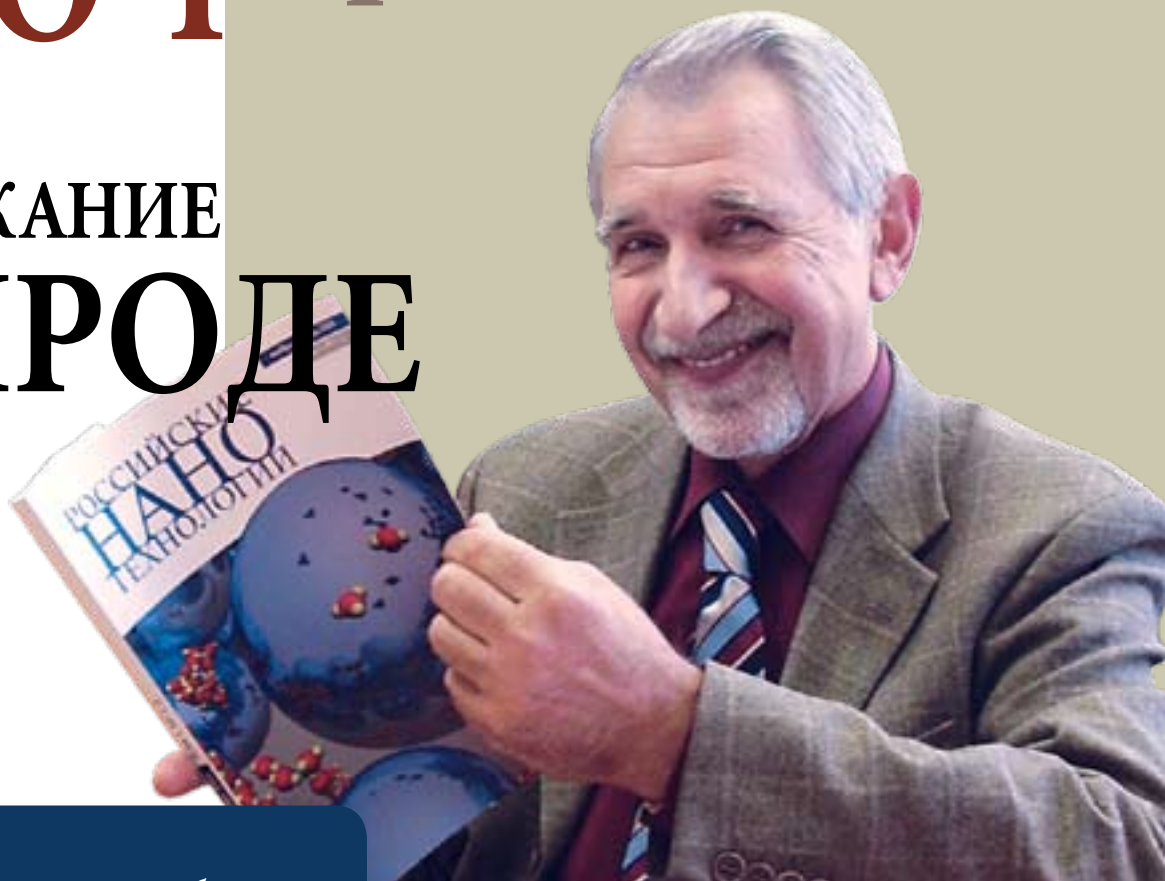


КЛЮЧ к развитию:

ПОДРАЖАНИЕ ПРИРОДЕ



По прогнозам экспертов, глобальный рынок нанотехнологий к 2008 году возрастет до 700 млрд долл. и к 2015 году – до 1–2 трлн долл. *

В 2004 году в сектор нанотехнологий за рубежом было вложено более 10 млрд долл., а программы по нанотехнологиям действовали в 51 стране мира. *

Седьмая Рамочная программа ЕС до 2013 года, в которой активно участвует и Россия, предусматривает суммарный бюджет на развитие нанотехнологий в объеме 4.87 млрд евро.

* Министерство образования и науки Российской Федерации. Программа развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий и наноматериалов до 2015 года, 2006. www.mon.gov.ru/work/nti/dok/nano.doc.

«Сейчас мы на том уровне развития нанотехнологий, который позволяет лишь улучшать характеристики существующих материалов, но не придавать им качественно новые свойства.

Настоящий же прорыв свершится тогда, когда мы научимся делать то, что делает природа, а именно – создавать искусственные материалы со сложной иерархической структурой», – считает наш собеседник, директор Центра фотохимии Российской академии наук, академик РАН Михаил Владимирович АЛФИМОВ.

– **Михаил Владимирович, какие глобальные тренды, на ваш взгляд, будут определять развитие нанотехнологий в обозримом будущем?**

– Я бы выделил два таких тренда. Первый, и главный, может быть обозначен как постепенная индивидуализация общества. Он заключается в росте персонализированного спроса на товары и услуги. Например, в медицине этот тренд проявится в том, что лекарства будут создаваться по индивидуальному заказу, под потребности организма каждого конкретного пациента.

Второй тренд можно обозначить так: с каждым годом растет количество инновационных продуктов, которые формируют качественно новый уровень жизни. Как следствие, повышается спрос на подобные предложения, причем потребители ждут индивидуализированных разработок. С течением времени класс потребителей с таким уровнем требований будет расширяться.

– **Приведут ли данные тенденции к усложнению самого производства?**

– Логика развития цивилизации такова, что растут не только потребности в новых благах, но и ожидания от уже существующих. Естественно, производственный сектор должен отвечать на запрос, так что его усложнение вполне закономерно.

Сегодня ни состояние нашей промышленности, ни используемые технологии не позволяют адекватно отреагировать на меняющийся спрос. Но задачу-то решать необходимо. Интересно, что новые технологические решения подсказываются самой природой – естественным источником огромного разнообразия. И речь идет не только о живых видах, но и о материалах. Причем природе для достижения «естественного многообразия», назовем эту ее способность так, вовсе не требуется вся таблица Менделеева. Ей достаточно и четырех основных строевых элементов: углерода, кислорода, азота и водорода. В результате их комбинирования формируется богатейший мир веществ, а он, в свою очередь, становится той базой, которая позволяет создавать великое множество новых материалов.

В природе не существует даже двух совершенно идентичных организмов. То есть она изначально «заточена» под уникальность и знает, как создавать разнообразие. Нам надо познать естественные «технологии» и принципы. Сейчас, глядя на биоматериалы, мы уже можем сказать, что природа строит так называемый иерархически организованный материал. Возьмем, к примеру, сетчатку глаза, обеспечивающую нам зрение. Ясно, что глаз представляет собой сложное устройство, в котором сетчатка – своеобразный фотоэлемент, реагирующий на свет. Очевидно и то, что последняя является сложной структурой, состоящей из светочувствительных клеток – палочек и колбочек. В основе же этого материала заложена некая молекула, воспринимающая свет, а она идентична для всех живых существ, способных реагировать на него. Как видим, природа может строить разнообразные зрительные системы, опираясь

только на одну химическую структуру за счет, например, варьирования строения и химического состава на следующем уровне иерархии – на уровне пигмента.

Таким образом, из одного универсального строевого элемента получается бесконечное множество уникальных результатов. Именно этому нам и нужно научиться.

Ключевой строевой элемент мы уже постигли – это наноструктура. Даже незначительно варьируя ее размер, форму, состав, можно коренным образом изменять свойства материала – формировать многообразие. Теперь нам необходимо научиться строить иерархические архитектуры. Освоив этот процесс, мы сможем создавать самые разные новые материалы.

– **Насколько мы продвинулись в этом направлении?**

– Пока мы находимся на самом начальном этапе – манипулируя атомами и молекулами, создаем наночастицы и вводим их в некие матрицы. Это позволяет производить материалы с заданными свойствами, уже получившие промышленное распространение. К примеру, есть много текстильных материалов, на нити которых иммобилизуются наночастицы, что придает ткани бактерицидные и грязеотталкивающие свойства. Да, мы умеем улучшать характеристики существующих материалов, но не умеем пока придавать им качественно новые свойства.

Настоящим же прорывом станет тот момент, когда человечество научится создавать искусственные материалы со сложной иерархической структурой. Разница в том, что природа создает естественное разнообразие, а человек – искусственное. Это в корне изменит уклад промышленности, выведет технологии на принципиально новый уровень, предоставит массу преимуществ в существующих отраслях и породит новые.

Так, в медицине удастся решить одну из «задач века»: наладить процесс замены проблемных человеческих органов искусственно выращенными, не отторгаемыми организмом имплантатами. Работа над созданием искусственных кровеносных сосудов идет полным ходом. Попутно приходится решать еще одну задачу – как не допустить сворачивания крови на стенках сосуда. Решением станут углеродные наночастицы, которые будут покрывать стенки сосуда и тем самым препятствовать сворачиванию крови.

В медицине, надо заметить, нанотехнологии найдут и другие применения. Недавно появилось новое направление – «нанобиотехнологии», поднимающее методы диагностики на качественно новый уровень. Станут возможными контроль здоровья человека по запаху и целенаправленная доставка лекарств к больным органам.

Нанотехнологии предлагают и другой вид диагностики – при помощи сенсоров, интегрированных в одежду. Посредством миниатюрной радиостанции такие сенсоры дистанционно передадут на компьютер врача информацию о самочувствии человека по ряду параметров. Появятся и системы, в которых «аналитическим центром» выступит мобильный телефон, что

позволит пациенту самостоятельно контролировать свое здоровье. Но это лишь самые первые и понятные решения в применении нанотехнологий.

– Можно ли сегодня говорить о том, что в России сложилась некая концепция развития nanoотрасли?

– Правильнее сказать – в настоящее время такая концепция формируется. Пока определились только с двумя ее ключевыми аспектами. Во-первых, это элементы, на основе которых возможно выстроить инновационную систему nanoотрасли, во-вторых, ее ориентиры, то есть сектора, в которых нанотехнологии найдут свое рыночное применение.

Прежде всего к ним относятся те сферы, которые определены правительством в качестве приоритетных направлений. Помимо медицины, следует упомянуть энергетику. Здесь в результате применения нанотехнологий будут созданы новые материалы и способы производства электроэнергии. Кроме того, повысится КПД при генерации и передаче энергии.

Следующее приоритетное направление – производство аэрокосмической техники и другое машиностроение высочайшего класса. И, конечно же, – экология. Развитие нанотехнологий даст возможность создать

эффективные решения по контролю за состоянием окружающей среды и компенсации ущерба, наносимого деятельностью человека. В частности, они позволят создать различные сенсорные системы, предоставляющие возможность контролировать летучие вещества в любом месте и делать оперативные полевые анализы.

Нанотехнологии найдут широкое применение и в области живых систем, которые также включены в перечень приоритетных направлений и, соответственно, в Федеральную целевую программу по исследованиям и разработкам до 2012 года.

– Что вы можете сказать о формировании инновационной системы в сфере нанотехнологий?

– Об инновационной системе в этой сфере в России говорить преждевременно, она еще не сложилась, как, впрочем, и национальная инновационная система в целом. Для начала необходимо создать определенные подсистемы, которые обеспечат эффективные механизмы коммерциализации идей, так как сама коммерциализация представляет собой конечный этап длительного и сложного инновационного процесса.

В сфере нанотехнологий для формирования инновационных подсистем будут задействованы два программных механизма. Первый – упомянутая Федеральная целевая программа, второй – новая, недавно принятая, инфраструктурная программа. Последняя предполагает создание инфраструктуры на основе

15–17 центров, которым будут выделены средства на закупку оборудования, строительство специальных помещений и другие соответствующие цели. Кроме того, данная программа предусматривает подготовку кадров, стандартизацию, метрологию; другими словами, все необходимое для полноценного функционирования nanoиндустрии.

Институциональным механизмом коммерциализации станет формируемая в данное время Российская корпорация нанотехнологий (Нанокорпорация), ориентированная исключительно на внутрироссийские разработки. Вероятно, одним из направлений ее деятельности будет реализация разработок.

– Опыт других стран при выстраивании такой концепции учитывался?

– Безусловно, ведь у каждой страны есть свой позитивный опыт, в той или иной степени он применим и к России. США и Европа формировали инновационную систему достаточно долго, причем она у них гораздо сложнее той, что создаем мы. Но есть и пример Южной Кореи, где основную роль сыграли крупные корпорации при активном участии государства, помогавшего бизнесу развивать определенные области.

Нанокорпорация будет аккумулировать значительные финансовые ресурсы, которые предстоит распределять по тем приоритетным сегментам, где ожидаются конкретные результаты. Это означает, что хотя спектр применения нанотехнологий достаточно широк, все же сформулированный перечень приоритетов задает рамки специализации нашей страны.

Возвращаясь к вопросу о международном опыте, хочу заметить, что Россия будет использовать тот опыт, который ментально нам ближе всего. В советские времена практиковалась централизованная система, к которой мы привыкли. Она помогала решать масштабные задачи за счет жесткой концентрации ресурсов. В сегодняшних условиях Нанокорпорация становится инструментом такой консолидации по аналогии с другими отраслевыми корпорациями – судостроительной, атомной и т.д.

В целом функции между упомянутыми структурами распределены следующим образом: Федеральная программа ориентирована на разработку идей и доведение их до опытных образцов, а Нанокорпорация – на промышленное производство и рыночную реализацию наиболее эффективных из них.

– Развитие нового масштабного направления, как правило, требует подготовленных кадров. Как решается этот вопрос?

– Кадры – актуальная проблема не только для России, но и для всего мира. Сегодня острый дефицит со-

Новые технологические решения подсказываются самой природой – естественным источником огромного разнообразия.

ответствующих специалистов ощущается во всех странах, и мы не исключение.

Как будет решаться задача подготовки кадров? Помимо упомянутых выше научно-технологических центров инфраструктурной программой определены более десяти вузов, которые в состоянии готовить соответствующие кадры для приоритетных сегментов нанотехнологий. Но, поскольку нанотехнологии – новая культура, специалисты, полагаю, будут готовиться в большинстве вузов. Сегодня весь мир поступает таким образом.

Работать на всех направлениях сразу невозможно. Даже крупнейшие компании начинают концентрироваться на определенных сегментах. К примеру, компания Philips, выбирая узкую сферу, формирует команды соответствующих специалистов, разрабатывает механизмы привлечения профессионалов из самых разных стран и секторов.

Наносфера, как и любая другая междисциплинарная область, имеет довольно сложную структуру. В ней должны быть объединены многие специалисты из различных областей науки. Такая структура подобна древнегреческой академии наук, но качественно иного

уровня. Древнегреческих ученых правильнее называть естествоиспытателями. Объем накопленных в то время знаний позволял им одновременно заниматься целым рядом дисциплин. По мере увеличения базы знаний происходило разделение на специализации. Сегодня же необходима интеграция специалистов из различных областей науки для формирования своеобразного универсального коллективного разума, способного решать сверхсложные задачи.

Как я уже говорил, нам предстоит научиться производить искусственные материалы по образцу природных процессов. А поскольку природа по своей сути междисциплинарна, стало быть, и нам для того, чтобы создать материал новой природы с высокими характеристиками, необходимо собрать самых разных специалистов. В результате получаем сложный механизм.

– Как создается добавленная стоимость в наноиндустрии? Можно ли говорить, что эта цепочка уже сложилась от первого до последнего звена – от идеи до готового продукта?

– Зарождающаяся в России нанотехнологическая инновационная система предполагает нескольких основных игроков и инструментов. Во-первых, это головная организация по нанотехнологиям – Российский научный центр «Курчатовский институт». Его задача – разрабатывать стратегию и выбирать сегменты, опи-

раясь на понимание научно-технического прогресса и достижения науки, формировать идеологию. Министерства отвечают собственно за разработки, а Нанокорпорация – за их превращение в продукт и его вывод на рынок. Последняя станет консолидирующим центром, поскольку она выходит на рынок и знает спрос.

При любом новом начинании, а тем более таком масштабном, всегда существуют неопределенности. Сегодня мы понимаем – куда идти, но не до конца понимаем, с кем идти и как быстрее двигаться. Основные инструменты управления созданы, осталось определить принципы формирования команд, программы и график их работ. Варианты создания междисциплинарных команд уже имеются, но они требуют тщательного анализа.

Традиционно практика исследований и разработок следующая: после нескольких лет инвестирования они должны трансформироваться в инновационный

продукт, под который подготовлено соответствующее производство, иначе существует риск, что проект окажется на полке. Ключевое условие успешной реализации нанопроектов – командная работа. И даже не на национальном, а на транснациональном уровне. Общий тренд сегодня состоит в том, что происходит международная интеграция исследо-

ваний. Ведь отдельная страна не в состоянии решать проблемы такого уровня сложности. Потому и необходимо объединять усилия, формировать команды лучших из лучших, а главное – постигать философию командной работы.

– Существует ли конкуренция на столь сложном поле?

– Конкуренция в области нанотехнологий имеет совершенно иную природу, чем в обычной бизнес-среде. На данном этапе из-за сложности решаемых задач и дефицита специалистов соперничество между проектами в наносфере не представляется целесообразным. Вместо этого следует организовать в каждом сегменте нанотехнологий один масштабный проект, за право участия в котором и должны состязаться специалисты. Со временем можно перейти и к соревнованию между проектами, но пока конкуренция за квалифицированные кадры куда более значима. И опыт других стран в объединении усилий вокруг одного проекта уже доказал свою продуктивность.

Нанотехнологии, подчеркну еще раз, требуют консолидации на масштабных целях и соответствующих им проектах. А мы за последние пятнадцать лет этот опыт практически утратили.

Сегодня государство выступает в качестве заказчика и координатора нанотехнологий, следовательно,

Сегодня необходима интеграция специалистов из различных областей науки для формирования своеобразного универсального коллективного разума, способного решать сверхсложные задачи.

оно устанавливает правила игры на этом поле. Мы не в состоянии вести исследования высокого уровня по всем направлениям, поэтому их необходимо выбирать по приоритетам. В этом смысле можно говорить, что государство продвигает консолидирующий подход.

– **Вследствие такой концентрации ресурсов, не пострадают ли другие важные для России научно-технологические направления: и те, по которым у нас есть заделы, и те, по которым мы заметно отстаем?**

– Государство определяет приоритеты, переоценивается ресурсная база для их развития, меняются требования к кадрам. Какие-то специалисты будут вынуждены сменить профессию, ориентируясь на обозначенные приоритеты. А некоторые специальности и направления просто отомрут, поскольку утратят свою актуальность. Это объективный процесс. Не следует его описывать в терминах «пострадают». Скорее, стоит говорить о реструктурировании отраслей занятости и формировании прорывных направлений.

– **Как развитие нанотехнологий повлияет на организацию российской науки в целом?**

– Отечественная наука в течение последних пятнадцати лет сдавала свои позиции, она стала камерной: ученые привыкли работать небольшими группами над решением локальных узкоспециализированных задач, где каждый ученый самостоятельно обеспечивал свою исследовательскую деятельность.

В настоящее время государственный заказ на развитие нанотехнологий дает шанс вновь консолидировать ученых вокруг масштабной, амбициозной задачи. Несомненно, такой процесс повлияет на структуру российской науки. Она будет вынуждена реорганизоваться, ориентируясь на приоритетные направления.

– **Поддерживаете ли вы идею создания в России крупных исследовательских центров? В чем, на ваш взгляд, заключаются минусы существующих государственных научных центров, академических институтов и университетов для развития крупных научно-технологических направлений?**

– Безусловно, поддерживаю. Сегодняшние задачи по своим масштабам таковы, что их решение не под силу одному, даже крупному, институту. Время требует создания консорциумов, причем консорциумов тематических, а институты, как правило, ориентированы на разноплановые работы. Таким образом, придется концентрировать ресурсы на базе определенного академического института или научного центра, в наи-

большей степени ориентированного на реализацию конкретного приоритета, и сворачивать направления, не вписывающиеся в данный приоритет.

Конечно, строить на новом месте проще, чем на старом. Как показывает опыт, на старом месте многое приходится перестраивать. Поэтому необходимо выбирать из имеющихся институтов или центров оптимальные варианты и на их основе формировать новые центры компетенции. Причем этот процесс должен строго контролироваться государством, так как управленческая структура существующих научных организаций, как правило, довольно рыхлая.

Структуры, на основе которых будут создаваться новые центры, должны провести внутреннюю реорганизацию и выстроить внешнее управление инновационным процессом за счет соглашений и совместных работ.

Резюмируя вышесказанное, отмечу, что, несмотря на упомянутые проблемы, сегодня в России складываются все необходимые звенья для жизнедеятельности нанотехнологической инновационной системы.

– **Возможно ли, на ваш взгляд, предотвратить потенциальные проблемы, связанные с развитием нанотехнологий, или в перспективе придется затрачивать огромные ресурсы на преодоление негативных последствий этого процесса?**

– Разговоры о потенциальной опасности нанотехнологий имеют под собой основание. Научный мир это понимает, ровно поэтому, в частности, оценивается степень опасности тех наночастиц, которые способны проникать внутрь человеческой клетки. Решение видится в том, что эти частицы должны быть покрыты определенной защитной оболочкой.

Возможные риски при развитии нанотехнологий необходимо учитывать с самого начала и предпринимать соответствующие превентивные шаги. В таком важном и большом деле, на которое государство делает стратегическую ставку, все должно решаться системно. Ведь развитие нанотехнологий – задача, пожалуй, более сложная, чем освоение космоса или создание атомной бомбы.

– **Ваш прогноз – когда наступит «наноэра»?**

– Если исходить из критерия, что «наноэра» – время, когда 50% мирового валового продукта будет производиться при помощи нанотехнологий, то, по моим представлениям, а они опираются на экспертные оценки, такая эра наступит в 2030–2040 годах. К 2015 году доля нанотехнологий в производстве мирового ВВП будет составлять примерно 5%. Затем ожидается их взрывное развитие. ■

Государственный заказ на развитие нанотехнологий дает шанс консолидировать ученых вокруг масштабной, амбициозной задачи. Несомненно, такой процесс повлияет на структуру российской науки.

ИНДИКАТОРЫ

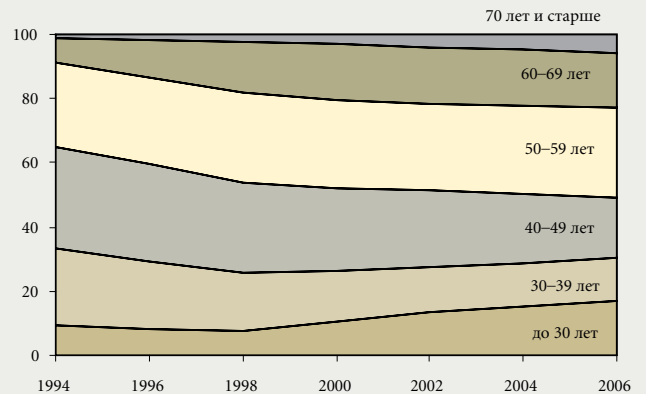
Исследователи в России (на конец отчетного года)

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Численность исследователей (без совместителей и работавших по договорам гражданско-правового характера) (человек)	484 796	455 108	416 958	420 212	425 954	422 176	414 676	409 775	401 425	391 121	390 835
Численность исследователей (человек) в расчете на:											
10 000 населения	33	31	28	29	29	29	29	28	28	27	27
10 000 экономически активного населения	70	67	62	58	60	59	58	56	55	53	53
10 000 занятых в экономике	74	70	65	66	66	65	63	62	60	57	56
Удельный вес исследователей в численности персонала, занятого научными исследованиями и разработками (проценты)	48.9	48.7	48.8	48.2	48.0	47.7	47.6	47.7	47.8	48.1	47.7

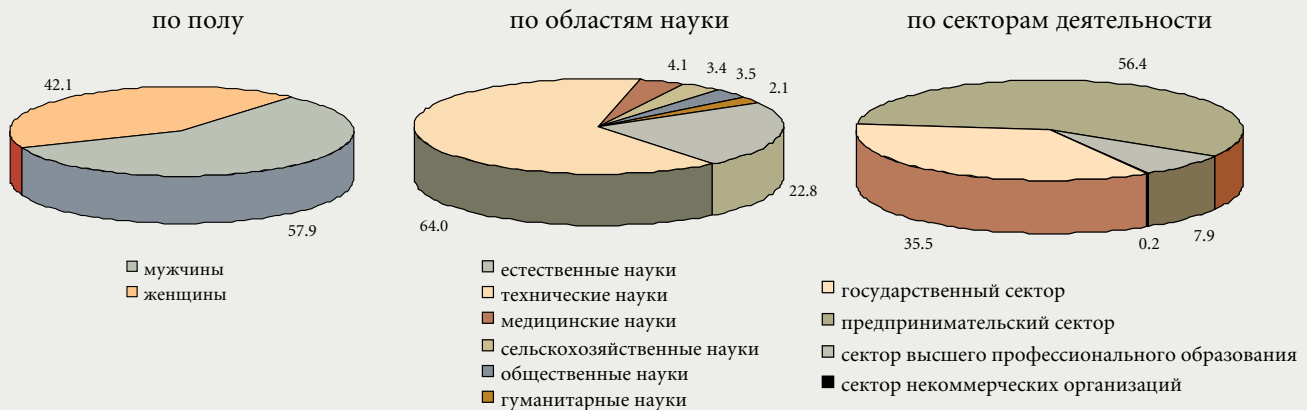
Динамика численности исследователей, имеющих ученую степень (тыс. человек, на конец отчетного года)



Изменение возрастной структуры исследователей (процент от общей численности, на конец отчетного года)



Распределение численности исследователей: 2006 (в процентах, на конец отчетного года)



Материал подготовлен Л.А. Шестаковой

Источники:

Наука в Российской Федерации. Стат. сб. М.: ГУ-ВШЭ, 2005.
 Индикаторы науки: 2007. Стат. сб. М.: ГУ-ВШЭ, 2007.
 Россия в цифрах: 2007. Краткий. стат. сб. М.: Росстат, 2007.