

Нанобиофизика: фундаментальные и прикладные аспекты

Александр Камнев, Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН, Саратов

Многие объекты изучения в биофизике имеют размеры, близкие к размерам нанотехнологических объектов: к примеру, многие клетки живых организмов, надмолекулярные биологические структуры – мембраны, липосомы и даже отдельные типы биомacroмолекул – белки, нуклеиновые кислоты. В последнее время исследования этих объектов стали называть «нанобиофизикой».

Конференция «Нанобиофизика: фундаментальные и прикладные аспекты» проходила с 5 по 8 октября 2009 года в Харькове. Посвящена она была 50-летию Физико-технического института низких температур им. Б.И. Веркина НАН Украины (ФТИНТ НАНУ, Харьков; председатель программного комитета – директор института, чл.-корр. НАНУ С.И. Гнатченко), где проходили научные заседания. Основным организатором выступил отдел молекулярной биофизики ФТИНТ НАНУ, известный своими исследованиями в данной области.

Ряд сообщений был посвящен углеродным нанотрубкам (УНТ). Это сверхлегкие, прочные, химически и механически стабильные графитовые трубки диаметром 0.4–2 нм (одностенные УНТ) или концентрические графитовые цилиндры увеличивающегося диаметра от 2 до 100 нм (многостенные УНТ). Эти уникальные аллотропные модификации углерода интенсивно исследуются с момента их изобретения в 1991 году. Помимо высокоанизотропных нанокomпозитов из полимерных материалов с УНТ в качестве наполнителей и электропроводных полимеров, разрабатываются применения УНТ в новых биоматериалах и устройствах, биосенсорах, способах направленной доставки лекарств и вакцин, а также конструкциях для управляемого электростимулирования тканей.

Исследователи из ФТИНТ НАНУ (Харьков) рассказали об образовании и свойствах наногрибидов УНТ с различными биомолекулами. Расчетными методами было промоделировано взаимодействие одностенных УНТ с молекулами водорастворимых порфиринов, содержащими хромофорные группы, и их поведение в водных средах (Е.С. Заруднев). Функционализация УНТ порфиринами позволяет расширить их область применения – от биомедицины до фотоэлементов, а также стабилизировать их водные суспензии. Отметим,

что пучки одностенных УНТ (SWNT bundles), образующиеся при их синтезе, могут быть разделены на отдельные нанотрубки в водных растворах поверхностно-активных веществ (ПАВ) или водорастворимых полимеров ультразвуком. С целью понимания закономерностей процессов, протекающих при этом, были исследованы изменения люминесценции и оптического поглощения в суспензиях УНТ в присутствии некоторых ПАВ, а также полинуклеотидов в широком диапазоне кислотности (рН 3–11), влияющей на взаимодействие адсорбирующихся молекул с УНТ (А.Ю. Гламазда). Методами люминесцентной, колебательной и оптической спектроскопии были изучены свойства гибридов одностенных УНТ с полинуклеотидами и фрагментами геномной ДНК (В.А. Карачевцев). Отмечено увеличение термостабильности ДНК при адсорбции на УНТ; методом молекулярной динамики подтверждена стабильность «обернутых» биополимером УНТ, что позволяет использовать данные конструкции в качестве наноразмерного элемента биосенсоров.

О получении аналогичных УНТ, «обернутых» нековалентным связанным биополимером, и их водных дисперсий докладывал Э. Фольк (E. Faulques) из Университета г. Нанта, Франция. Он представил разработки по получению гибридных нановолокон – как нанопроволок (nanowires), так и нанотрубок – на основе поли(*n*-фениленвинилена) (ПФВ). Такие ферромагнитные нанопроволоки с оболочкой из ПФВ толщиной 30 нм и никелевой сердцевиной (90 нм) с помощью магнитного поля могут быть собраны в магнитные наноструктуры с последующей их интеграцией в устройства или сенсоры для применения в биологии или нанофотонике.

Д.С. Новопашина из Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск, представила новый метод получения нековалентных гибридов между конь-

югатами олигонуклеотидов с пиреном и УНТ. Введение пиренильного остатка повышало способность олигонуклеотидов образовывать комплексы с УНТ с повышенной степенью функционализации, что перспективно для создания бионанотранспортеров функциональных нуклеиновых кислот (siРНК, НК-энзимы, аптамеры и др.) на основе УНТ.

О методах очистки и модификации поверхности нанопорошков алмаза рассказал В.Н. Мочалин, сотрудник Университета Дрекселя, Филадельфия, США. Большие объемы этих относительно дешевых углеродных материалов производятся методом детонационного синтеза в России, Китае, Японии и ряде стран Западной Европы. Частицы размером около 5 нм содержат инертную алмазную сердцевину с поверхностными функциональными группами (С=О, СООН, ОН и др.), позволяющими «пришивать» к частицам белки, ДНК, лекарства и другие биомолекулы. Для биомедицинских применений необходимы стадии очистки поверхности частиц от слоя графита и аморфного углерода и модификации поверхности. В сочетании с высокоразвитой активной поверхностью наноалмазы характеризуются меньшей токсичностью по сравнению с полупроводниковыми квантовыми точками, УНТ и даже частицами сажи.

А.А. Камнев (Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН, Саратов) представил результаты по детектированию и исследованию биоспецифических взаимодействий (типа «узнающая молекула – молекула-мишень») с использованием функционализированных биомacroмолекулами золотых наночастиц (ЗНЧ) методом ИК-фурье-спектроскопии. В данном подходе использован эффект, связанный с усилением ИК-поглощения, индуцированным поверхностью плазмонно-резонансных наночастиц, для определенных функ-

циональных групп биомолекул, адсорбированных на ЗНЧ. Показана возможность надежно и чувствительно контролировать процесс функционализации ЗНЧ, а также детектировать иммунохимические (антиген–антитело) и лектин–углеводные взаимодействия, что перспективно для решения многих структурно-биоаналитических задач и мониторинга качества биомаркеров на основе ЗНЧ.

Образованию G-квадруплексов – квартетов оснований гуанина, соединенных водородными связями, – и изучению их самоорганизации методами колебательного (ИК) кругового дихроизма и ИК-спектроскопии в сочетании с расчетными методами был посвящен доклад В.В. Андрущенко (Институт органической химии и биохимии Чешской АН, Прага). Подобные процессы приводят к образованию сложных наноструктур, играющих первостепенную роль как в биомедицине, так и в нанотехнологии. Примером может служить ингибирование фермента теломеразы, способствующего неконтролируемому делению раковых клеток (область, отмеченная Нобелевской премией за прошлый год). Примерами нанотехнологических применений G-квадруплексов служат нанотрубки на их основе и так называемые G-провода (G-wires). Кроме того, G-квадруплексы способны самопроизвольно образовывать жидкокристаллические фазы, широко применяемые в современных технологиях. Аналогичный процесс самоорганизации протекает с участием тетракативных молекул порфирина, ассоциирующихся на полианионной матрице неорганического полифосфата, о чем

рассказал в своем докладе В.Н. Зозуля (ФТИНТ НАНУ, Харьков); при этом упаковка хромофоров порфирина приводит к тушению флуоресценции.

О недавно открытом авторами микроконтактном газочувствительном эффекте и созданных на его основе точечно-контактных наносенсорах, превосходящих по своим параметрам все известные аналоги, рассказал Г.В. Камарчук (ФТИНТ НАНУ, Харьков). Такие сенсоры дают возможность проводить комплексный анализ выдыхаемого газа человека, содержащего, как известно, более 500 летучих компонентов. Многие из них являются маркерами различных метаболических процессов в организме. Это позволило предложить новый подход для разработки методов неинвазивной диагностики состояний организма человека, который был успешно реализован в ходе клинических испытаний.

Ряд докладов был посвящен возможностям метода масс-спектрометрии в исследовании наносистем и наноматериалов. Обзор физических основ температурно-программируемой десорбционной и лазерно-десорбционной масс-спектрометрии и примеры исследования десорбции биомолекул с поверхности модифицированного кремния и мезопористых оксидных пленок были даны В.А. Покровским (Институт химии поверхности им. А.А. Чуйко НАНУ, Киев). Современные представления о физических механизмах перевода биомолекул и их нанокластеров в газовую фазу были представлены М.В. Косевич (ФТИНТ НАНУ, Харьков). Она также привела примеры моделирования в условиях масс-спектрометрического эксперимента элементарных шагов межмо-

лекулярных взаимодействий, представляющих на наноуровне процессы сольватации биомолекул, молекулярного узнавания, связывания лекарств с молекулами-мишенями, самосборки супрамолекулярных структур. О масс-спектрометрическом обнаружении достаточно сильного взаимодействия между катионным красителем (метиленовым голубым, МГ⁺) и поверхностью УНТ, подтвержденного квантово-химическим моделированием, рассказал ее молодой коллега В.В. Чаговец. Расчеты выявили также стабильность комплекса УНТ– МГ⁺, особенности молекулярной динамики и возможность электронного переноса в системе, что существенно для ее функционирования в наноустройствах.

В докладе «Наноконструкты в оптимизации криосред для сохранения генофонда» Н.П. Галаган (Институт химии поверхности НАНУ, Киев) сообщила о повышении выживаемости репродуктивных клеток после криоконсервирования в случае добавления в криопротекторные системы наноконструкты на основе высокодисперсного кремнезема и биомолекул (белка, моно- и олигосахаров, полиолов).

Приведенные здесь избранные примеры демонстрируют широкий диапазон применений биологических наноструктур, что в сочетании с физическими методами исследования позволяет раскрыть многие их возможности. Эффективность подобных «наноконференций» – именно в оперативности обмена опытом, идеями и информацией между представителями разных специальностей, объединенными стремительно развивающейся областью науки о наноматериалах. ■