

О развитии нанобиотехнологии



М. П. Кирпичников,
доктор биологических наук, академик,
член Президиума РАН, декан биологического
факультета МГУ, заведующий
кафедрой биоинженерии



К. В. Шайтан,
д. ф.-м. н., профессор,
зам. зав. кафедры биоинженерии
биологического факультета МГУ

**Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
биологический факультет**

В статье кратко изложены некоторые актуальные направления современной нанобиотехнологии. Внимание уделено вопросам адресной доставки лекарств, диагностике заболеваний, биосовместимым материалам и материалам на основе белков паутины, наноустройствам и нанороботам, самосборке нанобиоструктур, молекулярному моделированию и компьютерному дизайну нано- и биоструктур, потенциальным биологическим рискам, возникающим при использовании наночастиц и наноматериалов, проблемам подготовки кадров для нанобиоиндустрии и биоинженерии.

Some relevant trends of modern nanobiotechnology are described. Attention is focused on the problems of targeted drug delivery, diseases identification, biocompatible materials and materials based on spider silk proteins, nanodevices and nanorobotics, nanostructures selfassembly, molecular modelling and computer aided design of bio- and nanostructures, potential biological risks connected with using of nanoparticles and nanomaterials, problems of manpower training for nanobioindustry and bioengineering.

В настоящее время во всем мире значительное внимание уделяется развитию нанотехнологий, происходит формирование организационных структур и выбор приоритетов. В нанотехнологиях представлен широкий спектр научных достижений, имеющих выходы в самые разные производства и сферы деятельности. Набрав, например, на сайте Google слово «напо» мы получим около 70 млн ссылок. На слово «nanobio» число ссылок порядка 176 тысяч. Поэтому в предлагаемой вниманию статье мы лишь кратко коснемся некоторых вопросов нанобиотехнологии, т. е. раздела нанотехнологий, который связан с биологией и медициной. Далее дан очень краткий обзор отдельных направлений нанобиотехнологии, по которым, по нашему мнению, в России уже имеется существенный задел и где можно ожидать создания конкурентоспособных технологий и продукции. Учитывая общий информационный характер статьи, мы принципиально отказались от ссылок на какие-либо специальные научные работы. Дополнительная информация общего плана может быть найдена, например, в Интернете с использованием поисковых систем.

На рис. 1 представлен далеко не полный спектр направлений развития нанобиотехнологии, которые, как мы полагаем, являются весьма перспективными.

Адресная доставка лекарств

Одной из областей интенсивного развития нанобиотехнологии в приложении к биомедицине является разработка новых методов селективной внутриклеточной и внутритканевой доставки физиологически активных веществ. Основная идея адресной доставки показана на рис. 2.

Здесь имеется несколько направлений. Ряд наноразмерных форм углерода (фуллерены, нанотрубки) обладают хорошей проникающей способностью по отношению к биомембранам и, что весьма важно, оказываются способными преодолевать гематоэнцефалический барьер и являться транспортерами для лекарственных препаратов. Проведенные, в частности в МГУ им. М. В. Ломоносова, предварительные исследования трансмембранного транспорта наноструктур и их комплексов с биополимерами показывают принципиальную возможность создания наноустройств (наномашин) для селективного распознавания рецепторных участков на поверхности клетки и доставки в них активных субстанций, что в перспективе способно расширить терапевтические возможности лечения онкологических заболеваний, нейродегенеративных заболеваний, нейроинфекций и др. и резко снизить терапевтические дозы лекарств, минимизировав побочные эффекты.



Рис. 1. Некоторые перспективные направления развития нанобиотехнологии

Важное направление связано с микро- и нанокapsулированием биологически активных веществ (БАВ) на основе биodeградируемых полимеров, а также с использованием липосом. Разработка этой технологии проводится рядом институтов РАН,

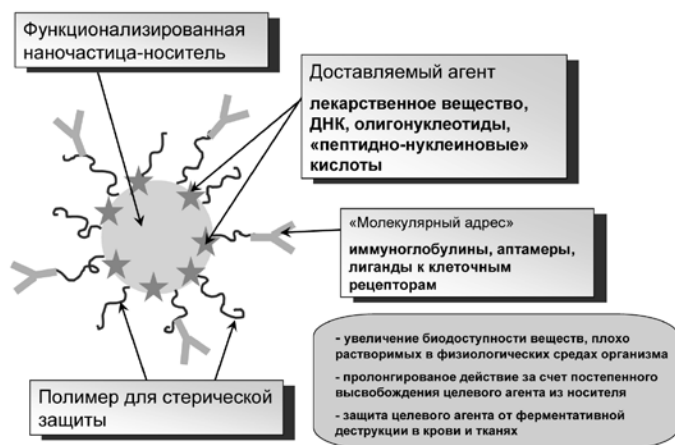


Рис. 2. Наноконструкции для селективной внутриклеточной доставки лекарств

РАМН и МГУ, что позволит в перспективе создать принципиально новые лекарственные препараты с контролируемым терапевтическим воздействием на определенные ткани и органы. Эта технология применяется для создания эффективных лекарственных систем контролируемого выведения инкапсулированных БАВ: лекарственных препаратов (в том числе нерастворимых в воде или нестабильных), пептидов и белков (имеющих функции гормонов и цитокинов), а

также генетических конструкций, несущих гены ферментов, гормонов и цитокинов. Прогресс в развитии синтеза биodeградируемых полимеров, технологии нанокapsулирования, а также методов клеточной и молекулярной физиологии и патофизиологии позволит использовать технологию создания систем контролируемого выведения БАВ на основе наночастиц из биodeградируемых полимеров для лечения раковых заболеваний, гормональных расстройств различной этиологии, атеросклероза, диабета, туберкулеза и других социально значимых болезней, а также для генной терапии широкого спектра заболеваний. Технология включения лекарственных веществ в нанокapsулы позволит использовать многие лекарственные соединения, доставка которых в органы и ткани была бы сильно затруднена из-за их нерастворимости в воде или нестабильности; эта технология позволит снизить токсичность и добиться желаемой фармакокинетики для лекарственных препаратов. Нанокapsулирование белков и нуклеиновых кислот позволит создавать системы доставки в различные ткани организма пептидных гормонов, цитокинов и генетических конструкций. Разработка способов присоединения к наночастицам лигандов направленного действия поможет доставлять биологически активные вещества в определенные ткани.

Важным моментом является также изучение транспорта нанообъектов металлической и полупроводниковой природы, а также суперпарамагнитных наночастиц для селективного разрушения клеток при электромагнитном разогреве, что важно для лечения ряда опухолей.

Нанодиагностика патологических состояний и инфекций, нанобиосенсоры

Успехи последних лет в описании функционирования генома человека, молекулярных механизмов клеточных процессов обеспечивают основу для существенного повышения информативности медицинской диагностики. Вместо контроля немногих соединений, традиционно трактуемых как характерные маркеры для той или иной болезни, становится возможным получать надежные и информативные сведения о функционировании организма и развитии патологического процесса на основании комплексного учета уровня значительного числа соединений, тем или иным образом связанных с патологическим процессом.

В связи с этим представляется крайне важным снизить трудоемкость получения диагностически значимой информации, обеспечив тем самым возможность массового применения новых методов. Необходимые меры по обеспечению эффективности анализа должны включать сокращение объемов проб, применение единых протоколов проведения анализа, сокращение его длительности и автоматизированную регистрацию результатов. На сегодняшний день среди разработок в этом направлении доминирует создание микрочипов, в которых флуоресцентная метка, химически конъюгированная со специфическими реагентами, связывается с определенными участками подложки-носителя. Возможности анализа существенно расширяются при использовании в качестве детектируемых маркеров коллоидных наночастиц.

Варьирование состава и размеров наночастиц золота, серебра и других металлов позволяет сформировать ряд маркеров с различными спектрами поглощения. Еще большее разнообразие маркеров обеспечивается при использовании так называемых квантовых точек (quantum dots) — флуоресцирующих наночастиц на основе кадмия, цинка и других металлов. Квантовые точки с разным диаметром частиц (достигаемым посредством модификации условий синтеза) охватывают весь видимый спектр излучения, создавая эффективную основу для проведения мультианализа.

Таким образом, применение наночастиц для измерения специфических комплексов определяемого соединения (например, с помощью иммобилизации на их поверхности специфических антител) позволяет одновременно количественно определять содержание в тестируемой пробе различных соединений. Принципиальной особенностью этого подхода является возможность определять несколько соединений в одной пробе. Это позволяет не просто сократить объем пробы, но и проводить дифференциальную детекцию структурно близких соединений, способных связываться с одними и теми же рецепторными элементами.

Существенными диагностическими возможностями обладает атомно-силовая микроскопия (рис. 3, 4), используемая для детектирования комплексов биомакромолекул, например белок-антитело.

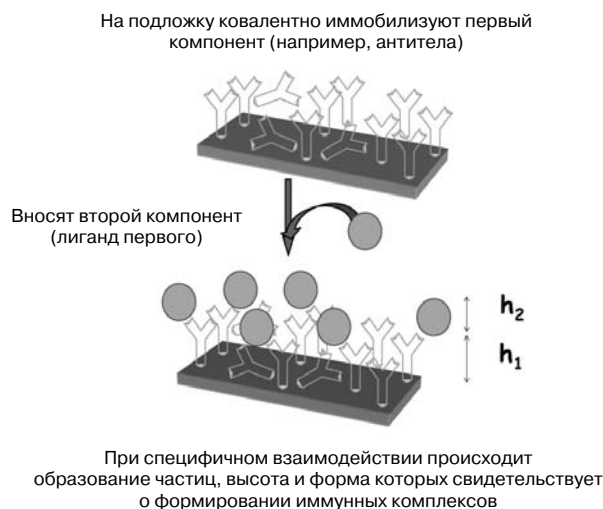
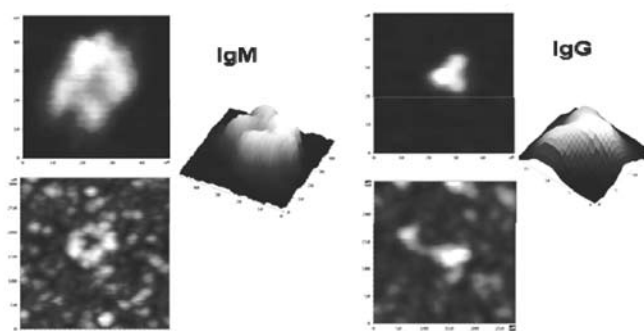


Рис. 3. Детекция комплексов антиген-антитело АСМ



Слева — иммуноглобулины IgM. Справа — иммуноглобулины IgG. Вверху — иммуноглобулины сорбированы на подложку, внизу — на антиген, сбоку — 3-D изображение изолированной иммуноглобулина

Рис. 4. Изображения антител в свободном состоянии и иммунных комплексов, полученные с помощью атомно-силового микроскопа

Для создания высокочувствительных биосенсоров перспективна также технология, использующая биополимерные функциональные пленки в состоянии гидрогеля. Формирующаяся у них поверхностная архитектура имеет большие преимущества для использования в качестве биосенсоров в связи с чувствительностью к изменению внешних параметров среды, биосовместимостью, возможностью селективного захвата ДНК.

Наноструктурированные биосовместимые материалы

Имеющиеся экспериментальные и клинические исследования показывают, что плазмонапыленные покрытия на поверхности имплантатов хорошо стимулируют остеоинтеграцию и являются весьма эффективным решением проблемы отторжений имплантатов. Однако покрытия на имплантатах должны обладать комплексом часто взаимоисключающих свойств: высокой адгезией, пористостью, развитой морфологией,

хорошей биосовместимостью. Эти условия достигаются применением слоистых наноструктурированных покрытий. Известно, что формирование заданных свойств материалов возможно путем создания условий образования самоорганизующихся структур нанодиапазона. Однако применительно к процессам плазменного напыления биопокрытий на имплантаты условия формирования наноструктур мало изучены. Между тем, переход на новый уровень взаимодействия искусственных (имплантат с покрытием) и естественных (костная ткань) материалов позволил бы качественно улучшить процесс остеоинтеграции имплантатов и повысить биологичность контакта имплантата и костного ложа. Поэтому важно совершенствовать методы и технологии получения биопокрытий, а также находить новые способы формирования заданных свойств материалов. Необходимо также совершенствовать исследовательские комплексы для получения достоверной базы знаний о таких сложных многофакторных процессах путем изучения влияния на механические и физико-химические свойства формируемых покрытий наноструктурных образований.

Большой интерес представляют биосовместимые материалы на основе белков паутины пауков-кругопрядов (спидроин 1 и спидроин 2), которые формируют в железах паука волокна, состоящие из нанофибрилл. Эти молекулярные конструкции, отобранные природой в процессе эволюции, способны подсказать нам удачные решения многих технических проблем. Паутинное волокно обладает уникальными свойствами и огромным инновационным потенциалом в самых различных областях промышленности. Вязко-эластичным нитям каркасного шелка пауков свойственны одновременно высокая прочность на разрыв, превышающая сталь и сопоставимая с кевларом, и высокая эластичность. Это приводит к очень высоким значениям энергии разрыва, по которым этот материал не имеет аналогов среди других природных и искусственных материалов.

Белки паутины имеют очень интересную структуру. Имеется чередование гидрофильных и гидрофобных сегментов, что крайне важно для обеспечения растворимости и регулирования агрегации молекул, которая ведет к формированию нанофибрилл, а именно наличие нанофибрилл обеспечивает уникальные механические свойства этой нити. Молекулярное моделирование структуры нанофибрилл, проведенное на кафедре биоинженерии биологического факультета МГУ, показало, что высокая энергия разрыва обусловлена, по-видимому, формированием суперспиралей из бета-слоев богатых полиаланиновыми вставками спидроинов (рис. 5).

Есть первые результаты, которые свидетельствуют о принципиальной возможности получения на основе рекомбинантных аналогов белков паутины искусственных нитей и пленок, по своим свойствам сопоставимых с природными нитями, а также о возможности разработки технологии создания биосовместимых материалов с уникальными свойствами.

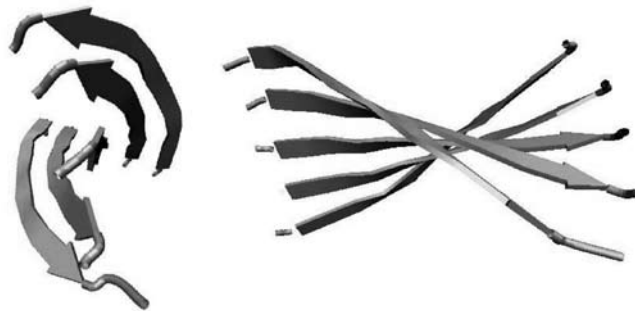


Рис. 5. Формирование суперспирали из бета-слоев полиаланиновых фрагментов спидроинов

Молекулярные машины, самосборка нано- и нанобиоструктур, молекулярное моделирование и дизайн функциональных наноструктур и их комплексов с биополимерами

Сейчас все чаще говорят о наномире, о закономерностях наномира, о его практическом использовании. Хотелось бы подчеркнуть большую общность наномира. В частности, основные «кирпичики», из которых построены живые организмы, являются яркими представителями этого наномира. Ферменты, рецепторы, ионные каналы, ДНК, РНК, рибосомы, молекулярные моторы и множество других составляющих клетки и организма в целом являются в смысле своего размера наночастицами, но при этом чрезвычайно «умными» и, с функциональной точки зрения, очень рационально сделанными нанообъектами.

Несколько слов о возможностях нанобиотехнологии для молекулярной электроники. Биоэлектроника или биооптоэлектроника как раздел молекулярной электроники пытается применить биоструктуры, в первую очередь белки или их модифицированные аналоги, в качестве управляемых светом модулей компьютерных и оптических устройств. Основное требование к биологическим модулям (чипам) состоит в том, что в ответ на физическое воздействие — свет — они должны обратимо изменять свою конформацию и образовывать, по крайней мере, два дискретных состояния. Эти состояния должны различаться легко измеряемыми параметрами, например спектрами поглощения.

Наиболее вероятными кандидатами на роль таких чипов являются светочувствительные мембранные белки, иницирующие и обеспечивающие работу сложнейшей молекулярной «машинерии» двух основных фотобиологических процессов — зрения и фотосинтеза. Конкретно речь идет о молекулах зрительного пигмента родопсина и бактериородопсина — белка из галофильных микроорганизмов.

Оба эти белка обладают фотохромизмом и могут рассматриваться как основа для создания фотохромных материалов (чипов) биооптоэлектроники.

Бактериородопсин в отличие от других биологических структур имеет достаточно высокую тепловую и химическую стабильность, чтобы стать

первым, но отнюдь не последним светочувствительным материалом биологического происхождения, пригодным для промышленного применения в опто-электронных устройствах.

Впечатляющим примером тому может служить недавнее сообщение о разработке принципиально нового носителя информации, который позволяет записывать на обычный лазерный диск до 50 терабайт информации, то есть приблизительно в десять тысяч раз больше, чем на традиционный DVD. Этим новым носителем информации является бактериородопсин.

В качестве ячейки, хранящей один бит информации, используются два состояния бактериородопсина, которые могут переходить одно в другое под действием света определенной длины волны. При этом речь идет не об обычном (дикий тип), а генетически модифицированном бактериородопсине, обладающем исключительно высокой термо- и химической стабильностью. Оба состояния молекулы бактериородопсина могут сохраняться неограниченно долго — по крайней мере, несколько лет. Это позволяет записывать при помощи лазера на молекулы белка информацию в виде двумерной или линейной последовательности нулей (исходное состояние бактериородопсина) и единиц (продукт его фотопревращения), а затем сохранять и считывать ее.

Принципы организации биологических систем являются весьма эффективными и эволюционно отобранными для создания устройств нанометрового размера с заданной функцией. Объективно использование этих принципов в нанотехнологиях находится в стадии поисковых разработок. Вместе с тем, уже сейчас понятно, что проектирование и создание молекулярных машин, использующих энергию химических реакций (или изменения состава среды) для выполнения элементарных функций — фотопереклюкателей, перемещения молекулярного объекта, создания разности потенциалов, развития тягового усилия, является реальной задачей. Это направление считается, в частности, приоритетным для европейской программы развития нанотехнологий.

В России накоплен значительный опыт в детальном изучении молекулярных механизмов элементарных биохимических и биофизических процессов (диффузии лигандов, переносе электрона, переносе протона, конформационных перестроек при химических превращениях, фермент-субстратных взаимодействиях, работе ионных каналов и др.), развита динамическая теория электронно-конформационных взаимодействий как основы для функционирования молекулярных машин, развиты основы молекулярного моделирования и дизайна наноустройств. Широкое признание получили работы по физической теории самоорганизации белковых структур. Это делает весьма вероятным реализацию прорывных работ по созданию молекулярных машин и функциональных наноструктур и получению конкурентных преимуществ в этой области.

В связи с проблемой создания наноустройств, нанороботов и т. п. нельзя не остановиться и на вопросах молекулярного моделирования и молекулярного дизайна нано- и нанобиоструктур. Стремительное развитие компьютерной техники, широкая в ближайшей перспективе доступность суперкомпьютеров и накопление надежных данных о межатомных и межмолекулярных взаимодействиях делает вычислительные эксперименты с нано- и биоструктурами источником объективной информации об их физико-химических свойствах. Причем получаемый в численных экспериментах уровень детализации процессов с участием наноструктур является максимально подробным. Относительно низкая стоимость вычислительных экспериментов по сравнению с их реальными аналогами делает методы молекулярного моделирования основным инструментом проектирования нано- и нанобиоустройств и структур.

На рис. 6 приведен пример самосборки наноприцы, состоящего из углеродной нанотрубки и полиаланина. Эта система была предложена для адресной доставки БАВ и рассчитана методами молекулярной динамики на кафедре биоинженерии биологического факультета МГУ. С фундаментальной точки зрения, данная система интересна как фактически первый пример самосборки функционального нанобиоустройства (наноробота). Молекула полипептида, адсорбированная на внешней поверхности нанотрубки (закрытой с одного конца), за счет тепловых флуктуаций самопроизвольно упаковывается внутрь нанотрубки в конформации, близкой к альфа-спирали. То есть происходит заряджение наноприцы. Если в нанотрубку предварительно была упакована молекула (молекулы), которые при внешнем воздействии распадаются или резко увеличивают занимаемый объем, то происходит своеобразный «выстрел» и система работает как нанопушка. На рис. 7 показан результат

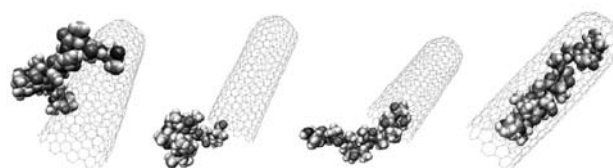


Рис. 6. Последовательные стадии самосборки наноприцы



Рис. 7. Последовательные стадии воздействия нанопушки на биомембрану. «Точки» сверху и внизу биомембраны — молекулы воды. Сферы — продукты распада молекулы (взрывчатого вещества)

численного эксперимента по воздействию нанопушки на биологическую мембрану: молекула полипептида проникает за короткое время в биомембрану. Обвешивая устье поры нанотрубки лигандами, специфически к определенным рецепторам на поверхности клетки, можно, в принципе, добиться селективности при доставке БАВ (в данном случае полипептида).

Потенциальные риски от использования наночастиц и наноматериалов

Нас окружает огромное множество наночастиц, которые являются продуктом обычной человеческой деятельности, и большинство из них, по-видимому, относительно безвредны. Вместе с тем, в настоящее время надежно установлено, что в наноразмерном состоянии многие вполне безобидные вещества становятся в биологическом отношении весьма активными и во многих случаях сильно токсичными. Хорошо известны примеры асбеста, оксидов урана, фуллеренов и многих других наночастиц. Однако до сих пор нет систематических исследований о природе токсичности (и канцерогенности) наночастиц, нет сертифицированных технологий определения данного типа токсичности, нет (за редким исключением) соответствующих санитарных и гигиенических норм использования наноматериалов. На это недавно обратил внимание Роспотребнадзор (письмо от 02.06.2007 № 0100/4502-07-32).

Отметим основные факторы, обуславливающие потенциальные риски от использования наночастиц и наноматериалов:

- небольшой размер и способность проникать через барьеры (в т. ч. гематоэнцефалический);
- большая удельная поверхность;
- аномальная реакционная способность (генерация свободных радикалов);
- облегчение проникновения молекул других веществ;
- особенности метаболизма (макрофаги «не видят» размеры < 70 нм);
- постоянство к накоплению ряда наночастиц.

Вопросы биологических (а также экологических) рисков при использовании наноматериалов являются важными при прогнозировании эффективности внедрения нанотехнологий. Необходимо также учитывать и возможное влияние наночастиц и наноматериалов на общее состояние дел с обеспечением биологической и химической безопасности как одного из важнейших направлений укрепления национальной безопасности Российской Федерации, изложенных в «Основах государственной политики в области обеспечения химической и биологической безопасности Российской Федерации на период до 2010 года и дальнейшую перспективу» (утверждено Президентом Российской Федерации 4 декабря 2003 года № ПР — 2194). Особое значение имеет химическая и биологическая безопасность в современных условиях

ввиду усиления террористических проявлений, которые могут быть направлены на селективное воздействие на биологические системы и организмы.

Анализ современного состояния показывает, что, с одной стороны, на основе научных разработок в области нанотехнологий создаются новые «прорывные» эффективные технологии и материалы. С другой стороны, развитие нанотехнологий может привести к созданию нового класса химического и биологического оружия, использующего свойства наночастиц. В настоящее время не существует систематических методов детектирования наночастиц в окружающей среде и биологических объектах. Поэтому развитие технологий для определения рисков от использования наночастиц и наноматериалов, их сертификации по этому признаку имеет важнейшее значение не только для развития новых отраслей промышленности, но и с точки зрения обеспечения национальной безопасности. Следует иметь также в виду, что вопросам нанорисков в последние несколько лет во всем мире стало уделяться пристальное внимание, создаются национальные программы, неправительственные и международные организации по данной проблеме, издается специальный журнал Nanorisk.

Отметим, что вопросы возникающих рисков от использования конкретных наночастиц должны серьезно и методично исследоваться в специальных лабораториях, а непрофессиональные обобщения в этом вопросе не имеют под собой оснований.

В настоящее время на основе разработок ряда институтов РАН, РАМН, МГУ и др. имеются все предпосылки для быстрой и эффективной разработки технологий определения потенциальных рисков от использования наночастиц и наноматериалов.

Развитие образовательного компонента по нанобиотехнологии

Развитие нанобиотехнологии, интегрирующей знания и навыки из многих дисциплин в новом сочетании требует проведения определенных мероприятий по подготовке специалистов. Прежде всего, это ориентация на мультидисциплинарное фундаментальное образование, сочетающее наряду с биологическими дисциплинами серьезную подготовку в области химии, физической химии, молекулярной физики, информатики и биоинформатики. Для этого необходимо создание оригинальных спецкурсов, спецпрактикумов, магистерских образовательных программ. Здесь может быть использован опыт МГУ им. М. В. Ломоносова, МФТИ и ряда научно-образовательных центров. Так, на биологическом факультете МГУ в рамках Национального проекта «Образование» разработана инновационная магистерская программа «биоинженер — менеджер».

Одной из задач проекта «биоинженер — менеджер» является разработка механизма подготовки кадров, находящихся на острие научно-технического прогресса и способных восполнить имеющийся кад-

ровый дефицит. Эта магистерская программа имеет своей целью подготовку кадров для организации исследований и инновационного процесса в наиболее быстро развивающихся областях биологии, биоинженерии, биотехнологии и нанобиотехнологии. При этом нужно иметь в виду, что магистратура — это лишь первая ступень в формировании высококвалифицированного специалиста. За два года обучения невозможно вложить в него все то, что нужно в современной биоинженерии и нанобиотехнологии. Поэтому важно научить будущего специалиста учиться как современным научным достижениям в выбранной области, так и дать ему организационные и экономические навыки. Для этой цели в рамках подпроекта был разработан достаточно обширный пул спецкурсов и спецпрактикумов, ориентированных на достижение поставленной цели. Нам представляется целесообразным введение достаточно гибкого учебного плана, в рамках которого была бы увеличена доля предметов по выбору заказчика специалиста. В целом, учитывая серьезные материальные издержки вуза при подготовке специалистов в области современной биоинженерии и нанобиотехнологии, представляется логичным готовить таких специалистов в основном целевым образом по заказам предприятий.

Заключение

Невозможно в одной статье осветить даже в минимально необходимом объеме проблемы развития нанобиотехнологии. Мы коснулись лишь очень ограниченного круга вопросов, лежащих, что называется, на поверхности. Однако уже сейчас понятно, сколь велики и масштабны могут быть последствия прогресса в этой сфере. Сейчас вопросов больше, чем ответов. Но развитие науки в этой сфере происходит очень быстро. Велика будет роль фундаментальной науки в понимании общих закономерностей взаимодействия искусственных наноструктур с биологическими объектами. Огромное значение будет иметь инновационный бизнес, аккумулирующий научные достижения и переводящий их в нужные конечные продукты. Роль образования, подготовки кадров как для фундаментальных исследований, так и для инновационного бизнеса трудно переоценить, особенно в ближайшей перспективе. И уже сейчас понятно, что в этом направлении предстоит очень серьезная работа. Развитие нанотехнологий и, в частности, нанобиотехнологий, несомненно, будет являться мощным локомотивом всего прогресса в ближайшие десятилетия.

Наблюдательный совет утвердил научно-технический совет (НТС) ГК «Роснано» в составе:

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ АВДЕЕВ ВИКТОР ВАСИЛЬЕВИЧ — заведующий лабораторией химии углеродных материалов МГУ им. М. В. Ломоносова, директор НПО «Унихимтек»; ■ АЛФИМОВ МИХАИЛ ВЛАДИМИРОВИЧ — директор Центра фотохимии РАН; ■ АСЕЕВ АЛЕКСАНДР ЛЕОНИДОВИЧ — директор института физики полупроводников СО РАН; ■ БЕЛЯЕВ ИВАН ИВАНОВИЧ — референт аппарата Совета Безопасности Российской Федерации; ■ БЕТЕЛИН ВЛАДИМИР БОРИСОВИЧ — директор Научно-исследовательского института системных исследований РАН; ■ ГИНЦБУРГ АЛЕКСАНДР ЛЕОНИДОВИЧ — директор Научно-исследовательского института эпидемиологии и микробиологии им. Н. Ф. Гамалеи РАМН, вице-президент РАМН; ■ КАБЛОВ ЕВГЕНИЙ НИКОЛАЕВИЧ — Генеральный директор Всероссийского научно-исследовательского института авиационных материалов (ФГУП ВИАМ); ■ КОПТЕВ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ — директор Департамента оборонно-промышленного комплекса Минпромэнерго России; ■ ЛИВАНОВ ДМИТРИЙ ВИКТОРОВИЧ — ректор Московского института стали и сплавов; ■ ЛОКШИН МОИСЕЙ АБРАМОВИЧ — заместитель генерального конструктора КБ «Сухой» по науке; | <ul style="list-style-type: none"> ■ НАРАЙКИН ОЛЕГ СТЕПАНОВИЧ — заместитель директора РНЦ «Курчатовский институт»; ■ ПИВНЮК ВЛАДИМИР АЛЕКСЕЕВИЧ — вице-президент ОАО ГМК «Норильский никель»; ■ ПУТИЛОВ АЛЕКСАНДР ВАЛЕНТИНОВИЧ — директор ГНЦ ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А. А. Бочвара»; ■ СЕВЕРИНОВ КОНСТАНТИН ВИКТОРОВИЧ — заведующий лабораторией Института молекулярной генетики РАН; ■ СКРЯБИН КОНСТАНТИН ГЕОРГИЕВИЧ — член Совета при Президенте Российской Федерации по науке, технологиям и образованию, председатель Научного совета по биотехнологии РАН; ■ СТРИХАНОВ МИХАИЛ НИКОЛАЕВИЧ — ректор Московского инженерно-физического института; ■ ФОРТОВ ВЛАДИМИР ЕВГЕНЬЕВИЧ — директор Института теплофизики экстремальных состояний Объединенного института высоких температур (ОИВТ) РАН; ■ ШЕВЧЕНКО ВЛАДИМИР ЯРОСЛАВОВИЧ — директор Института химии силикатов им. И. В. Гребенщикова РАН; ■ ШИШКИН ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ — помощник Президента РАМН; |
|--|---|

Научно-технический совет, в соответствии с федеральным законом № 139-ФЗ от 19 июля 2007 г. осуществляет предварительное рассмотрение проектов в сфере нанотехнологий и подготавливает рекомендации правлению Корпорации о целесообразности или нецелесообразности их финансирования за счет средств Корпорации. Также

НТС проводит рассмотрение отчетов о ходе реализации проектов и подготавливает рекомендации о целесообразности прекращения их финансирования за счет средств Корпорации в случае, если в ходе реализации проекта получены результаты, свидетельствующие о невозможности достижения его целей.