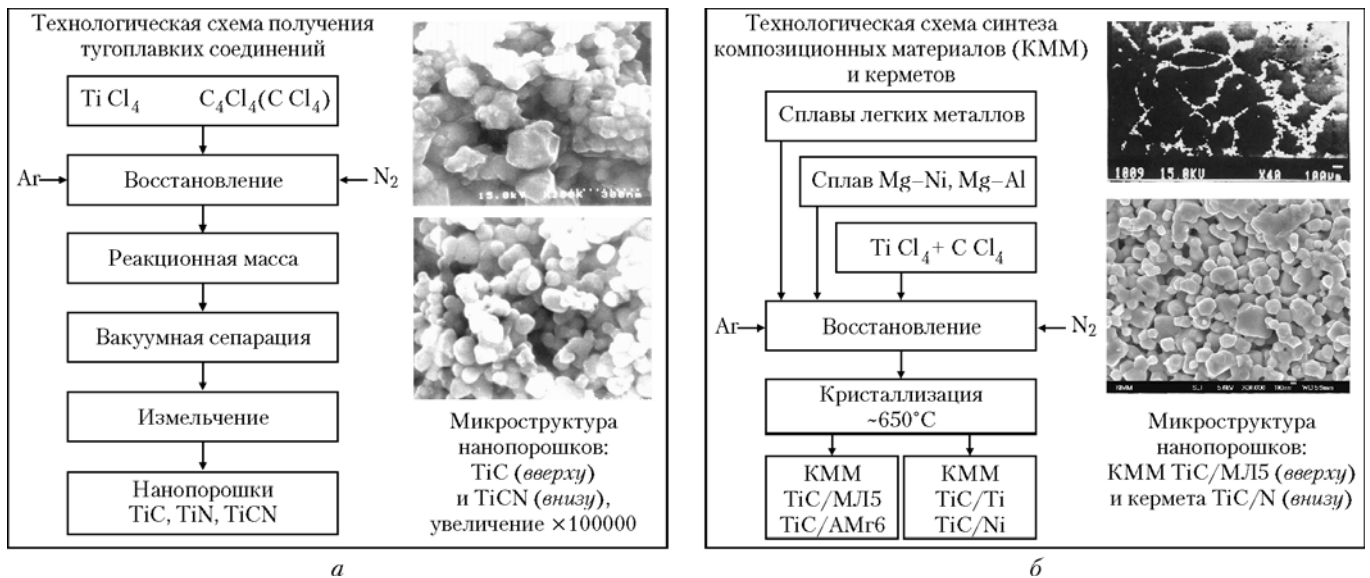
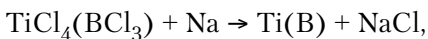


Рис. 3. Технология наноматериалов: а – на основе тугоплавких соединений, б – на основе тугоплавких соединений

В опытно-промышленном масштабе (Пикалевский глиноземный завод) синтезированы методом скоростной карбонизации алюминатных растворов тонкодисперсные гидроксиды алюминия сферолитового и пластинчатого типов, предназначенные для использования в производстве спецкерамики, сорбентов и др. (рис. 2, а, б).

Разрабатываются оригинальные способы получения наноструктурных порошков тугоплавких соединений металлотермическим восстановлением хлоридов (рис. 3, а):



Разработка теоретических основ получения нанопорошков титана, циркония и бора путем восстановления расплавов, содержащих анионные группировки титана, циркония, субиона натрия, ионизированные кластеры, выявление возможности синтеза тройных соединений, осуществление процесса на атомно-молекулярном уровне синтеза наноструктурных ту-

гоплавких соединений, фуллеренов, металлокарбонидов путем восстановления ассоциатов хлоридов титана, бора и углерода в режиме «горения» позволяет синтезировать новую гамму наноматериалов для использования их в высоких технологиях.

При этом синтезируется карбид титана практически стехиометрического состава – $\text{TiC}_{0,98}$; параметр решетки 0,43267 нм. Синтезированный карбид представлен конгломератами, которые состоят исключительно из нанокристаллов размером 40–60 нм. При проведении процесса в атмосфере азота получается карбонитрид, который имеет заданный состав и параметры решетки 0,42872 нм, размер отдельных зерен 30–50 нм.

Синтезирован полуфабрикат популярного кермета TiC/Ni (рис. 3, б) при использовании в качестве восстановителя сплава магний – никель (размеры частиц карбида ~100 нм), а также композиционные металлические материалы Al-Mg-TiC .

Перспективность данного синтеза наноструктурных соединений титана заключается в том, что в основе его заложены элементы высокопроизводительной технологии и аппаратуры промышленного типа производства магниотермического титана.

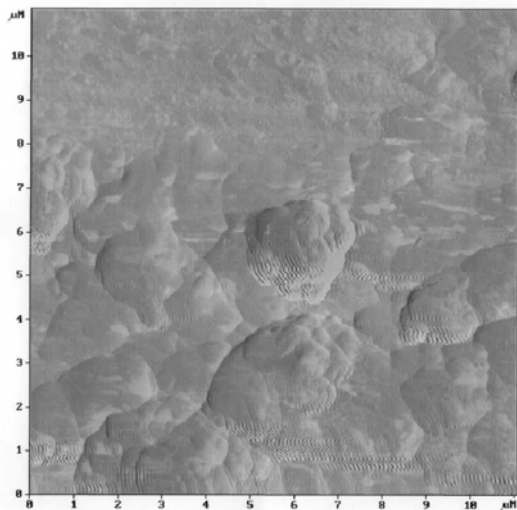


Рис. 4. АСМ-реконструкция адгезионных взаимодействий на поверхности исходной стали

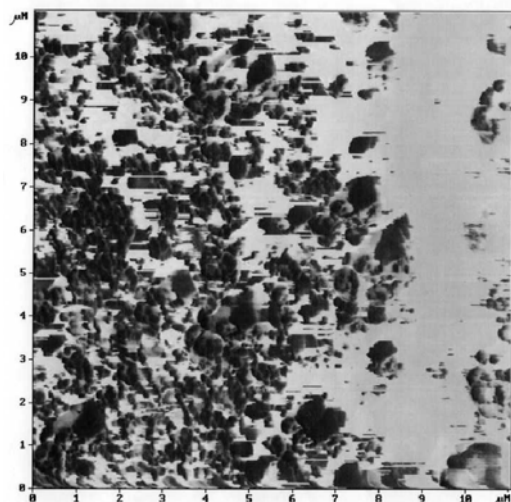


Рис. 5. АСМ-реконструкция адгезионных взаимодействий стали с защитным кремнийорганическим нанопокрывтием

Таблица 1

Структурно- химические характеристики Si–C-содержащих металлических продукты, полученные последовательным восстановлением MCl2 (MO) парами метилдихлорсилана и метаном

Исходное соединение металла	S уд. продукта, м ² /г	Прирост <i>m</i> за 100 ч. при 900°C, мкг/см ²	Энергия связи Si2 <i>p</i> , эВ
NiCl2	11	0,4	104,8
NiO	57	0,4	105,7
CuO	12	0,3	103,8
FeO	1	0,1	102,4

Наноструктурированные тугоплавкие соединения являются базовыми материалами передовых и наукоемких технологий в общем машиностроении, ядерной, аэрокосмической областях, химической промышленности и др. В частности, использование наноструктурированных тугоплавких соединений в электролизерах позволит увеличить срок службы их на 30%, существенно снизить стоимость алюминия и обеспечить экологическую безопасность в районе завода.

В области создания наносистем в горном машиностроении развиваются методы наноструктурного регулирования химико-физических свойств поверхности металлов:

Твердотельный гидридный синтез металлических материалов на основе Ni, Cu, Zn, Fe. Синтез представляет восстановление в открытой проточной системе и по заданной программе твердых соединений металлов летучими термостойкими элементводородами (Э = N, C, Si и др.). В основу метода положены следующие запатентованные реакции восстановления до металла твердых галогенидов и оксидов:

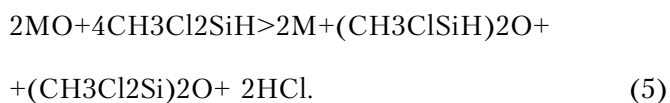
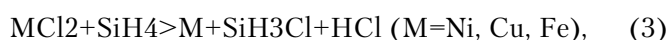
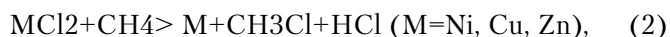


Рис. 7. Растровый микроскоп-анализатор JXA-8600S

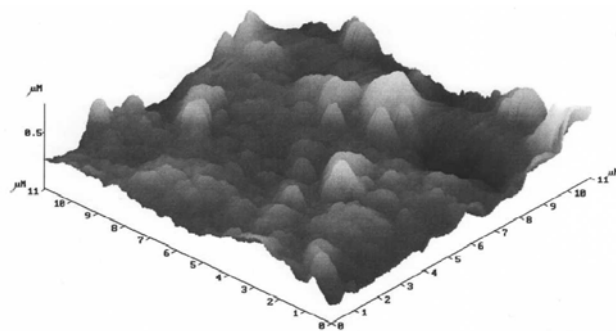


Рис. 6. АСМ-снимок поверхности стали 3 с нанесенным защитным кремнийорганическим нанопокрывтием

Условия синтеза гарантируют, что хемосорбция восстановителя количественно не превышает монослойную адсорбцию его молекул на металле. В зависимости от выбранного восстановителя возможно направленное регулирование удельной поверхности материала (1–120 м²/г), его термо- и химической стабильности, энергии связи электронов поверхностных атомов (табл. 1). Прирост массы полученных порошков на основе Fe, Cu, Ni составляет при высокотемпературном окислении на воздухе 0,1–0,4 мкг/см², что в десятки раз ниже, чем у промышленных жаростойких никельхромовых сплавов (7 мкг/см²).

Развиваются методы наноструктурного регулирования водоотталкивающих, защитных и антифрикционных свойств поверхности алюминия и стали, основанные на поверхностном модифицировании металла наноструктурами ПАВ и кремнийорганических соединений из растворов и газовой фазы и на стабилизирующем эффекте наноподслоя.

В результате исследований достигнуто. Усиление водоотталкивающих свойств Al-пигмента и Al, используемого в электронной промышленности, в 5–10 раз и вплоть до отрицательной адсорбции паров воды ($\Delta m/m = -0,05\%$ при $PH_2O/PS > 1$ за две недели экспозиции).

Возрастание коррозионной устойчивости стали в 4–100 раз в промышленной воздушной среде, содержащей примеси HCl, SO₂, KCl (40–200 мкг/м³),

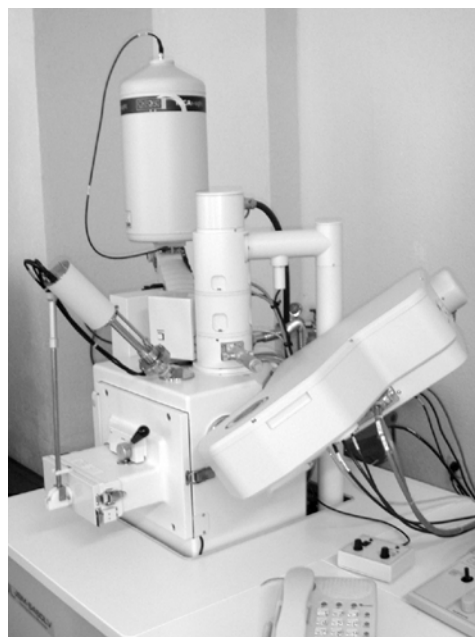


Рис. 8. Растровый микроскоп-анализатор JSM-6400LV(+)



Рис. 9. Просвечивающий электронный микроскоп LEM-2100

при влажности 50–70% (нанопокрyтия внедрены в РУП ПО «Беларуськалий»).

Усиление антифрикционных свойств смазки на стали в 7–10 раз путем введения наноподслоя ПАВ (рис. 4–6).

Создано оригинальное научное направление «влияние природы восстановителя на структуру поверхности и химико-физические свойства наноструктурированных металлов». Обнаружены эффекты:

- увеличения энергии связи азота N1s в рентгенофотоэлектронных (РФЭ) спектрах и усиления антифрикционных свойств твердой поверхности при адсорбции на металле двух катионных ПАВ с сильно отличающимися по размеру углеводородными радикалами;
- симбатной взаимосвязи водоотталкивающих и защитных свойств ряда традиционных лакокрасочных и наноструктурированных покрытий на стали;
- пассивации по данным РФЭС поверхности стали, содержащей «триамоновый» подслой в защитном покрытии, в длительных натуральных коррозионных испытаниях.

Разработки Горного института в области нанотехнологий защищены 11 авторскими свидетельствами 8 патентами и получили признание на крупнейших международных выставках и салонах инноваций и изобретений (выставка SIFF-2006, Корея, Сеул 2006 — золотая медаль; VII Московский международный салон инноваций и инвестиций, Москва, 2007 — серебряная медаль; Петербургская технологическая ярмарка, Санкт-Петербург, 2007 — золотая медаль и диплом; Международная ярмарка инноваций «Эврика», Брюссель, 2008 — золотая медаль; Петербургская ярмарка нанотехнологий, 2008 — золотая медаль).

Высокая результативность научных исследований обеспечивается приборно-лабораторной базой мирового уровня и активным развитием нанотехнологического образования в университете. Создан современный аналитический центр с уникальным приборным осна-

щением, включающий электронные, растровые микроскопы-анализаторы JXA-8600S (рис. 7) и JSM-6400LV(+) (рис. 8), рентгенофлуоресцентный спектрометр ED2000, рентгеновский порошковый дифрактометр XRD6000 «Shimadzu»(+), закуплен просвечивающий электронный микроскоп LEM-2100 (рис. 9).

В рамках реализации ФЦП «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии в Российской Федерации» предусматривается дополнительное оснащение научно-образовательного центра уникальным аналитическим оборудованием:

- растровым электронным микроскопом с холодно-полевой эмиссией,
- атомно-силовым туннельным микроскопом,
- рентгеновским волновым спектрометром,
- системой с фокусированным ионным пучком на базе растрового электронного микроскопа.

В области развития нанотехнологического образования в университете действует научный семинар «Нанозифика и наноматериалы», изданы 3 учебных пособия и целый ряд научно-методических работ по проблемам преподавания нанотехнологий в техническом университете. Опубликовано более 80 статей. Ведется раздел «Наноструктурированные металлы и материалы» в журнале «Цветные металлы». Подготовлены 2 докторских и 5 кандидатских диссертаций по исследованию наноструктур и наноматериалов, работают 10 аспирантов.

На базе Научно-образовательного центра по направлению «нанотехнологии»

- читается курс лекций «Нанотехнология и наноматериалы» для студентов и аспирантов; имеет учебный план и программа дисциплины;
- ежеквартально проводится научный семинар «Нанозифика и наноматериалы» для студентов, аспирантов и сотрудников;
- создан документальный видео-ролик «Исследование наноструктур»;
- в научно-образовательном процессе используются изданная монография «Кластеры, структуры и материалы наноразмера», разработаны учебно-методические материалы (5 учебных стендов, видео-ролик, 3 учебных пособия и 7 научно-методических работ) и созданы тематические выпуски по наноструктурированным металлам (научно-технический и производственный журнал «Цветные металлы», Москва);
- в настоящее время начата подготовка кадров для nanoиндустрии по специальностям «горные машины и оборудование», «металлургические машины и оборудование» (направление «технологические машины и оборудование»); планируется подключение к этой подготовке студентов специальностей «автоматизация технологических процессов и производств» и «оборудование нефтегазопереработки»;
- курс «Нанотехнология и наноматериалы» на факультативной основе слушают 45 студентов горно-электромеханического, горного и металлургического факультетов.

Подготавливаются необходимые материалы для открытия специальностей и специализаций в области нанотехнологий для минерально-сырьевого комплекса.

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе и построение наноиндустрии в России

А. С. Удовиченко,

*к. э. н., зам. директора Физико-технического
института им. А. Ф. Иоффе Российской академии
наук по инновациям и экономическому развитию*



В статье рассматривается современное состояние развития наноиндустрии в мире и возможности ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН содействовать развитию данной отрасли, предположительно являющейся ядром формирующегося Шестого технологического уклада, в России. Охарактеризована в целом деятельность последних лет и место исследовательского института в процессе формирования экономики знаний. Описаны некоторые проблемные точки участия российского НИИ в инновационном процессе. Описан крупнейший действующий проект Института в области наноиндустрии.

The summary of clause: In clause is considered the modern condition of development nanotechnology all over the world and the opportunity of Ioffe Institute of the Russian Academy of Science to promote development of this branch, which is supposedly the core of the emerging technological Sixth way, in Russia. Activity of last years and a place of research institute during formation of economy of knowledge are characterized as a whole. Some problem points of participation of the Russian scientific research institute in innovative process are described. Is described the largest current project in the field of nanotechnology of Institute.

Что такое наноиндустрия?

Развитие нанотехнологий было стимулировано разработкой полупроводниковых наноструктур, выращиваемых методами молекулярно-пучковой и металлоорганической эпитаксии, и созданием на их основе принципиально новых приборов и устройств электроники и оптоэлектроники, широко используемых сейчас в системах хранения, передачи и обработки информации, а также генной и белковой инженерии, материаловедении (поверхностное упрочнение, сверхпластичность металлов, фуллерены, катализаторы, мембраны).

Нанотехнологические разработки требуют междисциплинарного характера исследований, широкого взаимопроникновения идей и разработок, интеграции материалов, методов и процессов. Происходит конвергенция неорганических, органических и биологических объектов, что позволяет создавать принципиально новые материалы, микромеханизмы, биокомпьютеры, интеллектуальные материалы, новые типы медицинских технологий.

По оценкам экспертов, предполагаемый мировой рынок нанотехнологий возрастет до \$1–2 трлн к 2015 году. При этом рост объема использования нанотехнологий будет происходить в три этапа:

На современном этапе (2008 год) доминирует производство высокотехнологичных продуктов в основном для оптоэлектроники, машиностроения, легкой промышленности, косметической и фармацевтической промышленности.

На втором этапе (до 2010 года) будет преобладать применение нанотехнологий в микропроцессорной технике, в производстве нано(био)сенсоров и нано(-био)датчиков, а также в электронике и оптоэлектронике, в том числе для запоминающих устройств.

На третьем этапе (после 2010 года) нанотехнологии станут широко использоваться в производстве широкой номенклатуры товаров, особенно в практическом здравоохранении.

По мнению некоторых военных экспертов, нанотехнологии могут изменить характер современных боевых действий в большей степени, чем в свое время изменило изобретение пороха. Это коснется вооружения, средств связи, экипировки военнослужащих, военно-полевой медицины и прочее.

Через 1–2 года начнется активный раздел мирового рынка в сфере наноиндустрии¹, завершение этого процесса прогнозируется к 2015 году.

¹ Под *наноиндустрией* понимается применение нанотехнологий обработки, изготовления и изменения состояния и свойств веществ на атомно-молекулярном уровне, или, иначе говоря, в диапазоне линейных размерностей, измеряемом нанометрами (10^{-7} – 10^{-9} м). Соответственно, под *отраслью наноиндустрии* понимается совокупность организаций и производств, характеризующихся общностью применяемых (создаваемых) нанотехнологий и производимой продукции, а под *продукцией наноиндустрии* — группы товаров (услуг), конкурентоспособность которых на внутреннем и внешних рынках обеспечивается, прежде всего, за счет применения при их создании (и/или при производстве их критических подсистем, элементов, деталей и компонентов) нанотехнологий и наноматериалов.

Как в этом процессе может поучаствовать крупнейший институт РАН?

Основной деятельностью в ФТИ являются фундаментальные исследования и ориентированные НИРы, где роль конечного результата играют научные статьи и отчеты по выполненным НИР, либо иногда техническое задание на проведение ОКР. Инновационными проектами в нашем случае мы считаем работы, направленные на выполнение последующих стадий передачи результатов научной деятельности в производство: ОКР, инжиниринговые работы, освоение малых серий производства и передачи технологий в массовое производство. В деятельность такого рода в Институте, по имеющимся оценкам, перманентно вовлечено порядка 150 научных сотрудников из почти тысячи, несмотря на то, что такого рода деятельность отличается от собственно научной работы и носит иной характер и содержание. Они, разработчики лабораторных технологий, отвечают за получение требуемого физического эффекта в требуемых условиях и являются фактически высококвалифицированными постановщиками задач для разработчиков промышленных технологий (конструкторов, технологов, инженеров).

Можно выделить следующие причины для выделения этого вида деятельности в отдельное важное направление экономического развития Института:

1. Институт заинтересован в содействии развитию области отечественной экономики, которая способна играть роль внебюджетного заказчика НИР. Поощрение и стимулирование всех проектов, направленных на передачу результатов нашей научной деятельности в экономику, привязывает реципиентов наших разработок к нашей тематике и делает их потенциальными долгосрочными партнерами.
2. Существует потенциальная возможность привлечь государственное и внебюджетное финансирование в перепрофилирование экономически убыточных территорий Института на площадке в пос. Шувалово, если выделить их под развитие инновационных проектов. Также, существует потенциальная возможность привлечения государственного и внебюджетного финансирования в сами инновационные проекты. Это в любом случае приведет к снятию значительных ежегодных издержек ФТИ на содержание удаленной площадки, без ущерба для осуществления научной деятельности базирующихся там в настоящее время лабораторий.
3. Часть научных сотрудников Института, которым интересна деятельность по получению практических (как производственных, так и коммерческих) результатов от своей научной деятельности, получит улучшение условий для такого рода деятельности за счет создания и развития территориальной, технологической и консалтинговой инфраструктуры (Технопарка ФТИ в пос. Шувалово).
4. Институт нуждается в создании как кадровой, так и технической базы для проведения ОКР по

его профилю. Это необходимое звено для передачи результатов наших НИР в промышленность, наличие которой повысит спрос на НИР Института и их стоимость. Предполагаемое создание в рамках Технопарка ФТИ в Шувалово Центра коллективного пользования технологическим оборудованием, инжинирингового центра, центра по обучению и развитию кадров и бизнес-инкубатора заложит основы для зарождения необходимой нам базы ОКР по профилю ФТИ. Технопарк и его резиденты должны будут играть роль отраслевого института по нашему профилю, работая в рыночной среде.

5. В Институте присутствуют как уже состоявшиеся, а не потенциальные, по крайней мере несколько направлений, для которых передача их результатов научно-технической деятельности в экономику только в последние 10–15 лет является свершившимся и повторяющимся фактом:

- ♦ масс-спектрометрия;
- ♦ сверхчувствительные магнетометры;
- ♦ выращивание профилированных кристаллов лейкосапфира;
- ♦ мощные полупроводниковые лазеры;
- ♦ лазеры на квантовых точках;
- ♦ альтернативная энергетика: солнечная, водородная, термоэлектрическая;
- ♦ детекторы и сенсоры ИК-диапазона;
- ♦ трековые мембраны для плазморефа;
- ♦ полимерные изоляторы.

Значительное количество нанотехнологий, разработанных в ФТИ, в том числе в сотрудничестве с другими российскими научными центрами, готово для перевода в стадию НИОКР и ОКР при разработке высокотехнологичной и наукоемкой продукции, которая может выполняться на территории шуваловской площадки ФТИ, на которой предполагается создать технопарк.

Освоенные нанотехнологии соответствуют следующим приоритетным направлениям развития науки и технологий Российской Федерации:

- индустрия наносистем и материалы,
- энергетика и энергосбережение,
- информационно-телекоммуникационные системы и электроника.

Современные разработки ФТИ в нанобласти могут быть систематизированы в соответствии с областью их применения:

1. Нанотехнологии для электроники.
 - 1.1. Оптоэлектроника.
 - 1.2. Силовая полупроводниковая электроника и преобразовательная техника.
 - 1.3. Наномеханика.
2. Нанотехнологии для энергетики и альтернативная энергетика.
 - 2.1. Термоэлектричество.
 - 2.2. Солнечная энергетика.
 - 2.3. Водородная энергетика.
3. Нанокompозитные материалы.
4. Нанотехнологии для биологии и медицины.
5. Новые методики диагностики наноматериалов.

Что реально удавалось делать в ФТИ для развития инновационной экономики в последние годы?

Опыт показывает, что для поддержки инновационной разработки научно-исследовательского института коммерческим партнером необходимо соблюдение, по крайней мере, двух условий:

- предварительного патентования разработки и сохранения на момент контакта с бизнес-партнером конвенционного приоритета;
- наличия демонстрационного образца изделия (материала или прибора).

К моменту выхода на любого коммерческого партнера должны быть выполнены, как минимум, поисковый и прикладной НИРы и проведены соответствующие испытания (материала, прибора) с предоставлением протокола испытаний. В академическом институте, за редким исключением, разработки заканчиваются на стадии успешной поисковой или частично выполненной прикладной НИР.

Наибольшими по объему финансирования от коммерческих структур проектами являются контракты с Национальной инвестиционной компанией «Новые энергетические проекты» (НИК «НЭП»), порядка 100 млн руб. в год. Вторым постоянным партнером из числа коммерческих организаций является «Самсунг Электроникс», с 2003 года размещающий в ФТИ заказы на НИОКР объемом по несколько миллионов рублей в год через созданную на базе Института совместную лабораторию. Среди прочих заказчиков — коммерческих организаций имеются и другие крупные транснациональные корпорации, но их заказы не носят систематического характера.

Общий объем НИОКР за счет коммерческих заказчиков приближается к 300 млн руб. в год (полный бюджет ФТИ в 2007 году составил около 1 млрд руб.).

Такой вид трансфера технологий, как заключение лицензионных соглашений, практически не применяется. Дело в том, что Минфин РФ в лице Федерального Казначейства не включил в Генеральное разрешение РАН на открытие и ведение внебюджетных лицевых счетов в Казначействе такой вид источника финансирования, как «доходы от лицензионных платежей». При этом патентование результатов НИОКР и продажа лицензий является наиболее естественным для академических ученых способом коммерциализации технологий, так как в наименьшей степени вынуждает отказываться от научной работы в будущем. Трансфер технологий вполне осуществим при условии подготовки качественных комплектов конструкторской документации и программных продуктов. Основная проблема — необходимо планировать достаточно длительный, не менее года–двух, период совместной деятельности для адаптации технологий. Как видим, этот способ перекрыт при помощи обслуживающих финансовых институтов бюджетной системы РФ. Поэтому мотивация патентовать полученные результаты минимальна — в ФТИ количество патентов не превышает двух десятков. Патентование чаще всего применяется в случае требования госзаказчика, оговоренного в госконтракте.

Широко распространенным способом коммерциализации технологий стало создание малых предприятий при Институте. В 2003 году Ученый совет ФТИ утвердил правила, согласно которым Институт не препятствует созданию таких предприятий нашими ученым при условии владения Институтом 25% долей в уставном капитале и передачи разработанных в ФТИ результатов НИР в создаваемые МП на основе лицензионного соглашения. Кроме того, МП должны возмещать ФТИ расходы на их обслуживание подразделениями Института. В предшествующий 2003 году период при ФТИ был создан ряд предприятий, из которых к настоящему времени осталось семь, с другими пропорциями распределения собственности. С 2003 же года было создано 40 МП, из них 39 по программе Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере «СТАРТ». Так как идеология данной программы нацелена на реализацию посевного финансирования, в ней предполагается выживание в конечном итоге не более 10% созданных МП. Однако в случае ФТИ сейчас, спустя 5 лет, можно прогнозировать, что данный процент будет существенно выше.

Опыт работы с малыми предприятиями, созданными с целью организации реального производства и проведения НИОКР положителен, поскольку позволяет сконцентрировать усилия и повысить оперативность в решении малых и средних задач. Главная проблема последних лет — риски потери арендных отношений по помещениям и аренды оборудования в связи с невозможностью заключения долгосрочных соглашений. При организации сложных технологий это очень существенно.

В ФТИ в 2005 году был создан Инновационно-технологический центр «Центр поддержки инноваций», призванный обслуживать коллективы, реализующие инновационные проекты, с точки зрения бухгалтерской и маркетинговой поддержки, с одной стороны, а с другой стороны, контролировать и обеспечивать исполнение вышеупомянутых правил, утвержденных Ученым советом в 2003 году.

Важную роль в коммерциализации технологий играет процесс создания Институтом коллабораций с участием организаций, осуществляющих подготовку промышленного производства для физтеховских разработок. Примером наиболее крупной коллаборации является «Региональный центр по нанотехнологиям для биологии и медицины», в котором участвует около двух десятков учреждений РАН, РАНХ, организаций Минздравсоцразвития и ФГУПов, и где основную организационную роль играет Институт.

В настоящее время разрабатывается новый проект по созданию инфраструктуры инновационной деятельности — создание Технопарка ФТИ в пределах особой экономической зоны технико-внедренческого типа. На стадии согласования находится Соглашение об участии ФТИ в работе ОЭЗ Санкт-Петербурга, через включение в ее территорию части недвижимости принадлежащей Институту (10,5 га земли, 37000 м² площадей — речь идет о вышеупомянутой площадке в пос. Шувалово). Там и предполагается создать Технопарк, разместив в нем как часть малых

предприятий при ФТИ, так и ряд прочих малых предприятий, работающих по профилю Института и являющихся потенциальными исполнителями ОКР по тем направлениям, по которым ФТИ выполняет прикладные НИР.

Крупнейший проект Института для наноиндустрии — солнечные батареи на основе гетероструктурных фотопреобразователей и линзовых концентраторов

Солнце является практически неисчерпаемым, экологически чистым источником энергии. Существенным недостатком солнечной энергии является малая плотность светового потока, приходящего на земную поверхность. Поэтому стоимость электричества, получаемого солнечными батареями существенно выше стоимости электроэнергии, получаемой традиционными методами.

Перспективным путем решения этой проблемы является фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения гетероструктурными солнечными элементами, которые впервые в мире разработаны в ФТИ им. А. Ф. Иоффе в 1969 году и установлены на ряде космических аппаратов, в том числе на космической станции «Мир». Разработанные в ФТИ в последние годы каскадные солнечные элементы обеспечивают увеличение КПД преобразования концентрированного солнечного излучения в наземных условиях до более чем 33% при 1000 «солнцах» при возможности снижения стоимости солнечной электроэнергии в 2 раза по сравнению с кремниевыми солнечными батареями (рис. 1). Это достигается за счет уменьшения площади гетероструктурных солнечных элементов в 1000 раз пропорционально крат-

ности концентрирования солнечного излучения, которое осуществляется с помощью дешевых панелей из линз Френеля.

Гетероструктурное направление в солнечной энергетике долгое время считалось делом отдаленного будущего, более соответствующем сегодняшнему дню являлась кремниевая солнечная энергетика. Но, по-видимому, будущее наступает уже сегодня. В настоящий момент традиционная кремниевая солнечная энергетика испытывает затруднения в своем развитии в связи со скачкообразным (семикратным — с 30 до 200 долларов) увеличением стоимости кремния. Казалось бы — что может быть доступней кремния — по сути, просто песка? Но дело в необходимых для промышленности количествах. Сейчас в мире производится 4 ГВт электроэнергии с помощью наземных солнечных батарей. Для их производства потребовалось 40 тыс. т кремния. Это и вызвало семикратный рост стоимости в самый последний период — «песка» не хватает! И, по имеющимся прогнозам, несмотря на увеличение его производства не будет хватать весь XXI век — рост потребности в солнечной энергии все время будет опережать развитие этих производств... До ценового скачка гетероструктурные солнечные батареи были неэффективны — они производятся на основе редкоземельных металлов (германий), требуют систем слежения за солнцем при его перемещении по небосводу (чего не нужно в кремниевых установках). Но скачок спроса на кремний перебил все эти факторы и сделал данную разработку основой для нового бизнеса, который в конце текущего столетия должен удовлетворять более половины всех потребностей человечества в электроэнергии.

В ФТИ разработаны прототипы энергоустановок на мощности 1–5 кВт. Данные разработки создают

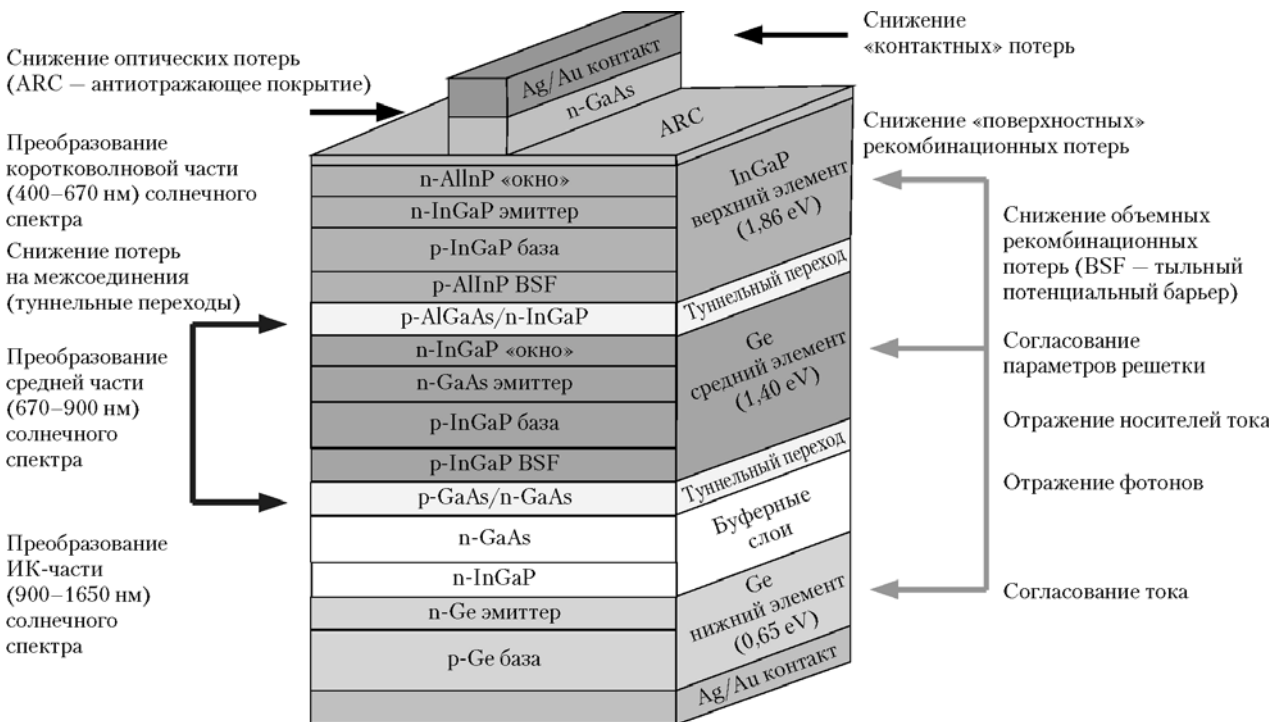


Рис. 1. Нано-гетероструктурный каскадный солнечный фотопреобразователь, обеспечивающий КПД > 35% при концентрировании солнечного излучения до 1000 «солнц»



Концентраторные солнечные батареи (4 модуля, площадью 0,5×0,5 м каждый) на основе гетероструктурных фотопреобразователей и линзовых концентраторных панелей



Концентраторная фотоэнергоустановка на основе каскадных фотоэлементов и линз Френеля (ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН)

базу для организации высокорентабельного промышленного производства энергоустановок объемом до 50 МВт/год при годовой стоимости данной продукции на мировом рынке более 5000 млн руб. в год.

Разработана также интегрированная солнечно-ветровая энергоустановка, перспективная для экологически чистого энергоснабжения автономных потребителей, лишенных централизованного энергоснабжения.

В настоящий момент на стадии согласования с вновь созданными в России институтами развития экономики (Роснано, Банк Развития) находится бизнес-план создания завода в Санкт-Петербурге по производству солнечных фотоэлектрических энергоустановок на базе разработок ФТИ. Проект поддержан в декабре 2007 года военно-промышленной комиссией при Правительстве РФ.

ТАЛОН ПОДПИСКИ ЖУРНАЛА

«ИННОВАЦИИ»

Подписка в редакции — это получение журнала сразу после тиража.

Подписка на 2008 год (12 номеров) 7200 руб. 00 коп. (Семь тысяч двести рублей), в том числе НДС — 654 руб. 55 коп.

Название организации _____

Фамилия, имя, отчество _____

Должность _____

Почтовый адрес (адрес доставки) _____

Просим высылать нам журнал «Инновации» в количестве _____ экземпляров.

Нами уплачена сумма _____

Платежное поручение _____ от _____ 200 _____

Банковские реквизиты редакции:

ОАО «ТРАНСФЕР», ИНН 7813002328, КПП 781301001

р/с 40702810727000001308 в Приморском филиале ОАО «Банк Санкт-Петербург», г. Санкт-Петербург», к/с 30101810900000000790, БИК 044030790

Дата заполнения талона подписки _____ Подпись _____

Подписка на год, а также полугодие оформляется с любого месяца.

Заполненный талон подписки мы принимаем по факсу: (812) 234-09-18

Контактное лицо: А. Б. Каминская..

По каталогу «Агентство «РОСПЕЧАТЬ»» ГАЗЕТЫ. ЖУРНАЛЫ-2007 (Москва) подписка принимается на общих основаниях. Подписной индекс: **38498**.

«ИННОВАЦИИ»

ТАЛОН ПОДПИСКИ ЖУРНАЛА

Пептидная наностратегия — новое направление в молекулярной эндокринологии

А. О. Шпаков,
д. биол. н.,
ведущий научный сотрудник



М. Н. Перцева,
д. биол. н., профессор,
зав. Лабораторией
молекулярной
эндокринологии,
заслуженный деятель
науки РФ

**Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова
Российской академии наук, Санкт-Петербург**

В статье обсуждается новое, динамично развивающееся, направление в молекулярной эндокринологии — пептидная наностратегия, в основе которой лежит синтез, изучение и внедрение в клиническую практику сравнительно коротких пептидов, соответствующих функционально важным участкам сигнальных белков. Рассмотрены преимущества пептидной наностратегии перед другими подходами, используемыми в молекулярной эндокринологии, перспективы ее применения для решения таких актуальных проблем фундаментальной биологии и практической медицины, как создание высоко селективных негормональных регуляторов клеточных процессов, направленно воздействующих на компоненты гормональных сигнальных систем, и нанодиагностика нарушений в этих системах при гормонозависимых заболеваниях. На основе анализа результатов, полученных авторами и их зарубежными коллегами, представлены достижения пептидной наностратегии и намечены пути дальнейшего ее развития.

In this paper, we discuss peptide nanostrategy - a new direction currently developing in molecular endocrinology. This strategy is based on the synthesis, study, and clinical implementation of relatively short synthetic peptides corresponding to functionally important sites of signaling proteins. The advantages of peptide nanostrategy over the other approaches used in molecular endocrinology are considered. Possible applications of this strategy for solving some urgent problems in fundamental biology and medicine are discussed. The list of these problems includes the creation of highly selective nonhormonal regulators of cell processes addressed to the components of hormonal signaling systems, and the nanodiagnostic of their impairments due to endocrine diseases.

Based on our results and literature data, the achievements of peptide nanostrategy are described, and directions of its further development are outlined.

Истоки и перспективы развития пептидной наностратегии

Большинство процессов в организме человека и животных регулируются с помощью высоко специфичных химических сигналов — гормонов, которые секретируются эндокринными железами. Гормоны связываются с расположенными на поверхности клеток рецепторами и через них запускают сложную организованную сеть внутриклеточных сигнальных каскадов. Результатом действия гормонов являются изменения метаболизма, роста, дифференцирования и других жизненно важных клеточных процессов. Имеются многочисленные данные в пользу того, что нарушение гормональной сигнализации приводит к тяжелым эндокринным патологиям, образованию злокачественных опухолей, развитию широкого спектра заболеваний нервной, сердечно-сосудистой и репродуктивной систем. В связи с этим, изучение молекулярных механизмов действия гормонов и структурно-функциональной организации информационных систем, через которые осуществляется передача гормональных сигналов в клетку, является одним из ма-

гистральных направлений современной фундаментальной биологии и практической медицины. На протяжении последних тридцати лет сформировалась самостоятельная, динамично развивающаяся наука — молекулярная эндокринология, главными задачами которой являются расшифровка сложнейших молекулярных ансамблей, обеспечивающих гормональную чувствительность отдельной клетки и организма в целом, и применение полученных знаний для диагностики и лечения гормонозависимых заболеваний.

Многие десятилетия гормоны природного происхождения и их синтетические аналоги широко применяются в медицине. Однако это сопряжено со многими проблемами, главной причиной которых является широкий спектр действия большинства гормонов. Наряду с требуемым полезным действием, они вызывают множество побочных эффектов, поскольку действуют на ткани и физиологические процессы, которые не являются мишенями гормональной терапии. В результате возникают тяжелые осложнения, зачастую более опасные, чем само заболевание. Причина столь драматичных последствий применения гормональной терапии состоит в том, что гормонов в

организме меньше ста, а рецепторов свыше тысячи. Другими словами, один гормон обычно связывается сразу с несколькими типами рецепторов, через которые активируются различные сигнальные пути, что, в конечном итоге, приводит к совершенно разным, зачастую противоположным, биологическим эффектам. Без разработки методологии адресной активации сигнальных путей невозможно регулировать отдельные взятые биохимические процессы в клетке, а значит, и направленно лечить больных. На рубеже XX–XXI вв. появилось и интенсивно развивается новое, нанобиотехнологическое, направление в молекулярной эндокринологии — пептидная стратегия. Ее применение и внедрение позволяет с высокой селективностью, используя принцип «точечных» воздействий, контролировать активность вполне определенной информационной системы или отдельных ее блоков, не затрагивая другие, функционально сходные с ней, системы. Пептидная наностратегия впитала в себя самые передовые достижения современной биорганической химии, биохимии и молекулярной биологии. Каковы ее основные принципы и в чем ее преимущества перед другими направлениями?

Каждая информационная система состоит из нескольких блоков, представляющих собой сигнальные белки, структурно и функционально связанные между собой. Большинство чувствительных к гормонам сигнальных систем включает три блока. Первый из них — рецептор (сенсор), семь раз пронизывающий клеточную мембрану, который специфически опознает поступающий извне гормональный сигнал. Второй — G-белок (трансдуктор), преобразующий входящий сигнал в форму, удобную для дальнейшей его переработки. Третий блок — усилитель сигнала, представленный либо ферментом-генератором вторичных посредников, либо ионным каналом, который в сотни и тысячи раз повышает интенсивность первоначального сигнала и обеспечивает, таким образом, адекватный ответ клетки на действие гормона.

Участки сигнальных белков, ответственные за их взаимодействие, а, следовательно, и за передачу гормонального сигнала, сравнительно небольшие. В начале 1990-х годов было показано, что синтетические пептиды, структурно соответствующие этим участкам, могут функционально заменять значительные по размеру молекулы сигнальных белков и сами, в отсутствие гормона, запускать сигнальный каскад на более поздних, пострецепторных, этапах передачи сигнала. Так родилась пептидная наностратегия. Ее основными задачами являются разработка и синтез пептидов, соответствующих функционально важным участкам сигнальных белков, и дальнейшее применение этих пептидов в фундаментальной биологии в качестве функциональных зондов для изучения процессов передачи гормонального сигнала и в практической медицине, как новое поколение высоко селективных и высоко эффективных негормональных регуляторов сигнальных систем.

Основным преимуществом пептидной стратегии перед молекулярно-биологическими и иммунохимическими подходами, которые широко применяются для изучения гормональных сигнальных систем, яв-

ляется ее практическая направленность и легкость внедрения синтетических пептидов в клиническую практику и диагностику. Длина пептидов, соответствующих участкам сигнальных белков, не превышает 20–25 аминокислотных остатков, что делает их синтез экономически выгодным и позволяет нарабатывать пептиды в количествах, достаточных для их практического использования. Структуру пептидов можно модифицировать, что дает возможность направленно менять эффективность и селективность их действия, создавать на их основе принципиально новые вещества и композиты с заданными свойствами. Модификация пептидов гидрофобными радикалами или включение их в мембраноактивные наноконтакты обеспечивает транспорт пептидов в клетку непосредственно к белкам-мишеням. Введение в молекулы пептидов фотоаффинных и радиоактивных меток позволяет создать высоко чувствительные биосенсоры, которые могут быть использованы для нанодиагностики и нанодетекции. Синтетические пептиды, производные структуры сигнальных белков, незаменимы в случаях, когда один и тот же гормон запускает разные сигнальные каскады, или когда один и тот же сигнальный белок с помощью различных участков своей структуры взаимодействует с несколькими партнерами, различающимися по своим функциям в клетке.

Практические результаты разработки и применения пептидной наностратегии

Теперь остановимся на некоторых практических результатах разработки и применения пептидной наностратегии, полученных как российскими, так и зарубежными коллегами. Исследования, посвященные развитию пептидной наностратегии, ведутся в десятках лабораторий мира на протяжении последних пятнадцати лет. В 2001 г. в эту работу включалась и Лаборатория молекулярной эндокринологии Института эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова РАН (зав. Лабораторией, д. б. н., проф. М. Н. Перцева). Работа ведется в тесном контакте с Лабораторией биологически активных полимеров Института высокомолекулярных соединений РАН (зав. Лабораторией, д. х. н., проф. Г. П. Власов), в которой осуществляется синтез пептидов. Результаты проводимых исследований подробно изложены в 20 научных статьях (www.ncbi.nlm.nih.gov) и обобщены в двух обзорах, опубликованных в престижном издании «Signal Transduction Research Trends» [1] и в «Журнале эволюционной биохимии и физиологии» [2].

Одним из магистральных направлений пептидной наностратегии применительно к сигнальным системам является синтез и изучение пептидов, которые соответствуют участкам рецепторов, взаимодействующим с G-белками. Эти пептиды действуют подобно гормонам, но в отличие от них активируют только тот сигнальный путь, который начинается с рецептора, от которого они произошли. Поэтому их действие высоко селективно. Так, например, пептид, соответствующий участку серотонинового рецептора 1A-типа, запускает сигнальный путь, который регулируется исключительно этим рецептором, и не затрагивает сигналь-

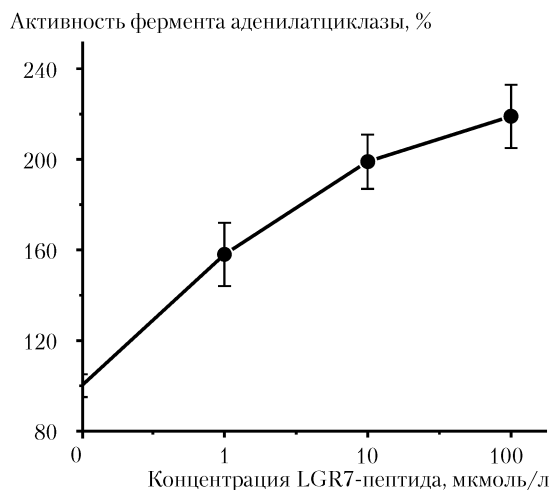


Рис. 1. Стимуляция LGR7-пептидом активности аденилатциклазы в миокарде крысы в отсутствие гормона

ные пути, контролируемые другими серотониновыми рецепторами (а их 15 типов!) [3]. В то же время сам гормон серотонин или его синтетические аналоги, которые часто применяются в качестве лекарственных препаратов, могут активировать сразу несколько серотониновых рецепторов, в связи с чем их биологические эффекты не всегда непредсказуемы.

В настоящее время на основе рецепторов разработаны пептиды, которые регулируют артериальное давление, снижают скорость сердечных сокращений, способствуют восстановлению сосудов, обладают мочегонным действием [4, 5]. Пептиды регулируют только те физиологические процессы, контроль которых осуществляется через рецепторы, производными которых они являются. Исследования на животных не выявили у них побочных эффектов. К тому же, выполнив свою функцию, они быстро разрушаются в организме.

Авторами статьи в одном из рецепторов полипептидного гормона релаксина (LGR7-рецепторе), который играет важную роль в регуляции многих физиологических процессов в организме человека и является одним из наиболее перспективных лекарствен-

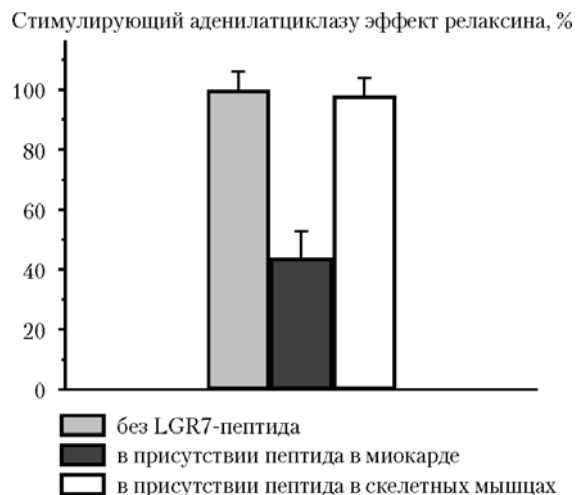


Рис. 2. Ингибирование LGR7-пептидом стимуляции аденилатциклазы релаксином в миокарде, где гормон действует через LGR7-рецептор, и неэффективность пептида в скелетных мышцах, где релаксин связывается с другим рецептором

ных препаратов для лечения заболеваний репродуктивной, сердечно-сосудистой и нервной систем, обнаружен участок, отвечающий за его взаимодействие с G-белком. Соответствующие ему пептиды в отсутствие гормона активируют сигнальные пути, которые запускаются LGR7-рецептором [6, 7] (рис. 1). Кроме того, LGR7-пептиды селективно блокируют стимуляцию этих сигнальных путей релаксином, причем на эффекты гормона, в которых LGR7-рецептор не участвует, наши пептиды не влияют (рис. 2). Таким образом, создан молекулярный инструмент для эффективного контроля над сигнальными путями, включающими LGR7-рецептор. В перспективе это позволит создать на основе LGR7-пептидов высоко селективные препараты для регуляции этих путей и зависимых от них клеточных процессов. В настоящее время в Лаборатории приступили к созданию таких же селективных пептидов для серотониновых рецепторов, что очень важно для разработки лекарств, направленных на лечение шизофрении, болезни Альцгеймера, мигрени, депрессии.

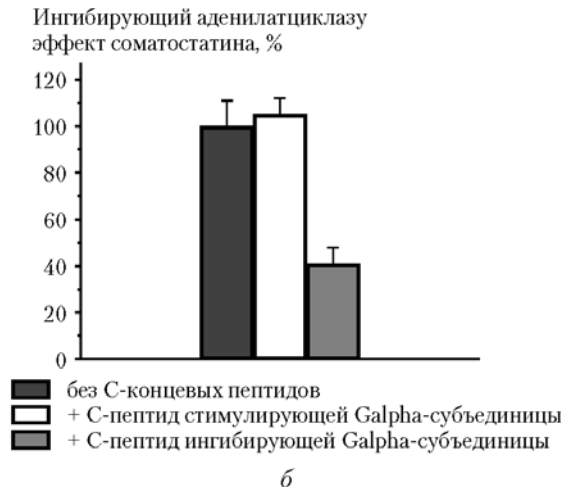
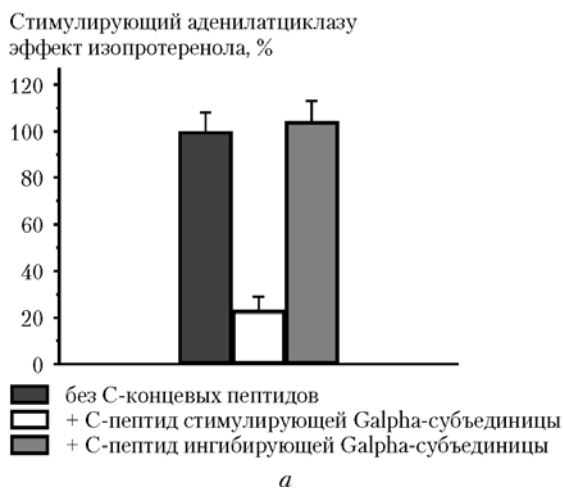


Рис. 3. Селективное снижение стимулирующего эффекта изопроterenола C-концевым пептидом, производным α -субъединицы G-белка стимулирующего типа (а), и ослабление ингибирующего эффекта соматостатина C-концевым пептидом, производным α -субъединицы G-белка ингибирующего типа (б)

Наряду с пептидами, производными рецепторов, создаются и пептиды, производные G-белков. В качестве примера приведем данные в отношении синтезированных нами пептидов, соответствующих C-концевым участкам α -субъединиц G-белков стимулирующего и ингибирующего типов. Обнаружено, что C-концевые пептиды эффективно блокируют передачу гормонального сигнала через тот тип G-белка, производным которого они являются. Так C-концевой пептид G-белка стимулирующего типа блокирует передачу стимулирующего гормонального сигнала к ферменту аденилатциклазе, которая осуществляется через этот G-белок, но не влияет на эффекты гормонов, в которых участвуют другие типы G-белков. В свою очередь, C-концевой пептид G-белка ингибирующего типа ослабляет передачу только ингибирующего гормонального сигнала [8, 9] (рис. 3).

Имеются многочисленные примеры разработки пептидов, являющихся производными ферментогенераторов вторичных посредников и ионных каналов, которые влияют на их активность. Однако по своему практическому значению они пока уступают пептидам, производным рецепторов и G-белков.

Перспективы и проблемы

Несмотря на значительные достижения пептидной наностратегии, ее развитие находится на том этапе, когда еще не выработана единая концепция, позволяющая создавать конечный продукт — синтетические пептиды, которые можно широко применять в клинической практике для лечения или коррекции гормонозависимых заболеваний. Все работы в основном ограничиваются стенами лабораторий и экспериментальными животными.

Что мешает практическому внедрению пептидов? Основная проблема состоит в том, что мало кто целенаправленно занимается разработкой подходов для создания на их основе лекарственных форм. Для этого необходимо преодолеть некоторые трудности, которые находятся в фокусе нашего внимания. Синтетические пептиды должны легко проникать в клетку и концентрироваться в зоне их взаимодействия с белками-мишенями. В этом плане большие надежды возлагаются на модификацию пептидов гидрофобными радикалами, что было продемонстрировано как нами, так и другими авторами [6, 7, 10]. Для обеспечения транспорта пептидов через мембрану к ним могут быть присоединены мембраноактивные поликатионные пептидные фрагменты, образующие спиральные или разветвленные структуры [11]. Перспективным подходом является разработка наноконструкций, способных связывать и транспортировать пептиды, что позволит обеспечить их адресную доставку к тканям-мишеням. Имеются и другие пути модификации пептидов, позволяющие повысить их биологическую активность, например, замены отдельных аминокислот для придания пептидам устойчивости к протеолитическому расщеплению или конструирование на их основе циклических структур.

Многообещающим направлением является применение пептидов, производных рецепторов и G-белков, в качестве диагностических зондов для выявле-

ния нарушений в гормональных сигнальных системах при гормонозависимых заболеваниях, что необходимо для дифференциальной диагностики и лечения. В пользу эффективности применения пептидов для нанодиагностики и нанодетекции свидетельствуют наши данные по идентификации нарушений в функционировании гормональных сигнальных систем в условиях сахарного диабета, приобретающего в мире эпидемический характер [12].

В настоящее время ученые во многих странах мира в полной мере осознают важность и уникальность пептидной наностратегии не только для изучения гормональных сигнальных систем в пробирке, но и для нужд практической медицины. Наша задача заключается в том, чтобы активно развивать это приоритетное нанобиотехнологическое направление в нашей стране, ориентируясь на создание продуктов мирового уровня.

Литература

1. A. O. Shpakov, M. N. Pertseva. The peptide strategy as a novel approach to the study of G protein-coupled signaling systems// In «Signal Transduction Research Trends» (Ed. N.O. Grachevsky). N. Y.: Nova Science Publishers, Inc. 2007.
2. A. O. Шпаков, М. Н. Перцева. Использование пептидной стратегии для изучения молекулярных механизмов передачи гормонального сигнала в клетку// «Журнал эволюционной биохимии и физиологии», т. 41, № 5, 2005.
3. Q. Q. Sun, N. Dale. G-proteins are involved in 5-HT receptor-mediated modulation of N- and P/Q- but not T-type Ca^{2+} channels//J. Neurosci, V. 19, 1999.
4. S. R. George, G. Y. Ng, S. P. Lee, T. Fan, G. Varghese, C. Wang, C. M. Deber, P. Seeman, B. F. O'Dowd. Blockade of G protein-coupled receptors and the dopamine transporter by a transmembrane domain peptide: novel strategy for functional inhibition of membrane proteins *in vivo*//J. Pharmacol. Exp. Ther, V. 307, 2003.
5. T. Light, L. Tsurunikov, H. Reuveni, T. Yarnitzky, S. A. Ben-Sasson. Induction of pro-angiogenic signaling by a synthetic peptide derived from the second intracellular loop of S1P3 (EDG3)// Blood, V. 102, 2003.
6. A. O. Шпаков, М. Н. Перцева, И. А. Гурьянов, Г. П. Власов. Влияние пептидов, производных третьей цитоплазматической петли релаксинового рецептора 1 типа, на стимуляцию релаксином GTP-связывающей активности G-белков//Биол. мембраны, т. 22, № 6, 2005.
7. A. O. Shpakov, I. A. Gur'yanov, L. A. Kuznetsova, S. A. Plesneva, E. A. Shpakova, G. P. Vlasov, M. N. Pertseva. Studies of the molecular mechanisms of action of relaxin on the adenylyl cyclase signaling system using synthetic peptides derived from the LGR7 relaxin receptor//Neurosci. Behav. Physiol, V. 37, № 7, 2007.
8. A. O. Шпаков, И. А. Гурьянов, Л. А. Кузнецова, С. А. Плеснева, В. И. Корольков, М. Н. Перцева, Г. П. Власов. Использование C-концевых пептидов α -субъединиц G-белков для исследования их функционального сопряжения с рецепторами биогенных аминов в тканях крыс и моллюсков//Биол. мембраны, т. 21, № 6, 2004.
9. A. O. Shpakov, V. N. Shipilov, V. M. Bondareva. Sensitivity of adenylyl cyclase signaling system of the mollusk *A. cygnea* ganglions to serotonin and adrenergic agonists//Ann. N.Y. Acad. Sci. V. 1040, 2005.
10. L. Covic, A. L. Gresser, J. Talavera, S. Swift, A. Kuliopulos. Activation and inhibition of G protein-coupled receptors by cell-penetrating membrane-tethered peptides//Proc. Natl. Acad. Sci. USA. V. 99, 2002.
11. A. O. Шпаков, И. А. Гурьянов, Г. П. Власов, М. Н. Перцева. Молекулярные механизмы взаимодействия поликатионных пептидов с рецепторами серпантинного типа и гетеротримерными G-белками в тканях крыс//«Журнал эволюционной биохимии и физиологии», т. 42, № 4, 2006.
12. A. O. Шпаков, Л. А. Кузнецова, С. А. Плеснева, И. А. Гурьянов, Г. П. Власов, М. Н. Перцева. Идентификация нарушений в гормоночувствительной аденилатциклазной системе в тканях крыс с диабетом 1-го и 2-го типов с использованием функциональных зондов и синтетических наноразмерных пептидов// Технологии живых систем, т. 4, № 5–6, 2007.

Разработка способных к самоорганизации пептидов для создания наноструктурированных материалов

О. И. Киселев
профессор, академик РАН,
директор ГУ НИИ гриппа
РАН



Ю. П. Гармай,
лаборант-исследователь
лаборатории молекулярно-
вирусной и генной инженерии



А. В. Васин,
к. биол. н.,
с. н. с. лаборатории
молекулярно-вирусной
и генной инженерии

А. К. Сироткин,
к. биол. н.,
с. н. с. лаборатории
патоморфологии
вирусных инфекций



М. И. Дюков,
н. с. лаборатории
молекулярно-вирусной
и генной инженерии



В. В. Егоров,
к. биол. н.,
с. н. с. лаборатории
молекулярно-вирусной
и генной инженерии



А. А. Шалджян,
лаборант-исследователь
лаборатории молекулярно-
вирусной и генной инженерии

П. А. Некрасов,
н. с. лаборатории
молекулярно-вирусной
и генной инженерии

М. А. Плотникова,
м. н. с. лаборатории
молекулярно-вирусной
и генной инженерии

ГУ НИИ гриппа РАН

Аномальные фибриллы являются перспективным объектом для создания материалов, структурированных «снизу-вверх». Такие фибриллы способны к самосборке и обладают высокой устойчивостью к внешним воздействиям. При компьютерном анализе последовательностей природных фибриллогенных пептидов а также с помощью моделирования пространственной структуры был выбран пептид потенциально способный к образованию фибрилл с регулируемыми пространственными параметрами. Такой пептид был синтезирован. Найдены условия для образования фибрилл с оптимальными пространственными параметрами. Создан экспериментальный образец наноструктурированного материала на основе таких фибрилл.

Abnormal peptide fibrils are the promising objects for development of bottom-up structured materials. Such fibrils are capable for self-assembly and have enough tolerance to different external influence for many applications. Primary structure analysis of natural amyloidogenic peptides and computer modeling of spatial structure and oligomerization allowed choosing the peptide (13 amino acids), that is potentially able to form abnormal fibrils with adjustable spatial parameters. In further experiments it was shown that it can really form such abnormal fibrils. Parameters of fibrils and oligomers, formed during fibrillogenesis, were characterized using electron microscopy, and laser correlation spectroscopy. We suggested the method of fibril arrays ordering, formed from such peptide molecules and create experimental sample of such material.

Введение

Нанообъекты обладают, по крайней мере, двумя уникальными свойствами — отдельные наночастицы имеют очень большое соотношение поверхности к линейному размеру; кроме того, будучи объединенными в массивы, нанообъекты позволяют создавать макроструктуры, обладающие упорядоченностью на

широком диапазоне масштабов, то есть материалы, упорядоченные «снизу-вверх». Такие материалы обладают, в отличие от традиционно используемых в промышленности, улучшенными механическими характеристиками. Также важно, что упорядоченность в масштабах, сопоставимых с длинами волн оптического диапазона позволяет создавать материалы с уникальными оптическими свойствами. Боль-

шая поверхность наночастиц, с одной стороны, позволяет использовать их во многих приложениях, где важна способность реагировать с малыми количествами веществ в большом объеме (например, при создании наносенсоров), способность связывать большое количество веществ (при использовании в качестве сорбентов или при катализе) [1]. С другой стороны, большая площадь поверхности приводит к склонности наночастиц к агрегации в растворе. Так, агрегация является большой проблемой при использовании квантовых точек, фуллеренов и детекторов на основе наночастиц. Создание упорядоченных массивов из таких частиц осуществляется либо с помощью специальных матриц, либо с помощью методов, позволяющих манипулировать отдельными частицами — таких, например, как атомная силовая микроскопия. Однако, используемые в настоящее время модификации данного метода не позволяют создавать упорядоченные наноструктуры в больших объемах, так как не допускают полной автоматизации [2]. Все эти факты свидетельствуют в пользу того, что на данном этапе развития нанотехнологий наиболее перспективным является использование способных к упорядоченной самоорганизации нанообъектов, то есть таких объектов, для которых существование в виде упорядоченных структур является более энергетически выгодным, чем существование в виде раствора мономеров или образование неупорядоченных агрегатов [3].

Многие биологические макромолекулы способны к самоорганизации в растворе. Основные структурные компоненты живых систем практически целиком состоят из упорядоченных массивов белковых и углеводных молекул. Современный уровень развития биотехнологии и геной инженерии позволяет получать многие белки в промышленных количествах, при небольших финансовых затратах на организацию производства. Однако, использование прямых аналогов биологических механических систем не нашло широкого применения, так как сопряжено с определенными трудностями, связанными с распространенностью во внешней среде факторов, способных разрушать такие материалы. Большинство природных белковых комплексов не обладает устойчивостью к температурным и химическим воздействиям а также подвержено действию бактериальных протеаз. В то же время существует довольно обширная группа белков, способных к самоорганизации в линейные структуры, но при этом устойчивых, в составе таких комплексов, к действию многих факторов внешней среды. Аномальные фибриллы, впервые обнаруженные при изучении патогенеза амилоидозов, нерастворимы, устойчивы к действию большинства бактериальных протеаз и способны существовать в широком диапазоне значений физико-химических параметров среды [4]. Кроме того, аномальные фибриллы обладают высокой прочностью и гибкостью.

В ГУ НИИ гриппа РАМН ведутся работы по проекту «Разработка научно-технологических основ создания функциональных полимерных наноматериалов с регулируемой структурой на основе полипептидов» (в рамках ФЦП «Исследования и разработки

по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы» контракт 02.513.11.3231). В качестве основы для создания материалов выбраны способные к образованию аномальных фибрилл полипептиды. Проводятся исследования, направленные на использование для создания наноструктурированных материалов таких белков, как инсулин, лизоцим куриного яйца, а также пептидов, гомологичных участкам альфа-лактальбумина человека и пептидов, несущих ионные самокомплементарные мотивы.

Целью исследования является разработка комплекса методов создания способных к самоорганизации пептидов на основе ионных самокомплементарных мотивов. На основании анализа пространственной структуры пептидов, несущих самокомплементарные ионные мотивы, с помощью моделирования *in silico*, был проведен поиск и селекция последовательностей пептидов, потенциально способных к образованию линейных самоорганизующихся структур. Пептид с обнаруженной в результате такого анализа первичной структурой был синтезирован. Было показано, что он способен к образованию аномальных фибрилл в растворе. Были подобраны оптимальные параметры внешней среды для образования упорядоченных массивов фибрилл в растворе. Проведен анализ применимости использованных приближенных методов моделирования для разработки искусственных фибриллогенных пептидов. Создан экспериментальный образец материала на основе аномальных фибрилл.

Материалы и методы

Материалы. Пептид GDIRIDIRIDIRG был синтезирован в ООО «НПФ «Верта» (Россия), чистота более 90%, для приготовления буферов использовали реактивы фирмы SIGMA (США).

Методы

Моделирование структуры пептида *in silico*. Для моделирования и анализа структуры пептида использовали программу Orthochem/Maxfolder (разработчик Ю. П. Гармай), созданную на основе оригинального алгоритма с использованием компонентов свободно распространяемых программ, а также пакет GAMESS для моделирования поведения пептида с помощью методов молекулярной динамики.

Моделирование олигомеризации пептида *in silico*. Моделирование олигомеризации пептида проводили с помощью программы Hex 4.5 [5] с использованием оригинального алгоритма анализа ветвящегося процесса. Моделирование проводили до достижения моделируемым комплексом максимального для используемой программы линейного размера.

Образование фибрилл. Для получения фибрилл раствор пептида в концентрации 1 мг/мл инкубировали при 55°C в 50 мМ буферах pH 2.0 (Gly-HCl), pH 7,5 и 9 (Tris-HCl) в течение 18 часов при постоянном перемешивании на термощейкере Eppendorf (Германия).

Электронная микроскопия. Электронную просвечивающую микроскопию осуществляли на микро-

скопе JEOL JEM 100 при ускоряющем напряжении 80 кВ с использованием стандартной методики негативного контрастирования солями фосфорно-вольфрамовой кислоты.

Лазерная корреляционная спектроскопия

Лазерную корреляционную спектроскопию осуществляли на лазерном корреляционном спектрометре ЛКС-03 (ИНТОКС, Россия) с использованием параметров, рекомендованных производителем для измерения малых гидродинамических радиусов и модели стержня для вычисления гидродинамического радиуса объекта.

Результаты и обсуждение

Моделирование олигомеризации. В рамках проекта был проведен анализ способности к олигомеризации 6 пептидов с использованием методов моделирования *in silico*. Уникальные первичные структуры данных пептидов были выбраны исходя из анализа литературных данных по последовательностям белок-белковых интерфейсов, важных для олигомеризации. На предварительной стадии был проведен анализ физико-химических свойств данных пептидов *in silico*, в результате чего число исследуемых пептидов сократилось до двух. В результате моделирования пространственной структуры одного из пептидов, GDIRIDIRIDIRG, с помощью программы Orthochem/MaxFolder, анализа кластеризации полученных модельных структур и последующего моделирования поведения таких структур с помощью методов молекулярной динамики были выбраны несколько структур для моделирования олигомеризации.

При моделировании олигомеризации с помощью докинга выбор структуры для использования в каждом последующем шаге осуществляли исходя из следующих принципов:

- энергия образовавшегося олигомера должна была быть меньше, чем суммарные энергии образующих его олигомеров (учитывая энергию гидратации)
- в процессе дальнейшей олигомеризации участвуют только олигомеры, образованные с соблюдением первого принципа.

Соблюдение таких принципов при моделировании позволило значительно сократить число возможных путей, по которым идет олигомеризация.

Докинг осуществляли с учетом электростатических взаимодействий, что соответствует поведению пептидов в растворах с низкой ионной силой, где не происходит экранирование зарядов на аминокислотных остатках. Результаты моделирования образования олигомеров на стадии октамеров представлены на рис. 1.

Образование фибрилл. Пептид GDIRIDIRIDIRG был синтезирован. Для исследования агрегационных свойств использовали буфер с низкой ионной силой — чтобы максимально приблизить условия эксперимента к условиям, при которых проводилось компьютерное моделирование. При электронной микроскопии образцов, полученных при инкубации

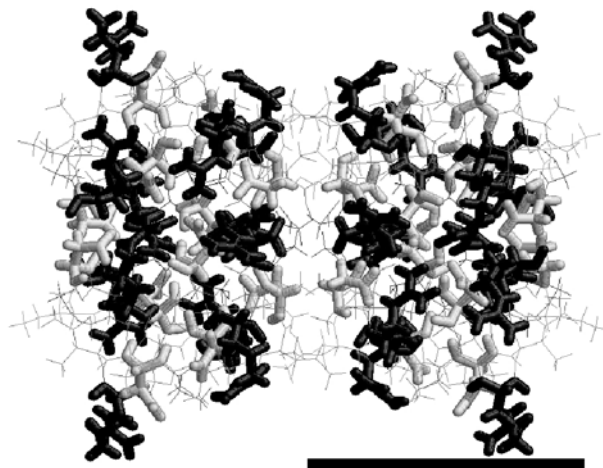


Рис. 1. Результаты моделирования олигомеризации пептида GDIRIDIRIDIRG с помощью программы Orthochem/Maxfolder (октамер пептида). Длина черного прямоугольника соответствует 2 нм. Визуализация с помощью программы RasWin, Представление Sticks

раствора пептида при различных значениях pH раствора было обнаружено, что при всех исследованных значениях pH — 2, 7,5 и 9 — пептид способен образовывать фибриллы, причем длина фибрилл зависит от pH. Наиболее длинные фибриллы образовывались при pH = 2, наиболее короткие — при pH = 9. Диаметр фибрилл не зависел от pH и составил около 3 нм. При pH = 7,5 образовывались фибриллы со средней длиной 100 ± 30 нм, причем наблюдалось образование пучков фибрилл с преимущественной ориентацией. Среднее число фибрилл в пучке составило 20 ± 5 . На рис. 2 представлены результаты электронной микроскопии фибрилл, образовавшихся при pH=7,5. Была проведена ковалентная сшивка полу-

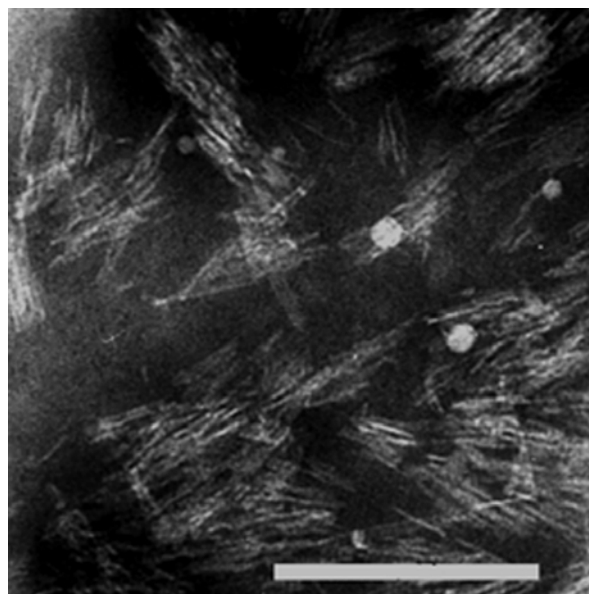


Рис. 2. Результаты электронной микроскопии фибрилл пептида GDIRIDIRIDIRG, образовавшихся при pH = 7,5. Длина белого прямоугольника составляет 200 нм. Диаметр фибрилл — 3 нм, средняя длина — среднее количество фибрилл в пучке — 20

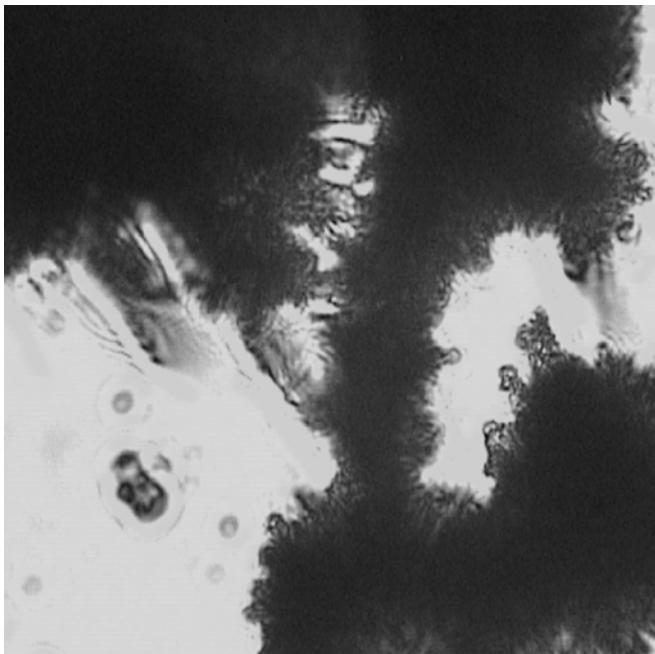


Рис. 3. Результаты микроскопии одного из экспериментальных образцов материала, полученного с помощью ковалентной сшивки фибрилл пептида GDIRIDIRIDIRG. Поле 1×1 мм

ченных фибрилл с использованием различных агентов, способных образовывать связи между свободными аминоклуппами пептида. Выбор методики был обусловлен в том числе и тем фактом, что, по результатам моделирования, аминоклуппы пептидов располагались на внешней стороне фибрилл, что могло способствовать сохранению общей ориентации фибрилл после сшивки данным методом. Результаты оптической микроскопии экспериментального образца полученного таким образом материала представлены на рис. 3. Использована оригинальная методика сшивки с использованием бифункционального агента и концентрированием образца на границе раздела фаз. В настоящее время проводится изучение структуры и физических свойств полученного материала.

Корреляционная спектроскопия. Для того, чтобы исключить влияние подготовки образца при приготовлении проб для электронной микроскопии, были проведены эксперименты по оценке пространственных параметров фибрилл в растворе с помощью лазерной корреляционной спектроскопии. Результаты корреляционной спектроскопии показали наличие агрегатов, соответствующих по гидродинамическому радиусу структурам, обнаруженных с помощью электронной микроскопии (130 нм). Кроме того, были обнаружены структуры большего гидродинами-

ческого радиуса, по-видимому соответствующие пучкам фибрилл.

Необходимо отметить, что развитие и совершенствование методики предварительного отбора пептидов, обладающих заданными свойствами, с помощью методов компьютерного моделирования, позволяет значительно сократить расходы на проведение начального этапа исследования, так как позволяет исключить из рассмотрения некоторые пептиды, не проводя их дорогостоящего синтеза [6]. Однако также необходимо обратить внимание на то, что существующие в настоящее время методы компьютерного моделирования являются далеко не совершенными, и поэтому могут служить только для планирования дальнейших экспериментов. Только результаты исследования структуры пептидов и фибрилл с помощью методов рентгеноструктурного анализа и ядерного магнитного резонанса, а также косвенные методы исследования процессов олигомеризации традиционными биохимическими и биофизическими методами, могут служить основанием для вывода о существовании той или иной структуры в системе. Дальнейший анализ свойств пептидных олигомеров и фибрилл и сопоставление получаемых *in vitro* результатов с результатами моделирования позволит выявить недостатки используемого метода и провести его оптимизацию для дальнейшего использования в создании пептидов с заданными свойствами.

Благодарности

Работа поддержана ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы» контракт 02.513.11.3231, а также грантами Регионального общественного фонда содействия отечественной медицине.

Литература

1. Ч. П. Пул мл., Ф. Дж. Оуэнс. Нанотехнологии: 3-е дополненное издание. Москва, Техносфера, 2007.
2. В. Л. Миронов. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Институт физики наноструктур РАН, Нижний Новгород, 2004.
3. Ю. Д. Семчиков. Высокомолекулярные соединения. Москва–Нижний Новгород, Академия, 2003.
4. A. Mitraki, M. J. van Raaij. Folding of beta-structured fibrous proteins and self-assembling peptides//Proteins Nanotechnology, 2005.
5. D. W. Ritchie, G. L. Kemp. Protein docking using spherical polar fourier correlations//PROTEINS: Struct. Funct. Genet., 2000.
6. G. Colombo, P. Soto, E. Gazit. Peptide self-assembly at the nanoscale: a challenging target for computational and experimental biotechnology//TRENDS in Biotechnology Vol. 25, No. 5, 2007.

Некоторые разработки ФГУП «ЦНИИМ» в области нанотехнологий

А. А. Абрамов,
Д. Т. Н.,
начальник
лаборатории



С. К. Гордеев,
Д. Т. Н.,
начальник
лаборатории



П. Г. Петров,
К. Т. Н.,
генеральный
директор



В. В. Смирнов,
К. Т. Н.,
начальник
лаборатории



В. Л. Гиршов,
Д. Т. Н., Гл. н. с

ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт материалов»

В статье приведены результаты выполненных в ФГУП «ЦНИИМ» исследований металлических и углеродных материалов с элементами структуры, имеющими размеры от единиц до сотен нанометров. Показана высокая эффективность использования нанотехнологий в материаловедении для получения высоких механических, эксплуатационных и специальных свойств.

The article results performed studies of metals and carbon materials in FSUE «CRIM» with elements of the structure having size from units up to hundreds of nanometers. High efficiency in the use of nanotechnology in material studies to obtain high mechanical, operational and special properties shown in it.

Занимаясь долгие годы высокопрочными дисперсионно твердеющими сталями и сплавами, специалисты института, как и другие специалисты-металловеды, фактически использовали нанотехнологии, поскольку при дисперсионном твердении упрочняющие фазы имеют размеры порядка 10–100 нанометров. А после появления электронных микроскопов высокого разрешения эти фазы стало возможным наблюдать и устанавливать количественную взаимосвязь размера фаз со свойствами материала.

границам зерен литого металла выделяется эвтектическая сетка из аустенита и карбидов. Последующая горячая деформация приводит к разрыву сетки на отдельные полосы и включения, однако в структуре стали сохраняются крупные карбиды и их скопления. Чем выше степень карбидной неоднородности, тем ниже механические свойства стали. Например, в прутках диаметром 15–25 мм (2-й балл карбидной неоднородности) предел прочности при изгибе термически обработанных образцов стали Р6М5 составляет 3600–3700 МПа и ударная вязкость на образцах без надреза 350–400 кДж/м². Эти же характеристики свойств в прутках диаметром 90–110 мм (8-й балл карбидной неоднородности) снижаются до уровня 1800–2000 МПа и 150–180 кДж/м², соответственно.

В качестве примера можно привести влияние размера δ'-фазы на механические свойства литейного алюминиевого сплава системы Al-Mg-Li (рис. 1, табл. 1).

На протяжении многих лет борьба с карбидной неоднородностью быстрорежущей стали велась путем совершенствования технологии литья и деформации слитков, но кардинальное решение этой проблемы стало возможным только на базе технологии порошковой металлургии, включающей распыление металлического расплава и последующее компактирование распыленных порошков в плотные, беспористые заготовки. Жидкую сталь, чаще всего, распыляют высокоскоростным потоком азота или аргона, что повышает скорость охлаждения затвердевающего металла до 10³–10⁵ К/с. Столь высокие скорости ох-

В настоящее время институт продолжает интенсивно разрабатывать нано- и микрокристаллические материалы в нескольких направлениях:

- порошковые инструментальные стали;
- трехмерные углеродные наноматериалы;
- магнитные материалы с аморфной и нанокристаллической структурой.

Порошковые быстрорежущие инструментальные стали

Традиционная технология производства быстрорежущих сталей включает в себя отливку и горячую деформацию слитков. При затвердевании слитков по

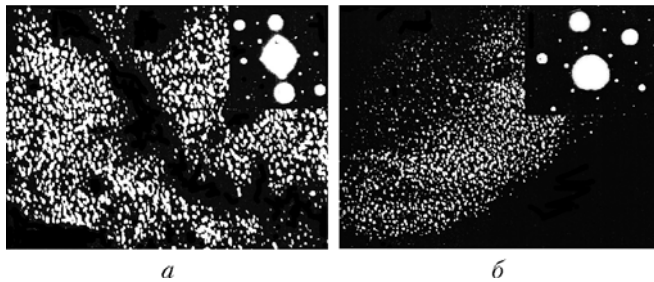


Рис. 1. Тонкая структура сплава системы Al-Mg-Li ($\times 60000$)
 а — размер δ' -фазы 25 нм
 б — размер δ' -фазы 13 нм

лаждения создают в каплях металла значительное переохлаждение. Это предотвращает макроликвацию легирующих элементов, расширяет область твердых растворов, и резко измельчает структурные составляющие литого металла (рис. 2).

Распыленные порошки компактируют способом горячей экструзии в герметичных капсулах.

Для восстановления оксидных пленок с поверхности порошковых частиц, в институте разработан новый способ горячей экструзии в герметичных капсулах с титановым геттером. При нагреве капсул с порошком геттер поглощает воздух, создавая в капсуле вакуум. В вакууме свободный углерод, содержащийся в стали, восстанавливает оксидные пленки. Газообразные продукты восстановления (CO и CO_2) также поглощаются геттером. Новая технология экструзии обеспечила значительное снижение содержания кислорода в металле. Среднее значения предела прочности стали в термообработанном состоянии возросло до 4200 МПа, а ударной вязкости до 334 КДж/м². На лучших партиях стали предел прочности превысил 5000 МПа. Важно отметить, что эти результаты были получены на крупных заготовках ($\varnothing 100$ мм), изготовленных на промышленном оборудовании.

Часть экструдированных заготовок с различным уровнем прочности подвергали прокатке. Заготовку $\varnothing 100$ мм с пределом прочности термообработанного металла 2490–3000 МПа прокатали на прутки $\varnothing 10$ мм. После прокатки и термической обработки предел прочности металла составил 3830–4400 МПа. У экструдированной заготовки с исходным пределом прочности около 5000 МПа прочность после прокатки повысилась до уровня 6000–6500 МПа. Повыше-

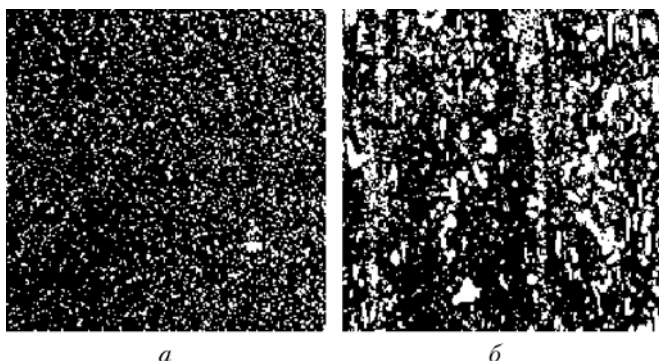


Рис. 2. Микроструктура распыленной (а) и слиточной (б) быстрорежущей стали

Таблица 1

Механические свойства сплава системы Al-Mg-Li

Размер упрочняющей фазы	Механические свойства			
	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение, %	Твердость, НВ
25 нм	245	360	4,5	114
13 нм	262	389	5,1	114

ние прочности связано с дальнейшим диспергированием элементов структуры. Размер аустенитного зерна уменьшается до 5–10 мкм, а размер карбидов до 600 нм.

В результате механические свойства и эксплуатационные характеристики порошковой стали 10P6M5-МП, имеющей ультрадисперсную структуру, в сравнении с обычной сталью P6M5 существенно возрастают (табл. 2).

Трехмерные углеродные наноматериалы

В последние годы проявляется большой интерес к разработке и исследованию углеродных наноматериалов. Хорошо известны активные работы в области получения фуллеренов, углеродных нанотрубок, наноалмаза и других типов нанофрагментарного углерода.

Однако потребности техники связаны, как правило, не с самими наноразмерными порошками, а с конкретными изделиями из них, технология получения которых должна обеспечить преимущества используемых исходных материалов, преобразованных в новые функциональные материалы. Поэтому, по нашему мнению, особый интерес современного развития наноматериалов и нанокомпозитов должен быть направлен именно на разработку технологий получения изделий, обладающих кроме целевых физических свойств, еще и конструктивной прочностью.

Следует остановиться на одной очень важной материаловедческой особенности: материал никогда не существует вне формы, т. е. форма является одной из сторон проявления материала. Преобладающее большинство известных традиционных методов основано на придании формы уже известному составу материала. Как альтернатива такому подходу нами разрабатываются методы «наоборот»: форма материала задается раньше, чем его состав. Здесь имеется в виду, что формирование состава и структуры материала осуществляется в объеме наперед заданной формы. Схема получения материала в виде изделия заданной формы представлена на рис. 3. Показанная схема обеспечивает не только практически 100%-ное

Таблица 2

Свойства быстрорежущей стали

Свойства	P6M5 (из слитка)	10P6M5-МП (порошковая)
Предел прочности (изгиб), МПа	1800–3700	4000–6000
Ударная вязкость, КДж/м ²	200–350	400–700
Твердость (после т/о)	64–66HRC	65–67HRC
Трудоемкость шлифования	1	0,3
Стойкость инструмента	1	2–6

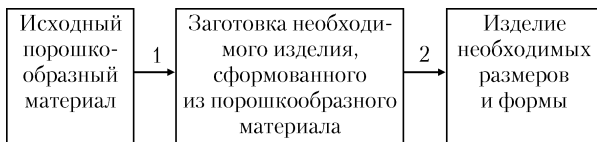


Рис. 3. Получение изделий необходимых форм и размеров с использованием химических реакций в объеме заготовки. Стадии процесса: 1 — придание заготовке необходимых формы размеров (формование); 2 — осуществление химических реакций, не изменяющих форму и размеры, но преобразующих состав и строение материала заготовки

использование сырья и устранение стадий механической обработки материалов, но и достижение принципиально новых свойств качественно нового уровня свойств.

Этот подход может быть реализован двумя методами. Оба метода базируются на том, что первоначально изготавливается заготовка требуемой конечной формы, но имеющая состав и структуру материала, отличные от необходимых. Затем, за счет химических реакций осуществляется создание необходимого состава и строения материала. В первом варианте в заготовку дополнительно вводят требуемые компоненты, а во втором — из заготовки удаляют «необходимые» компоненты.

Углеродные наноконпозиционные материалы из наноалмаза. На основе дисперсных порошков наноалмаза (размер частиц 4–5 нм), были изготовлены углеродные композиционные материалы. Для этого из порошка наноалмаза требуемую заготовку формовали, а затем связывали отдельные частицы в ней пироуглеродной матрицей. Пироуглерод получали путем гетерогенной химической реакции разложения метана на всей внутренней поверхности предварительно сформованной заготовки. Условия реакции выбирали так, чтобы обеспечить образование пироуглерода на всей глубине заготовки и обеспечить неизменность исходной формы заготовки.

В результате процесса синтезирован материал, получивший название «наноалмазный композит» (НАК). Схема строения материала представлена на рис. 4. В НАК отдельные частицы наноалмаза связаны пироуглеродом. Кроме того, в материале сохраняется большая открытая пористость. Тем самым, получен полностью углеродный, но двухфазный материал, состоящий из фазы наноалмаза и фазы графитоподобного пироуглерода.

НАК имеют модуль упругости вплоть до 30 ГПа, прочность при трехточечном изгибе до 25 МПа. Тем самым, обеспечиваются конструкционные свойства материалов и их способность сохранять заданную материалу форму.

Таблица 3

Механические свойства высокопористых материалов

Материал	Пористость, % об.	Прочность, МПа	
		при изгибе	на сжатие
Пористый графит ПГ100	60	6	10
Пенококс ВМ-900	80	1	2
НПУ	65	20	35

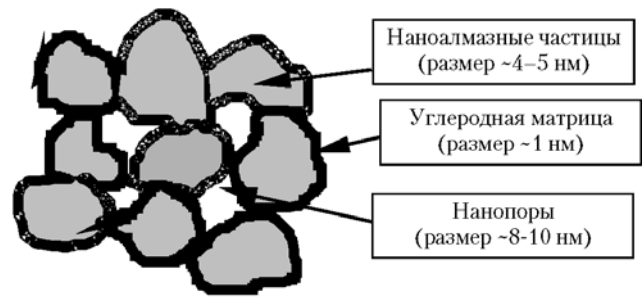


Рис. 4. Схематическое представление структуры наноалмазного композиционного материала

Объемное содержание пор (50–65%) в НАК больше, чем других компонентов материала. Особенностью пористой структуры НАК является то, что она практически вся открытая. Кроме того, она является сорбционно-активной. Тем самым можно сделать вывод том, что НАК является высокоэффективным адсорбентом, а размеры пор в НАК не превышают 10 нм.

Материал НАК обладает низкой теплопроводностью (не выше 1,7 Вт/м·К) и исключительно низким термическим коэффициентом линейного расширения (порядка $1,5 \cdot 10^{-6}/\text{K}$), что обеспечивает его отличную размерную стабильность.

Также материал НАК показывает хорошие свойства по эмиссии электронов в электрическом поле. Были исследованы два основных параметра эмиссии: зависимость тока эмиссии от приложенного электрического поля и однородность эмиссии тока по поверхности образца. Порог эмиссии составляет менее 18 В/мкм. Ток эмиссии стабилен в течение довольно продолжительного времени: более 2 часов при плотности тока 1 мА/мм².

Нанопористые углеродные материалы. Для получения углеродных нанопористых материалов (НПУ) в виде изделий требуемых форм и размеров использован метод контролируемой деструкции. Применительно к углеродным материалам, этот метод позволил задавать размеры и форму изделий уже на начальных стадиях процесса изготовления и сохранять их вплоть до получения требуемой структуры материала.

Известно, что подавляющее большинство методов получения углеродных материалов базируется на химических реакциях разложения твердых (смолы), жидких (пеки) или газообразных (углеводороды) углеродсодержащих веществ. В отличие от них метод контролируемой деструкции основан на реакции замещения.

Для изготовления изделий из НПУ реакции замещения необходимо осуществлять в объеме заготовки заданной формы. Процесс получения НПУ включает три стадии: формование заготовки изделия тре-

Таблица 4

Параметры суперконденсаторов с электродами из НПУ и углеродных волокон

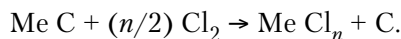
Материал	Электролит	Напряжение, В	Емкость, Ф/см ³	Энергия ячейки, Дж/см ³
Углеродное волокно	Органический	2,5	3,3	10
НПУ	Органический	3,0	6,8	30

Таблица 5
Химический состав сплава 24КСП (24 КСП-В*)

Элементный состав сплава 24КСП (24 КСП-В), % масс.						
Углерод	Кобальт	Кремний	Марганец, не более	Алюминий, не более	Бор	Железо
0,5–0,7	23,0–25,0	2,6–3,2	0,1	0,05	2,8–3,4	остальное

* Буква «В» в обозначении сплава означает производство в вакууме.

буемой формы из выбранных порошков карбидов; связывание отдельных зерен в единое тело; преобразование карбида в углерод по реакции:



Каждая из указанных стадий направлена на придание конечному продукту определенных свойств.

НПУ представляет собой высокопористый материал, и поэтому его механические свойства не высоки. Однако его прочность более высокая в сравнении с другими высокопористыми углеродными материалами (табл. 3).

НПУ обладают высокой удельной поверхностью и большим объемом активных пор. Еще большие преимущества таких материалов видны при расчете на 1 см³ материала (удельная поверхность достигает 920 м²/см³), что связано с высокой компактностью материала по сравнению с другими нанопористыми системами.

Материалы с высокой удельной поверхностью в последние годы находят применение в качестве электродов суперконденсаторов. В таких конденсаторах электрическая емкость образована за счет адсорбции ионов из электролита на большой внутренней поверхности углеродных материалов.

Использование НПУ в качестве электродов суперконденсаторов имеет ряд преимуществ. НПУ может быть изготовлен в виде электрода требуемых размеров и формы. Такие электроды полностью состоят из углерода, а, следовательно, имеют высокую электронную проводимость. Кроме того, НПУ имеют высокую удельную поверхность на единицу объема материала. Все это позволяет сделать заключение, что НПУ может быть эффективно использован в качестве электродов суперконденсаторов (табл. 4).

Магнитные материалы с аморфной и нанокристаллической структурой

Магнитные металлические сплавы с аморфной и нанокристаллической структурами получают методом сверхбыстрого охлаждения расплава (метод спиннингования расплава), при котором непрерывно выливаемый расплав охлаждают со скоростью миллионы градусов в секунду. Высокие магнитные свойства аморфных материалов определяются их высокой гомогенностью и изотропией структуры. Высокие свойства магнитных сплавов с нанокристаллической структурой обеспечиваются размерами их кристаллитов. В соответствии с законом Херцера в случае размера зерна существенно меньшем расстоя-

Таблица 6
Сравнительные данные свойств лент открытой и вакуумной выплавки, ширина лент 1,5 мм

Марка сплава	Толщина, мкм	Предел прочности	Предел пропорциональности	МПа		Энергоемкость, σ ² /2E
				МПа	ГПа	
24 КСП	0,045	2320	1850	137	51	12,5
24 КСП-В	0,02	4120	3100	137	51	35,0

ния ферромагнитного обменного взаимодействия (<0,1 мкм) эффективная магнитная анизотропия будет определяться средним значением по многим зернам, поэтому она при размерах зерна порядка 10 нм становится минимальной, а соответственно магнитная проницаемость становится максимальной. Столь малый размер зерна можно получить только термической обработкой аморфного сплава на начало кристаллизации. В нанокристаллических сплавах в соответствии с уравнением Холла–Петча следует также ожидать и увеличения механических свойств, что важно для использования их в качестве конструкционных. Исходя из технических требований к магнитным системам вторичных источников питания, был выбран рациональный состав аморфного сплава в системе Fe-Co-Si-B-C (сплавы 24КСП и 24КСП-В) с содержанием элементов, приведенным в табл. 5.

Управляя технологическими параметрами — температурой перегрева расплава, давлением инъекции и линейной скоростью ротора во время спиннингования, а также рабочим зазором между поверхностью ротора и срезом инъекционной фильеры — были получены ленты толщиной 20, 40 и 60 мкм. На полученных образцах проводили рентгеноструктурные исследования лент на дифрактометре ДРОН-3 в состоянии как после получения, так и после термической обработки на формирование нанокристаллической структуры.

Для рентгеноструктурных исследований использовались ленты толщиной 20, 30 и 60 мкм. Исследовали обе поверхности ленты, контактную с ротором и свободную.

Рентгеноструктурный анализ показал, что аморфная структура на всю толщину ленты получена только при ее толщине 20 мкм; при толщине ленты 40 и 60 мкм аморфная структура наблюдается только со стороны ротора, на свободной поверхности зерно имеет размер несколько десятков нанометров.

Механические свойства быстрозакаленных лент вакуумного производства и меньших по толщине

Таблица 7
Термовременная стабильность кольцевых сердечников из сплава 24 КСП-В

Допустимые изменения магнитных параметров	Годы эксплуатации при температурах (экстраполяция), °С		
	+60	+80	+100
Магнитная проницаемость, на 5%	100	100	50
Остаточная индукция, на 20%	50	5	0,7
Коэрцитивная сила, на 20%	12	2	0,4

(аморфная структура) существенно выше лент открытой плавки с аморфно-кристаллической структурой (табл. 6).

Термическая обработка ленты из сплава 24 КСР-В обеспечивает более высокий уровень магнитных параметров по сравнению с аналогами (пермаллой 47 НК и 64 Н), а в случае формирования нанокристаллической структуры на порядок больший уровень насыщающих полей.

Это позволяет повысить в 1,5–2 раза удельную магнитную энергию. Определены рациональные режимы термообработки, в том числе отжиг на начало кристаллизации, позволяющий обеспечивать в магнитно-мягком материале поле насыщения в пределах 4800–5600 А/м.

Разработанные материалы и кольцевые сердечники из них прошли испытания на термовременную стабильность. Время эксплуатации в годах сплава 24 КСР-В при различных температурах и указанных допустимых изменениях магнитных параметров приведены в табл. 7. Результаты внедрения разработанного материала в промышленности показали его высокую эффективность при создании малогабаритных приборов систем управления.

Приведенные примеры разработок ФГУП «ЦНИИМ» в области нанотехнологий свидетельствуют о высоком научном потенциале института и его готовности принять активное участие в федеральных программах по этому приоритетному научному направлению.

Оценка механизмов образования углеродных наноструктур на основе анализа формы и характера углеродных продуктов горения лития и магния в углекислом газе под давлением

Ю. И. Карташов,

к. т. н., первый заместитель генерального директора по научной работе ФГУП «Российский научный центр «Прикладная химия»

М. В. Ахтырский,

к. т. н., с. н. с., ФГУП «Российский научный центр «Прикладная химия»

В. Н. Румянцев,

к. т. н., с. н. с., ФГУП «Российский научный центр «Прикладная химия»

Ю. Г. Осипов,

н. с. ФГУП «Российский научный центр «Прикладная химия»

С. В. Половцев,

к. т. н., нач. лаб., ФГУП «Российский научный центр «Прикладная химия»

А. К. Сироткин

к. ф.-м. н., с. н. с., биологический факультет Санкт-Петербургского государственного университета

Н. И. Алексеев,

к. ф.-м. н., с. н. с., Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе

В свете современных теоретических представлений, основанных на квантовохимических расчетах рассмотрены типы углеродных наноструктур, полученные в процессе горения лития и магния в углекислом газе под давлением.

In the light of the modern theoretical representations based on the quant-chemical calculations the types of carbon nanostructures, received in the process of combustion of Li and Mg in carbon dioxide gas under pressure were considered.

Механизм образования и роста углеродных наноструктур наиболее наглядно виден на электронных фотографиях углеродных продуктов горения магния и лития в углекислом газе полученных на установке РНЦ Прикладная химия

(бомба постоянного давления) под давлением от 2000 атм и выше в присутствии каталитических количеств никеля [1, 2].

На снимках образцов углеродных продуктов системы горения Mg в CO₂ полученных в электронном

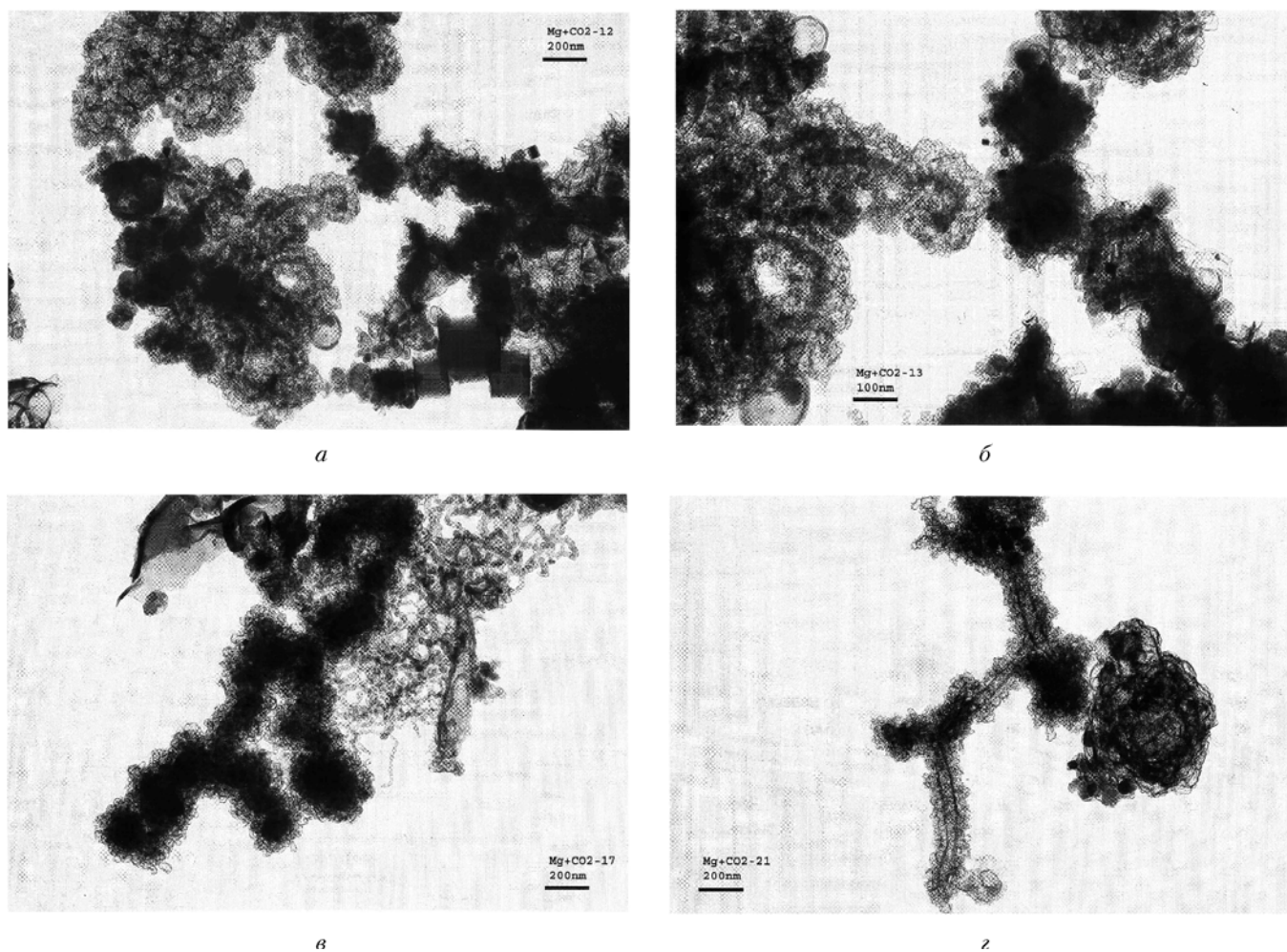


Рис. 1. Горение Mg в CO_2 . ТЕМ формирования углеродных кластеров круговой или сферической формы (а, б) и их группировки в ассоциации кластеров (в, г)

микроскопе, приведенных на рис. 1, 2 отчетливо видны фазы формирования наноструктур. Сначала это образование круглых или сферических кластеров аморфного углерода (рис. 1, а, б). Затем структурирование этих нанокластеров в систему «зигзага» с весьма протяженными линейными участками рыхлой нанокластерной структуры (рис. 1, в, г). Далее уплотнение этой структуры с почти полным исчезновением круглых или сферических кластеров и образование линейных или зигзагообразных бамбуковидных углеродных нановолокон значительной длины (1–5 мкм), внешним диаметром до 40 и внутренним диаметром до 20 нм (рис. 2).

Одновременно наблюдалось в продуктах горения образование и чрезвычайно многослойной длинной закрытой нанотрубки (или возможно нановолокна) длиной до 5 мкм и диаметром внешним 20–30 нм, а внутренним — 1–2 нм (рис. 3).

Аналогичная картина наблюдается и при рассмотрении (исследовании) формы и размеров углеродных продуктов горения лития и CO_2 в просвечивающем микроскопе рис. 4 (1–3). Здесь также видны как круглые или сферические кластеры углерода, так и сформированные углеродные полые бамбуковидные нановолокна (рис. 4, 5). Феноменом этого процесса является регулярнопереплетенная (как бы вязанная) наноструктура из углеродных волокон диаметром

1–2 нм (рис. 6). Возможно такая структура является промежуточной стадией перед образованием полого нановолокна.

По аналогии с стадией роста углерода полученного горением Mg в CO_2 (промежуточная между стадией роста и формирования — рис. 1, в, г и 2, а, б). Можно представить такую регулярнопереплетенную структуру как стадию сформированную из коротких цепочек карбонов но стадии этого процесса нами пока не исследовались.

Полученные в бомбе постоянного давления углеродные продукты горения металлов по набору типов и внешнему виду и размеру и форме кластеров и наноструктур практически идеально совпадают с углеродными продуктами, полученными китайскими учеными при исследовании горения в потоке [3]. Этот феномен, скорее всего обусловлен тем, что в бомбе с большой теплоемкостью при горении системы металл-углекислота в объеме может наблюдаться широкий спектр температур и даже давлений в разных точках сосуда, отличающийся от контролируемых приборами интегральных величин.

Полученный визуализированный механизм образования углеродных наноструктур может быть объяснен известными, опубликованными ранее положениями на основе квантово-химических расчетов представлениями.

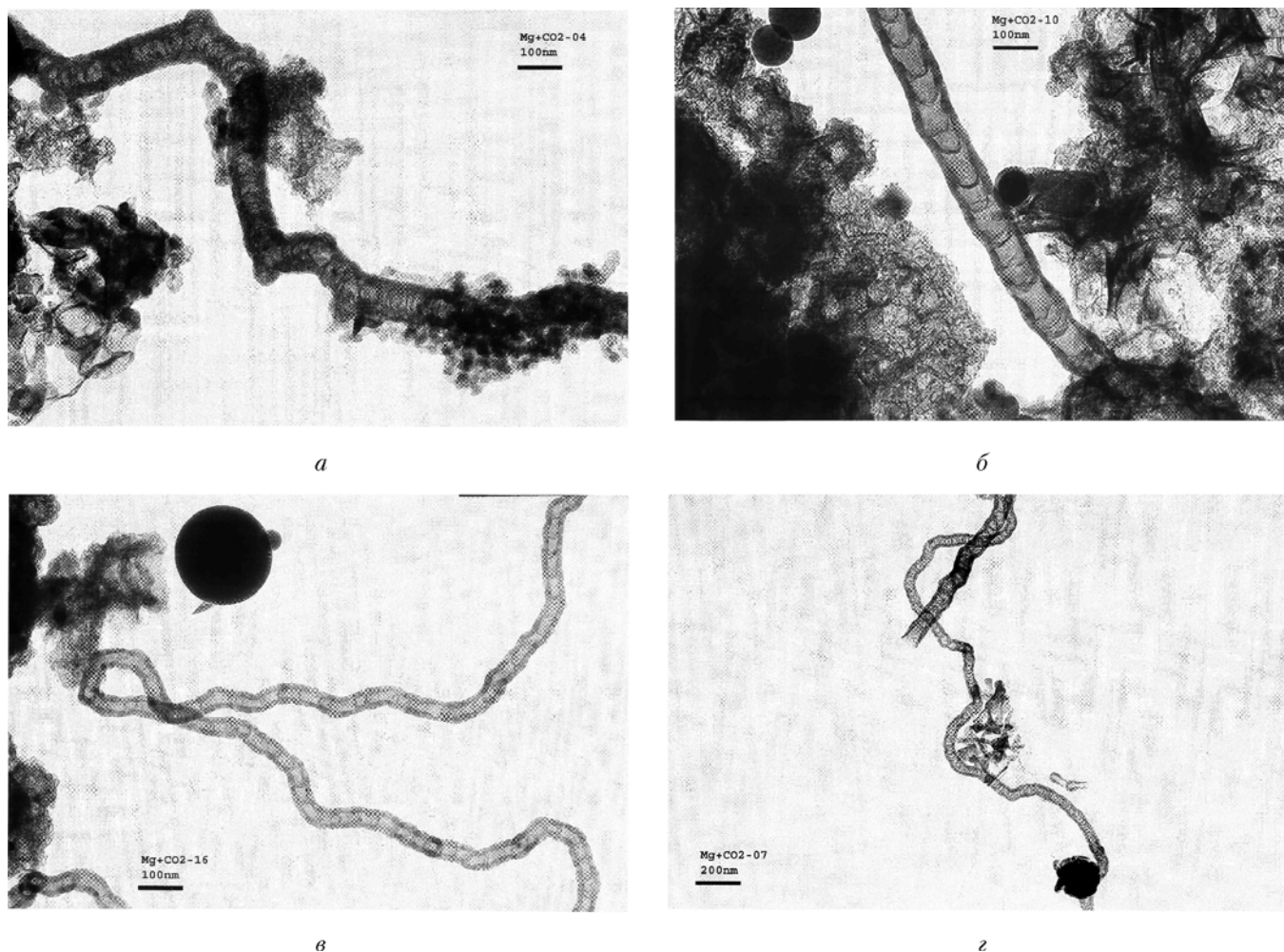


Рис. 2. Горение Mg в CO₂. Стадия формирования бамбуковидных нановолокон из ассоциатов углеводородных кластеров

Например, такой тип механизма роста нанотрубок (тибуленов) предложен в [4], где роль прекурсора приписывается полиеновым кольцам, обнаруженным [1], [8] при лазерной абляции графита, когда для частиц с C_n (10 ≤ n ≤ 40) наиболее характерными являются плоские кольцевые структуры [8–10], а при n > 40 сфероидальные. Согласно данным авторов [6–8] «свертка» моноциклических колец в полициклические может привести в конечной стадии к образованию фуллерена, либо НТ. Преимущество последнего «канала свертки» в модели [6] относят за счет присутствия катализаторов, активирующих процесс.

Необходимо отметить, что в случае синтез углеродных наноструктур в режимах СВС и горения в CO₂ без катализаторов (Fe, Ni, Co, Mn, Cr, Se или их окислов) наноструктуры нами найдены не были.

В работах [9] подчеркнуто, что образование нанотрубок (тубуленов) предполагает наличие в реакционной зоне «оси симметрии», задающей направление роста структуры.

Введение своеобразной «оси симметрии» в зоне реакции для синтеза цилиндрических структур может осуществляться, например, пучком направленных ускоренных ионов углерода C₂. Аналогичную функцию оси симметрии должны иметь катализаторы.

В одной из моделей рассмотрены механизмы роста за счет димерного иона C₂, но на первом этапе этого процесса необходимы тримеры C₃.

Такой подход и модель могут быть вариантом объяснения также и образования УНТ при электролитическом получении щелочных и щелочноземельных металлов, как в промышленных процессах [10, 11], так и в лабораторном эксперименте [12–14], термолитизе карбидов щелочных и щелочноземельных металлов, пиролиз метилатов щелочных металлов.

Исследование этих процессов может открыть пути для разработки менее энергоемких, более простых и экономически эффективных процессов массового получения углеродных наноструктур. А, как следствие может стать путем широкого внедрения углеродных наноструктур в массовые народнохозяйственные продукты — создание композитов и модификация минеральных и полимерных материалов (бетоны, пластмассы, синтетические волокна).

Если рассматривать полученные формы нанотрубок в режимах горения металлов в CO₂ в аспекте наноминералогических теоретических обобщений многостороннего анализа, приведенного в монографии «Наноминералогия», то ряд этих обобщений объясняют феномен горения [22], [17].

Это феномен образования сферических нанокластеров или наноструктур обусловленный избыточной

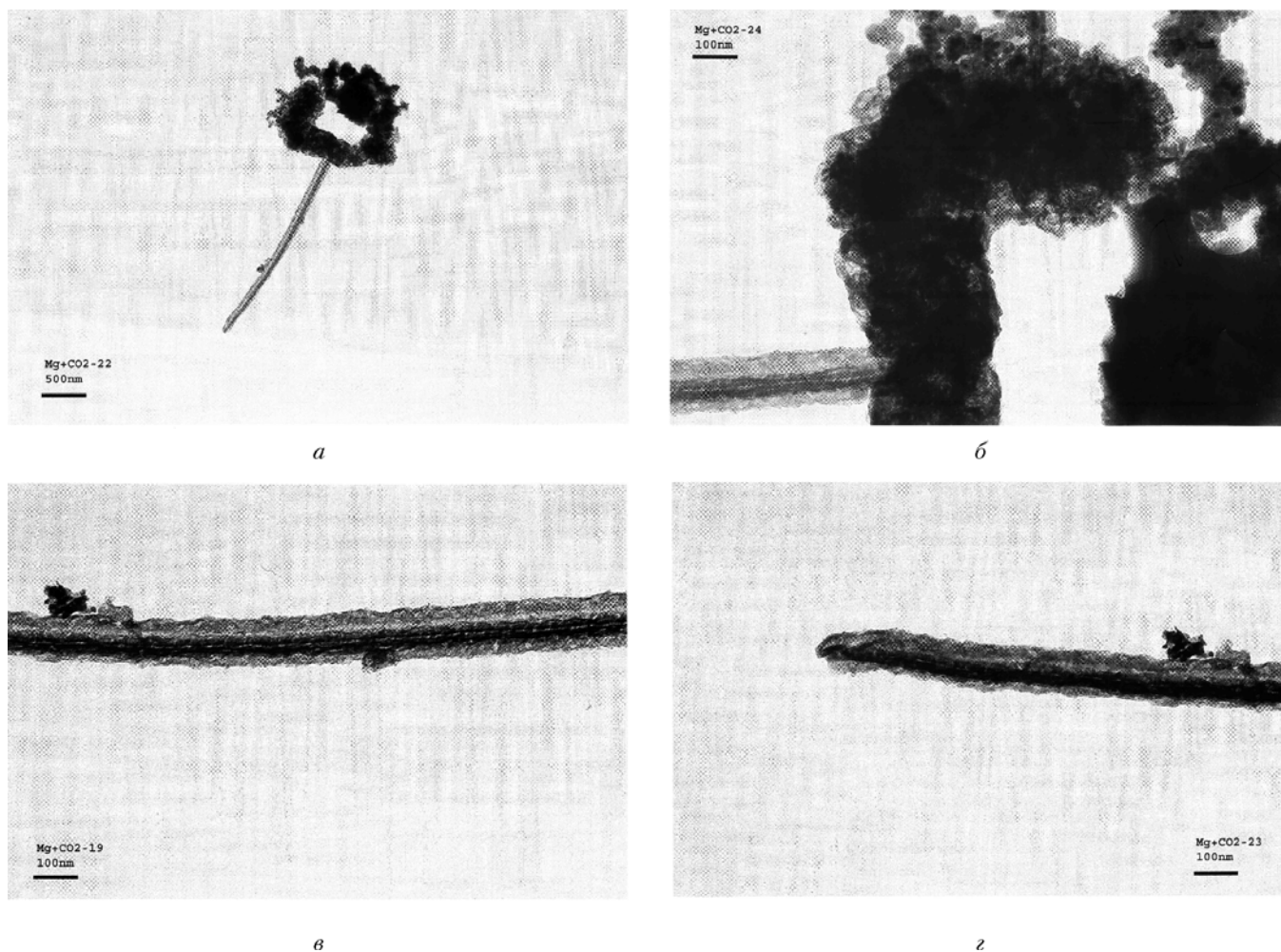


Рис. 3. Горение Mg в CO_2 . ТЕМ сформированной углеродной многослойной нанотрубки: а – общий вид, б, в – части при максимальном увеличении

поверхностной энергией [17]. При этом сфероидальности способствует внесенное давление, в наших экспериментах это 2000 атм и более.

Ряд авторов синтезировал наноразмерные образования близ сферической формы, содержащие более сотни атомов, а А. Мюллер [17] синтезировал целое семейство окислов молибдена, самый крупный из которых содержит более 500 атомов и образует сфе-

роподобную надстройку диаметром до 2,5 нм. При этом авторы полагают, что внутри таких сфер могут быть полости, где могут размещаться макромолекулы типа фуллерена.

Отмечается другая характерная тенденция образования наноструктур – это формирование волоконных, нитевидных, цилиндрических образований, в том числе и нанотрубок и полых нановолокон, что

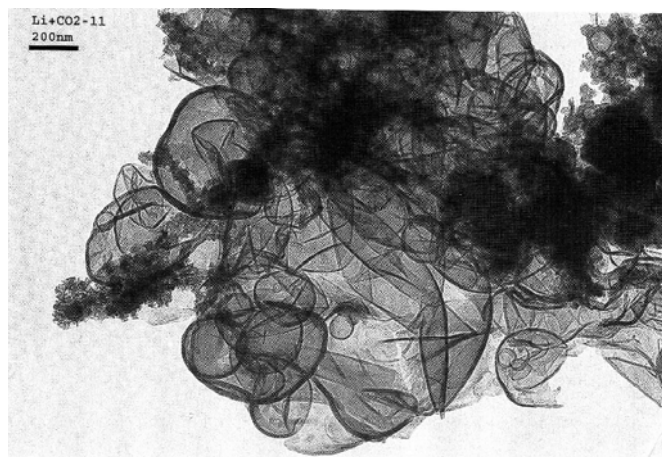


Рис. 4. Горение Li в CO_2 . ТЕМ углеродных кластеров

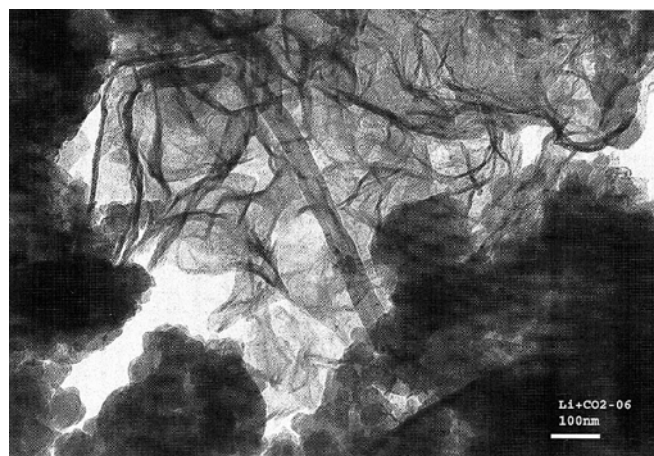


Рис. 5. Горение Li в CO_2 . ТЕМ формирования бамбуковидного волокна

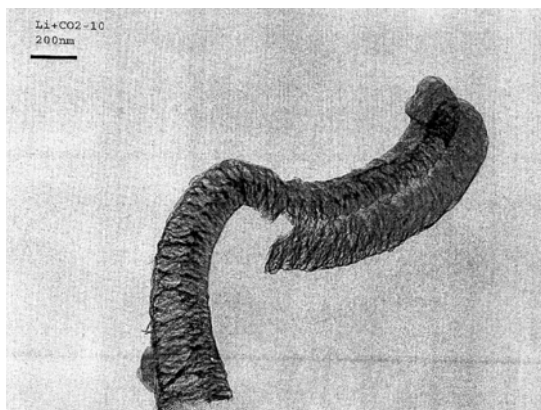


Рис. 6. Горение Li в CO_2 . ТЕМ углеродной наноструктуры регулярно сплетенной из нановолокон (возможный путь образования полого нановолокна большого диаметра?)



Рис. 7. Горение Li в CO_2 . ТЕМ общего вида бамбуковидного полого нановолокна на фоне углеродных кластеров

мы и наблюдаем на рис. 2, 3, 5–7. В отличие от полученных в наших синтезах больших количеств таких продуктов, в природе также были найдены незначительные их включения в минералах [17], но в чрезвычайно малых количествах (это не исключает нахождения их в значимых для использования объемах).

Третья структурная тенденция, развивающаяся с наноуровня и берущая истоки из особенности электронного строения атомов — это «геликонизация» свертывание структуры и индивидов в спирали. Обычно спирализуются пластинчатые структуры в нанотрубки и нановолокна.

Причинами геликонизации могут быть структурные особенности вещества, структурные дефекты, эпитаксиальные явления, механические деформации. В наших продуктах горения такие геликонизированные структуры наблюдались как в случае горения лития в CO_2 (рис. 4) так и в случае горения магния (рис. 8). В последнем случае мы, вероятно, имеем дело со спайкой нановолокон в наножгут, описанной рядом авторов. Во фронте горения процессе на микроуровне колебательном и по температуре и давлению геликонизация под действием вышеуказанных факторов достаточно вероятна.

Наноминерологи [19–21] отмечают, что для наносферических, нанотрубчатых и геликоноидальных

структур характерно наличие внутренних полостей, благодаря которым их можно представить в качестве своеобразных капсул. Природная или искусственная «фаршировка» их атомами или молекулами другого сорта позволяет получать материалы с новыми свойствами и порождать функции, не типичные для исходных структур.

Таким образом могут быть получены композиты на наноуровне (нанокомпозиты) с принципиально новыми свойствами и новыми аспектами прикладного использования (нанотрубчатый углерод с внутренним кремниевым волокном для литиевых аккумуляторов или нанотрубчатый углерод с внутренней полостью магнетита).

В нашем случае при горении магния в CO_2 получены нанокристаллы магнетита в оболочке углеродных сферокластеров (рис. 9).

При горении в СВС процессе карбоната лития с силицидом лития получена система углеродного бамбуковидного волокна с капсулированным в нем карбидом кремния (рис. 10).

Приведенные примеры указывают на определенную долю корреляции между теоретическими оценками наноминерологов, сделанными и иллюстрированными наноструктурами, найденными в неживой (минеральной) природе, и синтетическими продуктами, полученными в наших исследованиях по горению. Последнее указывает



Рис. 8. ТЕМ продуктов горения магния в CO_2 . Видны геликонизированные наноструктуры сложенные в монолитный жгут

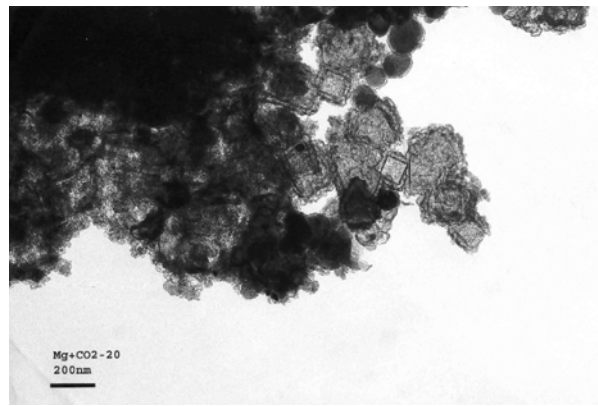


Рис. 9. ТЕМ продуктов горения магния в CO_2 . Видны нанокристаллы магнетита в оболочке наноуглерода

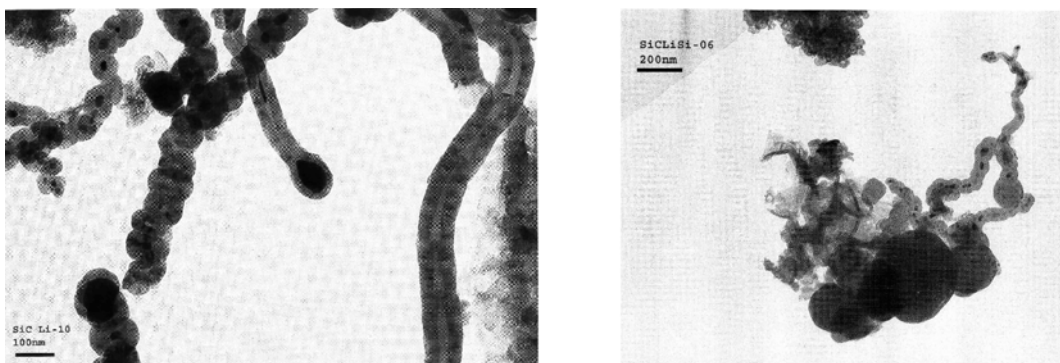


Рис. 10. ТЕМ продуктов СВС синтеза $MgCO_3 + Li_4Si$. Видны наночастицы карбида кремния в матрице нанопористого нановолкна

на сходство процессов синтеза и образования земной коры. Как варианты синтеза позволяют оценить (предположить) области поиска минералов, содержащих наноструктуры (гидротермальные процессы, горение, СВС, давление), так и нахождение наноструктур в природе, минеральном, с/х сырье позволит наметить оптимальный путь получения наноструктур для народно-хозяйственных целей и технического прогресса.

Литература

1. С. В. Половцев, Н. И. Алексеев, Ю. Г. Осипов, С. М. Галилеев. Труды международной школы семинара «Физическое материаловедение». Тольятти, Самара. Изд. ТГУ, 25–30.09.2007.
2. С. В. Половцев, Н. И. Алексеев, Ю. Г. Осипов, С. М. Галилеев. Труды СПб инженерно-экономического университета. Серия техническая. Вып. 6. СПб, 2007.
3. С. В. Половцев, Н. И. Алексеев, Ю. Г. Осипов, С. М. Галилеев. В сборнике материалов III международной школы-семинара «Физическое материаловедение». Тольятти, изд. ТГУ, 2007.
4. С. Н. Kiang, N. A. Goddard. Phys. Rev. Lett. 1996.
5. G. van Helder, N. G. Gotts, M. T. Bowers. Nature, 1993.
6. J. Hunter, J. Fye, M. F. Jarrold. Science, 1993.
7. J. Hunter, J. Fye, M. F. Jarrold, J. Koskamp, J. Phys. Chem. 1994.
8. G. van Heldek, P. R. Kemper, N. J. Cetts, M. T. Bowers. Science, 1993.
9. А. Л. Ивановский. Квантовая химия в материаловедении, нанотрубчатые формы вещества. Екатеринбург, изд. НИСО УРОРАИ, 1993.
10. С. В. Половцев, Н. И. Алексеев, Ю. Г. Осипов. ЖПХ.
11. С. В. Половцев, Ю. Г. Осипов. В кн. Научные чтения памяти Б. В. Гидаспова, СПб, «Теза», 2008.
12. W. K. Hsu, S. M. Terrone, J. P. Hare et al. // Chem. Phys. Letters, v. 262, 1996.
13. G. Z. Chen, X. Fan, A. Luget et al. J Electroanal Chem, v. 446, 1998.
14. W. Z. Li, S. S. Xie, L. K. Qain // Science, v. 274, 1996.
15. В. И. Данилкин и др. Авт. свид. СССР.
16. Г. Е. Каплан, Ю. И. Остроушко. В кн. Электролиз в металлургии редких металлов. Металлургиздат, 1963.
17. Наноминералогия. Монография под ред. академика Н. П. Фокина. СПб, Наука, 2005.
18. А. Ф. Алабышев, В. Я. Грачев и др. В кн. Калий и натрий. ГХИ. Ленинград, 1959.
19. K. Nazay, W. Fuja. Kanazawa, 2003.
20. В. В. Ковалевский. Электрографическое исследование шунгитов. Диссертация на соискание ученой степени. Москва ИК ИИ СССР, 1986.
21. В. В. Ковалевский. ЖПХ, № 39, 1994.

Природные материалы, отходы промышленности — источник массового малозатратного получения наноматериалов — модификаторов и наполнителей бетонов и органополимеров

С. А. Керножицкая,
научный сотрудник ФГУП РНЦ
«Прикладная химия»

В. И. Мануйлова,
к. х. н., ученый секретарь ФГУП РНЦ
«Прикладная химия»

С. М. Галилеев,
д. ф.-м. н.,
Санкт-Петербургский
инженерно-экономический
университет

Т. М. Петрова,
д. т. н., Петербургский
государственный университет
путей сообщения

И. М. Белозеров,
д. ф.-м. н., главный научный
сотрудник Новосибирского
ВНИПИЭТ

Рассмотрены предварительно исследованные природные и промышленные продукты как источник массового малозатратного получения наномодификаторов и наполнителей минеральных и органических полимеров. Выполнен анализ возможных источников нахождения наноструктур в природе и отходах и использования их в народнохозяйственных материалах (бетоны, пластмассах, катализаторах).

Выполненная РНЦ «Прикладная химия» поисковая программно-ориентированная работа являлась альтернативой известным работам по получению углеродных нанотрубок (УНТ) дуговым, лазерным испарением, термолизом ряда продуктов,

из которых наиболее перспективными признаются в последнее время методы каталитического пиролиза углеводородов [1]. В России это работы РГХТУ им. Д. И. Менделеева [2–4], Томского госуниверситета, Тамбовского и Астраханского политехнических

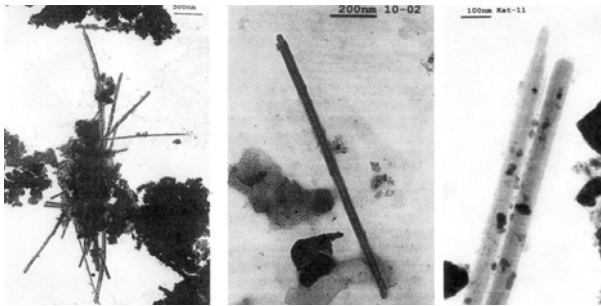


Рис. 1. ТЕМ УНТ в углеродных шламах электрического получения лития. Видны пучок однослойных УНТ и отдельные многослойные УНТ значительного размера

институтов [5–7]. За рубежом это в первую очередь процессы, разрабатываемые в Японии и Германии [8]. Однако, несмотря на рекламируемый объем (десятки килограмм в России и тонн за рубежом) широкого применения эти продукты не получили из-за высокой стоимости (от 100 до 10 долл/г), публикации носят рекламный характер, а фактическое использование не выходит за рамки макетов уникальных приборов, массовое производство которых — далекая перспектива. Базирующиеся на уникальных физико-механических свойствах УНТ работы по использованию их в минеральных и органополимерных композитах получили в России развитие в исследованиях ГНЦ ВИАМ [9] и АО «Астрин-Холдинг» [10], и ряда институтов Воронежа, Ижевска, Белгорода, но опять же на весьма дорогих нанопродуктах, содержащих УНТ. Таким образом, даже модификация такими нанопродуктами на уровне 10^{-2} – $10^{-4}\%$ мас при сегодняшнем уровне технологии их получения малопримемлема для использования в производстве продуктов широкого народнохозяйственного назначения: бетонах, пластмассах, резине.

Поисковые исследования РНЦ «Прикладная химия» с партнерами и были направлены на определение источников наномодификаторов и нанонаполнителей композитов с прогнозируемой стоимостью на 1–3 порядков меньше, чем у известных, что должно было позволить их использовать в народно-хозяйственных материалах.

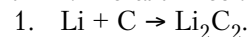
Проанализировав литературу по методам получения УНТ, авторы обратили внимание на работу ученых Кембриджской школы по получению УНТ при электролизе эвтектик LiCl–KCl [11] и NaCl–KCl [12] в лаборатории в электролизере с графитовыми электродами. Несмотря на получение достаточно чистых УНТ, авторы пришли к выводу о бесперспективности метода, так как время работы электролитической ячейки было не более 15 минут, а микроколичества УНТ, накапливающиеся в расплаве, из-за резкого повышения проводимости заставляло прерывать процесс для исключения короткого замыкания.

Материал этих публикаций заставил обратить внимание на промышленный процесс получения щелочных металлов — лития и натрия — в тех же эвтектиках LiCl–KCl и NaCl–KCl в электролизерах объемом на 3–4 порядка больше, чем объем лабораторного, и с гарнисажным катодом (стенки электролизера) и графитовым анодом. Таким образом соотношение графитовой поверхности (источника наноуглерода) и объема ванны также определяло на порядки снижение скорости науглероживания ванны [13, 14], а особенности состава эвтектики, содержащей следы кислородных соединений, действовал аналогично,

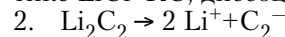
окисляя аморфный углерод. Реальный пробег промышленной ванны электролиза до смены электролита из-за накопления углерода (продукта деструкции анода) и других примесей составляет не менее 8000–12000 часов. Отработанный электролит растворяется в воде, а углеродная составляющая, отмытая от солей, выбрасывается. Раствор же солей утилизируется. В производствах лития и натрия количество очищенных не утилизируемых шламов достигает нескольких тонн/год. Аналогичные шламы образуются и при значительно более масштабном электролитическом получении магния. Такие же шламы образуются на промышленном производстве кальция.

Авторами были исследованы шламы производства металлического лития и было показано, что в них содержится примерно 5% одностенных (ОУНТ) и многостенных (МУНТ) нанотрубок [15, 16]. Были рассмотрены механизмы их образования. Вид и габариты ОУНТ и МУНТ приведены на рис. 1.

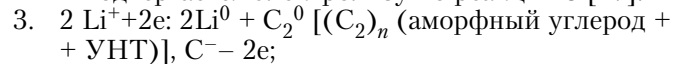
В соответствии с представлениями о механизме электролиза авторы полагали, что при взаимодействии лития металлического с графитом образуется карбид:



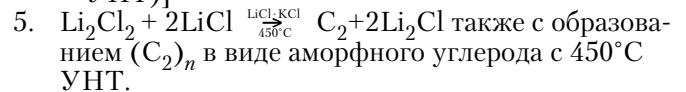
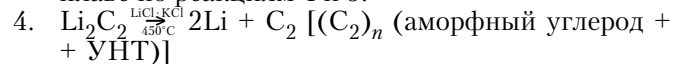
Карбид лития либо, будучи растворимым в эвтектике LiCl–KCl, диссоциирует по реакции 2



и подвергается электролизу по реакции 3 [17].



либо карбид лития диспропорционируется в расплаве по реакциям 4 и 5:



Такой механизм рассматривался еще в 60–70-х годах XX века задолго до открытия карбинов, фуллеренов, фуллероидов и УНТ.

Таким образом электрохимический синтез УНТ мог бы быть рассмотрен и не только в аспекте утилизации отходов, но и при изучении подробном механизма электролизера, в том числе и Li₂C₂, LiC₆, а также CaC₂, возможно, стать основой новой технологии синтеза УНТ. Однако предложения авторов на проведение таких исследований поддержки до настоящего времени не получили. Защищенная в 2006 г. диссертация [18] не расписала механизм синтеза УНТ и не внесла ясности в этот процесс. Однако, исследования в этом направлении продолжают зарубежными учеными [19].

Для утилизации УНТ содержащих шламов на производстве металлического лития требуется только упаковка и аттестация продукта (фактически только создание ТУ и сферы потребления).

В этом аспекте ведутся работы с кафедрой строительных материалов ПГУПС [20].

Второй объект, на который авторы обратили внимание — это также не утилизируемый отход промышленного производства ацетилена каталитическим пиролизом природного газа. При очистке ацетилена (его извлечения из газов пиролиза) используется процесс сорбции/десорбции в растворителе — N-метилпирролидоне (диметилацетамиде). Десорбированный ацетилен используется в производстве, а полиацетилены высаживаются из растворителя при его регенерации [21]. Учитывая близкие аналогии с получением

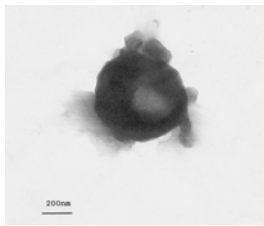


Рис. 2. ТЕМ наноструктуры из полиацетиленовых шламов. Предполагается, что эти структуры — полимеры фуллерена

ем углеродных нановолокон и углеродных нанотрубок [1, 3, 4], авторы считали целесообразным изучить состав шламов. Исследованные образцы показали в массе нанодисперсного углерода наличие полифуллеренов (рис. 2). Такой продукт можно рассматривать как исходный для получения фуллеренов, или как ингибитор ряда радикальных процессов. В частности, теплового взрыва, стабилизации продуктов, склонных к распаду, или полимеризации, повышения термоустойчивости и предотвращения коксообразования у углеводородов. Продукты переданы на химический факультет МГУ и в ИВС РАН для исследования их каталитических свойств и модифицирующего действия на полимеры.

Исследования природных продуктов основывались на работах отечественных наноминерологов, убедительно доказывающих возможность образования углеродных и других наноструктур в вулканических, тектонических, геотермальных и биодеструктивных процессах формирования пород [22]. В том числе авторами рассматриваются биогенные, антропогенные и техногенные источники серьезного накопления таких структур в окружающей среде.

Авторами исследовался известняк одного из месторождений, характеризовавшихся аномальной твердостью. Авторы предполагали, что твердость обусловлена именно наличием углеродных и других минеральных наноструктур, выступающих природным модификатором известняка.

Подробный анализ нерастворимой в HCl части минерала показал, что в ней содержится определенный процент твердой фазы, которая представляет собой смесь кварца, углерода и флогопита. На рис. 3 (а–г) приведены ТЕМ нерастворимой в HCl части известняка. Видны аморфный углерод, «кедровый лес» углеродных нанотрубок, нановолокна флогопита и нанотрубки других алюмосиликатов, возможно, галлуазита.

Авторы полагали, что такой известняк в измельченной форме (ударновихревая мельница ТИТАН МД и планетарная Пульверизетте) до величины 20^{-10} мкм и ниже мог бы выступать как модификатор в бетонах, где известняк вполне приемлем и как наполнитель для улучшения физико-механических свойств в расчете на модифицирующее действие углеродных нанотрубок по аналогии с действием шунгита, где УНТ и другие структуры герметизированы в значительно более жесткой

инертной матрице алюмосиликата. Однако, даже такой наполнитель дает эффект при замене технического углерода в протекторной резине.

Поэтому были подготовлены и переданы образцы для испытания в бетонах на кафедре строительных материалов в ПГУПС, для испытания в полимерах в лабораторию механики полимеров ИВС РАН и в лабораторию народнохозяйственных полимеров ФГУП ГНЦ НИФХИ им. Карпова.

Авторы полагают, что при положительных результатах разработка такого месторождения (миллионы тонн), находящегося в густонаселенном районе с развитой транспортной и энергетической инфраструктурой может позволить получать наномодификатор и нанонаполнитель, содержащий УНТ, более дешевой и более эффективный, чем шунгит.

Нью-Йоркская фирма Natura Nano рекламирует природный минерал галлуазит $Al_4[(OH)_8 Si_4 O_{10}](H_2O)_4$, — состоящий из нанотрубок [23], как эффективный модификатор полимеров, обладающий бактерицидными, дезодорирующими и упрочняющими свойствами, при этом в ряде случаев заменяющий дорогие УНТ со стоимостью до 100 долл/г и продаваемый Natura Nano по цене 12–40 долл/кг.

Были исследованы образцы галлуазита из разных месторождений, и, практически, ни в одном не было найдено ни одной нанотрубки. Только в образце одного из разрабатываемых дальних месторождений глины оказалось почти 99% нанотрубок галлуазита диаметром 20–40 нм и длиной до 500–1000 нм. ТЕМ образцов галлуазита приведен на рис. 4.

Найденные образцы переданы на испытания в полимерах в ИВС РАН и как катализаторы и сорбенты на химический факультет МГУ.

Запасы галлуазитовой глины в месторождении на уровне 100000 т.

Одним из интереснейших промышленных отходов является шелуха риса — продукт крупнотоннажный для регионов рисовой культуры и до середины XX века широко не утилизируемый. Шелуха риса уникальный растительный материал, содержащий в матрице полисахаридов и лигнина 20% массовых ультра или нанодисперсного кремнезема с минимальным содержанием минеральных загрязнений. Именно шелухе риса в определенной степени как источнику чистого кремния обязано бурное развитие сначала японской электроники и затем электроники Юго-Восточной Азии.

В России ООО «Химинжиниринг» на базе отечественных ресурсов шелухи риса (несколько тыс. т на элеваторах Краснодарского края) наладило производство сорбентов путем термообработки (карбонизации) шелухи.

Результатом явилась постановка на производство уникального кремнеуглеродного сорбента Термообработанной шелухи риса — ТШР, сочетающего сорбционные свойства активированного угля и кремнеземных сорбентов (силикагеля). Сорбент испытан, серти-

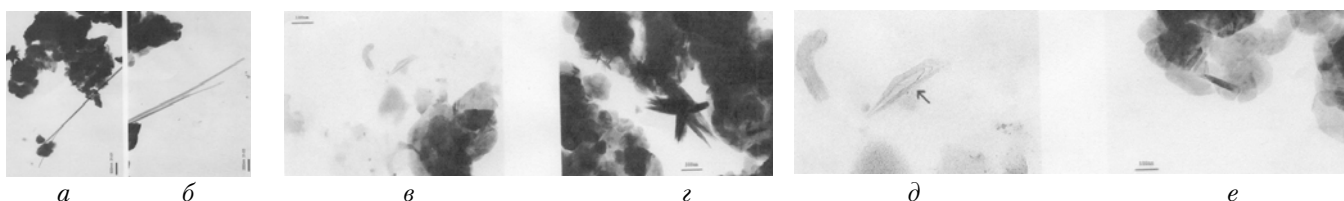


Рис. 3. ТЕМ продуктов нерастворимой в HCl части известняка: а, б — нанотрубки флогопита; в, д — нанотрубки галлуазита; г, е — углеродные нанотрубки типа «кедровый лес»

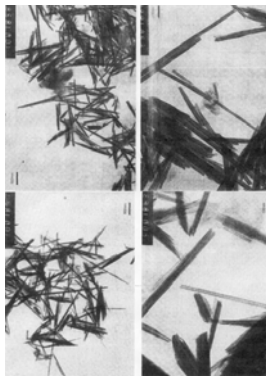


Рис. 4. ТЕМ образца галлуазита. Хорошо видна нанотрубчатая структура на разных увеличениях

фицирован даже для подготовки питьевой воды [24]. При более глубокой термообработке шелухи риса получен активный диоксид кремния — АДК, сорбент, аналогичный силикагелю, и наполнитель и модификатор аналог — белой саже, аэросилу, аэрогелю.

РНЦ «Прикладная химия» с 2005 г. исследует этот продукт на наличие углеродных и кремнеземных наноструктур. Основанием является публикация об образовании УНТ при дегидратации углеводов на дегидрирующих катализаторах типа SiO_2 и Al_2O_3 [1–4].

И углеводная составляющая — полисахариды. и равномерно распределенный самой природой в ней нанокремнезем, и термообработка при производстве ТШР и АДК наталкивали на мысль о необходимости поиска в этих продуктах нанотрубок нанокремнеземных структур.

Проведенные исследования показали, что как удельная поверхность, так и пористая структура ТШР аналогичны активированному углю. Исследование наноструктуры ТШР в просвечивающем электронном микроскопе после удаления SiO_2 обработкой HF показало отсутствие углеродных наноструктур кроме аморфного углерода. В то время как АДК при таком исследовании оказался состоящим из 1–3 мкм агломератов, составленных из сферических наночастиц SiO_2 , диаметром, примерно, 5 нм, соединенных мостиками кремнезема около 2×2 нм, а пустоты в этой системе составляют 3–4 нм. Такая структура, вероятно, и обуславливает высокую сорбционную емкость АДК по бактериальным телам — 10^9 и белковым продуктам — 0,7 г/г.

При обработке АДК плавиковой кислотой для удаления количественного кремнезема нерастворимая углеродная часть составила 2%. Исследование этой нерастворимой части в просвечивающем электронном микроскопе показало наличие углеродных нановолокон и аморфного углерода.

Этот цикл исследований определил необходимость проверки ТШР и АДК как наполнителей бетона и полимеров. Подготовленные образцы переданы в ПГУПС для испытания в бетонах и в ИВС РАН и ГНЦ НИФХИ им. Карпова на испытания в полимерах. На базе АДК получен суперконцентрат полиэтилена в НПФ им. Губкина (Санкт-Петербург), получена партия полиэтиленовой пленки, подготовленная для испытаний на бактерицидность и альгицидность в крупномасштабных тепличных производствах.

Выполненные в РНЦ «Прикладная химия» исследования по направленному синтезу нанокремнеземных структур в СВС процессе [25, 26], термолизом карбидов [27], горением металлов в CO_2 , гидротер-

мальному синтезу нанотрубчатого хризотила [28] моделируют природные и промышленные процессы и указывают на направление дальнейшего поиска наноструктур в доступных природных субстанциях.

Авторы предполагают продолжить исследование всех перечисленных продуктов как модификаторов и наполнителей в бетонах и полимерах с целью получения наноструктурированных и нанонаполненных систем с улучшенными физико-механическими характеристиками, в частности, в бетонах ударопрочностью и бактерицидностью, в полимерах прочностью и электропроводностью и т. п.

Учитывая, что наноструктуры SiO_2 , вероятно, уже сформированы в шелухе риса, мы решили использовать ультраизмельченную шелуху до размера 10–20 мкм как компонент (наполнитель) — носитель активного нанодисперсного кремнезема в бетонах, строительных композициях. Полученные композиции по рецептуре ООО «Химинжиниринг» из доступных продуктов известняка, жидкого стекла позволили получить строительные силикальцитокремнеземные блоки с высокими прочностными характеристиками, биостойкие, негорючие и хорошо гвоздимые.

Литература

1. Э. Г. Раков. Нанотрубки и фуллерены: учебное пособие. М.: Логос, 2006.
2. Э. Г. Раков. Успехи химии, т. 69, № 1, 2000.
3. Э. Г. Раков. Успехи химии, т. 70, 2001.
4. Э. Г. Раков. Российский химический журнал. т. XLVIII, № 5, 2004.
5. Р. Б. Родионов. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, № 8, 2006.
6. А. М. Смирнов. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, № 8, 2006.
7. Е. В. Королев, Ю. М. Баженов, В. Д. Береговой. Строительные материалы, № 8, 2006.
8. Ю. Альтман. Военные нанотехнологии. М.: Техносфера, 2006.
9. Б. Н. Каблов. Вопросы материаловедения, т. 26, № 1, 2006.
10. А. Н. Пономарев. Вопросы материаловедения, т. 26, № 2, М., 2001.
11. W. K. Hsu, M. Terrones *et al.* Chem. Phys. Letters, v. 262, 1996.
12. G. Z. Chen, X. Fan, A. Luget *et al.* J. Electroanal. Chem., v. 446, 1998.
13. Г. Е. Каплан, Ю. И. Остроушко. Электрохимия в металлургии редких металлов. М.: Металлургиздат, 1963.
14. Ю. И. Остроушко и др. Литий, его химия и технология. М.: Атомиздат, 1960.
15. Н. И. Алексеев, С. В. Половцев и др. ЖПХ, т. 78, вып. 2, 2005.
16. Н. И. Алексеев, С. В. Половцев и др. ЖТФ, т. 76, вып. 2, 2006.
17. А. Ф. Алатышев, К. Я. Грачев и др. Калий, натрий. Ленинград: Госхимиздат, 1957.
18. Я. И. Сычев. Электрохимический синтез углеродных нанотрубок в ионных расплавах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к. х. н. Краснодар: Кубанский гос. университет, 2006.
19. I. V. Bai, A. L. Harman, A. Marrand *et al.* Chem Phys. Lett, 2002.
20. Т. М. Петрова, С. В. Половцев. Материалы международной научно-практической Интернет-конференции «Ресурсосберегающие технологии в транспортном строительстве и путевом хозяйстве России. СПб: Изд. ПГУПС, 2005.
21. Н. Т. Новикова, Н. А. Переясловец и др. Химическая промышленность, № 2, 1974.
22. Наноминералогия. Ультра и микродисперсное состояние минерального вещества/монография под ред. акад. Н. П. Юшкина. СПб: «Наука», 2005.
23. И. В. Артюхов. Найден способ извлечения нанотрубок из глины. <http://www.membrana.ru/lenta/?5294>
24. А. А. Хохряков, А. А. Ежелев, С. В. Половцев. Вода и экология. Проблемы и решения. № 3, 2007.
25. Н. И. Алексеев, С. В. Половцев, Ю. Г. Осипов и др. ЖТФ, т. 76, вып. 2, 2006.
26. Н. И. Алексеев, С. В. Половцев, Ю. Г. Осипов и др. ЖТФ, т. 76, вып. 12, 2006.
27. С. В. Половцев, Ю. И. Карташов, Ю. Г. Осипов. Наноматериалы технического и медицинского назначения//111 международная школа «Физическое материаловедение. Тольятти: Изд. ТГУ, 2007.
28. Ф. Ю. Шариков, Ю. В. Шариков. Научные чтения памяти Б. В. Гидаспова. 16.04.2008. СПб, Теза, 2008.

Полупроводниковые приборы



А. Л. Тер-Мартirosян,
к. т. н., генеральный директор ЗАО «Полупроводниковые приборы»,
национальный эксперт РФ по лазерам и лазерным технологиям

ЗАО «Полупроводниковые приборы» имеет собственное уникальное оборудование и производственные помещения для обеспечения полного цикла производства мощных лазерных диодов, лазерных линеек и модулей, медицинских лазерных аппаратов и твердотельных лазеров с диодной накачкой. Наша продукция и технологии используются в различных областях науки и техники включая накачку твердотельных лазеров, медицину, беспроводную связь, обработку материалов, охранные системы, автоматизацию и робототехнику, спектроскопию и т. д.

ATC-SD has own unique facilities and performs a full-cycle production of high power laser diodes, arrays and modules, drivers, laser medical devices and diode pumped solid state lasers. Our products and technology are used in a variety of high-tech applications including solid state laser pumping, medicine, space communications, material processing, beacon and illumination, alarm systems, automation and robotics, spectroscopy etc.

ЗАО «Полупроводниковые приборы» (ЗАО «ПП») было основано в декабре 1991 года. Основными направлениями деятельности фирмы являются разработка новых полупроводниковых нанотехнологий, производство мощных полупроводниковых лазерных диодов и приборов на их основе. Большинство сотрудников — высококвалифицированные специалисты в области физики твердого тела, физики полупроводников и полупроводниковых технологий, имеющие многолетний опыт научной работы в учреждениях РАН.

Для создания производства полупроводниковых лазеров был использован комплексный подход: разработаны собственная оригинальная конструкция полупроводникового лазерного излучателя и воспроизводимая технология изготовления лазерных диодов, на основе малогабаритного вакуумного оборудования создан постростовой технологический комплекс и налажено собственное производство различных дополнительных устройств (блоков питания, оптических головок и др.).

Отличные технические характеристики, высокая надежность и доступная цена изготавливаемых приборов позволили сразу же привлечь внимание потребителей и уверенно выйти сначала на российский рынок, а с 1993 года и на зарубежный. Ориентация на отечественного потребителя позволяет оперативно отслеживать конъюнктуру спроса и дает возможность, как выполнять заказы специалистов с большим опытом работы в области лазерной техники, так и решать в ходе выполнения заказа проблемы, неизбежно возникающие у разработчиков, пришедших из смежных областей.

Специально разработанная конструкция лазерного диода (патент РФ № 2110874) позволяет ЗАО «ПП» выпускать приборы, по своим техническим характеристикам не уступающие лучшим из серийных зарубежных моделей. Продукция фирмы также прошла независимое тестирование в ряде российских и зарубежных фирм. Результаты подтвердили высокую надежность выпускаемых изделий и соответствие их самым высоким мировым стандартам.

Мощные лазерные диоды производства ЗАО «ПП» нашли применение в медицине (терапии, хирургии, онкологии, косметологии), автоматических средствах связи, в полиграфии, для обработки материалов и научного приборостроения, однако основной областью их применения является накачка твердотельных лазеров. Твердотельные лазеры с ламповой накачкой (ТЛЛН), используемые для обработки материалов, разделения изотопов, в измерительных приборах, управляемом термоядерном синтезе и военных применениях, морально устаревают, за рубежом производство ТЛЛН практически полностью



Производство ЗАО «Полупроводниковые приборы»

прекращено. На их смену пришли твердотельные лазеры с полупроводниковой (диодной) накачкой (ТЛПН), которые обладают существенно более высокими КПД и надёжностью, лучшими массогабаритными показателями, отсутствием высокого напряжения питания и водяного охлаждения. Приборы на основе мощных лазерных диодов и ТЛПН принадлежат к приоритетным направлениям развития науки, техники и технологии РФ и относятся к целому ряду критических технологий РФ:

- ▶ технологии создания интеллектуальных систем навигации и управления (системы обеспечения безопасности движения на железнодорожном транспорте, спутниковые системы навигации, системы картографирования местности в интересах РАО ЕЭС и т. д.);
- ▶ системы мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы (лазерные датчики высоты плотности облаков для оснащения аэродромов);
- ▶ технологии снижения риска и уменьшения последствий природных и техногенных катастроф (системы на основе ТЛПН для обнаружения утечек газа с использованием регистрации излучения комбинационного рассеяния);
- ▶ технологии противодействия терроризму (системы облучения террористов лазерным излучением с временной потерей зрения, безопасной для человека)
- ▶ базовые и критические военные и специальные технологии (лазерные дальнометры для бортовых оптико-локационных станций, системы лазерного наведения для высокоточного оружия, системы имитации стрельбы, системы подсветки для приборов ночного видения, лазерные взрыватели).

Лазерные диоды ЗАО «ПП» производятся на основе наноразмерных InAlGaAs гетероструктур, полученных методом МВЕ или МOCVD. Данные технологии позволяют очень точно контролировать толщину выращиваемых слоев и соответственно воспроизводимость параметров изготавливаемых приборов. Применение гетероструктур с квантовыми ямами (толщина активного слоя 70–150 ангстрем) позволяет снизить плотность порогового тока и увеличить выходную оптическую мощность. Лазеры напаиваются на теплоотвод эпитаксиальными слоями вниз, что позволяет улучшить отвод тепла и обеспечить более высокую выходную оптическую мощность. Каждый лазерный диод проходит тестирование (наработку) в течение 250–500 часов в непрерывном режиме. Данная процедура позволяет выбрать наиболее надежные образцы.

Возможность использования лазерных диодов ЗАО «ПП» в самых разнообразных системах обеспечивается за счет различных вариантов поставки. Лазеры могут поставляться на открытом теплоотводе (C-mount, L-package), а также в герметичных корпусах типа АТС, ТО-3. Лазеры на открытом теплоотводе позволяют получить доступ непосредственно к лазерному кристаллу. Такая конфигурация наиболее предпочтительна для покупателей занимающихся

научными исследованиями когда герметизация изделия, в составе которого работает лазерный диод осуществляется самим пользователем. Герметичный корпус АТС позволяет работать с лазерным диодом без дополнительного теплоотвода в импульсном и в некоторых случаях в непрерывном режиме. Малое тепловое сопротивление такого корпуса позволяет снизить разницу температур между лазером и внешней поверхностью корпуса. ТО-3 корпус включает в себя термоохладитель Пельтье и терморезистор, что позволяет поддерживать постоянную рабочую температуру и полностью соответствует международным стандартам.

ЗАО «ПП» освоило выпуск более 30 моделей мощных лазерных излучателей и различных вспомогательных устройств, специализируясь на лазерных диодах и модулях непрерывного режима работы (до 8 Вт), а также лазерных линейках квазинепрерывного режима (импульсного режима с небольшой скважностью). Длины волн выпускаемых лазерных диодов 670, 810, 940 и 980 нм, ширина спектральной линии 2–3 нм, эффективность более 45%, срок службы более 10000 часов.

Большим спросом пользуется на рынке лазерная система, впервые предложенная ЗАО «ПП» в 1997 г. и включающая в себя мощный лазерный диод, охлаждающую головку и источник питания (драйвер). Драйвер изготовлен на основе микропроцессора, и

включает генератор тока, систему термостабилизации и систему защиты диода от бросков напряжения в питающей сети. Компактность, удобство в эксплуатации и небольшая цена обеспечили

большую привлекательность лазерных систем для исследователей и разработчиков лазерного оборудования. ЗАО «ПП» производит комплектацию лазерных систем большим количеством аксессуаров в соответствии с требованиями заказчиков (волоконно-оптические адаптеры, специальные оптические насадки и т. д.).

В последнее время ЗАО «ПП» впервые в России разработало и изготовило новый вид изделий оптоэлектроники — полупроводниковые лазерные матрицы с выходной оптической мощностью более 5,0 кВт (длина волны генерации 808 нм) в квазинепрерывном режиме работы, основанных на использовании в составе одного изделия различного количества (до 60 шт.) конструктивных элементов — лазерных линеек. Это значительно увеличивает универсальность излучателя, возможность быстрой адаптации к конструктивным и технологическим требованиям заказчиков, что обеспечит применимость лазерных матриц для накачки твердотельных лазеров самых различных конструкций. Реализация этого проекта позволяет не только создать новое поколение отечественных приборов на основе ТЛПН для широкого применения,



но и провести за короткое время модернизацию уже существующих образцов таких приборов. В настоящее время в рамках данной работы уже создан и успешно прошел испытания твердотельный лазер с диодной накачкой для оптической локации и информационных систем с энергией излучения до 150 мДж и длиной волны 1,06 мкм.

Начиная с 1999 г. ЗАО «ПП» выпускает медицинские лазерные аппараты, собираемые на базе мощных лазерных диодов собственного производства. Использование высокоинтенсивного лазерного излучения возможно для лечения различных заболеваний в онкологии, в оториноларингологии, в хирургии, в дерматологии, в гинекологии, в проктологии и в косметологии, ЛОР. В настоящее время базовая модель — медицинский лазерный аппарат «Аткус-15» с



выходной мощностью до 15 Вт в непрерывном режиме имеет сертификат соответствия № 4070922 и разрешен к применению в медицине Минздравом РФ. Конструкция аппарата защищена 3 полезными моделями РФ. Основные области применения — онкология; хирургия; высокоинтенсивная терапия верхних и нижних дыхательных путей, ротовой полости и глотки; гинекология; урология; гастроэнтерология; дерматология и косметология. Компактность, простота обслуживания, отсутствие водяного охлаждения и возможность оказывать термическое воздействие на глубоко расположенные биообъекты позволяют использовать аппарат для бесконтактной и интерстициальной коагуляции, иссечения и гипертермии тканей как при стационарном, так и амбулаторном лечении.

Лазерный аппарат «Аткус-15» можно использовать не только как режущий скальпель (хирургия), но и как облучающий инструмент (при уменьшении мощности излучения), что весьма актуально для эндоскопии, поскольку это дает возможность избежать больших открытых операций. Для пациентов существенным является тот факт, что непосредственная операционная нагрузка на организм значительно снижается и оперативное вмешательство может быть осуществлено амбулаторно или с пребыванием в стационаре в течение нескольких дней. К преимуществам применения аппарата «Аткус-15» относятся также малая степень механического травмирования прилегающих областей и сведение к минимуму кровотечения во время операций.

Совместно с НИИ онкологии им. Н. Н. Петрова РАМН (Санкт-Петербург) был разработан уникальный метод селективной лазерной гипертермии (патенты РФ №№ 2122452, 2134603) для лечения онкологических заболеваний. Селективная лазерная гипертермия относится к терапевтическим методам лечения и отличается рядом преимуществ по сравнению с известными на настоящий момент способами: хирургия, лучевая терапия, химиотерапия. Метод основан на избирательном (селективном) воздей-

ствии лазерного излучения аппарата «Аткус-15» на пораженную и здоровую ткань. Дозированное оптическое воздействие лазерного луча вызывает перегрев злокачественной опухоли и поражение раковых клеток без изменения здоровой ткани. Периодическое повторение оптического воздействия ведет к отмиранию злокачественной ткани.

Широкое внедрение новых лазерных медицинских технологий в России в значительной степени сдерживается отсутствием на рынке доступных по цене медицинских лазерных аппаратов. Аппараты западного производства имеют выходную мощность более 20 Вт и стоят \$30–80 тыс., что является недоступным для абсолютного большинства российских потребителей. На российском рынке имеются несколько малых предприятий, которые предлагают медицинские лазеры мощностью 15 Вт и более по цене \$12–15 тыс.

В связи с этим ЗАО «Полупроводниковые приборы» вывело на российский рынок новое поколение медицинских лазерных аппаратов «Латус», изготовленных по единой электронно-оптической блок-схеме на основе мощных лазерных диодов российского производства. Использование уникальной схемы суммирования излучения полупроводниковых лазеров, переход на новую элементную базу, использование высокоэффективных мощных лазерных диодов, выпускаемых ЗАО «Полупроводниковые приборы», и узкая медицинская специализация каждого прибора позволило в несколько раз уменьшить массу и габариты приборов, а также снизить цену на аппараты до \$3,5–6 тыс. «Латус» — это современные медицинские лазеры с широким спектром применения — для гипертермии (в том числе интерстициальной); фотодинамической терапии; коагуляции и иссечения тканей. Аппарат имеет сертификат соответствия Госстандарта РФ № РОСС RU. ВОО363, № 7206320 и разрешен к применению в медицине Минздравом РФ.

Приборы серии «Латус» имеют следующие конкурентные преимущества:

- низкая цена, доступная для муниципальных медицинских учреждений РФ, мелких частных клиник и физических лиц;
- малый срок окупаемости (5–8 месяцев, в зависимости от модели);
- наличие утвержденных МЗ РФ методик применения в хирургии, гинекологии, проктологии, онкологии и оториноларингологии;
- наличие собственного производства и ремонтной базы, что для покупателя становится более предпочтительным по сравнению с импортными аналогами.
- компактность и мобильность (вес 4–5 кг);
- возможность применения, как в амбулаторных условиях, так и при выезде врача на дом.

Высокая мощность излучения (до 30 Вт) аппарата позволяет использовать методы интерстициально лечения ряда онкологических заболеваний. Удаление опухолей хирургическим лазером уменьшает число рецидивов и осложнений, сокращает сроки заживления ран, позволяет обеспечить одноэтапность процедуры и дает хороший косметический эффект. Опе-

ративное вмешательство больные переносят легко, а при правильном ведении раны послеоперационный период протекает быстро и практически без болевого синдрома.

Медицинский лазер «Латус» с выходной мощностью 1, 2, 3 или 5 Вт и длиной волны 661 ± 5 нм и предназначен для лечения онкологических и ряда других заболеваний методом фотодинамической терапии (ФДТ). Фотодинамическая терапия (ФДТ) является сравнительно новым методом лечения, основанном на применении лекарственных препаратов — фотосенсибилизаторов (веществ, чувствительных к свету) и низкоинтенсивного лазерного излучения с длиной волны, соответствующей пику поглощения фотосенсибилизатора. Несмотря на то, что исследования в области применения ФДТ ведутся уже много лет, применение этого метода в лечебной практике сдерживалось отсутствием достаточно эффективных нетоксичных препаратов. Новые возможности в развитии методов фотодинамической терапии появились на основе разработки российских ученых — фотосенсибилизатора второго поколения под зарегистрированным названием «Фотодитазин» — органического соединения соли хлорина Е6, полученного путем сложной многоэтапной переработки хлорофилла водоросли *Spirulina platensis* Gom Geitleri на основе запатентованной технологии.

Фотодинамическая терапия (ФДТ) — двухкомпонентный метод лечения. Одним компонентом является препарат — фотосенсибилизатор — вещество, взаимодействующее со светом определенной длины волны и обладающее способностью накапливаться (тропностью) в опухолевых и других быстро профилирующих тканях. Вторым компонентом ФДТ является низкоэнергетическое световое излучение, длина волны которого соответствует пику поглощения данного фотосенсибилизатора. Источником такого излучения могут быть универсальные или специализированные лазеры, либо специальные источники света на сверх ярких диодах. Под влиянием светового излучения в тканях организма развивается фотохимическая реакция с выделением синглетного кислорода и активных радикалов, которые являются цитотоксическими агентами для быстроразмножающихся клеток и тканей с высокой пролиферативной активностью.

Преимущества фотодинамической терапии при лечении онкозаболеваний ярко проявляются, когда хирургическая операция невозможна из-за тяжелых сопутствующих заболеваний или значительной распространенности опухоли. ФДТ избирательно разрушает раковые клетки и не повреждает нормальные здоровые ткани, в том числе каркасные структуры тканей и органов — коллагеновые волокна. Благодаря этому, после проведенной терапии и разрушении

опухоли нормальные клетки при своем размножении заполняют обнажившийся каркас органа. Это особенно важно при ФДТ тонкостенных и трубчатых органов (bronхи, трахея, желудок, кишки, пищевод, мочевого пузыря). ФДТ позволяет также избежать системного (общего) неблагоприятного воздействия на организм, как, например, при химиотерапии, локализуя действие света на пораженных участках. При проведении ФДТ по радикальной программе у больных первичным и рецидивным раком кожи полная резорбция достигалась в 90% случаев, при лечении опухолей органов дыхания полная и частичная резорбция констатировалась у более 70% больных. Высокая эффективность ФДТ с использованием «Фотодитазина» показана при лечении заболеваний гинекологического профиля — фоновых и предраковых заболеваний шейки матки.

Применение ФДТ для лечения злокачественных новообразований открывает дополнительные возможности для врачей-онкологов. В первую очередь это касается больных, по тем или иным причинам не подлежащих радикальному хирургическому лечению. Применение ФДТ в детской терапии: например лечение угревой сыпи или проблемной кожи, что является возрастными явлениями и может быть многолетней проблемой у подростков.

Также данный высокотехнологичный метод широко может использоваться в стоматологии, и имеет ряд существенных преимуществ перед традиционными методами лечения. Исключается необходимость применения антисептических препаратов и антибиотиков, что предотвращает возникновение нежелательных побочных эффектов у пациента, вплоть до возникновения и дальнейшего развития аллергических реакций на применяемые антибиотики. Как правило, при использовании врачом технологии ФДТ отпадает необходимость в хирургических методах лечения, например пародонтита.

Указанный метод дает уникальную возможность эффективного лечения целого ряда опухолей, а также в травматологии и косметологии что позволяет использовать его как в крупных государственных, так и в небольших частных клиниках.

На сегодняшний день ЗАО «ПП» представляет собой научно-техническую фирму европейского уровня. Наличие собственной технологической базы, высокая квалификация персонала, многолетний опыт работы в области создания лазерных диодов ближнего ИК-диапазона спектра и профессиональный менеджмент позволяют фирме эффективно разрабатывать новые типы полупроводниковых технологий, осваивать изготовление новых светоизлучающих приборов и, находясь на передовом рубеже науки и техники, вносить свой вклад в развитие российской оптоэлектроники