

## ОЧЕРЕДНЫЕ ЗАДАЧИ НАНОБИОИНДУСТРИИ

*И.А. Иванов, А.О. Пятибрат, С.П. Фалеев, А.М. Фукс, Ю.П. Чеснович,  
Шанти П. Джаясекара*

Динамично развивающаяся область современной физики твердого тела — физика низко-размерных структур — дала открытие таких явлений, как целочисленный и дробный квантовый эффект Холла, венгаевская кристаллизация квазидвумерных электронов и дырок, обнаружение новых наночастиц и др. Развитие этой области открыло возможности конструирования средствами зонной инженерии и инженерии волновых функций, изготовления наноструктур современными технологиями. Сконструированные наноструктуры являются, по существу, искусственно созданными материалами с заранее заданными свойствами. По прогнозам ученых, развитие нанотехнологий определит облик XXI в.

Если при уменьшении объема вещества по одной, двум или трем координатам до размеров нанометрового масштаба возникает новое качество, или новое качество появляется в композиции из этих объектов с другими веществами, то эти образования относят к наноматериалам, а технологии их получения называют нанотехнологиями.

подавляющее большинство явлений в наномасштабах связано с волновой природой частиц, поведение которых подчиняется законам квантовой механики и других квантовых дисциплин.

Данные по нанокompозитам показывают, что уменьшение структурных элементов приводит к созданию новых типов материалов, сочетающих в себе высокую прочность и пластичность. Покрытия характеризуются сверхвысокой прочностью и повышенной пластичностью.

Благодаря стремительному прогрессу в таких технологиях, как оптика, нанолитография, механохимия и 3D прототипирование, активное внедрение нанотехнологий может произойти уже в течение ближайшего десятилетия. Когда это случится, нанотехнологии окажут огромное влияние практически на все области функционирования промышленности и жизни общества.

Открытые недавно углеродные наноструктуры (УНС) обладают экстраординарными физико-химическими свойствами, что открывает возможности их использования в различных направлениях нанотехнологии. Так, молекула фуллерена ( $C_{60}$ ,  $C_{70}$  и др.) сочетает в себе высокую химическую стабильность с наличием значительного количества свободных химических связей. Это позволяет создавать на основе фуллеренов целый класс новых химических соединений, которые могут быть использованы, в частности, в медицине в качестве средства доставки лекарственных препаратов в нужную область организма, в энергетике — в качестве основы новых эффективных преобразователей солнечной энергии в электричество, в трибологии — в качестве присадки к маслам для снижения трения и повышения износостойкости деталей машин и механизмов, покрытия для модификации поверхностных механических свойств конструкционных материалов и др.

Основная проблема, стоящая на пути прикладного использования и широкого распространения наноматериалов в хозяйстве России, связана с относительно высокой стоимостью производства этих уникальных материалов. На первый план выходят исследования, направленные на развитие и совершенствование сравнительно недорогих методов получения, очистки и разделения наноматериалов в макроскопических количествах. В результате решения этих задач ожидается резкое увеличение спроса со стороны промышленности на материалы и изделия, содержащие наноматериалы и обладающие уникальными потребительскими характеристиками. Массовое производство наноматериалов того или иного типа отмечается в ряде зарубежных стран и востребовано со стороны промышленности и бизнеса.

В качестве особого направления в нанотехнологиях выделяются нанобиотехнологии.

**Нанобиотехнологии** – это технологии исследований, манипуляций, производства, использования сверхмалых структур и приспособлений, состоящих из биологических молекул или включающих их для достижения различных целей, в том числе для создания новых лекарств и средств их доставки в клетки живого организма.

Нанобиотехнологии используют специфические свойства биологических молекул (ДНК, РНК, белков и др.), выработанные за миллиарды лет эволюции для выполнения различных функций живых организмов. Теперь эти свойства обеспечивают:

- функционирование молекулярных машин;
- создание материалов новых типов, обладающих уникальными свойствами;
- создание устройств для микроэлектроники, суперкомпьютеров будущего;
- создание наноинструментов для специфического захвата, транспорта и манипуляций с другими молекулами и наночастицами;
- специфическую и эффективную доставку лекарств в клетки;
- биодетекторы и биосенсоры, способные выявлять различные молекулы, физические факторы и т. д.

Широкие возможности нанобиотехнологий обусловлены многообразием свойств, сложностью и большой информационной емкостью биомолекул.

В качестве примера наномашин можно привести устройство, использующее торсионные силы, возникающие при синтезе ДНК, и свойства фермента топоизомеразы, разрезающей нить ДНК и освобождающей, таким образом, торсионный механический момент. В результате происходит вращение молекулы, которое может найти применение.

Для развития бионанотехнологий широко используются свойства биологических молекул по самосборке. Например, разработанные молекулы ДНК могут специфически соединяться друг с другом: в нужных местах – могут быть разрезаны ферментами рестриктазами, а после специфического соединения друг с другом ферментами лигазами – ковалентно сшиты. Благодаря этим уникальным свойствам возможно проектирование и создание весьма сложных материалов и устройств. Например, нити ДНК могут использоваться при сборке устройств для микроэлектроники. ДНК, покрытая токопроводящими частицами, может выполнять роль нанопроволоки. При этом собираются разнообразные микроэлектронные схемы.

Сборка наноструктур из ДНК происходит в жидком растворе, затем осуществляется расположение ДНК на твердой поверхности, далее на ДНК наносится пленка из металлов и затем снимается. Продемонстрирована эффективность в печати микросхем по этой технологии и создании квантовых точек.

Комбинация ДНК-нанотрубок с углеродными нанотрубками значительно увеличивает растворимость последних. ДНК-нанотрубки – матрица для организации углеродных нанотрубок, что позволяет конструировать сложные устройства из углеродных нанотрубок за счет свойства молекул ДНК к самосборке в соответствии с их нуклеотидными последовательностями.

За счет биологического синтеза могут быть созданы новые материалы на основе ДНК. Способность ДНК к специфическому распознаванию других нуклеиновых кислот используется в диагностических микрочипах, определяющих дефекты генома и его функционирование.

Белковые молекулы также можно применять для создания новых материалов, например, на основе белка паутины паука, как известно обладающей удивительной прочностью. Белки могут выступать в качестве переключателей в электронных устройствах, компонентов наномашин (известно, что движение микроорганизмов, их жгутиков обеспечивается комплексами различных белков). Так, белки рассматриваются в качестве ключевых компонентов перспективных движителей нанороботов.

Белки в составе различных устройств могут обеспечивать специфический захват различных молекул. Это можно использовать для удаления токсинов из окружающей среды и организмов человека и животных. Так же удаляются и вирусы.

Свойство белков к специфическому связыванию молекул может использоваться в микрочипах как для медицинской диагностики, так и для детекции различных веществ (токсинов) в окружающей среде. Кроме того, присоединенные к наноконтейнерам (тоже белковой природы) такие белки могут обеспечить специфическую доставку лекарств только к определенным клеткам, например, нервным, мышечным, почечным, печеночным, раковым и т. д.

Среди патентов США по нанотехнологиям в 2006 г. доля нанобиотехнологий оставила 19 %.

Кроме биологических, углеродных и металлических наноматериалов необходимо отметить синтетические алюмосиликаты и особенно природные материалы – цеолиты (см. работы В.И. Смоля). Общим для всех минералов из группы цеолитов является наличие трехмерного алюмокремнекислородного каркаса, образующего системы полостей и каналов, в которых расположены щелочные, щелочноземельные катионы и молекулы воды. Катионы и молекулы воды слабо связаны с каркасом и могут быть частично или полностью замещены (удалены) путем ионного обмена и дегидратации, причем обратимо, без разрушения каркаса цеолита. Лишенный воды цеолит представляет собой микропористую кристаллическую «губку», объем пор в которой составляет до 50 % объема каркаса цеолита. Такая «губка», имеющая диаметр входных отверстий от 0,3 до 1 нм (в зависимости от вида цеолита) является высокоактивным адсорбентом с удельной поверхностью до 10 000 м<sup>2</sup>/г. Диаметр входных отверстий «губки» имеет строго определенные размеры. В связи с этим происходит так называемый молекулярно-ситовый отбор при сорбции молекул из газа или жидкости. Свойства цеолитов позволяют разделять молекулярные смеси даже в тех случаях, когда разница в размерах молекул составляет 10–20 пм.

Ионообменные свойства цеолитов определяются особенностями химического сродства ионов с кристаллической структурой цеолита. При этом, также как и при адсорбции молекул, необходимо соответствие размеров входных отверстий в цеолитовый каркас и замещающих ионов. Ионным обменом на цеолитах удается выделять ионы, извлечение которых другим методом часто представляет большую сложность. Ионситовый эффект позволяет адсорбировать из газовых и жидких систем пары азота, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, Cl<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>. Установлена способность цеолитов адсорбировать радиоактивные ионы цезия из растворов, удалять NH<sub>4</sub><sup>+</sup> из сточных вод и водоемов, извлекать ионы Cu, Pb, Zn, Cd, Ba, Co, Ag и других металлов из промышленных сточных вод, очищать природные газы. Емкость поглощения цеолитов в 30 раз выше, чем у ионообменных смол. Изменения в общей обменной емкости катионов цеолита, в зависимости от их форм и вида поглощаемого иона, составляет 1–5 мэкв на 1 г массы. Эти величины значительно выше емкости поглощения катионов дерново-подзолистой почвой сероземами (0,15 мэкв/г), серой лесной почвой (0,20 мэкв/г), выщелоченными и мощными черноземами (0,5–0,65 мэкв/г).

Внесение в почву цеолитов дает двойную выгоду: обеспечение длительного действия внесенного удобрения (эффект пролонгирования) и предотвращение вымывания питательных веществ.

Установлена эффективность совместного внесения в почву цеолита и значительно сниженных норм минеральных и органических удобрений.

Клиноптилолиты являются особо ценной разновидностью цеолитов. Они широко распространены в природе и находят применение в сельском хозяйстве. У клиноптилолита диаметр входных окон в полости равен 0,4 нм.

Наблюдается постоянная избирательность к калию по сравнению с натрием, что лежит в основе извлечения калия из морской воды. Сорбция ионов NH<sub>4</sub><sup>+</sup> протекает с резко выраженной избирательностью во всем интервале концентраций. Она активнее чем сорбция Ka<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Mg<sup>2+</sup>. На клиноптилолите успешно поглощаются ионы Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Pl<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>. Достаточная техническая прочность клиноптилолита, устойчивость

к действию высоких температур, агрессивных сред и ионизирующих излучений, селективность к крупным катионам щелочных, щелочноземельных, редких, рассеянных и некоторых тяжелых металлов, поглощающая способность и ситовый эффект – все это обуславливает в перспективе широкое использование минерала. Особо важно развитие тех работ по нанобиотехнологиям, которые быстро дадут экономический эффект.

В настоящее время подготовлена программа первоочередных работ, которые в короткие сроки могут быть запущены в опытно-промышленном масштабе с выпуском, на взгляд авторов, востребованной нанотехнологической продукции, в том числе:

- внедрение в производство многофункциональных средств широкого биоцидного спектра действия, включая уничтожение вирусов атипичных пневмоний, бактерий туберкулеза, золотистого стафилококка и других болезнетворных организмов на основе применения наночастиц металлов;

- создание перевязочных биоцидных материалов на основе натуральных волокон (биоцидные марлевые и эластичные бинты, салфетки из нетканых материалов, вата), предназначенные для использования в условиях стационарной и полевой хирургии, глазных и косметических клиник, в лечебно-профилактических учреждениях. Новые перевязочные материалы позволят сократить сроки заживления ран и ожогов и снизят процент осложнений в послеоперационный период;

- производство жидких дезинфекционных средств для санитарно-профилактической обработки лечебно-профилактических и учебных учреждений, общественных помещений и транспорта, бассейнов, бань, душей, помещений пенитенциарных учреждений, различных приютов и др.;

- модифицированная нанодисперсная рентгеноаморфная форма кальция глюконата (НКГ) и технология его малотоннажного производства;

- получение методами интенсивной пластической деформации титано-никелевых сплавов с эффектом памяти формы (ЭПФ), создание и производство изделий для медицины, в частности, для клипирования при хирургических операциях. В результате выполнения проекта будет создана опытно-промышленная технология получения полуфабрикатов и изделий для медицины. Повышенные характеристики сплавов позволяют миниатюризировать устройства, повысить надежность, заживляемость при использовании в хирургии;

- опытно-промышленное производство получения биоцидных составов для сельского хозяйства (повышение характеристик посадочного материала и устойчивости продукции);

- освоение технологии производства принципиально новых многофункциональных композитов и создание источников света, выполненных по технологии органических светодиодов для выпуска изделия с параметрами: мощность – 20–50 лм/Вт; срок службы – около 8000 – 10 000 ч; варианты применения – габаритные огни для транспорта с алгоритмом изменения цвета; сигнальные нашивки для одежды персонала; энергосберегающие фонари с батареями менее 5 В; осветительные прожектора для подъездных путей и мостов (с особыми параметрами: диаметр 13 см, световой поток 10 000 лм, потребляемая мощность 800 Вт);

- создание органических светодиодов для нанесения на недорогие подложки, включая гибкий пластик и металлическую фольгу и композиты, изготовление промышленных образцов, проведение испытаний, сертификации, промышленный выпуск. Организация опытно-промышленного производства, отработка технологии, сертификация изделий, выпуск органических светодиодов красного, синего и зеленого света. Последние не уступают лучшим на сегодня светодиодам и отличаются большей световой отдачей: от 10 до 15 кд/А и от 7 до 10 лм/Вт, что сопоставимо с характеристиками ламп накаливания;

- создание участка по глубокой переработке биосред крабов – отходов крабового промысла для выпуска компонентов для научного (геновая инженерия) и медицинского применения (создание тест-систем и лекарственных препаратов), в том числе нанесенных на наночастицы в виде гликоspfероидов;

– сертификация выпускаемой по изложенной программе нанотехнологической продукции в Российской Федерации и за рубежом;

– создание новых видов лекарственных средств для белковой и геновой терапии с помощью генно-инженерных подходов, обеспечивающих лечение практически всех заболеваний, для которых точно известны причины возникновения и механизмы развития;

– получение нанотехнологических устройств и материалов для избирательной доставки лекарств в клетки.

Все перечисленные изделия конкурентоспособны и востребованы не только на отечественном, но и на международном рынке.

Результаты исследований по предлагаемой программе имеют глобальную социальную и коммерческую значимость. Так, например, препарат НКГ не имеет мировых аналогов, получен впервые в мире, является модифицированной биоусвояемой лекарственной формой официального препарата кальция глюконата, обладает уникальными эффективностью и фармакокинетическими свойствами, способен положительно влиять на процессы ремоделирования костной ткани. В России и во всем мире существует дефицит эффективных и доступных лекарственных препаратов кальция. Потребность в данном препарате практически не ограничена: костные и стоматологические заболевания, обусловленные нарушением кальциевого обмена в организме, касаются практически всего взрослого населения и во все возрастающей степени – детей; остеопороз, согласно документам ВОЗ, занимает 4-е место среди неинфекционных заболеваний, признается глобальной проблемой здравоохранения и напрямую связывается с уровнем инвалидности и смертности среди лиц пожилого возраста; в России остеопороз прогнозируется более чем у 6,5 % населения страны (в 50-летнем возрасте диагноз остеопороз прогнозируется более чем у 23 % мужчин и 31 % женщин). Уникальность разработки, уровень эффективности, высокая потребность, отсутствие отечественных и зарубежных аналогов гарантируют востребованность препарата НКГ как на внутреннем, так и на международном рынках.

### Список литературы

1. Зарубин А.П. Наноструктуры и нанотехнологии (библиография). Режим доступа: <http://hw.prometeus.nsc.ru/partner/zarubin/nanotec5.ssi>.
2. Виленчик М.М. Биологические основы старения и долголетия. М.: Знание, 1987. 224 с.
3. Щелкунов С.Н. Генетическая инженерия. Новосибирск: Изд-во Новосибирского университета, 1994. 304 с.
4. Синтетическая биология: Жизнь 2.0 уже проходит бета-тестирование. Режим доступа: <http://www.membrana.ru/articles/global/2004/09/03/202100.html>.
5. Иванов В.Т. Биотехнология и будущее человечества. Режим доступа: <http://www.inventors.ru/index.asp?mode=100/>.
6. Анохин А.П. Генетика, мозг и психика человека: тенденции и перспективы исследований. М., 1988.
7. Биология. В 2 т. / Под ред. В.Н. Ярыгина. М.: Высшая школа, 2001.
8. Бочков Н.П. Клиническая генетика. М.: ГЭОТАР-МЕД, 2002.
9. Булаева К.Б. Генетические основы психофизиологии человека. М., 1991.
10. Гайсинович А.Е. Зарождение и развитие генетики. М.: Наука, 1988.
11. Гальтон Ф. Наследственность таланта. М., 1996.
12. Генетика поведения: количественный анализ психологических и психофизиологических признаков в онтогенезе / Под ред. С.Б. Малыха. М., 1995.
13. Гилберт С. Биология развития. В 2 т. М., 1994.
14. Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология. В 3 т. М., 1990.
15. Дубинин Н.П., Карпец И.И., Кудрявцев В.Н. Генетика. Поведение. Ответственность. М., 1989.

16. **Егорова М.С.** Генетика поведения: психологический аспект. М.: Socio Logos, 1995.
17. **Егорова М.С., Семенов В.В.** Природа межиндивидуальной изменчивости темперамента и личности / Роль среды и наследственности в формировании индивидуальности человека. М., 1988. С. 236–291.
18. **Зорина З.А., Полетаева И.И., Резникова Ж.И.** Основы этологии и генетики поведения. М.: Изд-во МГУ, 1999.
19. **Канаев И.И.** Близнецы. М., 1959.
20. **Левонтин Р.** Человеческая индивидуальность: наследственность и среда. М.: Прогресс, 1993.
21. **Лолер Дж.** Коэффициент интеллекта, наследственность и расизм. М.: Прогресс, 1982.
22. **Мазер К., Джинкс Дж.** Биометрическая генетика. М.: Мир, 1985.
23. **Малых С.Б., Егорова М.С., Мешкова Т.А.** Основы психогенетики. М., 1998.
24. **Пузырев В.П., Степанов В.А.** Патологическая анатомия генома человека. Новосибирск: Наука, 1997.
25. **Равич-Щербо И.В., Марютина Т.М., Григоренко Е.Л.** Психогенетика. М.: Аспект Пресс, 2000. 447 с.
26. **Рокицкий П.Ф.** Введение в статистическую генетику. Минск, 1978.
27. **Роль среды и наследственности в формировании индивидуальности человека /** Под. ред. И.В. Равич-Щербо. М., 1988.
28. **Сингер М., Берг П.** Гены и геномы. В 2 т. М.: Мир, 1998.
29. **Тарангул В.З.** Геном человека. М., 2003.
30. **Фогель Ф., Мотульски А.** Генетика человека. В 3 т. М.: Мир, 1989–1990.
31. **Хрестоматия по генетике: Учебно-методическое пособие.** Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1988.
32. **Штерн К.** Генетика человека. Основы генетики человека. М., 1965.
33. **Эрман Л., Парсонс П.** Генетика поведения и эволюция. М, 1984.
34. **Эфроимсон В.П.** Генетика и гениальность. М., 1998.
35. **Haddley K, Vasiliou AS, Ali FR, Paredes UM, Bubb VJ, Quinn JP.** Molecular Genetics of Monoamine Transporters: Relevance to Brain Disorders. *Neurochem Res.* 2007. Oct 25.
36. **Walters JT, Owen MJ.** Endophenotypes in psychiatric genetics. *Mol Psychiatry.* 2007. Oct. 12(10):886-90.
37. **Moy SS, Nadler JJ.** Advances in behavioral genetics: mouse models of autism. *Mol Psychiatry.* 2007 Sep 11.
38. **Voracek M, Loibl LM.** Genetics of suicide: a systematic review of twin studies. *Wien Klin Wochenschr.* 2007 Aug; 119(15-16):463-475.
39. **Природные цеолиты.** М.: Химия, 1985. 224 с.
40. **Природные цеолиты России: геология, физико-химические свойства и применение в промышленности и охране окружающей среды. Т. 1 /** Тез. респуб. совещания «Природные цеолиты России», 25–27 ноября 1991 г., Новосибирск /РАН, Сиб. отд., Объед. ин-т геологии, геофизики и минералогии. Новосибирск, 1992. 171 с.
41. **Цеолиты: эффективность и применение в сельском хозяйстве. Ч. I и II.** М: ФГНУ «Росинформагротех», 2000. 632 с.
42. **Шивыртуйские цеолиты на службе здоровья животных и человека.** Чита, 2005. 148 с.
43. **Павленко Ю.В.** Цеолиты — минералы XXI века // Энергия. 2006. № 11. С. 60–64.
44. **Лучинин В.В.** Мир «нано» от карлика к гиганту // Индустрия. 2007. № 4(51). С. 8–11.