

Перманентная технологическая революция

Статья основана на материалах IV Международного Казанского инновационного нанотехнологического форума (NANOTECH'2012), на котором представители академической науки и промышленности обсудили перспективы и проблемы научных разработок в области нанотехнологий. *Ключевые слова:* научная революция, информационные технологии, биотехнологии, наноматериалы, нанобезопасность

Самое представительное – пленарное заседание IV Международного Казанского инновационного нанотехнологического форума – было посвящено обзору основных направлений развития нанотехнологий в мире и в России.

На сегодняшний день в мире не существует единого стандарта, описывающего, что такое нанотехнологии и нанопродукция. В самом общем виде – это технологии и продукция, имеющие дело с материалами и веществами в масштабе от 1 до 100 нм (10^{-9} м)¹.

Как отметил чл.-корр. РАН, директор Института биохимии им. А.Н. Баха РАН В.О. Попов, с природными (органическими) наночастицами человечество контактирует чуть ли не с первых дней своего существования. Это вирусы, бактерии, пыль, гарь лесных пожаров, пески пустыни, позже – такие техногенные вещи, как сажа, пигменты красок; 90% всех наночастиц, циркулирующих в окружающей среде, составляют автомобильные выхлопы.

Но о нанотехнологиях в мире заговорили лишь во второй половине XX века, когда человек научился манипулировать нанораз-мерными частицами и использовать их для специальных целей.

Как оказалось, наночастицы некоторых материалов и веществ могут иметь совершенно новые свойства и характеристики, отличающие их от исходных продуктов. Одни из них обладают очень

¹ В «Концепции развития в РФ работ в области нанотехнологий на период до 2010 года» (2004 г.) нанотехнология определяется как совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты с размерами менее 100 нм, хотя бы в одном измерении, и в результате этого получившие принципиально новые качества, позволяющие осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба. URL: http://ntsr.info/nanoworld/simply/index.php?ELEMENT_ID-1442

хорошими каталитическими и адсорбционными свойствами, другие отличаются необычными оптическими характеристиками. Тщательно очищенные наночастицы могут самовыстраиваться в определённые структуры. Такая структура содержит строго упорядоченные наночастицы и также зачастую проявляет необычные свойства. Кроме того, ученым удалось добиться взаимодействия искусственных наночастиц с природными объектами наноразмеров – белками, нуклеиновыми кислотами и др., что открывает новые возможности в медицине и биологии.

Сам термин «нанотехнология» впервые употребил японский физик Норио Танигути в 1974 г., подразумевая под ним производство изделий размером несколько нанометров².

В основу нанотехнологий легли открытия квантовой физики и физики полупроводников. Уже в конце 1960-х годов ученые научились выращивать атомарные слои вещества³ в процессе молекулярно-пучковой или молекулярно-лучевой эпитаксии⁴. А первыми «заказчиками» этой технологии стали производители полупроводников, которые обеспечили почву для дальнейших революционных научных преобразований в физике, биологии, информатике и нанотехнологиях.

Собственно, «нанотехнологиями» автор термина Н. Танигути назвал именно процессы создания полупроводниковых структур с точностью порядка нанометра.

Базовые физические технологии

Подробнее о революционных полупроводниковых технологиях XX века участникам Казанского форума рассказал вице-президент РАН, руководитель отделения нано- и информационных технологий академик РАН Ж.И. Алферов, который и сам в 2000 г. получил Нобелевскую премию за разработку полупроводниковых гетероструктур⁵ и создание быстрых опто- и микроэлектронных компонентов.

Интересно, что прообраз транзистора – кристаллин на основе карбида кремния и оксида цинка – был создан в 1929 г. советским физиком О.В. Лосевым (1903–1952). Он же создал первый полупроводниковый диод на карбиде кремния (в 1923 г.).

² URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%ED%E2%84%80%D0%BA%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B8%D1%8F%D0%AD%D0%BF%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B8%D1%8F>

³ Радиус одного атома примерно равен 10^{-10} м

⁴ Эпитаксия – послойное упорядоченное нарастание одного кристаллического материала (кристалла) на поверхности другого (подложки). Различают гетероэпитаксию, когда вещества подложки и нарастающего кристалла различны, и гомоэпитаксию, когда они одинаковы. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BF%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B8%D1%8F>

⁵ Гетероструктура – полупроводниковая структура с несколькими гетеропереходами (контактом двух различных по химическому составу полупроводников).

Но этим открытиям не суждено было стать основой современной полупроводниковой микроэлектроники, поскольку, по словам Ж.И. Алферова, они появились слишком рано: «технологический уровень полупроводниковых материалов тогда был совершенно недостаточным и не позволял ввести их в широкую практику».

Поэтому началом эры информационных технологий во всем мире принято считать 1947 г., когда американцы Д. Бардин и У.Х. Браттейн (нобелевские лауреаты 1956 г.) продемонстрировали работу первого полупроводникового усилителя на точном германиевом транзисторе.

В течение последующих лет плотность и производительность полупроводниковых процессоров росли экспоненциально. «Если в первой микросхеме Р. Нойса, созданной в 1960-х годах, было 2–3 транзистора на площади 2 см², то первый микропроцессор в 1970 г. содержал уже 2300 транзисторов с плотностью порядка 10 000, а сегодня технологии позволяют расположить на той же площади кремниевые пластины миллиарды транзисторов...», – рассказывает Ж.И. Алферов.

Развитие физики и технологии полупроводниковых гетеро-структур привело к значительным переменам в повседневной жизни. «Едва ли сегодня можно вообразить нашу жизнь без телекоммуникационных систем, основанных на лазерах с двойной гетероструктурой, без биполярных и малошумящих транзисторов, применяющихся в высокочастотных устройствах, в том числе в системах спутниковой связи и телевидения, – перечисляет Ж.И. Алферов. – Солнечные элементы с гетероструктурами широко используются как для космических, так и для земных программ...». Компьютеры, Интернет, микроэлектронные приборы «новой

экономики», лазерные и оптоэлектронные технологии, солнечная энергетика – все это было бы невозможно без полупроводниковой элементной базы.

В конце концов технологический прогресс способствовал формированию постиндустриального общества в развитых странах⁶.

⁶ В постиндустриальной экономике наибольший вклад в стоимость материальных благ вносит сфера услуг – торговля, реклама, маркетинг, а также информационная составляющая в виде патентов, НИОКР и т.д. Главные отличительные черты постиндустриального общества от индустриального – очень высокая производительность труда, высокое качество жизни, преобладающий сектор инновационной экономики с высокими технологиями и венчурным бизнесом. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/%CF%E%F1%F2%E8%ED%E4%F3%F1%F2%F0%E8%ED%EB%FC%ED%EE%E5_%EE%E1%F9%E5%F1%F2%E2%EE

В XXI веке, по мнению Ж.И. Алферова, наиболее перспективными направлениями, основанными на использовании полупроводников, будут информационные технологии, лазеры и солнечная фотоэнергетика.

«Немного раньше или немного позже, но совершенно точно, что мы обязательно израсходуем запасы топлива, которые накопились на нашей планете благодаря солнцу, и мы уже сейчас должны переходить на другую энергетiku, – рассказывает академик. – Здесь практически безальтернативной является солнечная энергетика, использующая фотоэлектродный эффект на полупроводниковых фотоэлементах. Теоретический КПД фотоэлектрического преобразования солнечной энергии составляет 87%, на сегодня достигнут уровень в 40%. Уже сейчас использование солнечных батарей экономически оправданно для обеспечения автономных потребителей электроэнергии, а в будущем солнечная фотоэнергетика станет основным методом получения электроэнергии».

Очевидно, что будут развиваться и сами полупроводниковые технологии. Если вся вторая половина XX века, по словам Ж.И. Алферова, «прошла под знаком кремниевой микроэлектроники», то в 2000 г. Нобелевская премия по химии была присуждена американцам А. Хигеру и А. Макдиармиду и японскому ученому Х. Сиракаве за открытие и развитие электропроводящих полимеров.

Это открытие позволило начать исследования «синтетических металлов» и послужило основой для получения целого ряда новых материалов. Проводящие полимерные материалы стали применяться в качестве ингибиторов коррозии, антистатических покрытий, защитных экранов от электромагнитного излучения, а также служить для создания источников тока и оптических окон с регулируемой областью прозрачности. А в последние 10 лет появилась вторая генерация полупроводниковых полимерных материалов. На их основе конструируются органические транзисторы, светодиоды и дисплеи, полимерные лазеры и солнечные батареи⁷.

Биология и медицина

Другим порождением нанотехнологий и использования полупроводниковых материалов в информатике стала революция, которая сейчас происходит в биологии и медицине. О некоторых

⁷ URL: http://vivovoco.ibmh.msk.su/VV/NEWS/PRIRODA/2001/N_CHEM.HTM

ее аспектах рассказал академик РАН и РАСХН, директор центра «Биоинженерия» РАН К.Г. Скрыбин. По его словам, одним из основных вызовов XXI века является необходимость дать пищу, воду и обеспечить здоровье постоянно растущему населению Земли. И здесь синтез нано- и биотехнологий будет играть решающую роль. По выражению К.Г. Скрыбина, «мы уже довольно хорошо научились читать генетические тексты и теперь учимся их писать».

«Сегодня прозвучало, что есть несколько вызовов перед человечеством. И вызов номер один, помимо энергетики, связан с тем, что нас семь миллиардов, и эти семь миллиардов нужно каким-то образом кормить, – рассказывает К.Г. Скрыбин. – Более того, у населения меняется диета. Те люди, которые ели только рис, теперь хотят есть мясо и не только мясо, потому что они все богатеют и богатеют... Сейчас произошла абсолютная революция – мы знаем геномы практически всех растений, которые используются человечеством, и можем, используя эти знания, заниматься селекцией, то есть создавать новые растения, новых животных, с более высокой продуктивностью, устойчивостью против болезней и т.д.»

По словам академика К.Г. Скрыбина, по аналогии с тем, как 50–60 лет назад уровень науки определялся количеством ядерных реакторов, сегодня уровень развития науки в той или иной стране (по крайней мере, в том, что касается биологии) определяется умением читать генетическую информацию. И здесь, к сожалению, Россия далеко не в передовиках: по количеству ДНК-секвенаторов на 1 млрд долл., потраченных на R&D, наша страна занимает 21-е место в мире.

В 2000 г. был расшифрован геном человека, содержащий около 6 млрд букв (примерно столько, сколько в книгах в библиотеке Л.Н. Толстого в Ясной Поляне). Тогда это стоило 6 млрд долл. и потребовало 10 лет работы. В 2012 г. за счет развития нанотехнологий и появления принципиально новых приборов секвенирование генома человека стоило уже 7 тыс. долл. (а расшифровка отдельных участков экспресс-методом – всего 1000 долл.), и его можно сделать за несколько часов. По выражению К.Г. Скрыбина, «это становится рутинной процедурой».

Более того, на сегодняшний момент ученые научились читать геномы одной клетки, а значит, у них появилась возможность

сравнивать попарно геномы здоровых и больных (например, раковых) клеток у одного человека и очень точно определять патологические изменения, ведущие к развитию болезни.

В результате принципиально меняется парадигма современной медицины в цивилизованном мире: она становится персонализированной.

«Даже сегодня хороший врач применяет тот же алгоритм, что и шаман 2000 лет назад: смотрит, ставит диагноз, прописывает лекарство, то есть лечит по признакам болезни, – рассказывает К.Г. Скрыбин. – Но, как известно, один размер не подходит всем: около 90% лекарств эффективны только для 30–50% населения. В 2011 г. из 880 млрд долл., потраченных на покупку лекарств, почти 350 млрд были потрачены впустую – на неэффективную терапию». Так вот, генетический анализ может за несколько часов сказать, как будет работать конкретное лекарство у конкретного пациента. «Например, сегодня мы знаем, что есть четыре очень четко генетически детерминированных разновидности рака груди, и лечить их надо по-разному», – говорит академик.

Значительный вклад в терапию различных заболеваний могут внести электронные чипы, которые внедряются под кожу и могут, например, в режиме онлайн передавать на компьютер данные о состоянии обмена веществ или сердечной деятельности, стимулировать мышечные ткани.

Другое чрезвычайно перспективное направление развития новой медицины – использование мобильных технологий. «Население Земли составляет 7 млрд человек, в больницах всего мира всего 27 млн койко-мест, а персональных компьютеров в мире – 1 млрд шт.,

мобильных телефонов – 5 млрд, и количество приложений для айфонов в области здравоохранения и фармацевтики на сегодня уже превысило 100 тыс., – приводит пример академик К.Г. Скрябин. И удивляется: – Почему наши медики не используют хотя бы несколько десятков из них?»

Наконец, он отметил важный тренд в развитии медицины и здравоохранения: по данным Financial Times, за последние три года приток частного (венчурного) капитала в разработку новых лекарств сократился вдвое, и почти в такой же пропорции увеличилось количество средств, которые направляются в digital medicine – информационную медицину.

Следующим шагом в развитии медицины, по словам академика, станет работа со стволовыми клетками и умение выращивать для пациента новые ткани и органы взамен больных и поврежденных.

Вопросы безопасности

Важнейшим и весьма масштабным направлением развития нанотехнологий сегодня является «нанобезопасность» – изучение воздействия наночастиц на живые организмы и окружающую среду и минимизация возможных негативных последствий такого воздействия. О том, что делается в России в этом направлении, рассказал В.О. Попов, директор Института биохимии им. А.Н. Баха РАН, один из участников межведомственной комиссии по разработке ФЦП «Развитие nanoиндустрии в Российской Федерации» в части обеспечения нанобезопасности.

По данным компании NeoAnalytics, в 2011 г. объем мирового рынка продукции, произведенной с использованием нано-технологий, составил 1 трлн долл., на нее пришлось 1,2% мирового ВВП, при этом годовые темпы роста различных сегментов рынка нанопродукции составляют от 15–20% до 50–70%.

Мировые объемы производства наночастиц (в год):

Фуллерены – 500 т
 Углеродные нанотрубки – 100 т
 Наночастицы кремния и диоксида кремния – 100000 т
 Наночастицы оксида цинка – 20 т
 Наночастицы диоксида титана – 50000 т
 Наночастицы серебра – 50 т

Основные области применения нанопрепаратов:

Энергетика	Очистка воды
Электроника и компьютеры	Сельское хозяйство
Военная техника,	Продукты питания
Взрывчатые вещества	БАДы
Мембранные носители	Упаковка
Краски покрытия	Медицинские препараты
Текстильная промышленность	Измерительное оборудование
Косметика	Сенсоры
Бытовая химия	Научное оборудование

«Ежегодные объемы производства искусственных нано-частиц составляют от сотен до тысяч тонн. Этот процесс необходимо контролировать на всех этапах жизненного цикла, чтобы правильно оценить все возможные риски, – рассказывает В.О. Попов. – Есть классические примеры, когда человечество недооценивало вред накопления в окружающей среде ряда веществ (полихлорированные бифенилы⁸, ДДТ, асбест и др.). Они производились в колоссальных объемах, сослужили человечеству колоссальную службу (за открытие ДДТ была даже вручена Нобелевская премия)⁹. Но потом выяснили, что лучше от их применения отказаться, потому что они могут оказать разрушающее влияние на экосистему. Например, ДДТ был найден в Антарктиде – в 100 тыс. км от места его ближайшего применения, а бифенилы были обнаружены в органах и тканях белых медведей в Арктике».

До настоящего времени достоверно не зафиксировано ни одного случая нанесения вреда человеческому организму при контакте с бытовыми приборами или строительными конструкциями, в производстве которых использованы нанотехнологии, тем не менее сейчас ведутся «обширнейшие исследования по выявлению потенциальных рисков».

Эксперт обратил внимание на экспоненциальный рост количества публикаций по токсическому действию наноматериалов, начиная с 2000 г. По его мнению, это связано с тем, что необходимо создать некую систему, которая, с одной стороны, не поставит преград на пути развития новых технологий, с другой – позволит правильно оценить риски для будущих поколений и не приведет к повторению прежних ошибок.

Особенно это актуально с точки зрения тех ошибок, которые научное сообщество и политический истеблишмент совершили в отношении генно-модифицированных организмов (ГМО), – полагает В.О. Попов. «Во всем мире сейчас признано, что при введении новой технологии генно-модифицированных организмов поначалу не было прозрачности, не было общения

⁸ Класс химических ароматических соединений, содержащих в молекуле от одного до десяти атомов хлора; используются в качестве диэлектриков и охлаждающих жидкостей; признаны чрезвычайно опасными для окружающей среды и человека.

⁹ В 1948 г. швейцарский химик Пауль Герман Мюллер получил Нобелевскую премию по физиологии и медицине «за открытие высокой эффективности ДДТ как контактного яда».

с потребителями, с политическими элитами. И сейчас во многих регионах мира сформировано резко отрицательное мнение относительно этих объектов». Например, на недавнем слушании Общественной палаты РФ в резолюции написано, что «необходимо сделать Российскую Федерацию свободной от генно-модифицированных организмов». «Мы – такое белое пятно на карте мира», –

констатирует эксперт.

По его словам, во всем мире сегодня тратится огромное количество средств на изучение вопросов нанобезопасности – для того, чтобы осознанно подходить к оценке всех рисков в использовании наноматериалов. «В этом и состоит основная парадигма нанобезопасности».

Почему нанобъекты могут представлять потенциальную опасность? В первую очередь – вследствие своей сущности, – поясняет В.О. Попов. Их небольшие размеры позволяют им проникать в организм через различного рода барьеры – гематоэнцефалический¹⁰, плацентарный, кожный, барьеры, существующие в желудочно-кишечном тракте... Вдобавок наночастицы имеют «очень развитые поверхности», что может приводить к необычным реакциям, например, к усилению синтеза активных форм кислорода (оксидантов), которые могут оказывать вредное воздействие на клеточные структуры. Но даже не будучи токсичными сами по себе, наночастицы могут транспортировать внутрь клеточных структур традиционные контаминанты (загрязнители), в результате чего токсический эффект последних усиливается. И наконец, наночастицы имеют свойство накапливаться в окружающей среде и по различным экологическим и пищевым цепям в конечном итоге поступать в организм человека.

Оценка четырех названных факторов – задача очень важная, но, на первый взгляд, трудно решаемая, – признает эксперт. – Во-первых, понятно, что вместо традиционных мер оценки концентрации (например, по весу или объему) необходимо использовать что-то другое, например, абсолютное или удельное количество наночастиц на поверхности. Во-вторых, существует огромное количество наноматериалов, у которых изменяется размер объектов. Неясно, надо ли при этом проводить исследования для каждого размера или достаточно один раз

¹⁰ Гематоэнцефалический барьер – физиологический механизм, избирательно регулирующий обмен веществ между кровью, цереброспинальной жидкостью и центральной нервной системой и обеспечивающий постоянство внутренней среды головного и спинного мозга.

разобраться, например, с серебром и считать, что все серебро-содержащие материалы безопасны. В-третьих, требуется обоснованный выбор индикаторов токсичности наночастиц. В-четвертых, должны быть выявлены органы в человеческом организме, в которых накапливаются наночастицы. Наконец, следует выяснить, что же именно необходимо измерять для выяснения биологического действия наночастиц, поскольку при взаимодействии с биологической системой их поведение становится сложным и часто – нестандартным.

Мало того что наночастицы в организме способны вступать во взаимодействие с биологическим матриксом, который сам по себе может иметь наноразмерность, они также часто образуют ассоциаты (объединения), которые отличаются своим поведением от единичных частиц. «Надо решить, что вы хотите определить: отдельные частицы, их агрегаты, их взаимодействие с белковыми компонентами и т.д.» Поэтому в настоящее время, как правило, используются различные комбинации или комплексы известных методов химического и биологического анализа. И постоянно разрабатываются новые методы.

В частности, в Институте биохимии им. А.Н. Баха РАН недавно был разработан экспресс-метод определения фуллеренов с помощью иммуноферментного анализа, что позволило отказаться от довольно сложной многоступенчатой системы пробо-подготовки, сократить продолжительность анализа до нескольких часов, с возможностью одновременно детектировать несколько десятков проб. «Причем ваш анализ может быть максимально приближен к месту появления фуллеренов, например, на одном из природных объектов, куда затруднительно подтащить масс-спектрометр», – говорит В.О. Попов.

Он также рассказал о том, каким образом решаются проблемы нанобезопасности в Российской Федерации. В рамках ФЦП «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в России» есть небольшой раздел, посвященный созданию основ системы nano-безопасности: «Надо сказать, что этот процесс постоянно действующий. Система должна постоянно развиваться и модифицироваться, поскольку постоянно появляются и вводятся в обиход новые наноматериалы».

В рамках ФЦП предложена векторная структура программы нанобезопасности. Сначала был определен ограниченный набор наночастиц трех различных классов: углеродные, металлические и оксиды. Затем – блок физико-химических методов

анализа. Потом эти методы были перенесены для определения наночастиц в органических объектах. И наконец, все это опробовано в ходе масштабных исследований на двух пилотных объектах – на действующих предприятиях и на действующей экосистеме (мониторинг).

На последнем этапе, в частности, изучались процесс накопления наночастиц в живых организмах, их воздействие на функциональное состояние органов и систем, определена их острая и хроническая токсичность. «В частности, хорошее известие состоит в том, что примерно 99% наночастиц выводятся сразу, и лишь один оставшийся процент распределяется в определенных органах, – комментирует В.О. Попов. – В свою очередь, функциональные системы живых организмов оказались достаточно устойчивыми к воздействию наночастиц. Наибольшие изменения наблюдались в антиоксидантном статусе организма».

Результатом же трехлетней работы стала система нормативно-правовой документации, регламентирующей применение нанотехнологий и использование нанопродуктов в РФ. В частности, были разработаны СанПиН при строительстве производственных зданий, применении различных технологий производства с применением наночастиц. «Это на самом деле нетривиальная задача, – говорит эксперт. – Если некий бизнес хочет построить производство с применением наноматериалов, у него должно быть четкое понимание, каков допустимый уровень содержания наночастиц в рабочей зоне, на границе территории, в отходах производства. Так, чтобы, с одной стороны, не нанести вреда окружающей среде и человеку, с другой – чтобы нагрузка на это предприятие, которое вынуждено вводить дополнительные меры по охране окружающей среды, не оказалась чрезмерной».

В заключение В.О. Попов коротко коснулся будущей системы нанобезопасности: «Это должна быть постоянно модифицирующаяся система. Если на первых порах мы разрабатывали приборную базу, аналитический инструментарий, на нынешнем этапе – приобретаем опыт решения реальных задач. Но исключительно важно взаимодействие с теми, для кого все это делается, – потребителями и бизнесом. Главное – не повторить тех ошибок, которые были допущены при внедрении технологии ГМО».

Явные и не слишком последствия и выводы

Практически у каждого открытия могут быть неожиданные результаты и далеко идущие последствия их применения, – обращают внимание эксперты Казанского форума. «Общезвестно, например, что открытие пенициллина привело к резкому сокращению смертности от инфекционных заболеваний. Но мало кто понимает, что те люди со слабой иммунной системой, которые выжили в результате применения лекарства, представляют собой колоссальный генетический груз для человеческого сообщества, – говорит академик К.Г. Скрабин. – Если сейчас на земле проживает 7 млрд человек, то к 1950 г. ожидается уже 9 млрд, и часть из них будут люди с проблемным здоровьем... С другой стороны, можем ли мы делать адекватные прогнозы? В 1950 г. было посчитано, что

лечение полиомиелита к концу столетия будет обходиться человечеству в 100 млрд долл. Но благодаря тому, что была придумана вакцина, оказалось, что в 2000 г. на лечение этого заболевания было израсходовано всего 100 млн долл. То есть прогноз ошибся в 1000 раз».

А академик Ж.И. Алферов обратил внимание на другие аспекты технологических революций.

«Сегодня, когда новые физические, химические исследования очень успешно идут в биотехнологии и медицину, в системе образования принципиальное значение приобретает междисциплинарный подход. Можно с уверенностью сказать, что А.Ф. Иоффе был не только замечательным физиком и создателем советской физической школы, он был одним из гениальных преобразователей системы образования, – говорит Ж.И. Алферов. Созданный им в 1918 г. при Политехническом институте Физико-механический факультет сочетал мощную физматпод-готовку с инженерными предметами и, по сути, породил инженерно-физическое образование в мире. В послевоенные годы мы в Ленинграде развивали эту идеологию Иоффе с учетом того, что мощное физико-математическое образование нужно сочетать с серьезным технологическим образованием, привлекая в образовательные структуры все современные технологии. Сегодня в системе подготовки специалистов-исследователей чрезвычайно важно сочетать физико-математическое образование с серьезным образованием в “пограничных” областях – современной биологией, медициной». Впрочем, ученый признает, что изменения в образовании должны идти «степ бай степ»,

кардинально менять ничего нельзя. «Для решения этих проблем в вузах должны быть свободные руки и свободные средства».

Другой важнейший аспект, требующий вдумчивого реформирования, – это государственная система управления наукой и научными разработками. «В 1988 г. меня пригласил Бундестаг для прочтения лекции о солнечной энергетике, – рассказывает академик Алферов. – И буквально сразу по итогам этой лекции они приняли законы, обеспечивающие льготное налогообложение для производства электроэнергии такого вида. Та система, которая сегодня сложилась в России, не позволяет развивать новые вещи. Можно много говорить о недостатках той системы, которая существовала в советские времена (и осуществлялась посредством постановлений ЦК и Совмина), но она позволяла выделять крупные средства и развивать определенные направления. Например, – советский атомный проект. Этот уникальный инновационный технологический проект не только привел к созданию атомного оружия, но и послужил основанием для возникновения атомной энергетике и строительства первых АЭС, для многих технологий, построенных на использовании изотопов.

Сегодня старая система разрушена, а новая не создана. Все существующие законы и правила ориентированы только и исключительно на борьбу с коррупцией. Как только вы хотите сделать что-то новое, Минфин вам тут же скажет: вы эти деньги по правилам получить не можете. Но все новые вещи могут рождаться только тогда, когда на это затрачиваются достаточно большие усилия и средства. А реальный финансовый результат не всегда бывает очевиден с самого начала. Как сказал Джордж Портер, “вся наука прикладная, разница только в том, что отдельные приложения возникают быстро, а некоторые – спустя столетия”¹¹. В конечном же счете вся цивилизация основана на научных исследованиях и разработках».

Подготовила **Э.Ш. ВЕСЕЛОВА**, кор. «ЭКО»

¹¹ Английский физикохимик, лауреат Нобелевской премии по химии за исследования сверхбыстрых химических реакций (1967 г.).