



Нанохимия и жизнь



Алексей Труханов,
академик-секретарь
Отделения химии
и наук о Земле
НАН Беларуси,
доктор физико-
математических наук

Развитие нанотехнологий и тенденция к миниатюризации – ключевые направления научно-технического прогресса, которые, без сомнения, будут играть важную роль в развитии промышленности на протяжении всего XXI в. В последние десятилетия наноматериалы, чей потенциал обусловлен в первую очередь их уникальными оптическими, электронными, механическими и иными физико-химическими свойствами, появляющимися благодаря влиянию размерных, поверхностных и кооперативных эффектов, были предметом активных исследований как в академических кругах, так и в различных отраслях промышленности наряду с био- и информационными технологиями. Классификация наноматериалов в первую очередь зависит от формы структурных элементов: 0D- (нульмерные) частицы и квантовые точки; 1D- (одномерные) нанотрубки, волокна и стержни; 2D- (двумерные) пленки, слои и ленты; 3D- (трехмерные) поликристаллы.

Материаловедение в области низкоразмерных систем (наноматериаловедение) – одна из молодых дисциплин, которая за короткий период времени стала передовой современной наукой. Анализ статистических данных одной из обширнейших наукометрических баз данных Scopus по количеству публикаций на тему «nanomaterials» показал, что интерес к данной сфере возрастает экспоненциально в последние два десятка лет. В международных рецензируемых изданиях с ключевым словом nanomaterials за 2023 г. значатся около 15 тыс. научных статей. При этом лидирующие позиции занимают страны с развитой и стремительно развивающейся экономикой: Китай (31%), США (19%), Индия (11%) и др. Республика Беларусь находится на 61-м месте с показателем 165 публикаций.

Основные задачи современного этапа – поиск новых высокоэффективных методов синтеза и установление взаимосвязи между его условиями, структурой и функциональ-

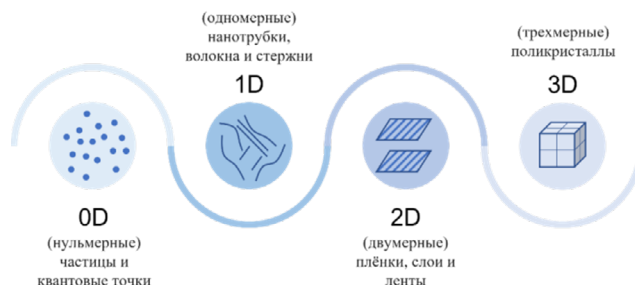
ными свойствами полученных наноразмерных объектов. Возможность контролировать свойства и «управлять» поведением материала на этой стадии открывает широкие перспективы для развития новых технологий и производства принципиально новой продукции.

Наноматериалы находятся в поле зрения отечественных ученых из Института физико-органической химии НАН Беларуси (ИФОХ) и Института химии новых материалов НАН Беларуси (ИХНМ). В ИФОХ созданы носители для твердофазного автоматизированного синтеза олигонуклеотидов (коротких фрагментов ДНК или РНК) на основе стекла с контролируемым размером нанопор. Благодаря этому было налажено производство отечественных реагентов для ПЦР-РВ диагностики – флуоресцентных ДНК-зондов. Завершаются исследования новых нанопористых носителей, предназначенных для синтеза РНК-олигонуклеотидов для генной терапии с адресной доставкой.



Области применения наноматериалов

Классификация наноматериалов в зависимости от размерности структурных элементов



Разработаны методы получения конъюгатов олигонуклеотидов с флуоресцентными нанокристаллами (квантовыми точками), плазмонными наночастицами, оксидом графена для перспективных биосенсорных материалов. Планируется изучить липидные системы доставки для генной терапии – липидные наночастицы (ЛНЧ). Уже получен ряд катионных липидов – компонентов ЛНЧ, ведется синтез ионизируемых аминоклипидов (аналогов соединений для мРНК-вакцин и пегилированных липидов).

Продолжается работа над новыми формами нанолекарств для АПК под торговой маркой Наноплант. Сверхпроницаемость наночастиц соединений

микроэлементов в растительные клетки позволяет обеспечивать высокую биологическую эффективность при меньших в десятки раз расходах в сравнении с традиционными соевыми и хелатными формами. За период с 2017 г. произведены микроудобрения Наноплант для предпосевной подготовки семян и внекорневой обработки посевов на площади 669 тыс. га (в том числе на экспорт – для обработки 386 тыс. га). В 2023 г. определены эффективность, оптимальные расходы микроудобрений Наноплант-Сера и Наноплант-Ультра при выращивании салата защищенного грунта. Изучены возможности Нанопланта для стимуляции укоренения одревесневших черенков голубики в

сравнении с хелатными микроудобрениями (Кристалон, Яра, производства Нидерланды) и гормональным стимулятором корнеобразования Корневин. Установлено, что применение Нанопланта в 2 раза, в сравнении с Корневином и Кристалоном, увеличило количество укоренившихся черенков. В их клетках продуцируются природные эндогенные гормоны – более эффективные стимуляторы роста и развития по сравнению с искусственными экзогенными гормональными препаратами.

С целью освоения рынка Узбекистана выполнены предварительные исследования возможности повышения энергии роста хлопчатника благодаря обработке Наноплантом в операциях прайминга и инкрустации опущенных семян. В модельных экспериментах по выращиванию этой культуры в вегетативных сосудах выбрана более эффективная операция подготовки семян (инкрустация), обеспечивающая увеличение энергии роста на 25%.

В лаборатории микро- и наноструктурированных систем ИХНМ НАН Беларуси не первый год ведутся работы над новыми композиционными наноматериалами, содержащими наночастицы серебра. Представлены экологичные подходы по их «зеленому» синтезу с помощью природных биополимеров – биосовместимых и нетоксичных полисахаридов (пектин, хитозан, альгинат), выделяемых из природного сырья: пектин – из яблок и цитрусовых, альгинат – из водорослей, хитозан – из грибов и панцирей ракообразных. Полисахариды способны восстанавливать катионы серебра с получением наночастиц этого элемента, одновременно

образуя на их поверхности стабилизирующую оболочку, которая защищает их от агрегации. Более того, это позволяет снизить их токсичность для живых организмов. Таким образом формируется наноккомпозит, который включает в себя достоинства каждого из компонентов – полисахарида и серебра.

Оценка биологической активности наноккомпозитов Ag-полисахарид является междисциплинарной задачей, поэтому ИХНМ НАН Беларуси тесно сотрудничает как с отечественными научными организациями (Институт микробиологии НАН Беларуси, Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, РУП «Научно-практический центр гигиены», РУП «Институт мясо-молочной промышленности»),

так и с зарубежными коллегами (Ереванский государственный университет, Белградский университет). В ходе совместных исследований установлено, что наноккомпозиты Ag-полисахарид обладают выраженными антибактериальными свойствами в отношении как коллекционных штаммов бактерий, так и клинических изолятов, при этом они не токсичны и не оказывают кожно-раздражающего и сенсибилизирующего действия. Совместно с коллегами из Ереванского государственного университета показано, что наночастицы серебра, покрытые оболочкой альгината, ингибируют рост вирулентных штаммов *Pseudomonas* и потенциально пригодны для профилактики и лечения псевдомонадных инфекций радужной

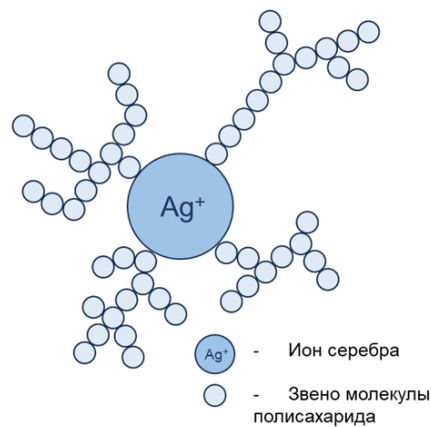
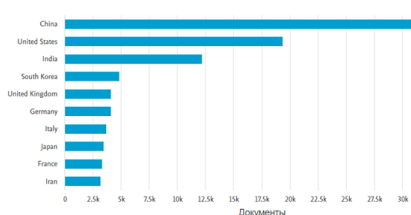
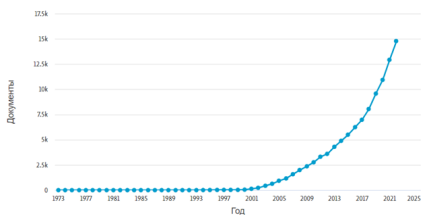
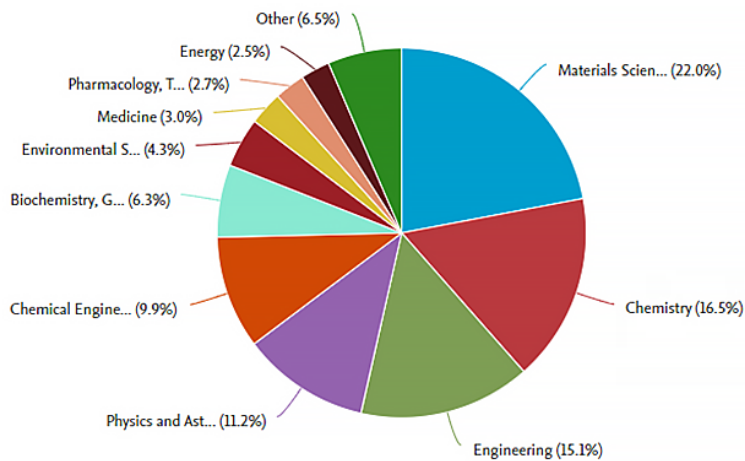


Схема композита на основе иона Ag⁺ и полисахарида

форели. Наночастицы серебра, стабилизированные оболочкой хитозана, проявляют активность в отношении полевых штаммов, вызывающих мастит у крупного рогатого скота. При комбинации наноккомпозитов Ag-полисахарид с коммерческими антибиотиками и антисептиками наблюдается аддитивный или синергетический антибактериальный эффект, что позволяет существенно снизить рабочую концентрацию антибиотика. Потенциал применения наноккомпозитов в растениеводстве оценен совместно с Институтом экспериментальной ботаники НАН Беларуси. В предварительных исследованиях показано, что Ag-пектин может действовать на возбудителей сетчатой и темно-бурой пятнистостей ячменя, способствовать замедлению некрозообразования и сохранению жизнеспособности растений.

Наноккомпозиты Ag-полисахарид представляют интерес в качестве основы для новых материалов различного функционального назначения. С их использованием методом послойного осаждения разработаны подходы к формированию



Статистические данные о количестве научных публикаций в международных рецензируемых изданиях на тему «nanomaterials» согласно наукометрической базе данных Scopus

ультратонких (толщина <100 нм), обладающих антибактериальными свойствами модифицирующих покрытий. Они проявляют как бактерицидное действие за счет входящих в их состав компонентов, так и антиадгезионные свойства, препятствующие сцеплению белков и бактерий, и могут использоваться для модификации изделий медицинского назначения (хирургические сетки, имплантаты и др.) с целью их защиты от бактериального заражения и расширения функционала.

Несмотря на то, что в последнее время есть ощущение, что термины «наноматериалы» и «нанотехнологии» широко общественностью понимаются в определенной степени как исчерпавшие свою актуальность и используемые ранее для «хайпа», следует отметить, что материалы при переходе на наноразмерный уровень все-таки демонстрируют принципиально новые свойства, не наблюдаемые на макроскопическом уровне. Именно это и привлекает внимание многих ученых как с фундаментальной, так и с практической точек зрения. Дальнейшее развитие и применение наноматериалов обещает множество возможностей, включая создание сверхточных систем доставки лекарств, нанороботов для производства микрообъектов, наноэлектроники, ультра-селективных молекулярных сит и нанокompозитов для высокопроизводительных транспортных средств. Данные технологии будут и в дальнейшем привлекать внимание исследователей и инженеров, поскольку их потенциал и возможности далеко не исчерпаны. ■



Александр Ильющенко,
директор Института порошковой металлургии, генеральный директор ГНПО порошковой металлургии, академик, профессор



Татьяна Талако,
заместитель академика-секретаря Отделения физико-технических наук, доктор технических наук, профессор



Андрей Лецко,
заведующий НИЛ №15, кандидат технических наук, доцент

АДДИТИВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И КЕРАМИЧЕСКИХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аддитивное производство (АП) находится в авангарде передовых технологий XXI в. Это связано с уникальными возможностями дизайна конструкций (повышенная свобода проектирования по сравнению с традиционными решениями: возможность изготовления облегченных решетчатых структур, сложных внутренних каналов или единых встроенных моделей вместо нескольких частей), широким набором методов построения и перечнем материалов. Однако для эффективного использования открывающихся в связи с этим перспектив необходимо полное переосмысление инженерного цикла АП.