



Министерство образования и науки
Российской Федерации

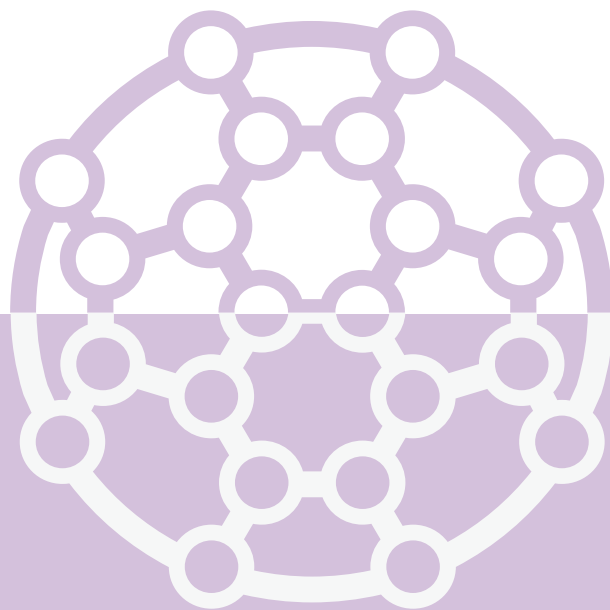


ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



ИСИЭЗ
Институт статистических исследований
и экономики знаний

Прогноз научно-технологического развития России: **2030**



Новые материалы и нанотехнологии

Москва 2014

УДК 330.341.1:62-03
ББК 65.2/4-5
П78

Авторы:

К.О. Вишнеvский, А.Ю. Гребенюк, О.И. Карасев, А.В. Соколов, А.А. Чулок, А.Б. Ярославцев

*Авторский коллектив выражает искреннюю благодарность
за значительный вклад в экспертизу представленных в докладе материалов:
Н.П. Алешину, М.В. Алфимову, Ю.Я. Драневу, Е.Н. Каблову, О.С. Нарайкину, В.Н. Чарушину.*

Прогноз научно-технологического развития России: 2030. Новые материалы и нанотехнологии

П78 / под. ред. Л.М. Гохберга, А.Б. Ярославцева. – Москва : Министерство образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2014. – 52 с.
ISBN 978-5-906737-06-9

Работа выполнена Национальным исследовательским университетом «Высшая школа экономики» по заказу Министерства образования и науки Российской Федерации.

Цель долгосрочного Прогноза научно-технологического развития на период до 2030 года – определение наиболее перспективных для России областей развития науки и технологий, обеспечивающих реализацию конкурентных преимуществ страны. Итоговые рекомендации прошли широкое обсуждение с привлечением значительного числа российских и зарубежных экспертов, которые принимали участие в определении и оценке глобальных вызовов и окон возможностей, инновационных рынков, радикальных продуктов и технологий, выборе приоритетных областей научных исследований и их верификации.

В рамках разработки прогноза сформирована сеть отраслевых центров научно-технологического прогнозирования, включающая ведущие научные организации, вузы и инновационные компании из 40 регионов России.

Выполненная работа была сфокусирована на семи приоритетных направлениях развития науки и технологий. В данной публикации представлены подробные результаты прогноза по приоритетному направлению «Новые материалы и нанотехнологии».

В докладе использованы материалы следующих организаций:

- Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»;
- Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова;
- Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»;
- отраслевого центра научно-технологического прогнозирования на базе Московского физико-технического института;
- технологических платформ («Легкие и надежные конструкции» и др.).

Приведенные в докладе материалы представляют практический интерес для органов государственного управления, компаний, научных организаций, вузов, технологических платформ, инновационных территориальных кластеров и других заинтересованных организаций.

*Издание подготовлено при поддержке Программы «Фонд развития прикладных исследований
Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».*

УДК 330.341.1:62-03
ББК 65.2/4-5

ISBN 978-5-906737-06-9

© Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», 2014
При перепечатке ссылка обязательна

Содержание

Аббревиатуры.....	4
Введение	5
Методические комментарии.....	12
1. Вызовы и окна возможностей.....	13
2. Перспективные рынки, продукты и услуги	17
3. Перспективные направления научных исследований.....	37
3.1. Конструкционные и функциональные материалы.....	38
3.2. Гибридные материалы, конвергентные технологии, биомиметические материалы и материалы медицинского назначения	42
3.3. Компьютерное моделирование материалов и процессов	43
3.4. Диагностика материалов	44
Список литературы	46

Аббревиатуры

ЕС	Европейский союз
ИиР	Исследования и разработки
ИКТ	Информационно-коммуникационные технологии
НИУ ВШЭ	Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
ОПЕК	Организация стран – экспортеров нефти (Organization of the Petroleum Exporting Countries – OPEC)
ОЭСР	Организация экономического сотрудничества и развития
ПНТР	Прогноз научно-технологического развития России на период до 2030 г.
ЮНИДО	Организация Объединенных Наций по промышленному развитию (United Nations Industrial Development Organization – UNIDO)

«Сейчас завершается разработка долгосрочного прогноза научно-технологического развития России до 2030 года. Выделены конкретные направления как для подъема традиционных секторов, так и для прорыва на рынке высоких технологий...»

В.В. Путин

Послание Президента Российской Федерации
Федеральному Собранию Российской Федерации,
12 декабря 2012 г.

.....
«Прогноз должен послужить основой для разработки стратегий и инновационных программ крупнейших российских компаний. ... Прогноз носит не только индикативный характер... – это прогноз, на основе которого готовятся планы».

Д.А. Медведев

Совещание с вице-преьерами,
20 января 2014 г.

Введение

В январе 2014 г. Председателем Правительства Российской Федерации был утвержден долгосрочный Прогноз научно-технологического развития России на период до 2030 г. (ПНТР)¹. Доклад, содержащий его детальные результаты, был согласован с заинтересованными министерствами и ведомствами (Минкомсвязи России, Минздравом России, Минтрансом России, Минфином России, Минэкономразвития России, Минпромторгом России, Минприроды России, Минэнерго России, Роскосмосом), Российской академией наук и одобрен на заседании Межведомственной комиссии по технологическому прогнозированию президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России² 17 декабря 2013 г. Значение ПНТР для определения стратегических перспектив социально-экономического и научно-технологического развития страны отмечено в послании Президента Российской Федерации Федеральному Собранию 12 декабря 2012 г. [Послание Президента Российской Федерации Федеральному Собранию, 2012], а также в выступлении Председателя Правительства Российской Федерации на совещании с вице-преьерами 20 января 2014 г. [Совещание с вице-преьерами, 2014].

В настоящем докладе представлены подробные результаты ПНТР по приоритетному направлению «Новые материалы и нанотехнологии».

Разработка ПНТР осуществлялась на фоне серьезных изменений, происходящих в последние годы в отечественной экономике (в частности, в сфере науки и инноваций), и связанных с этим преобразований научно-технической и инновационной политики, расширения круга ее субъектов и спектра используемых инструментов.

¹ Резолюция № ДМ-П8-5 от 3 января 2014 г.

² Создана решением президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации и инновационному развитию России от 28 июня 2013 г. (протокол № 1) во исполнение Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 г. № 596 «О долгосрочной государственной экономической политике» (абзац 2 подпункта «д» пункта 2).



Одна из первоочередных задач, стоящих перед Россией, – поиск новых источников экономического роста, который невозможен без масштабной модернизации традиционных секторов экономики на базе современных технологий, а также создания новых производств, обеспечивающих выход на формирующиеся высокотехнологические рынки. Перевод российской экономики на инновационные рельсы предполагает опережающую динамику высокотехнологичных отраслей промышленности и сферы услуг и радикальное повышение их конкурентоспособности, что требует дальнейшего совершенствования научно-технической и инновационной политики, повышения качества ее информационного и методического обеспечения, усиления доказательной базы³.

Указанный комплекс задач предопределил *основную цель разработки ПНТР – выявление наиболее перспективных для России областей развития науки и технологий, обеспечивающих реализацию конкурентных преимуществ страны*. Для ее достижения в течение последних лет осуществляется системная работа, связанная с проведением комплекса Форсайт-исследований.

Первым крупным проектом национального уровня стал долгосрочный прогноз научно-технологического развития России на период до 2025 г., инициированный в 2007 г. Минобрнауки России. Он охватывал три крупных блока: макроэкономический прогноз российской экономики; прогноз сферы науки и технологий по приоритетным направлениям и отраслевой прогноз, содержащий варианты технологического развития ключевых секторов экономики. Центральным элементом проекта стало проведение масштабного опроса экспертов с использованием метода Дельфи. На его основе были выделены более 800 технологий в 10 перспективных направлениях научно-технологического развития, а затем осуществлен опрос 100 крупнейших компаний с целью анализа текущего и перспективного спроса на эти технологии.

На следующем этапе научно-технологического прогнозирования (2009–2010 гг.) был обобщен опыт зарубежных и международных прогнозов в социально-экономической и научно-технологической сферах, на базе которого выполнены оценки будущего глобальной экономики и отдельных крупных мировых рынков с учетом ожидаемых последствий финансово-экономического кризиса. Полученные результаты легли в основу макроэкономического прогноза российской экономики, а также вариантного прогноза технологического развития ряда секторов. Были определены группы перспективных технологий и продуктов, отвечающие приоритетам технологической модернизации страны.

В 2013 г. завершилась работа по формированию ПНТР, в рамках которой были получены следующие основные результаты:

- выделены тренды, оказывающие максимальное влияние на сферу науки и технологий, и порождаемые ими вызовы долгосрочного развития экономики, науки и общества в глобальном и национальном контекстах;
- для семи приоритетных направлений развития науки и технологий («Информационно-коммуникационные технологии»; «Биотехнологии»; «Медицина и здравоохранение»; «Новые материалы и нанотехнологии»; «Рациональное природопользование»; «Транспортные и космические системы»; «Энергоэффективность и энергосбережение»):
 - на основе выявленных трендов определены угрозы и окна возможностей для России;
 - идентифицированы перспективные рынки, продуктовые группы и потенциальные области спроса на российские инновационные технологии и разработки;
 - составлено детальное описание приоритетных тематических областей развития науки и технологий и сформулированы более 1000 первоочередных задач науч-

³ Данная проблематика находилась в центре внимания Экспертной группы № 5 «Переход от стимулирования инноваций к росту на их основе», созданной в соответствии с поручением Председателя Правительства Российской Федерации В.В. Путина № ВП – П13-209 от 19 января 2011 г. для подготовки рекомендаций по актуальным проблемам стратегии социально-экономического развития страны на период до 2020 г.

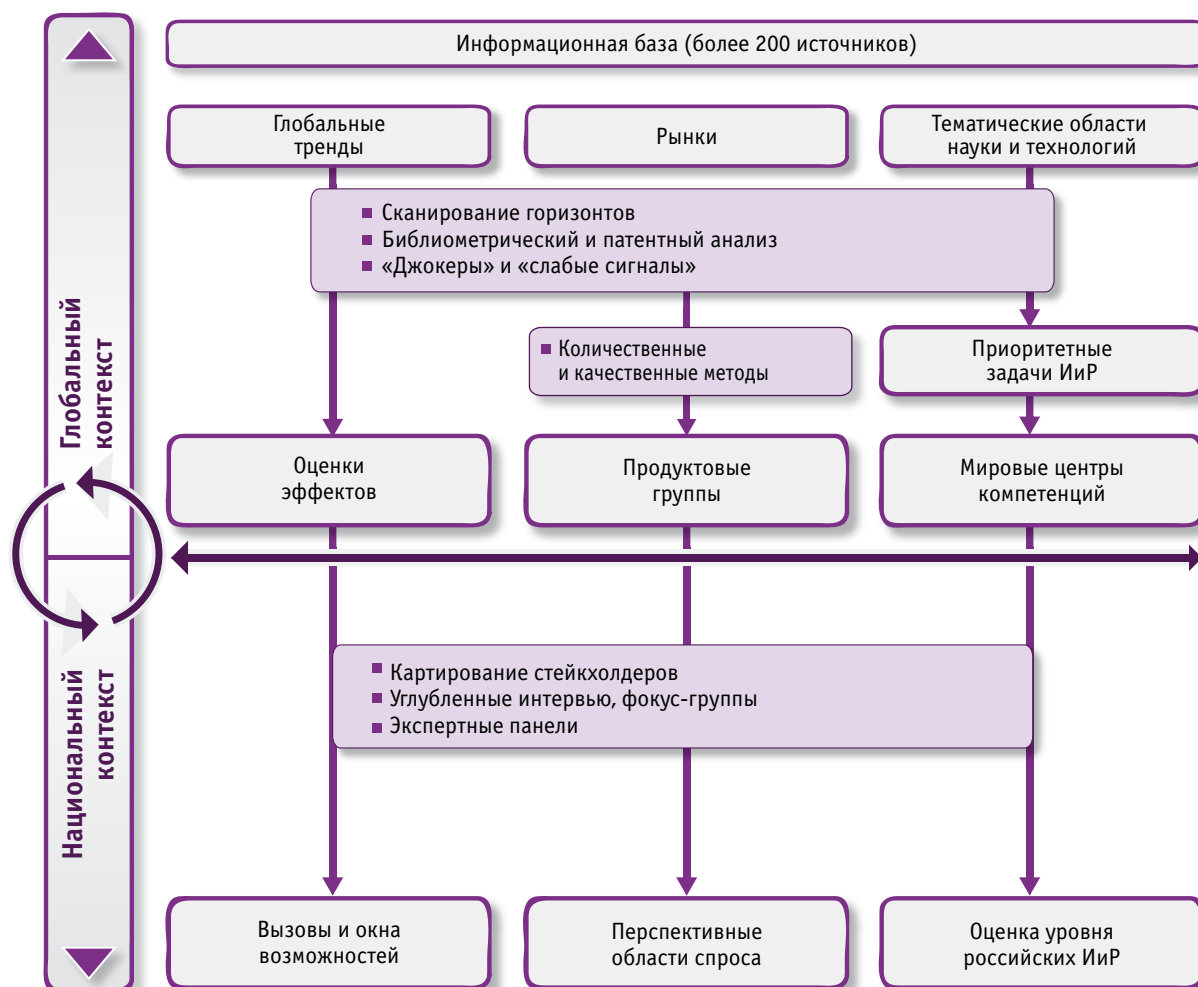


- ных исследований и разработок, реализация которых необходима для появления выделенных групп инновационных продуктов и услуг;
- дана оценка состояния отечественных исследований в этих областях: выявлены «белые пятна», а также зоны паритета и лидерства, которые могут стать основой для интеграции в международные альянсы, позиционирования нашей страны как центра глобального технологического развития;
 - подготовлены рекомендации, направленные на активизацию использования результатов ПНТР в практике научно-технической и инновационной политики, в том числе при формировании, корректировке и реализации государственных программ Российской Федерации, включая федеральные целевые программы научно-технологической направленности.

Организация и методология выполнения работ

Настоящее исследование отличается от предшествующих работ по долгосрочному прогнозированию более сложной структурой, а также глубиной проработки общей концепции. Схема организации разработки ПНТР представлена на рис. 1.

Рис. 1. Организация разработки долгосрочного Прогноза научно-технологического развития России на период до 2030 года



Источник: НИУ ВШЭ.



При формировании ПНТР был применен широкий спектр современных инструментов Форсайта, которые, с одной стороны, в наибольшей степени адаптированы к российской специфике, с другой – подтвердили свою эффективность в международной практике. В ходе разработки прогноза была реализована интеграция нормативного («market pull») и исследовательского («technology push») подходов к прогнозированию. Нормативный подход носил проблемно-ориентированный (рыночный) характер: для выбранных научно-технологических направлений сначала определялись ключевые вызовы и окна возможностей, затем – соответствующие решения в терминах «пакетов технологий» либо иных ответов. Исследовательский подход был нацелен на идентификацию перспективных продуктов и прорывных технологий, способных коренным образом изменить существующие экономическую, социальную и производственную парадигмы. Рекомендации ПНТР формировались одновременно с трех позиций: науки, бизнеса и органов управления, – что позволило в рамках диалога с различными группами бенефициаров не только выявить перспективные области исследований и разработок, но и понять, кто и каким образом сможет воспользоваться результатами их развития.

В качестве инструментов прогнозирования использовались как уже ставшие традиционными методы (выбор приоритетов, построение образов будущего, дорожные карты, анализ глобальных вызовов), так и достаточно новые подходы (сканирование горизонтов, «слабые сигналы» (weak signals), «джокеры» (wild cards)⁴ и др.).

Данные, полученные в ходе экспертного опроса и глубинных интервью, были уточнены в соответствии с материалами организаций – участников сети отраслевых центров прогнозирования научно-технологического развития на базе ведущих российских вузов по шести приоритетным направлениям.

Источники информации для подготовки прогноза

В основу исследования были положены более 200 материалов, среди которых:

- аналитические исследования и прогнозы международных организаций (ОЭСР, Европейской комиссии, ООН, ЮНИДО, Всемирного банка и др.);
- национальные прогнозы науки и технологий (Великобритании, Германии, Франции, США, Японии, Республики Корея, Китая, Бразилии, ЮАР, Финляндии, Нидерландов, Тайваня и др.);
- прогнозы крупных корпораций, а также ряда международных профессиональных ассоциаций;
- материалы ведущих зарубежных Форсайт-центров (RAND Corporation, Института перспективных технологических исследований ЕС, Университета Манчестера, Национального института научно-технической политики Японии, Бизнес-школы Телфера Университета Оттавы, Корейского института оценивания и планирования науки и технологий, Технологического университета Джорджии, Института политики и менеджмента Китайской академии наук, Австрийского института технологий и др.);
- российские прогнозы в сфере науки и технологий, в том числе реализованные по заказам Минобрнауки России;
- документы стратегического характера, отражающие долгосрочные перспективы развития российской экономики и ее отдельных секторов (Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года, Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации

⁴ События, характеризующиеся низкой вероятностью наступления, но высоким потенциальным эффектом воздействия (возможно, негативным), способные привести к неожиданной траектории развития будущего.



на период до 2030 года, стратегии развития отраслей, программы инновационного развития компаний и др.);

- базы данных патентных служб (Роспатента, патентного ведомства США – USPTO, Европейского патентного ведомства – EPO, Всемирной организации интеллектуальной собственности – WIPO и др.);
- базы данных международных журналов (ISI Web of Knowledge компании Thomson Reuters, Scopus компании Elsevier, Российский индекс научного цитирования и др.).

Инфраструктура прогноза

В ходе реализации ПНТР на базе созданных в ведущих вузах отраслевых центров научно-технического прогнозирования была сформирована экспертная сеть, охватывающая более 200 организаций (научных центров, вузов, компаний реального сектора и др.) и свыше 2000 экспертов, выбор которых проводился на базе специально разработанных процедур и критериев. К экспертам предъявлялись жесткие квалификационные требования: наличие публикаций с высоким индексом цитирования, патентов, участие в крупных научных мероприятиях, известность в профессиональной среде и т.п. В качестве экспертов-практиков к разработке прогноза были привлечены представители инновационных компаний, инжиниринговых центров, маркетинговых организаций, организаций – потребителей и поставщиков (распространителей) инновационной продукции и др. Таким образом были сформированы рабочие группы экспертов высшего уровня по важнейшим направлениям развития науки и технологий (более 120 ведущих российских и зарубежных ученых) и расширенные рабочие группы, включающие представителей науки, государства, бизнеса, экспертного сообщества, общей численностью свыше 800 человек.

Среди иностранных специалистов, принимавших участие в подготовке прогноза, – представители международных организаций, крупных университетов и исследовательских центров, а также руководители научных лабораторий, организованных в рамках реализации грантов Правительства Российской Федерации, выделяемых на конкурсной основе для государственной поддержки научных исследований, проводимых в российских вузах и НИИ. Кроме того, была сформирована специальная группа зарубежных экспертов, задачами которой стали обсуждение методологии проводимых исследований и валидация полученных результатов. В ее состав вошли более 100 специалистов из ОЭСР, ЮНИДО, крупнейших мировых Форсайт-центров (из Великобритании, США, Канады, Японии, Республики Корея, Германии, Франции и др.).

Обсуждение и валидация результатов прогноза

Результаты прогноза обсуждались на международных и российских форумах с участием ведущих мировых ученых и специалистов, в числе которых конференции:

- Future-oriented Technology Analysis (май 2011 г., Севилья);
- Foresight and Science, Technology and Innovation Policies: Best Practices (Форсайт и научно-техническая и инновационная политика: лучший опыт), (октябрь 2011 г., Москва);
- International Research Conference on Foresight and Futures (август 2011 г., Стамбул);
- Knowledge Intensive Service Businesses (октябрь 2011 г., Карлсруэ);
- Foresight for Science and Technology Development in Aircraft Engineering. International Methodology Workshop (декабрь 2011 г., Москва);
- XIII Апрельская международная научная конференция по проблемам развития экономики и общества (апрель 2012 г., Москва);
- Innovative Methods for Innovation Management (май 2012 г., Пекин);



- R&D Management Conference (май 2012 г., Гренобль);
- Bromley Memorial Lecture and Event on Science Technology Innovation Policy (май 2012 г., Оттава);
- 2012 STEPI International Symposium (май 2012 г., Сеул);
- OECD Innovation Policy Platform (июнь 2012 г., Париж);
- Седьмой Международный Аэрокосмический Конгресс IAC'20 (август 2012 г., Москва);
- Foresight for Innovative Responses to Grand Challenges (Форсайт: инновационные ответы на глобальные вызовы), (октябрь 2012 г., Москва);
- XIV Апрельская международная научная конференция по проблемам развития экономики и общества (апрель 2013 г., Москва);
- Creating Markets from Research Results (май 2013 г., Мюнхен);
- R&D Management (июнь 2013 г., Манчестер);
- Global Research and Social Innovation: Transforming Futures (21-я конференция Всемирной федерации исследований будущего), (июнь 2013 г., Бухарест);
- ISPIM 2013: Innovating in Global Markets: Challenges for Sustainable Growth (июнь 2013 г., Хельсинки);
- Долгосрочный прогноз научно-технологического развития России: направления практического использования результатов (сентябрь 2013 г., Москва);
- 7th ESPI Autumn Conference "Space in a Changing World" (сентябрь 2013 г., Вена);
- Форсайт и научно-техническая и инновационная политика (октябрь 2013 г., Москва);
- Оценка эффектов форсайт-исследований в России и Европейском Союзе (январь 2014 г., Москва) и др.

Использование результатов прогноза

ПНТР является важной составляющей системы технологического прогнозирования, ориентированной на обеспечение перспективных потребностей обрабатывающего сектора экономики, с учетом развития ключевых производственных технологий, созданной согласно Указу Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 г. № 596 «О долгосрочной государственной экономической политике» (абзац 2 подпункта «д» пункта 2). На состоявшемся 4 октября 2013 г. заседании Межведомственной комиссии, посвященном результатам ПНТР, был утвержден План мероприятий по обеспечению использования результатов долгосрочного Прогноза научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года при корректировке документов государственных программ Российской Федерации научно-технологической направленности, а также приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации. Данный план предполагает проведение серии организационно-методических, экспертно-аналитических и информационных мероприятий.

Отдельные результаты ПНТР были использованы при:

- разработке Прогноза долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года⁵;
- подготовке государственной программы «Развитие науки и технологий» на период до 2020 года⁶;
- корректировке прогнозных параметров «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» до 2035 года и формировании целевого видения развития российской энергетики на период до 2050 года;
- подготовке проекта доклада Президенту Российской Федерации по вопросу формирования перечня приоритетных научных задач, решение которых требует использо-

⁵ Утвержден Правительством Российской Федерации 23 марта 2013 г. № ДМ-П13-1795.

⁶ Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 декабря 2012 г. № 2433-р.



вания возможностей федеральных центров коллективного пользования научным оборудованием⁷;

- проведении отраслевых Форсайтов и разработке соответствующих дорожных карт (развития космической навигации, авиационной науки и технологий, судостроения, нефтепереработки и нефтехимии, биотехнологий и генной инженерии, производства композиционных материалов, ИКТ и массовых коммуникаций, энергоэффективности, фотоники, водопользования и др.);
- формировании программ развития инновационных территориальных кластеров, стратегических программ исследований технологических платформ, программ инновационного развития ряда российских компаний.

Результаты ПНТР могут быть использованы:

- заинтересованными федеральными органами исполнительной власти – при формировании, корректировке и реализации государственных программ Российской Федерации; федеральных целевых программ научно-технологической направленности, включая планы и детальные планы-графики их реализации; приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации; перечня критических технологий Российской Федерации; отраслевых документов государственного стратегического планирования, включая отраслевые критические технологии;
- государственными корпорациями научно-технологического профиля, имеющими длительный горизонт планирования (ОАО «ОАК», «Ростех», «Росатом» и др.), – для формирования программ инновационного развития; институтами Российской академии наук – для формирования планов исследований;
- научным сообществом – для определения востребованных направлений научных исследований, а также продвижения имеющихся научно-технологических решений через создаваемые в рамках долгосрочного прогноза коммуникационные площадки;
- бизнес-сообществом – для формирования стратегий развития предприятий и инвестиционных проектов, связанных с технологической модернизацией;
- технологическими платформами – при формировании, корректировке и реализации стратегических программ исследований;
- институтами развития, ориентированными на поддержку инноваций (Банк развития и внешнеэкономической деятельности, ОАО «Российская венчурная компания», ОАО «РОСНАНО»), – для формирования долгосрочных планов;
- инновационными территориальными кластерами – при формировании, корректировке и реализации стратегий средне- и долгосрочного развития.

Согласно федеральному закону от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации» Прогноз должен разрабатываться на регулярной основе с целью формирования системы научно обоснованных представлений о направлениях и ожидаемых результатах научно-технологического развития страны во взаимосвязке с другими документами государственного стратегического планирования.

* * *

В настоящем издании, посвященном приоритетному направлению развития науки и технологий «Новые материалы и нанотехнологии», приводится детальная информация о глобальных трендах, вызовах и окнах возможностей в рассматриваемой сфере, возникающих угрозах и степени их влияния на Россию. Представлен анализ важнейших перспективных рыночных ниш, продуктов и услуг, способных оказать радикальное влияние на динамику мировых и внутренних рынков, с указанием их потребительских свойств. Рассмотрены перспективные области научных исследований, приведена сравнительная оценка их уровня в России и странах-лидерах.

⁷ Письмо Минобрнауки России № МОН-П-119 от 17 января 2014 г.

Методические комментарии

Для выбора приоритетов прикладной науки, направленных на создание научно-технологических заделов, применялся ряд критериев. К приоритетным были отнесены исследования, которые:

- могут привести к появлению в долгосрочной перспективе новых рынков или рыночных ниш, продуктов с новыми свойствами, инновационных услуг;
- носят междисциплинарный, межотраслевой характер;
- позволят ответить на вызовы, стоящие перед приоритетным направлением;
- способствуют формированию технологической платформы будущей экономики и общества;
- способны решить ключевые научные проблемы в рассматриваемом направлении, создать задел на будущее.

Для каждой тематической области была дана оценка уровня российских исследований по следующей шкале:



«белые пятна» – существенное отставание от мирового уровня, отсутствие (или утрата) научных школ;



«заделы» – наличие базовых знаний, компетенций, инфраструктуры, которые могут быть использованы для форсированного развития соответствующих направлений исследований;



«возможность альянсов» – наличие отдельных конкурентоспособных коллективов, осуществляющих исследования на высоком уровне и способных на равных сотрудничать с мировыми лидерами;



«паритет» – уровень российских исследований не уступает мировому;



«лидерство» – российские исследователи являются лидерами на мировом уровне;



оценки экспертов находятся в диапазоне между несколькими значениями.



ВЫЗОВЫ И ОКНА ВОЗМОЖНОСТЕЙ

В последние годы нанотехнологии становятся все более доступными и с экономической точки зрения, и с технической стороны: появилась возможность моделировать, осуществлять и контролировать процессы, происходящие на наноуровне.

Развитие данной области стимулируется прежде всего растущим спросом на новые материалы, обусловленным, с одной стороны, истощением сырьевых ресурсов, с другой – активным внедрением нанотехнологий в производство товаров с принципиально новыми свойствами. Благодаря наноматериалам уже в ближайшем будущем могут появиться эффективные решения множества задач в таких отраслях, как энергетика, здравоохранение, производство пищевых продуктов.

По оптимистичным оценкам, первые заметные эффекты, особенно в сфере нанoeлектроники, фотоники, нанобиотехнологий, медицинских товаров и оборудования, нейроэлектронных интерфейсов, нанoeлектромеханических систем, ожидаются уже в ближайшие пять лет. Самыми значимыми прорывами следующего десятилетия могут стать молекулярное производство макроскопических объектов («настольные нанофабрики»), развитие атомного дизайна. Конвергенция нано-, инфо-, био- и когнитивных технологий в перспективе сможет послужить залогом повышения продолжительности активной стадии жизни человека.

Возможно, именно отмеченные направления будут определять уровень технологий будущего. Большие ожидания связаны в первую очередь с созданием гибридных структур, сочетающих органические фрагменты с неорганическими или живые ткани – с синтетическими компонентами, способными придать им новые свойства; развитием нанокompозитов, что позволит получать материалы с уникальными показателями прочности, эластичности и проводимости, крайне важными для прогресса альтернативной энергетики; математическим моделированием свойств наноматериалов, призванным существенно ускорить поиск новых систем с полезными свойствами.

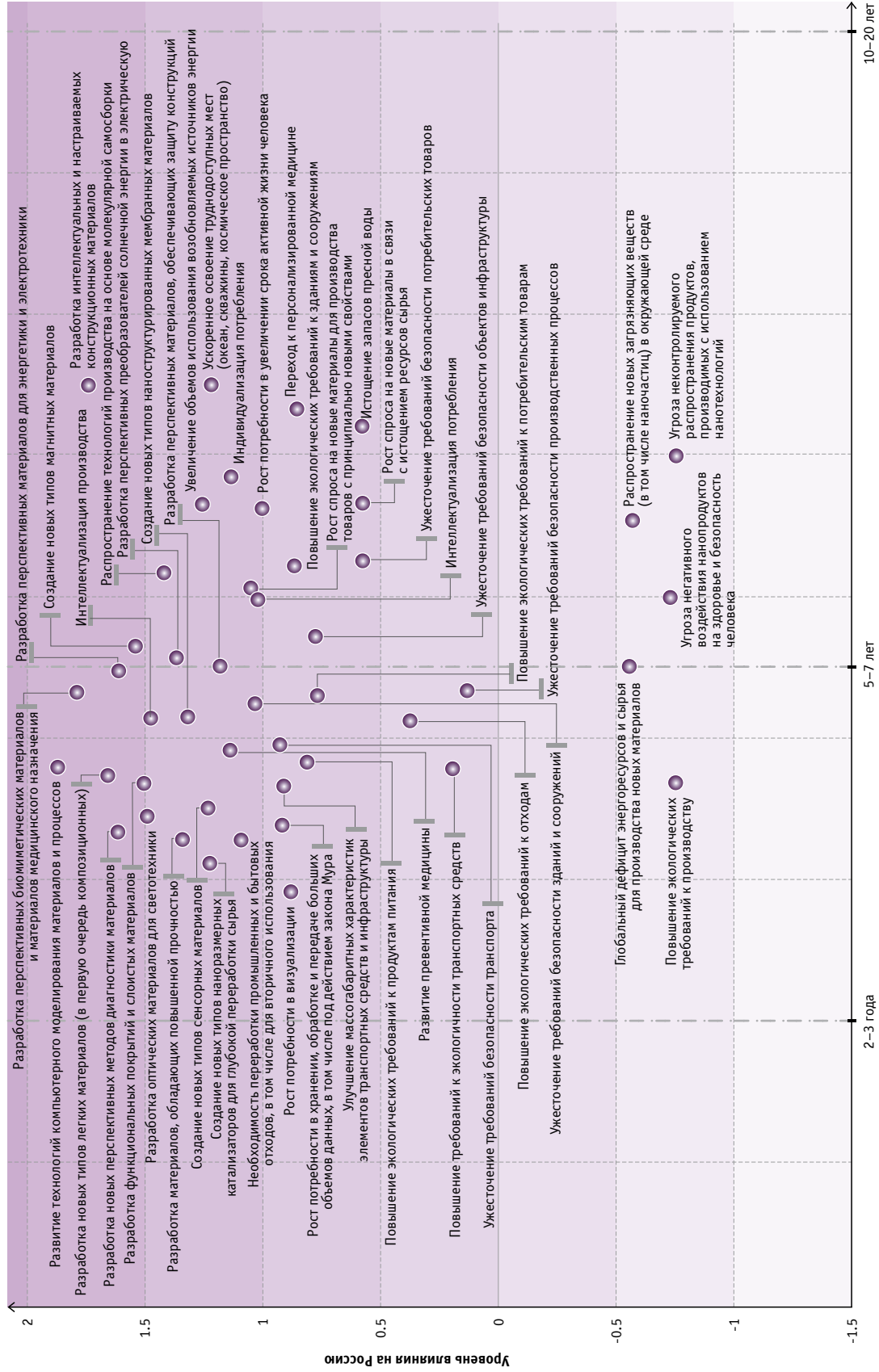
Наноматериалы будут играть значительную роль и в решении экологических проблем, составляя ядро современных сенсорных систем, средств водоочистки, процессов разделения и многих направлений «зеленой» химии. На них основан ряд новых лекарственных препаратов, средств их адресной доставки и технологий оперативной диагностики живых организмов.

Развитие направления «Новые материалы и нанотехнологии» в средне- и долгосрочной перспективе будет определяться вызовами и окнами возможностей, обусловленными глобальными трендами (рис. 2).

Новые *повышенные требования к производству*, связанные с необходимостью обеспечения безопасности, а также охраны окружающей среды, во многом детерминируют ключевые векторы развития нанотехнологий будущего.



Рис. 2. Новые материалы и нанотехнологии: вызовы и окна возможностей





Ожидается появление *новых типов легких композиционных материалов*, которые не уступают в прочности и экономичности существующим. Спектр их применения чрезвычайно велик: от авиакосмического сектора до спортивной индустрии и медицины. Кроме того, внедрение композиционных материалов будет способствовать развитию скоростных и использующих экологически чистые виды топлива видов транспорта, что в свою очередь благоприятно скажется на изменении образа жизни людей.

Применение *биомиметических материалов и материалов медицинского назначения*, в частности хирургических имплантов, поднимет на новый уровень эффективность и качество оказания медицинской помощи.

Широкие перспективы имеют *технологии компьютерного моделирования материалов и процессов*. С их помощью станет возможным моделировать процессы роста, агрегации, самосборки и самоорганизации наноматериалов, обеспечивая требуемую структуру и характеристики при использовании минимального числа реальных экспериментов.

Новые возможности открываются в связи с созданием *перспективных материалов для электротехники*, в том числе для разработки принципиально новых телекоммуникационных устройств, элементов систем экологического и космического мониторинга, тепловидения, нанодиагностики, робототехники, высокоточного оружия, средств борьбы с терроризмом и т.д. Уже сейчас производительность электроники и осветительной техники, возможности приборов кардинально меняются благодаря внедрению нанотехнологий и функциональных наноматериалов. Расширение сфер использования полупроводниковых наноструктур в ближайшем будущем позволит значительно уменьшить габариты устройств (например, средств наблюдения и регистрации), снизить их энергопотребление, улучшить стоимостные характеристики и использовать преимущества массового производства микро- и нанoeлектронных компонентов и систем.

Заметно возрастут масштабы применения *новых методов диагностики материалов*, которые позволят осуществлять контроль за состоянием сложных систем, подвергающихся физическим и химическим воздействиям. Благодаря использованию нанотехнологий удастся создать новые системы визуализации поверхности материалов с атомным разрешением.

Разработка и использование новых материалов и нанотехнологий явятся серьезной движущей силой модернизации и развития производства, инфраструктуры, социальной сферы. Так, прорывом может стать *распространение технологий производства на основе молекулярной самосборки*. По оценкам экспертов, сравнительно небольшое устройство («настолярная нанофабрика») с молекулярной точностью изготовит изделие объемом около 1 л и массой порядка 4 кг примерно за три часа.

Интеллектуальные и настраиваемые функциональные и конструкционные материалы с высокими показателями прочности, пластичности, легкости, прозрачности и отражающей способности в будущем могут потеснить используемые в настоящее время металлы и пластики. Произойдет дальнейшее повышение требований к техническим свойствам продуктов: устойчивости к излучению и коррозии, высоко- и низкотемпературному воздействию, старению материалов и др.

Ожидается активное распространение функциональных покрытий и слоистых материалов, которые найдут применение в машиностроении (детали, испытывающие трение, воздействие высоких температур и т.д.), производстве инструментов для различных сфер (медицины, металло- и деревообработки) и др.

Экспертами отмечены следующие *угрозы для России* в рассматриваемой области:

- дефицит современного научного и промышленного оборудования для разработки и производства нанопродуктов и новых материалов;



- барьеры для импорта технологий и материалов;
- отсутствие качественного отечественного сырья для изготовления нанопродукции;
- дефицит высококвалифицированных кадров;
- острая конкуренция со стороны зарубежных производителей;
- необходимость значительных инвестиций в организацию массового производства для достижения эффекта масштаба.



ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РЫНКИ, ПРОДУКТЫ И УСЛУГИ

Изменение сложившегося облика экономики и общества во многом связывают с широким распространением новых материалов и нанотехнологий в производственных процессах и секторе услуг. Как и в сфере ИКТ, инновационные рынки нанотехнологических продуктов и новых материалов становятся неотъемлемой частью более крупных отраслевых рынков, в ряде которых значимая доля продукции базируется на нанотехнологиях и новых материалах.

Эксперты выразили консолидированное мнение относительно большинства сфер применения – будущих рынков нанотехнологий и новых материалов. В кратко- и долгосрочном периодах основной областью применения этих материалов станет электроника. Функциональные наноматериалы будут использоваться практически во всей компьютерной и радиоэлектронной технике и в подавляющем большинстве видов бытовых приборов. Однако если в 2015 г., по оценкам экспертов, доля электроники на рынке нанотехнологий в России превысит три четверти, то к 2030 г. она снизится до одной пятой – за счет расширения внедрения новых материалов в автомобильной и авиакосмической отраслях, судостроении, пищевой промышленности, строительном комплексе. В долгосрочной перспективе ожидается также активное развитие рынков, характеризующихся сочетанием значительных объемов и высоких темпов роста, – оборудования для добывающей и обрабатывающей промышленности, фармацевтики и производства медицинского оборудования, электроэнергетики.

Перспективные рынки для приоритетного направления «Новые материалы и нанотехнологии»:

- авиакосмическая техника и инфраструктура;
- автотранспортные средства и дорожная инфраструктура;
- атомная энергетика;
- бытовая химия и парфюмерия;
- водный транспорт (суда и портовая инфраструктура);
- возобновляемые источники энергии (солнечная и ветряная энергетика);
- железнодорожный транспорт (подвижной состав и дорожное хозяйство);
- жилищно-коммунальное хозяйство;
- лесопромышленный комплекс;
- нефтегазопереработка и нефтехимия;
- оборудование для добывающей и обрабатывающей промышленности;
- осветительное оборудование;
- пищевая промышленность;
- приборостроение;
- сельское хозяйство;
- специальная техника;
- спортивные товары;
- станкостроение;



- строительный комплекс;
- текстильные изделия и изделия из кожи;
- фармацевтика и медицинское оборудование;
- экология;
- электроника и средства связи;
- электроэнергетика.

Для каждого из перечисленных выше перспективных рынков были определены инновационные продукты и услуги, которые появятся в период до 2030 г. (табл. 1), и выявлены важнейшие характеристики, обеспечивающие их конкурентоспособность (табл. 2).

Табл. 1. Перспективные рынки и продуктовые группы приоритетного направления «Новые материалы и нанотехнологии»

Рынки	Группы инновационных продуктов и услуг
Авиакосмическая техника и инфраструктура	Сенсоры для анализа состава различных сред Датчики физических величин на основе наноматериалов Топливные элементы, катализаторы для получения инновационных энергоносителей Новые типы легких и высокопрочных материалов Термостойкие наноструктурированные композиционные, керамические и металлические материалы Наноструктурированные композиционные и керамические материалы и покрытия с особыми термическими свойствами (теплопроводящие, терморегулирующие) Наноструктурированные антикоррозионные покрытия Наноструктурированные антифрикционные и адгезивные материалы Наноструктурированные гидрофобные материалы Радиационностойкие и радиозащитные наноструктурированные композиционные материалы и покрытия Наноструктурированные композиционные материалы с особыми оптическими свойствами (фотонные кристаллы) Солнечные батареи нового поколения Излучатели (в том числе лазеры и органические светодиоды) на основе наногетероструктур Композиционные, керамические материалы и нанофлюидика с особыми магнитными свойствами Элементы электроники на основе графена, фуллеренов, углеродных нанотрубок, квантовых точек Наноструктурированные композиционные материалы с особыми электропроводящими свойствами, включая сверхпроводящие материалы Наноструктурированные материалы с эффектом «памяти формы» и «самозалечивающиеся» материалы
Автотранспортные средства и дорожная инфраструктура	Наноструктурированные материалы для химических источников тока Топливные элементы, катализаторы для получения инновационных энергоносителей Сенсоры для анализа состава различных сред Датчики физических величин на основе наноматериалов Новые типы легких и высокопрочных материалов



(продолжение)

Рынки	Группы инновационных продуктов и услуг
	<p>Термостойкие наноструктурированные композиционные, керамические и металлические материалы</p> <p>Наноструктурированные композиционные и керамические материалы и покрытия с особыми термическими свойствами (теплопроводящие, термо-регулирующие)</p> <p>Наноструктурированные антикоррозионные покрытия</p> <p>Наноструктурированные антифрикционные и адгезивные материалы</p> <p>Наноструктурированные гидрофобные материалы</p> <p>Излучатели (в том числе лазеры и органические светодиоды) на основе наногетероструктур</p> <p>Композиционные, керамические материалы и нанофлюидика с особыми магнитными свойствами</p> <p>Наноструктурированные композиционные материалы с особыми электропроводящими свойствами, включая сверхпроводящие материалы</p> <p>Наноструктурированные материалы с эффектом «памяти формы» и «самозалечивающиеся» материалы</p> <p>Газоразделительные мембранные наноматериалы</p>
Атомная энергетика	<p>Радиационнстойкие и радиозащитные наноструктурированные композиционные материалы и покрытия</p> <p>Наноструктурированные материалы и реагенты для процессов водоочистки (водоподготовки)</p>
Бытовая химия и парфюмерия	<p>Датчики физических величин на основе наноматериалов</p> <p>Наноструктурированные материалы и реагенты для процессов водоочистки (водоподготовки, переработки пищевого сырья)</p> <p>Нанотехнологии и нанокатализаторы для производства химических продуктов и парфюмерии</p>
Водный транспорт (суда и портовая инфраструктура)	<p>Новые типы легких и высокопрочных материалов</p> <p>Термостойкие наноструктурированные композиционные, керамические и металлические материалы</p> <p>Наноструктурированные композиционные и керамические материалы и покрытия с особыми термическими свойствами (теплопроводящие, термо-регулирующие)</p> <p>Наноструктурированные антикоррозионные покрытия</p> <p>Наноструктурированные антифрикционные и адгезивные материалы</p> <p>Наноструктурированные гидрофобные материалы</p> <p>Топливные элементы, катализаторы для получения инновационных энергоносителей</p> <p>Солнечные батареи нового поколения</p> <p>Излучатели (в том числе лазеры и органические светодиоды) на основе наногетероструктур</p> <p>Композиционные, керамические материалы и нанофлюидика с особыми магнитными свойствами</p>



(продолжение)

Рынки	Группы инновационных продуктов и услуг
	<p>Наноструктурированные композиционные материалы с особыми электропроводящими свойствами, включая сверхпроводящие материалы</p> <p>Наноструктурированные материалы с эффектом «памяти формы» и «самозалечивающиеся» материалы</p>
<p>Возобновляемые источники энергии (солнечная и ветряная энергетика)</p>	<p>Топливные элементы, катализаторы для получения инновационных энергоносителей</p> <p>Наноструктурированные материалы для химических источников тока</p> <p>Композиционные, керамические материалы и нанофлюидика с особыми магнитными свойствами</p> <p>Радиационностойкие и радиозащитные наноструктурированные композиционные материалы и покрытия</p>
<p>Железнодорожный транспорт (подвижной состав и дорожное хозяйство)</p>	<p>Наноструктурированные материалы для химических источников тока</p> <p>Топливные элементы, катализаторы для получения инновационных энергоносителей</p> <p>Новые типы легких и высокопрочных материалов</p> <p>Термостойкие наноструктурированные композиционные, керамические и металлические материалы</p> <p>Наноструктурированные композиционные и керамические материалы и покрытия с особыми термическими свойствами (теплопроводящие, терморегулирующие)</p> <p>Наноструктурированные антикоррозионные покрытия</p> <p>Наноструктурированные антифрикционные и адгезивные материалы</p> <p>Наноструктурированные гидрофобные материалы</p> <p>Излучатели (в том числе лазеры и органические светодиоды) на основе наногетероструктур</p> <p>Композиционные, керамические материалы и нанофлюидика с особыми магнитными свойствами</p> <p>Наноструктурированные композиционные материалы с особыми электропроводящими свойствами, включая сверхпроводящие материалы</p> <p>Наноструктурированные материалы с эффектом «памяти формы» и «самозалечивающиеся» материалы</p>
<p>Жилищно-коммунальное хозяйство</p>	<p>Термостойкие наноструктурированные композиционные, керамические и металлические материалы</p> <p>Наноструктурированные композиционные и керамические материалы и покрытия с особыми термическими свойствами (теплопроводящие, терморегулирующие)</p> <p>Наноструктурированные антикоррозионные покрытия</p> <p>Наноструктурированные антифрикционные и адгезивные материалы</p> <p>Наноструктурированные гидрофобные материалы</p> <p>Топливные элементы, катализаторы для получения инновационных энергоносителей</p>



(продолжение)

Рынки	Группы инновационных продуктов и услуг
	<p>Наноструктурированные композиционные материалы с особыми оптическими свойствами (фотонные кристаллы)</p> <p>Наноструктурированные композиционные материалы с особыми электропроводящими свойствами, включая сверхпроводящие материалы</p> <p>Наноструктурированные материалы с эффектом «памяти формы» и «самозалечивающиеся» материалы</p> <p>Наноструктурированные материалы и реагенты для процессов водоочистки (водоподготовки, переработки пищевого сырья)</p> <p>Газоразделительные мембранные наноматериалы</p>
Лесопромышленный комплекс	<p>Датчики физических величин на основе наноматериалов</p> <p>Термостойкие наноструктурированные композиционные, керамические и металлические материалы</p> <p>Наноструктурированные композиционные и керамические материалы и покрытия с особыми термическими свойствами (теплопроводящие, терморегулирующие)</p> <p>Наноструктурированные антифрикционные и адгезивные материалы</p> <p>Наноструктурированные гидрофобные материалы</p> <p>Солнечные батареи нового поколения</p> <p>Излучатели (в том числе лазеры и органические светодиоды) на основе наногетероструктур</p>
Нефтегазопереработка и нефтехимия	<p>Топливные элементы, катализаторы для получения инновационных энергоносителей</p> <p>Газоразделительные мембранные наноматериалы</p> <p>Наноструктурированные материалы для химических источников тока</p> <p>Сенсоры для анализа состава различных сред</p> <p>Новые типы легких и высокопрочных материалов</p> <p>Термостойкие наноструктурированные композиционные, керамические и металлические материалы</p> <p>Наноструктурированные композиционные и керамические материалы и покрытия с особыми термическими свойствами (теплопроводящие, терморегулирующие)</p> <p>Наноструктурированные антикоррозионные покрытия</p> <p>Наноструктурированные антифрикционные и адгезивные материалы</p>
Оборудование для добывающей и обрабатывающей промышленности	<p>Новые типы легких и высокопрочных материалов</p> <p>Термостойкие наноструктурированные композиционные, керамические и металлические материалы</p> <p>Наноструктурированные композиционные и керамические материалы и покрытия с особыми термическими свойствами (теплопроводящие, терморегулирующие)</p> <p>Наноструктурированные антикоррозионные покрытия</p> <p>Наноструктурированные антифрикционные и адгезивные материалы</p>



(продолжение)

Рынки	Группы инновационных продуктов и услуг
	<p>Наноструктурированные гидрофобные материалы</p> <p>Наноструктурированные композиционные материалы с особыми оптическими свойствами (фотонные кристаллы)</p> <p>Излучатели (в том числе лазеры и органические светодиоды) на основе наногетероструктур</p> <p>Композиционные, керамические материалы и нанофлюидика с особыми магнитными свойствами</p> <p>Наноструктурированные композиционные материалы с особыми электропроводящими свойствами, включая сверхпроводящие материалы</p> <p>Нано- и микроробототехнические системы</p> <p>Газоразделительные мембранные наноматериалы</p> <p>Топливные элементы, катализаторы для получения инновационных энергоносителей</p> <p>Наноструктурированные материалы для химических источников тока</p>
Осветительное оборудование	<p>Наноструктурированные композиционные материалы с особыми оптическими свойствами (фотонные кристаллы)</p> <p>Наноструктурированные композиционные материалы с особыми электропроводящими свойствами, включая сверхпроводящие материалы</p> <p>Солнечные батареи нового поколения</p> <p>Излучатели (в том числе лазеры и органические светодиоды) на основе наногетероструктур</p> <p>Наноструктурированные гидрофобные материалы</p>
Пищевая промышленность	<p>Сенсоры для анализа состава различных сред</p> <p>Датчики физических величин на основе наноматериалов</p> <p>Наноструктурированные материалы и реагенты для процессов водоочистки (водоподготовки, переработки пищевого сырья)</p> <p>Газоразделительные мембранные наноматериалы</p>
Приборостроение	<p>Новые типы легких и высокопрочных материалов</p> <p>Термостойкие наноструктурированные композиционные, керамические и металлические материалы</p> <p>Наноструктурированные композиционные и керамические материалы и покрытия с особыми термическими свойствами (теплопроводящие, терморегулирующие)</p> <p>Наноструктурированные антикоррозионные покрытия</p> <p>Наноструктурированные композиционные материалы с особыми электропроводящими свойствами, включая сверхпроводящие материалы</p>
Сельское хозяйство	<p>Наноструктурированные композиционные и керамические материалы и покрытия с особыми термическими свойствами (теплопроводящие, терморегулирующие)</p> <p>Наноструктурированные антикоррозионные покрытия</p>



(продолжение)

Рынки	Группы инновационных продуктов и услуг
	<p>Наноструктурированные антифрикционные и адгезивные материалы</p> <p>Наноструктурированные гидрофобные материалы</p> <p>Излучатели (в том числе лазеры и органические светодиоды) на основе наногетероструктур</p>
Специальная техника	<p>Наноструктурированные материалы для химических источников тока</p> <p>Новые типы легких и высокопрочных материалов</p> <p>Термостойкие наноструктурированные композиционные, керамические и металлические материалы</p> <p>Радиационностойкие и радиозащитные наноструктурированные композиционные материалы и покрытия</p> <p>Газоразделительные мембранные наноматериалы</p> <p>Топливные элементы, катализаторы для получения инновационных энергоносителей</p>
Спортивные товары	<p>Новые типы легких и высокопрочных материалов</p> <p>Наноструктурированные композиционные и керамические материалы и покрытия с особыми термическими свойствами (теплопроводящие, терморегулирующие)</p> <p>Наноструктурированные гидрофобные материалы</p> <p>Наноструктурированные материалы с эффектом «памяти формы» и «само-залечивающиеся» материалы</p> <p>Излучатели (в том числе лазеры и органические светодиоды) на основе наногетероструктур</p>
Станкостроение	<p>Новые типы легких и высокопрочных материалов</p> <p>Термостойкие наноструктурированные композиционные, керамические и металлические материалы</p> <p>Наноструктурированные композиционные и керамические материалы и покрытия с особыми термическими свойствами (теплопроводящие, терморегулирующие)</p> <p>Наноструктурированные антикоррозионные покрытия</p> <p>Наноструктурированные композиционные материалы с особыми электропроводящими свойствами, включая сверхпроводящие материалы</p> <p>Датчики физических величин на основе наноматериалов</p>
Строительный комплекс	<p>Новые типы легких и высокопрочных материалов</p> <p>Наноструктурированные материалы для химических источников тока</p> <p>Термостойкие наноструктурированные композиционные, керамические и металлические материалы</p> <p>Наноструктурированные композиционные и керамические материалы и покрытия с особыми термическими свойствами (теплопроводящие, терморегулирующие)</p> <p>Наноструктурированные антикоррозионные покрытия</p>



(продолжение)

Рынки	Группы инновационных продуктов и услуг
	<p>Наноструктурированные антифрикционные и адгезивные материалы</p> <p>Наноструктурированные гидрофобные материалы</p> <p>Радиационностойкие и радиозащитные наноструктурированные композиционные материалы и покрытия</p> <p>Излучатели (в том числе лазеры и органические светодиоды) на основе наногетероструктур</p> <p>Наноструктурированные композиционные материалы с особыми электропроводящими свойствами, включая сверхпроводящие материалы</p> <p>Газоразделительные мембранные наноматериалы</p> <p>Нано- и микроробототехнические системы</p> <p>Наноструктурированные материалы с эффектом «памяти формы» и «само-залечивающиеся» материалы</p>
Текстильные изделия и изделия из кожи	<p>Новые типы легких и высокопрочных материалов</p> <p>Радиационностойкие и радиозащитные наноструктурированные композиционные материалы и покрытия</p>
Фармацевтика и медицинское оборудование	<p>Сенсоры для анализа состава различных сред</p> <p>Датчики физических величин на основе наноматериалов</p> <p>Системы доставки лекарств</p> <p>Наноструктурированные биосовместимые материалы</p> <p>Наноструктурированные антифрикционные и адгезивные материалы</p> <p>Наноструктурированные гидрофобные материалы</p> <p>Наноструктурированные композиционные материалы с особыми оптическими свойствами (фотонные кристаллы)</p> <p>Излучатели (в том числе лазеры и органические светодиоды) на основе наногетероструктур</p> <p>Композиционные, керамические материалы и нанофлюидика с особыми магнитными свойствами</p> <p>Наноструктурированные композиционные материалы с особыми электропроводящими свойствами, включая сверхпроводящие материалы</p> <p>Нано- и микроробототехнические системы</p> <p>Наноструктурированные материалы и реагенты для процессов водоочистки (водоподготовки, переработки пищевого сырья)</p> <p>Газоразделительные мембранные наноматериалы</p> <p>Молекулярная самосборка и самоорганизация наномеханических систем</p>
Мониторинг, охрана и восстановление окружающей среды	<p>Сенсоры для анализа состава различных сред</p> <p>Наноструктурированные материалы и реагенты для процессов водоочистки (водоподготовки, переработки пищевого сырья)</p>



(окончание)

Рынки	Группы инновационных продуктов и услуг
Электроника и средства связи	<p>Наноструктурированные композиционные материалы с особыми электропроводящими свойствами, включая сверхпроводящие материалы</p> <p>Датчики физических величин на основе наноматериалов</p> <p>Радиационностойкие и радиозащитные наноструктурированные композиционные материалы и покрытия</p> <p>Наноструктурированные композиционные материалы с особыми оптическими свойствами (фотонные кристаллы)</p> <p>Топливные элементы, катализаторы для получения инновационных энергоносителей</p> <p>Наноструктурированные материалы для химических источников тока</p> <p>Солнечные батареи нового поколения</p> <p>Излучатели (в том числе лазеры и органические светодиоды) на основе наногетероструктур</p> <p>Композиционные, керамические материалы и нанофлюидика с особыми магнитными свойствами</p> <p>Элементы электроники на основе графена, фуллеренов, углеродных нанотрубок, квантовых точек</p> <p>Элементы электроники на базе мемристоров</p> <p>Нано- и микроробототехнические системы</p> <p>Наноструктурированные материалы с эффектом «памяти формы» и «самозалечивающиеся» материалы</p> <p>Молекулярная самосборка и самоорганизация наномеханических систем</p>
Электроэнергетика	<p>Топливные элементы, катализаторы для получения инновационных энергоносителей</p> <p>Наноструктурированные материалы для химических источников тока</p> <p>Новые типы легких и высокопрочных материалов</p> <p>Термостойкие наноструктурированные композиционные, керамические и металлические материалы</p> <p>Наноструктурированные композиционные и керамические материалы и покрытия с особыми термическими свойствами (теплопроводящие, терморегулирующие)</p> <p>Наноструктурированные антикоррозионные покрытия</p> <p>Наноструктурированные антифрикционные и адгезивные материалы</p> <p>Наноструктурированные гидрофобные материалы</p> <p>Радиационностойкие и радиозащитные наноструктурированные композиционные материалы и покрытия</p> <p>Композиционные, керамические материалы и нанофлюидика с особыми магнитными свойствами</p> <p>Наноструктурированные композиционные материалы с особыми электропроводящими свойствами, включая сверхпроводящие материалы</p> <p>Наноструктурированные материалы и реагенты для процессов водоочистки (водоподготовки, переработки пищевого сырья)</p>



**Табл. 2. Инновационные продуктовые группы приоритетного направления
«Новые материалы и нанотехнологии»**

Группы инновационных продуктов и услуг	Характеристика
Топливные элементы	<p>Высокая эффективность работы катализатора (КПД использования топлива)</p> <p>Толерантность катализатора к CO</p> <p>Малое время запуска топливного элемента</p> <p>Высокие требования к чистоте горючего</p> <p>Невысокие затраты на производство дорогостоящих металлов платиновой группы</p> <p>Стабильность проводящих мембран, их способность работать при повышенной температуре и низкой влажности</p> <p>Длительный срок эксплуатации без существенного падения рабочих характеристик</p> <p>Возможность утилизации</p>
Катализаторы для получения инновационных энергоносителей	<p>Высокая селективность</p> <p>Высокая конверсия</p> <p>Высокая производительность</p> <p>Способность к регенерации</p> <p>Легкость отделения от продуктов</p> <p>Невысокая стоимость</p>
Наноструктурированные материалы для химических источников тока	<p>Высокая скорость перезарядки</p> <p>Малый размер и высокая удельная электрохимическая емкость источника тока, катодного и анодного материала</p> <p>Стабильность мощностных характеристик при высоких скоростях заряда и разряда</p> <p>Стабильность рабочих характеристик и высокий ресурс работы (циклируемость)</p> <p>Электропроводность электродных материалов и электролита</p> <p>Возможность эффективной работы при низких температурах</p> <p>Безопасность</p> <p>Невысокая стоимость</p>
Сенсоры для анализа состава различных сред	<p>Высокая чувствительность</p> <p>Малая погрешность определения</p> <p>Высокая селективность</p> <p>Короткое время отклика</p> <p>Широкий диапазон концентраций детектируемых веществ</p> <p>Возможность одновременного детектирования нескольких веществ (для мультисенсорных систем типа «электронный нос», «электронный язык» и пр.)</p> <p>Компактность</p> <p>Стабильность работы, возможность самокалибровки</p> <p>Невысокая стоимость</p>



(продолжение)

Группы инновационных продуктов и услуг	Характеристика
	Удобство использования Низкое энергопотребление
Датчики физических величин на основе наноматериалов	Высокая точность Высокая чувствительность Высокая эффективность Быстродействие Безопасность Возможность применения для широкого круга приложений Соответствие специальным техническим характеристикам Невысокая стоимость
Системы доставки лекарств	Адресность доставки Высокая эффективность Отсутствие токсичности или побочных эффектов Быстродействие Продолжительное время эффективного действия препарата в организме Широкий диапазон применения Безопасность Низкая себестоимость производства
Наноструктурированные биосовместимые материалы	Бактерицидные свойства Отсутствие аутоиммунного ответа и токсичности Биорезорбируемость Регенерационные свойства Высокая эффективность Высокая удельная прочность и эластичность Соответствие заданным дополнительным требованиям (водонепроницаемость, возможность включения живых тканей и т.д.)
Новые типы легких и высокопрочных материалов	Высокая прочность Высокая тепло- и термостойкость Морозостойкость, способность противостоять резким перепадам температур при сохранении рабочих характеристик Низкий удельный вес Механические свойства (длительная прочность, пластичность, твердость, трещиностойкость, сопротивление усталости и ползучести и др.)



(продолжение)

Группы инновационных продуктов и услуг	Характеристика
	<p>Технологические свойства (обрабатываемость давлением, температурным воздействием, режущим инструментом, свариваемость, литейные свойства и др.)</p> <p>Специальные служебные или эксплуатационные свойства (стойкость к износу, коррозии и радиации, устойчивость к статическим и динамическим нагрузкам и т.д.)</p>
Термостойкие наноструктурированные композиционные, керамические и металлические материалы	<p>Термостабильность</p> <p>Малый удельный вес</p> <p>Высокая механическая прочность</p> <p>Высокая трещино-, термо- и эрозионная стойкость</p> <p>Наличие специальных свойств</p> <p>Невысокая стоимость</p>
Наноструктурированные композиционные и керамические материалы и покрытия с особыми термическими свойствами (теплопроводящие, терморегулирующие)	<p>Теплопроводность</p> <p>Отражательная способность по отношению к световым и тепловым потокам</p> <p>Высокая прочность и упругость</p> <p>Высокая вязкость разрушения и удельная ударная вязкость</p> <p>Сохранение функциональных характеристик в широком диапазоне температур</p> <p>Малый удельный вес</p> <p>Невысокая стоимость</p>
Наноструктурированные антикоррозионные покрытия	<p>Высокая химическая стойкость</p> <p>Устойчивость в агрессивных средах</p> <p>Устойчивость при повышенных температурах</p> <p>Технологичность</p> <p>Малый удельный вес</p> <p>Антистатичность</p> <p>Маслобензостойкость</p> <p>Гидрофобность, влагостойкость</p> <p>Высокая адгезия к материалам трубопроводов</p> <p>Невысокая стоимость</p>
Наноструктурированные антифрикционные и адгезивные материалы	<p>Низкий коэффициент трения</p> <p>Высокая адгезия к различным материалам</p> <p>Прочность и износостойкость</p> <p>Высокая ударная вязкость</p> <p>Стабильность структуры</p> <p>Невысокая стоимость производства</p>



(продолжение)

Группы инновационных продуктов и услуг	Характеристика
Наноструктурированные гидрофобные материалы	Гидрофобность Технологичность Термо- и химическая стабильность Безопасность и простота применения Длительный срок эксплуатации Невысокая стоимость продукта
Радиационностойкие и радиозащитные наноструктурированные композиционные материалы и покрытия	Радиационная стойкость Радиозащитные качества Механическая прочность Термостабильность Безопасность применения Долговечность Невысокая стоимость
Наноструктурированные композиционные материалы с особыми оптическими свойствами (фотонные кристаллы)	Оптическая и диэлектрическая проницаемость Термостабильность Селективность испускания Высококачественные оптические моды Невысокая стоимость
Солнечные батареи нового поколения	Высокий КПД Длительный срок эксплуатации Возможность использования инфракрасного диапазона спектра Высокая мощность Возможность быстрого разворачивания устройства Радиационная устойчивость
Излучатели (в том числе лазеры и органические светодиоды) на основе наногетероструктур	Высокая генерируемая мощность Широкий световой диапазон излучения Длительный срок эксплуатации Возможность регенерации Компактность Возможность придания изделию специальной формы (плоской, рельефной и пр.) Светопроницаемость Экологичность Широта применения Возможность масштабирования и организации массового производства (технологичность)



(продолжение)

Группы инновационных продуктов и услуг	Характеристика
	Совместимость с основными элементами современной микроэлектроники Невысокая стоимость
Композиционные, керамические материалы и нанофлюидика с особыми магнитными свойствами	Высокая намагниченность насыщения наножидкости Коэрцитивная сила Высокая термостабильность Седиментационная и агрегативная устойчивость Низкая электропроводность Сочетание текучести и магнитоуправляемости Невысокая стоимость
Элементы электроники на основе графена, фуллеренов, углеродных нанотрубок, квантовых точек	Высокая энергоэффективность Проводимость Малая ширина запрещенной зоны Минимальные потери на сопротивление Малые размеры Продолжительный срок устойчивой эксплуатации Невысокая стоимость
Элементы электроники на базе мемристоров	Чувствительность Большой объем хранимой информации Надежность Безопасность Невысокая стоимость
Наноструктурированные композиционные материалы с особыми электропроводящими свойствами, включая сверхпроводящие материалы	Электропроводность Селективность переноса Стабильность эксплуатации при низких и высоких температурах Эластичность Механическая прочность Экологичность Невысокая стоимость
Нано- и микроробототехнические системы	Низкое энергопотребление Компактность Низкая материалоемкость Быстродействие Продолжительный срок эксплуатации Большой объем хранимой информации Тиражируемость Широта решаемых задач Надежность



(окончание)

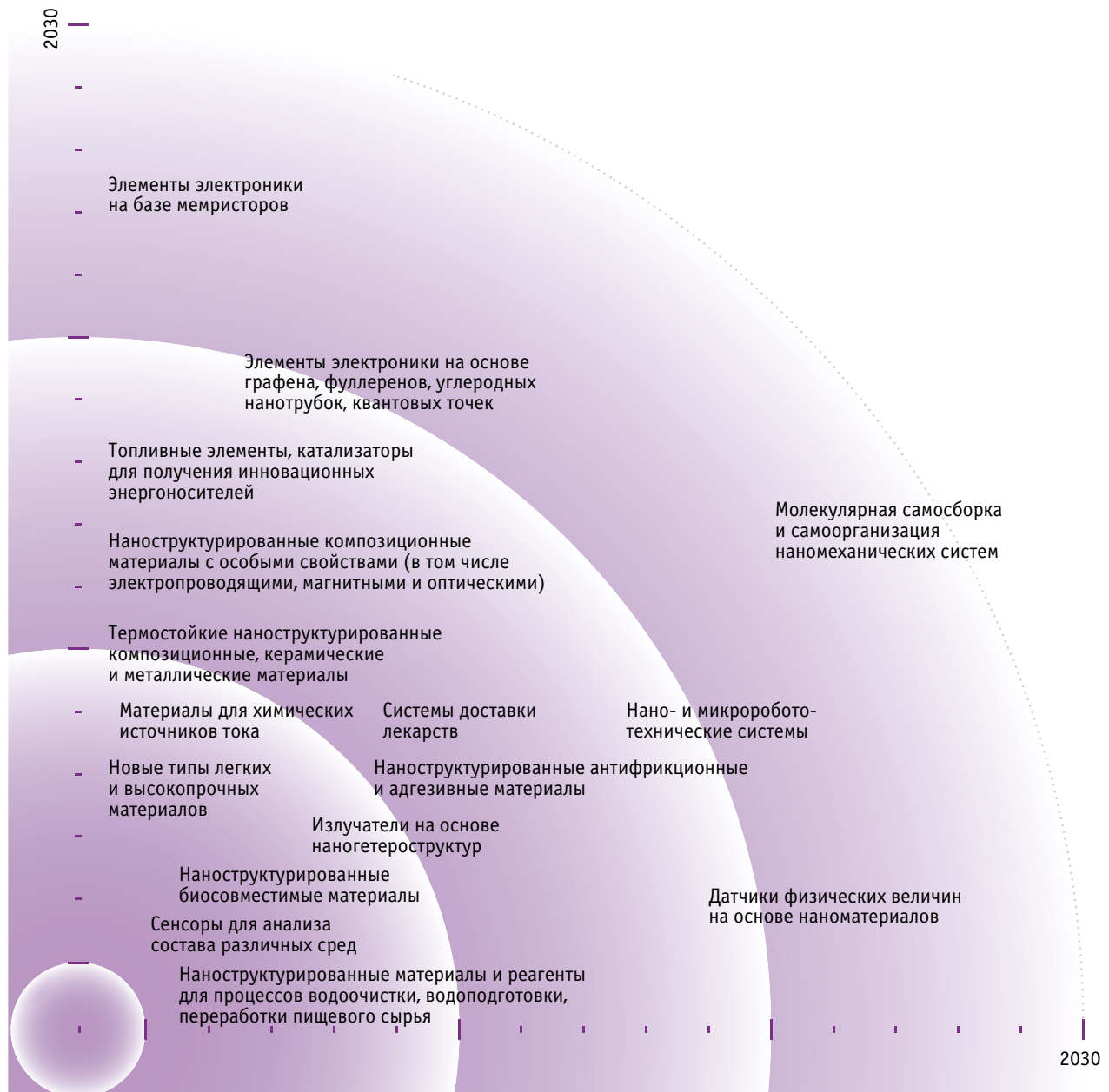
Группы инновационных продуктов и услуг	Характеристика
Наноструктурированные материалы с эффектом «памяти формы» и «самозалечивающиеся» материалы	Скорость восстановления / «самозалечивания» Возможность повторных восстановлений Высокие значения прочности, твердости и эластичности Низкая стоимость
Наноструктурированные материалы и реагенты для процессов водоочистки, водоподготовки, переработки пищевого сырья	Селективность переноса Высокая производительность Стойкость к отравлению (в том числе биологическому) и засорению Электропроводность Проницаемость по отношению к фильтруемым растворам и частицам различных размеров Широкий спектр удаляемых загрязнений Высокое рабочее давление Способность к концентрации отложений Химическая стабильность мембраны Низкая стоимость
Газоразделительные мембранные наноматериалы	Селективность переноса Высокая производительность Химическая и термостабильность Невысокие энергозатраты при разделении Стойкость мембраны Широта применения Низкая стоимость
Молекулярная самосборка и самоорганизация наномеханических систем	Компактность Высокая производительность Низкие энергозатраты Потенциальная широта применения

Ожидаемые сроки массового распространения инновационных продуктов и услуг, оказывающих радикальное влияние на динамику мировых рынков, отражены на рис. 3.

Применение наноструктурированных материалов и покрытий в *сенсорах для анализа состава различных сред* позволит увеличить их быстродействие за счет снижения времени диффузии в объеме чувствительного слоя и повысить чувствительность за счет увеличения удельной поверхности. С использованием нанотехнологий могут разрабатываться новые типы чувствительных материалов для миниатюрных мультисенсорных матриц (датчиков), встраиваемых в приборы бытовой электроники и элементы одежды, а также размещаемых в производственных и жилых помещениях.



Рис. 3. Инновационные продукты и услуги, оказывающие радикальное влияние на динамику мировых рынков в приоритетном направлении «Новые материалы и нанотехнологии»



Датчики физических величин на основе наноматериалов могут использоваться в специальных измерительных приборах. Они включают две подгруппы инновационных продуктов:

- датчики измерения электромагнитных волн: жесткого рентгеновского, ультрафиолетового, инфракрасного, радиоизлучения и т.д.;
- датчики измерения линейных и угловых перемещений (на базе материалов из нанотрубок с нулевым коэффициентом поперечной деформации), ускорений (на основе туннельного эффекта с чувствительными наноэлементами), терагерцового излучения с использованием планарных наноструктур (на основе ультратонких металлических пленок); оптические наносенсоры механических напряжений (на основе эластичных инвертированных фотонных кристаллов) и др.



В краткосрочном периоде следует ожидать появления *наноструктурированных материалов и реагентов для процессов водоочистки, водоподготовки, переработки пищевого сырья*. С переходом на эти технологии будут в значительной степени решены проблемы снабжения населения питьевой водой и эффективной очистки бытовых и промышленных стоков, в том числе за счет использования различных типов гибридных мембран с внедренными наночастицами. Существенно интенсифицировать процессы очистки воды можно при использовании новых типов ультра- и нанофильтрационных мембран, мембран с асимметричным (градиентным) распределением наночастиц – путем перестройки систем пор и каналов мембран, за счет внедрения электромембранных технологий, позволяющих увеличить электрокаталитическую активность мембран с внедренными наночастицами в реакции диссоциации воды, повышающими скорость ее электродиализной очистки в режиме сверхпредельных токов. Ионообменные и мембранные материалы, содержащие наночастицы металлов, служат для глубокого удаления растворенного кислорода из воды, что крайне важно для ряда процессов современной электронной промышленности. Фильтрационные и ионообменные мембраны будут широко использоваться в процессах производства и переработки пищевых продуктов.

В ближайшей перспективе активное развитие технологий создания *наноструктурированных биосовместимых материалов* медицинского назначения ожидается прежде всего по двум направлениям:

- разработка материалов для изготовления имплантов и заменителей различных тканей (например, на прочные и сравнительно легкие титановые импланты наносятся оксидные или фосфатные биопокртия для предотвращения отторжения живыми тканями);
- создание материалов, подобных по свойствам и структуре тканям в организме человека. Примером могут служить костные импланты с пористой структурой на основе фосфатов кальция. В оптимальном варианте медицинские материалы должны достраиваться естественными тканями.

С появлением наноструктурированных биосовместимых и биорезорбируемых материалов кардинально меняются структура рынка протезов и имплантов, принципы и подходы к протезированию. Внедрение новых технологий позволит увеличить срок активной жизни человека, снизить степень инвалидизации населения, улучшить качество жизни людей.

К радикальному повышению эффективности лекарственной терапии приведет использование *систем доставки лекарств*. В качестве носителя лекарственных средств могут выступать высокопористые наночастицы или нанокапсулы. Системы направленной доставки способствуют экономичному расходованию лекарственных веществ, снижению уровня токсичности, чем существенно нивелируют их побочное воздействие.

К *новым типам легких и высокопрочных материалов* в первую очередь относятся продукты на основе углеродных волокон. Их важнейшие характеристики – высокие значения модуля упругости и прочности, легкость, низкий коэффициент трения, стойкость к атмосферному воздействию и химическим реагентам – и особенности структуры позволяют комбинировать углеволокнистые материалы с другими типами волокон: борными, стеклянными, арамидными. В результате могут быть получены легкие и прочные изделия, совмещающие конкурентные преимущества исходных материалов. Подобные гибридные композиты уже находят применение в авиакосмическом секторе и производстве спортивного снаряжения. Материалы, характеризующиеся легкостью и высокой прочностью, могут быть созданы также на основе наноструктурированных сплавов алюминия, титана и некоторых других металлов.

Наиболее востребованными окажутся следующие продукты:

- высокопрочные смеси на основе наноструктурированных конструкционных полимеров;
- полимерные композиционные материалы с добавлением малого количества углеродных наночастиц;



- композиционные материалы повышенной прочности на основе наноматериалов с применением древесины;
- наноструктурированные композиционные материалы на основе легких металлов (Al, Ti, Mg), содержащие нановолокна из сверхвысокомолекулярного полиэтилена, и т.д.

Усилия многих исследовательских групп сосредоточены на разработке технологий наноструктурированных *материалов для химических источников тока*. Их использование позволит увеличить удельную емкость электродов, повысить мощность источников и обеспечить их миниатюризацию и высокую безопасность. Важным параметром является также расширение температур эксплуатации этих источников энергии. К наиболее перспективным химическим источникам тока следует отнести:

- литий-ионные аккумуляторы;
- топливные элементы.

Эти устройства смогут использовать большую линейку нанотехнологических материалов, применяемых для конструирования источников энергии различного типа, в частности:

- гибридные наноструктурированные протонпроводящие мембраны с включением наночастиц, улучшающих их транспортные свойства, и наноразмерные катализаторы на основе платины и переходных металлов (включая катализаторы типа «ядро в оболочке»), применяемые для создания топливных элементов;
- наноразмерные катодные и анодные материалы со смешанной электронно-ионной проводимостью и наноструктурированные материалы на базе различных форм кремния и углерода, служащие основой для создания литий-ионных аккумуляторов.

Близко к ним примыкают катализаторы для получения инновационных энергоносителей и химических продуктов, многие из которых уже сейчас используются в производстве:

- эффективные наноразмерные катализаторы для глубокой переработки нефтепродуктов и природного газа;
- наноразмерные катализаторы для конверсии природного и попутных газов нефтедобычи в жидкое топливо, водород и ценные органические продукты;
- наноразмерные катализаторы для переработки возобновляемого сырья (биогаза и биомассы) в ценные органические продукты;
- широкий спектр наноразмерных катализаторов для производства инновационных и переработки природных энергоносителей;
- наноразмерные мембраны на основе сложных оксидов со структурой перовскитов, шпинели и флюорита, используемые в процессах парциального окисления метана и сопутствующих газов в синтез-газ при пониженной температуре, или наноразмерные катализаторы конверсии продуктов биомассы в синтез-газ.

Широкими перспективами обладают *излучатели на основе наногетероструктур*, в том числе лазеры и органические светодиоды. Органические светодиоды, одни из наиболее экономичных источников света, отличаются уникальным тонким дизайном и высокой гибкостью, обеспечивают широкую гамму светового диапазона и привычную для человека геометрию световых потоков. Их можно изготовить в любой, практически произвольной форме и «вписать» в рабочие и жилые помещения различного объема. Лазеры уже сейчас находят активное применение в медицине, машиностроении, строительстве и геодезии, при создании печатных плат и интегральных схем. Они используются для обнаружения различных веществ (в том числе взрывчатых), нагрева при термоядерном синтезе, в астрономии.

Термостойкие наноструктурированные композиционные, керамические и металлические материалы имеют большой потенциал применения во многих отраслях (авиастроении, электроэнергетике и др.) благодаря устойчивости к химическому разложению при повышенных температурах. Среди этой линейки инновационных продуктов можно выделить:

- углерод-углеродные конструкционные материалы с максимальной температурой эксплуатации до 1650 °С;



- легкие высокопрочные слоистые композиционные металл-интерметаллидные материалы, пригодные к эксплуатации в условиях высоких температур и критических по величине температурных градиентов;
- жаростойкие композиционные покрытия, упрочненные наноразмерными силицидами, позволяющие увеличить температуру и продолжительность эксплуатации изделий, а также их надежность в 1.5 раза;
- углеволокнистые композиты с металлической матрицей для производства теплостойких конструкционных изделий с заданной наноструктурой.

Большую группу инновационных продуктов образуют *наноструктурированные композиционные материалы с особыми свойствами (в том числе электропроводящими, магнитными и оптическими)*, предназначенные для передачи и трансформации электрического тока. Основные приложения рассматриваемого типа материалов развиваются в направлении передачи токов большой мощности и миниатюризации устройств.

Весьма востребованными к 2030 г. будут наноструктурированные композиционные материалы с особыми оптическими свойствами, в том числе фотонные кристаллы. В среднесрочной перспективе ожидается использование систем, обладающих сенсорными свойствами, например, способностью менять диапазон или интенсивность испускаемого света при взаимодействии с определенными реагентами. Возможна существенная оптимизация ключевых функциональных параметров оптоволоконных линий связи, обеспечивающих надежно экранированный многоканальный способ передачи информации, – скорости и качества передачи – за счет применения наноструктурированных материалов, с одной стороны, обладающих чрезвычайно высоким уровнем помехозащищенности, с другой – не являющихся источником излучения. Применение фотонно-кристаллических и микроструктурированных волокон открывает новые возможности для использования оптических волокон в датчиках физических величин.

Наноструктурированные антифрикционные и адгезивные материалы найдут широкое применение в различных отраслях промышленности. Среди наиболее перспективных материалов и продуктов данной группы следует отметить:

- сепараторы высокотемпературных подшипников качения, способных работать без смазки в агрессивных средах;
- неорганические композиты, содержащие углеродные нанотрубки и графен;
- подшипники, содержащие наноразмерные модифицирующие добавки;
- износостойкие наноструктурированные композиционные материалы, полученные с использованием специальной порошковой заготовки;
- полимерные смазочные материалы, содержащие инертные наночастицы (ZnO , SiO_2 , TiO_2 , SiC , карбиды и нитриды вольфрама, титана) для улучшения механических характеристик;
- многослойные нанокомпозиционные полимерные покрытия для внутренней отделки трубопроводов, снижающие коэффициент трения, и др.

Нано- и микроробототехнические системы представляются весьма привлекательными для использования в медицине, в том числе для создания хирургических устройств нового поколения. В этой группе перспективны такие продукты, как:

- подвижные элементы нано- и микроробототехнических систем на основе слоистых нанокомпозиционных материалов;
- интегрированное оборудование на базе механотронных модулей для механической обработки деталей сложной формы;
- активные наноструктуры на основе магнитоупругих материалов и мультиферроиков с искусственно вызванными критическими состояниями, предназначенные для микро-электромеханических систем;



- применяемые для пространственного позиционирования наносистем и нанотехнологического оборудования механотронные модули на базе шаговых микроэлектродвигателей, роликвинтовых передач и микропроцессорных систем управления.

Важным прорывом в электронной промышленности станет развитие *элементов электроники на основе графена, фуллеренов, углеродных нанотрубок, квантовых точек*. Разрабатываемые на их базе электронные устройства, обладая очень малыми габаритами и массой, будут иметь весьма высокие функциональные параметры. Предполагается, что после освоения частотного диапазона до нескольких терагерц и существенного повышения быстродействия вычислительных систем могут быть созданы принципиально новые коммуникационные устройства с беспрецедентно широкой полосой канала. Это откроет новую нишу для высокоскоростных сетей передачи данных малого радиуса действия и позволит полностью отказаться от использования кабелей при подключении аудио-, теле- и видеоаппаратуры, домашних кинотеатров при передаче многопоточкового видео с высоким разрешением. Графеновые фотодиоды, используемые в качестве фотоприемников терагерцового диапазона, можно будет встраивать в компактные системы безопасности (для обнаружения оружия, наркотиков, взрывчатых веществ и т.п.).

Новые возможности в создании нейроморфных вычислительных систем с принципиально новой архитектурой откроют *элементы электроники на базе мемристоров*. Это кардинально увеличит их быстродействие при решении задач, плохо алгоритмизируемых на классических компьютерах, и значительно снизит удельное энергопотребление. В области «умной» электроники станет возможным контролируемое изменение электрического сопротивления функциональных материалов с долговременным хранением указанного состояния, что позволит использовать указанные структуры в качестве аналогов синапсов при аппаратной реализации нейросетей и построении нейроморфных вычислительных систем.

К самому дальнему горизонту следует отнести технологии *молекулярной самосборки*. Продукты данной группы получают наиболее широкое распространение. Так, самособирающиеся микросхемы будут особо экономичными, производительными и энергоэффективными. Серьезный потенциал имеют медицинские приложения (в частности, для создания средств диагностики и систем адресной доставки лекарств).

Для рассмотренных инновационных продуктов были определены ведущие отечественные и зарубежные научно-исследовательские центры, где активно ведутся работы в указанных направлениях. Наиболее заметные успехи в области разработки новых материалов демонстрируют организации США, стран ЕС (в первую очередь Германии, Нидерландов, Великобритании), Японии и Республики Корея. В России имеются конкурентоспособные коллективы в научно-исследовательских институтах РАН, государственных научных центрах и ведущих вузах.



ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Возможности России включиться в описанные выше тренды или даже занять лидирующие позиции в некоторых сферах во многом определяются уровнем научно-технологических заделов. В рамках формирования прогноза были выделены четыре наиболее перспективные области научных исследований рассматриваемого приоритетного направления (рис. 4).

Уровень российских исследований в сфере нанотехнологий и новых материалов был оценен экспертами достаточно высоко, в частности, в таких областях, как разработка наноразмерных катализаторов для глубокой переработки сырья и создание наноструктурированных мембранных материалов. Однако существуют и «белые пятна» – области, в которых результаты проводимых в стране исследований признаны невысокими. К ним относится, например, разработка конструкционных материалов для энергетики.

Рис. 4. Тематические области приоритетного направления «Новые материалы и нанотехнологии»





3.1. Конструкционные и функциональные материалы

Ожидаемые результаты заделных исследований:

- градиентные покрытия на основе нанокомпозитов с эффективной защитой узлов и агрегатов от внешних факторов;
- композиционные интерметаллидные наноструктурированные покрытия для защиты конструкций в экстремальных условиях;
- углеволокнистые композиты с керамической матрицей на основе высокопрочных, высокомодульных нитей с пониженной массой и повышенной термостабильностью для производства элементов конструкции самолетов, ракет и космических станций;
- конструкционные материалы нового поколения с новой архитектурой и свойствами, в первую очередь механическими: повышенными прочностью, пластичностью, твердостью, трещиностойкостью, сопротивлением усталости и др.;
- функциональные материалы нового поколения с новыми свойствами (оптическими, транспортными, излучательными и др.), обусловленными наличием структурных элементов наномасштабных размеров;
- многоядерные процессоры на основе фотонных нанопереклюателей, повышающие пропускную способность внутрочиповых соединений при снижении энергопотребления;
- солнечные батареи, преобразующие до 90% световой энергии в электрическую; батареи, использующие инфракрасный диапазон и коротковолновую область солнечного спектра;
- новые материалы для альтернативных источников электроэнергии на основе нанотехнологий;
- сверхмощные керамические магниты для изготовления высокоэффективного электроэнергетического оборудования и его компонентов и др.

Табл. 3. Перспективные направления заделных исследований в тематической области «Конструкционные и функциональные материалы»

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Высокопрочные материалы		<p>Разработка высокопрочных и высокомодульных композиционных материалов с высоким сопротивлением статическим, повторно-статическим, динамическим нагрузкам</p> <p>Разработка полиматричных композиционных материалов, армированных наноразмерными наполнителями, с повышенной прочностью и термостойкостью</p> <p>Разработка высокопрочных, высокомодульных и теплопроводящих углеродных армирующих волокнистых материалов на основе полимеров и мезофазных пеков</p>



(продолжение)

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Износостойкие материалы		<p>Разработка трещиностойких слоистых металлополимерных материалов и металлостеклопластиков, в том числе армированных</p> <p>Разработка антифрикционных материалов, модифицированных наноструктурами, с высокими показателями прочности и износостойкости в условиях воздействия агрессивных газовых и жидких сред</p> <p>Разработка сверхлегких ударостойких композиционных материалов на основе теплостойких градиентных пеноматериалов</p> <p>Разработка материалов для защиты от ударных, вибрационных воздействий, шума и электромагнитного излучения</p> <p>Разработка термостойких и ударостойких связующих и уплотнительных материалов для композиционных материалов конструкционного и функционального назначения</p>
Антикоррозионные материалы		<p>Разработка материалов, обладающих повышенной стойкостью к окислению и коррозии</p> <p>Создание функциональных покрытий с низкой адгезией к солям жесткости, малой шероховатостью и высокими антикоррозионными свойствами для увеличения срока службы тепловых сетей и снижения их гидравлического сопротивления</p> <p>Разработка слоистых, градиентных, упрочняющих и барьерных покрытий для защиты материалов от коррозионных повреждений, механического и эрозионного износа, тепловых воздействий, обеспечивающих возможность эксплуатации материалов в разных климатических условиях</p>
Термостойкие материалы		<p>Разработка композиционных материалов с регламентированной структурой, работоспособных при температурах до 1700–2500 °С</p> <p>Разработка термпрочных и термостойких углеродных и углерод-керамических материалов, в том числе модифицированных наночастицами и многомерно армированных</p> <p>Разработка легких высокотемпературных интерметаллидных материалов и материалов на интерметаллидной матрице, упрочненной тугоплавкими оксидами и волокнами</p> <p>Разработка сверхлегких пеноматериалов, волокнистых теплозащитных и теплоизоляционных материалов, в том числе многофазовых и абляционных</p> <p>Разработка теплозащитных покрытий с керамическим слоем пониженной теплопроводности и композитными барьерными слоями</p>



(продолжение)

Области задельных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
		<p>Разработка материалов и покрытий для эксплуатации в условиях экстремально высоких температур и динамических нагрузок для использования в мощных газовых турбинах с длительным ресурсом работы, при переменных нагрузках с большими амплитудами и скоростями их изменений, а также в теплоэнергетических установках с ультравысокими параметрами пара</p>
<p>Радиационностойкие материалы</p>		<p>Разработка радиационно- и коррозионностойких материалов, в том числе дисперсно-упрочненных сталей и сплавов</p> <p>Разработка радиационностойких теплозащитных покрытий</p>
<p>Интеллектуальные и настраиваемые конструкционные материалы</p>		<p>Разработка композиционных материалов с адаптацией к внешним воздействиям (термическим и механическим нагрузкам и др.)</p> <p>Разработка материалов, обладающих памятью и восстанавливающих первоначальную форму при термическом или химическом воздействии</p> <p>Разработка самовосстанавливающихся материалов</p> <p>Разработка материалов с интегрированными в структуру оптоволоконными и электрическими элементами, обладающих функциями самодиагностики и беспроводного мониторинга напряженно-деформированного состояния</p> <p>Разработка материалов с интегрированными в структуру пьезоэлектрическими актуаторными элементами, способных адаптироваться к внешним воздействиям, в том числе изменять размеры, форму и свойства</p> <p>Разработка высокодеформативных материалов, обладающих функциями «самозалечивания», в том числе с многомерным армированием</p>
<p>Связующие материалы</p>		<p>Разработка связующих материалов, служащих интегрирующей основой для создания конструкционных многофункциональных материалов</p>
<p>Сенсорные материалы</p>		<p>Разработка наноматериалов для миниатюрных высокочувствительных хемосенсоров с высокой селективностью</p> <p>Разработка сенсорных материалов с фрагментами биологических структур, биосенсоров, биочипов и гибридных датчиков на их основе, нейробиоинтерфейсов</p>
<p>Материалы с особыми электромагнитными свойствами</p>		<p>Разработка углеродных структур для наноэлектроники</p> <p>Разработка органических высокомолекулярных электропроводящих полимеров, в том числе со смешанной (электронно-ионной) проводимостью</p>



(продолжение)

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
		<p>Разработка сверхпроводящих материалов, в том числе высокотемпературных</p> <p>Разработка наноматериалов для нового поколения электрохимических источников тока</p> <p>Разработка функциональных нанокристаллических покрытий со специальными электрическими и магнитными свойствами</p> <p>Разработка материалов для защиты от вибрационных, акустических и электрических воздействий, снижения уровня видимости в оптическом и радиодиапазонах</p> <p>Разработка магнитных наноструктур, в том числе молекулярных и магнитных наноматериалов</p> <p>Разработка магнитно-активируемых, магнитоуправляемых материалов и магнитореологических жидкостей</p>
Каталитические материалы		<p>Разработка катализаторов для процессов переработки углеводородного сырья и повышения качества производимых моторных топлив</p> <p>Разработка наноструктурированных и наноразмерных катализаторов для нефтехимических процессов, включая переработку тяжелых нефтяных остатков и высоковязкой нефти</p> <p>Разработка каталитических процессов конверсии природного и попутных газов нефтедобычи в жидкое топливо, водород и ценные органические продукты</p> <p>Разработка каталитических методов переработки возобновляемого сырья (биогаза и биомассы) в ценные органические продукты</p> <p>Разработка принципов проведения каталитических процессов для переработки органического сырья</p>
Материалы с особыми оптическими свойствами		<p>Разработка материалов для органических светодиодов, гибких солнечных батарей, дисплеев и световых накопителей</p> <p>Разработка люминесцентных материалов, активированных ионами редкоземельных и переходных металлов</p> <p>Разработка светоизлучающих наноструктур, в том числе квантовых, для лазеров и люминесцирующих устройств</p> <p>Разработка наноструктурированных оптических волокон и световодов, в том числе брэгговских решеток, фотонных структур</p> <p>Разработка наноструктурированных жидкокристаллических материалов</p> <p>Разработка покрытий, изменяющих светопоглощение, электропроводность под внешним воздействием</p>



(окончание)

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Мембранные материалы		Разработка мембранных материалов, мембранных реакторов и процессов мембранного катализа для производства ценных химических продуктов
		Разработка наноструктурированных мембран с улучшенными транспортными свойствами и устройств на их основе для очистки и разделения газовых и жидких сред
		Разработка наноматериалов на основе гибридных мембран и биметаллических катализаторов для топливных элементов

3.2. Гибридные материалы, конвергентные технологии, биомиметические материалы и материалы медицинского назначения

Ожидаемые результаты заделных исследований:


- костные импланты на основе биорезорбируемых нанокерамик и биокompозитов, представляющие материал для достраивания живых тканей организма, заполнения костных дефектов и др.;
- создаваемые с использованием биосовместимых нанокompозитов на основе нанопористых соединений средства направленной доставки лекарств и воздействия на онкологические новообразования;
- нанокompозиты на основе плазмидных ДНК и интерферирующих РНК для направленной доставки генетического материала;
- устройства для прямого считывания последовательности нуклеотидов, изготовленные с использованием наноструктурированной поверхности.

Табл. 4. Перспективные направления заделных исследований в тематической области «Гибридные материалы, конвергентные технологии, биомиметические материалы и материалы медицинского назначения»

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Гибридные материалы и конвергентные технологии		Разработка принципов, методов и технологий создания гибридных материалов, структур, устройств и систем, гибридной компонентной базы (биочипов, детекторов, актюаторов), гибридной сенсорики (микрофлюидики, нанохемосенсоров, биоподобных бионических сенсоров, сенсорных платформ)
		Разработка принципов, методов и технологий создания синтетических (искусственных) биологических и биоподобных структур, устройств и систем (белков, белковых комплексов, искусственной клетки, «лечащего» вируса)
		Создание нейробиоинтерфейсов, биоподобных и антропоморфных технических устройств и систем, в том числе робототехнических
		Разработка новых методов синхротронно-нейтронной диагностики неорганических, органических, гибридных и биоподобных материалов и структур



(окончание)


Области задельных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Биомиметические материалы и материалы медицинского назначения		<p>Разработка материалов для устройств и технологий стимуляции центральной нервной системы</p> <p>Разработка материалов с особыми функциональными свойствами для систем инвазивной и неинвазивной диагностики</p> <p>Разработка биокompозитов и покрытий на основе полимеров, наноструктурированных углеродных, керамических, металлических и полимерных материалов, биоактивных стекол</p> <p>Разработка биорезорбируемых материалов для костных и зубных имплантов</p> <p>Разработка имплантируемых биodeградируемых и трансдермальных систем с контролируемым высвобождением лекарственных веществ</p> <p>Разработка материалов для нанокапсулирования и адресной доставки лекарств, активных веществ и генетического материала</p> <p>Разработка систем с высокой адгезией к различным субстратам, в том числе биологическим, для использования в качестве защитных покрытий, упаковок, повязок на раны и ожоги, систем доставки лекарственных веществ и др.</p>

3.3. Компьютерное моделирование материалов и процессов

Ожидаемые результаты задельных исследований:

- новые концепции и программы предсказательного многомасштабного моделирования материалов и процессов (включая проверку расчетов на массиве экспериментальных данных);
- новые методы многопараметрического расчета сложных систем, обладающих биологическими свойствами и созданных на основе биохимически активных материалов, интеллектуальные материалы для «умных» конструкций и др.

Табл. 5. Перспективные направления задельных исследований в тематической области «Компьютерное моделирование материалов и процессов»

Области задельных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Компьютерное моделирование материалов и процессов		<p>Моделирование структуры и свойств материалов как функции их состава и организации с выходом на функциональные и конструкционные свойства материалов</p> <p>Моделирование процессов роста, агрегации, самосборки и самоорганизации наноматериалов и супрамолекулярных систем</p> <p>Моделирование процессов химического осаждения тонких пленок и покрытий из газовой и жидкой фаз</p>



(окончание)

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
		<p>Моделирование процессов переноса в нанопористых материалах и мембранах</p> <p>Моделирование процессов переноса заряда и энергии в наноструктурированных материалах, в том числе многослойных</p> <p>Моделирование рецепторных систем, молекул и препаратов, обладающих биологической активностью</p> <p>Моделирование новых комплексных систем с использованием самоорганизующихся соединений и наноструктур в целях создания интеллектуальных материалов для «умных» конструкций</p> <p>Моделирование новых материалов искусственного и синтетического происхождения, воспроизводящих отдельные функции биологических объектов</p> <p>Моделирование нано-, био-, инфо- и когнитивных технологий</p>

3.4. Диагностика материалов

Ожидаемые результаты заделных исследований:

- перспективные диагностические системы;
- конкурентоспособные технологии, обеспечивающие высокую информативность и достоверность результатов, полученных в ходе исследования внутренней структуры объектов;
- новые концепции контроля состояния сложных систем в ходе физических и химических процессов;
- новые системы визуализации поверхности материалов с атомным разрешением.

Табл. 6. Перспективные направления заделных исследований в тематической области «Диагностика материалов»

Области заделных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
Диагностика материалов		<p>Разработка применяемых для диагностики материалов перспективных технологий, основанных на принципах взаимодействия физических полей и обеспечивающих высокую информативность и достоверность результатов исследования объектов</p> <p>Разработка неразрушающих методов исследования материалов и процессов в режимах <i>in situ</i> и <i>operando</i> (синтез, включая процессы самосборки; модификация и перестройка наночастиц; деградация; химические процессы, протекающие с участием наночастиц, и др.)</p> <p>Разработка методов визуализации нанообъектов (атомно-силовая, сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия)</p>



(окончание)

Области задельных исследований	Уровень ИиР	Приоритеты ИиР
		<p>Разработка методов исследования поверхности наночастиц и наноматериалов (дифракция быстрых и медленных электронов, рентгеновская фотоэлектронная, оже-спектроскопия)</p> <p>Разработка специальных методов локального определения химического состава материалов, включая наноматериалы</p>

Список литературы

- Адамов Д. Ю., Адамов Ю. Ф., Амелин Д. В.* (2010) Наногетероструктуры в сверхвысокочастотной полупроводниковой электронике. М.: Техносфера.
- Апокин А. Ю., Белоусов Д. Р.* (2009) Сценарии развития мировой и российской экономики как основа для научно-технологического прогнозирования // Форсайт. Т. 3. № 3. С. 12–29.
- Бхушан Б.* (2010) Справочник Шпрингера по нанотехнологиям. М.: Техносфера.
- Борисенко В. Е., Воробьева А. И., Уткина Е. А.* (2009) Нанозлектроника. М.: Бином.
- Валиев Р.З.* (2006) Создание наноструктурированных металлов и сплавов с уникальными свойствами, используя интенсивные пластические деформации // Российские нанотехнологии. Т. 1. № 1–2. С. 208–216.
- Ван Рай В.* (2012) Зарождающиеся тенденции и «джокеры» как инструменты формирования и изменения будущего // Форсайт. Т. 6. № 1. С. 60–73.
- ВИАМ (2012) История авиационного материаловедения / под. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ.
- Волков В. В., Мчедlishvili Б. В., Ролдугин В. И., Иванчев С. С., Ярославцев А.Б.* (2008) Мембраны и нанотехнологии // Российские нанотехнологии. Т. 3. № 11–12. С. 67–99.
- Горынин И. В.* (2007) Исследования и разработки ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» в области конструкционных наноматериалов // Российские нанотехнологии. Т. 2. № 3–4. С. 36–57.
- Гохберг Л. М., Кузнецова Т. Е.* (2011) Стратегия-2020. Новые контуры российской инновационной политики // Форсайт. Т. 5. № 4. С. 8–31.
- Гридчин В. А., Драгунов В. П., Неизвестный И. Г.* (2006) Основы нанозлектроники. М.: Логос.
- Демонис И. М., Петрова А. П.* (2011) Материалы ВИАМ в космической технике // Все материалы. Энциклопедический справочник. № 6. С. 2–9.
- Елисеев А. А., Лукашин А. В.* (2010) Функциональные наноматериалы. М.: Физматлит.
- Кавалейро А., де Хоссон Д.* (2011) Наноструктурные покрытия. М.: Техносфера.
- Карасев О. И., Вишнеvский К. О.* (2010) Прогнозирование развития новых материалов с использованием методов Форсайта // Форсайт. Т. 4. № 2. С. 58–67.
- Карасев О. И., Соколов А. В.* (2009) Форсайт и технологические дорожные карты для нанопромышленности // Российские нанотехнологии. Т. 4. № 3–4. С. 8–15.
- Кильдишев А. В., Шалаев В. М.* (2011) Трансформационная оптика и метаматериалы // Успехи физических наук. Т. 181. С. 59–70.
- Ковальчук М. В.* (2010) Идеология нанотехнологий. М.: ИКЦ «Академкнига».
- Колесов С. Н., Колесов И. С.* (2007) Материаловедение и технология конструкционных материалов. М.: Высшая школа.



- Лякишев Н.П., Алымов М.И. (2006) Наноматериалы конструкционного назначения // Российские нанотехнологии. Т. 1. № 1–2. С. 71–81.
- Мальцев П. П. (2008) Нанотехнологии. Наноматериалы. Наносистемная техника: мировые достижения за 2008 год. М.: Техносфера.
- Мартинес-Дуарт Дж.М., Мартин-Палма Р. Дж., Азулло-Руеда Ф. (2009) Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники. М.: Техносфера.
- Мембраны и мембранные технологии (2013) / Отв. ред. А.Б. Ярославцев. М.: Научный мир.
- Минобрнауки России (2008а) Долгосрочный прогноз научно-технологического развития Российской Федерации (до 2025 года).
- Минобрнауки России (2008b) Разработка прогноза долгосрочного научно-технологического развития ключевых секторов российской экономики на период до 2030 года.
- Носков Р. Е. (2011) Метаматериалы: от левосторонних сред к нелинейной плазмонике. Lambert Academic Publishing.
- НИУ ВШЭ (2013) Долгосрочные приоритеты прикладной науки в России. М.: НИУ ВШЭ.
- Олейников В.А., Суханова А.В., Набиев И.Р. (2007) Флуоресцентные полупроводниковые нанокристаллы в биологии и медицине // Российские нанотехнологии. Т. 2. № 1–2. С. 160–173.
- Перечень критических технологий Российской Федерации. Утвержден Указом Президента Российской Федерации от 7.07.2011 г. № 899.
- Послание Президента Российской Федерации Федеральному Собранию (2012) Официальный сайт Администрации Президента Российской Федерации. 12 декабря. <http://kremlin.ru/news/17118> (дата обращения: 03.02.2014).
- Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации. Утверждены Указом Президента Российской Федерации от 7.07.2011 г. № 899.
- Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года. Утвержден Председателем Правительства Российской Федерации (№ ДМ-П8-5 от 3 января 2014 г.).
- Лул Ч., Оуэнс Ф. (2009) Нанотехнологии. М.: Техносфера.
- Рахман Ф. (2010) Наноструктуры в электронике и фотонике. М.: Техносфера.
- Русалов М.В., Ужинов Б.М., Алфимов М.В., Громов С.П. (2010) Фотоиндуцированная координация катионов металлов в комплексах с хромогенными краун-эфирами // Успехи химии. Т. 79. № 12. С. 1193–1217.
- Совещание с вице-преьерами: о прогнозе научно-технологического развития России на период до 2030 года; о кредитных рейтингах регионов (2014) Официальный сайт Правительства Российской Федерации. 20 января. http://government.ru/vice_news/9809 (дата обращения: 04.02.2014).
- Соколов А. В. (2007) Метод критических технологий // Форсайт. Т. 1. № 4. С. 64–74.
- Соколов А. В. (2009) Будущее науки и технологий: результаты исследования Дельфи // Форсайт. Т. 3. № 3. С. 40–58.
- Соколов А. В., Чулок А. А. (2012) Долгосрочный прогноз научно-технологического развития России на период до 2030 года: ключевые особенности и первые результаты // Форсайт. Т. 6. № 1. С. 12–25.



- Стуканов В. А. (2011) *Материаловедение*. М.: Форум.
- Третьяков Ю. Д. (2010) *Нанотехнологии*. М.: Физматлит.
- Третьяков Ю. Д., Гудилин Е. А. (2009) Основные направления фундаментальных и ориентированных исследований в области наноматериалов // *Успехи химии*. Т. 78. С. 867–888.
- Ушаков Е. Н., Алфимов М. В., Громов С. П. (2008) Принципы дизайна оптических молекулярных сенсоров и фотоуправляемых рецепторов на основе краун-эфиров // *Успехи химии*. Т. 77. № 1. С. 39–59.
- Фостер Л. (2008) *Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности*. М.: Техносфера.
- Хаджиев С. Н. (2011) Наногетерогенный катализ – новый сектор нанотехнологий в химии и нефтехимии // *Нефтехимия*. Т. 51. № 1. С. 3–16.
- Ханнинк Р., Хилл А. (2009) *Наноструктурные материалы* // М.: Техносфера.
- Хокава М., Ноги К., Наито М., Йокояма Т. (2013) *Справочник по технологии наночастиц*. М.: Научный мир.
- Чулок А. А. (2009) Прогноз перспектив научно-технологического развития ключевых секторов российской экономики: будущие задачи // *Форсайт*. Т. 3. № 3. С. 30–36.
- Ярославцев А. Б., Никоненко В. В. (2009) Ионообменные мембранные материалы: свойства, модификация и практическое применение // *Российские нанотехнологии*. Т. 4. № 3. С. 44–65.
- Amanatidou E. (2011) Grand challenges – a new framework for foresight evaluation. EU-SPRI conference papers. Manchester. 20–22 September.
- APEC (2004) *Nanotechnology Foresight in Asia-Pacific*. Bangkok: The APEC Center for Technology Foresight.
- ATSE (2008) *Energy and Nanotechnologies: Strategy for Australia's Future*. Melbourne: Australian Academy of Technological Sciences and Engineering.
- Battelle (2011) 2012 Global R&D Funding Forecast. http://battelle.org/docs/default-document-library/2012_global_forecast.pdf (дата обращения: 05.03.2014).
- Cagnin C., Amanatidou E., Keenan M. (2012) Orienting European Innovation Systems towards Grand Challenges and the Roles that FTA Can Play // *Science and Public Policy*. Vol. 39 (2). P. 140–152.
- European Commission (2006) *Roadmaps at 2015 on Nanotechnology Application in the Sectors of Materials, Health & Medical Systems, Energy*. Roma: AIRI / Nanotec IT.
- European Commission (2009) *Nanosciences and Nanotechnologies: An action plan for Europe 2005–2009. Second Implementation Report 2007–2009*. Brussels: Commission of the European Communities. <http://cordis.europa.eu/nanotechnology/actionplan.htm> (дата обращения: 16.04.2014).
- European Commission (2010a) *European Forward Looking Activities. EU Research in Foresight and Forecast*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- European Commission (2010b) *Facing the future: time for the EU to meet global challenges*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Foresight Horizon Scanning Centre / Government Office for Science (2010) *Technology and Innovation Futures: UK Growth Opportunities for the 2020s*. London. <http://www.bis.gov.uk/foresight> (дата обращения: 05.03.2014).
- Future Markets (2013a) *Nanocoatings: The Global Market to 2020*.
- Future Markets (2013b) *The Global Nanotechnology and Nanomaterials Industry: Stage of Development, Global Activity and Market Opportunities*.



GAO (2014) Nanomanufacturing: Emergence and Implications for U.S. Competitiveness, the Environment, and Human Health. Washington: United States Government Accountability Office. <http://www.gao.gov/assets/670/660591.pdf> (дата обращения: 25.02.2014).

Georghiou L., Cassingena Harper J., Keenan M., Miles I., Popper R. (eds.) (2008) The Handbook of Technology Foresight: Concepts and Practice. Cheltenham: Edward Elgar.

Haegeman K., Scapolo F., Ricci A., Marinelli E., Sokolov A. (2013) Quantitative and qualitative approaches in FTA: from combination to integration? // Technological Forecasting & Social Change. Vol. 80. P. 386–397.

Loveridge D., Georghiou L., Nedeva M. (1995) United Kingdom Foresight Programme. PREST. University of Manchester.

Lu M., Tegart G. (2008) Energy and Nanotechnologies: Strategies for Australia's Future. Melbourne: Australian Academy of Technological Sciences and Engineering.

Meissner D., Gokhberg L., Sokolov A. (eds.) (2013) Science, Technology and Innovation Policy for the Future. Potentials and Limits of Foresight Studies. New York, Dordrecht, London, Heidelberg: Springer.

NIC (2012) Global Trends 2030: Alternative Worlds. December 2012. The National Intelligence Council.

NISTEP (2005) The 8th Science and Technology Foresight Survey: Delphi Analysis. NISTEP report № 97. Tokyo: NISTEP.

NISTEP (2010a) Contribution of Science and Technology to Future Society. Tokyo: NISTEP. http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/eng/rep140e/pdf/rep140e_overview.pdf (дата обращения: 18.02.2014).

NISTEP (2010b) Future Scenarios Opened up by Science and Technology (Summary). Tokyo: NISTEP. <http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/11035/676/1/NISTEP-NR141-SummaryE.pdf> (дата обращения: 18.02.2014).

NISTEP (2010c) The 9th Science and Technology Foresight – Contribution of Science and Technology to Future Society. NISTEP report № 140. Tokyo: NISTEP.

NSTC (2011) The National Nanotechnology Initiative. Strategic Plan. Washington: National Science and Technology Council. <http://www.nano.gov/node/581> (дата обращения: 17.04.2014).

OECD (2010) The OECD Innovation Strategy. Getting a Head Start on Tomorrow. Paris: OECD.

OECD (2011) OECD Reviews of Innovation Policy: Russian Federation. Paris: OECD.

OECD (2012a) Looking to 2060: Long-term global growth prospects. OECD Economic Policy Papers. № 3.

OECD (2012b) OECD Innovation Strategy. Paris: OECD. <http://www.oecd.org/site/innovation-strategy> (дата обращения: 01.02.2014).

OECD (2013a) Nanotechnology for Green Innovation. Paris: OECD. [http://search.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?cote=DSTI/STP/NANO\(2013\)3/FINAL&docLanguage=En](http://search.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?cote=DSTI/STP/NANO(2013)3/FINAL&docLanguage=En) (дата обращения: 25.02.2014).

OECD (2013b) Responsible Development of Nanotechnology. Paris: OECD. [http://search.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?cote=dsti/stp/nano\(2013\)9/final&doclanguage=en](http://search.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?cote=dsti/stp/nano(2013)9/final&doclanguage=en) (дата обращения: 25.02.2014).

PWC (2012) Technology Forecast 2012 // Quarterly Journal. Iss. 2. https://www.pwc.in/assets/pdfs/industries/technology/business-value-of-apis-ny-12-0799-TFQ-2012-issue-2_v12India_rev3.pdf (дата обращения: 06.03.2014).



RAND (2006) The Global Technology Revolution 2020: In-Depth Analysis. Technical Report. Santa Monica, Arlington, Pittsburg: RAND Corporation.

Resnik Institute (2011) Critical Materials for Sustainable Energy Application. Pasadena, CA: California Institute of Technology.

Sokolova A., Makarova E. (2013) Integrated Framework for Evaluation of National Foresight Studies // Science, Technology and Innovation Policy for the Future: Potentials and Limits of Foresight Studies / Eds. D. Meissner, L. Gokhberg, A. Sokolov. New York, Dordrecht, London, Heidelberg: Springer. P. 11–30.

UNIDO (2005) UNIDO Technology Foresight Manual. Vienna: UNIDO.

**Прогноз научно-технологического
развития России: 2030.
Новые материалы и нанотехнологии**

Редактор *М.Ю. Соколова*

Художник *П.А. Шелегеда*

Компьютерный макет:

О.Г. Егин, В.В. Пучков

Подписано в печать 26.06.2014.
Формат 60×90 ¹/₈. Печ. л. 6.0.
Тираж 400 экз. Заказ № 460.

Отпечатано в ООО «Верже-РА»
127055, Москва, Новослободская ул., 31, стр. 4–11

По вопросам приобретения книги обращаться
в Институт статистических исследований
и экономики знаний НИУ ВШЭ
101000, Москва, Мясницкая ул., 20
Тел.: 8 (495) 621-28-73, факс: 8 (495) 625-03-67
<http://issek.hse.ru>
E-mail: issek@hse.ru