

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

С. А. Жданок, З. М. Ильина, Н. К. Толочко

НАНОТЕХНОЛОГИИ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Минск
БГАТУ
2012

УДК 620.3:339.137

Жданок, С. А. Нанотехнологии в агропромышленном комплексе: монография / С. А. Жданок, З. М. Ильина, Н. К. Толочко; под ред. Н. К. Толочко. – Минск : БГАТУ, 2012. – 172 с. : ил. – ISBN 978-985-519-446-1.

В монографии рассмотрены современное состояние, проблемы и перспективы развития нанотехнологий в агропромышленном комплексе, включая такие его отраслевые направления, как растениеводство, животноводство и ветеринария, переработка сельскохозяйственного сырья и производство пищевых продуктов, агропромышленная техника, строительство и энергетика.

Адресуется научным, инженерным и производственным работникам, специализирующимся в агропромышленной сфере, а также студентам аграрных и технических вузов, магистрантам, аспирантам и преподавателям, интересующимся проблемами научно-технологического развития агропромышленного производства.

Ил. 37. Библиогр.: 285 назв.

Под редакцией доктора физико-математических наук, профессора
Н. К. Толочко

Рецензенты:
член-корреспондент НАН Беларуси, доктор экономических наук,
профессор Г. И. Гануш,
доктор технических наук, профессор В. Е. Борисенко

ISBN 978-985-519-446-1

© БГАТУ, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ГЛАВА 1. АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС	8
1.1. Отраслевая структура АПК.....	8
1.2. Функции АПК.....	12
1.3. Принципы устойчивого развития АПК.....	14
1.4. АПК и научно-технологический прогресс.....	18
1.4.1. Задачи, факторы и эффективность НТП в АПК.....	18
1.4.2. НТП и развитие мировой продовольственной системы.....	20
1.4.3. Особенности НТП в АПК.....	25
1.4.4. Основные направления НТП в АПК.....	27
ГЛАВА 2. НАНОТЕХНОЛОГИИ	37
2.1. Общая характеристика нанотехнологий.....	37
2.2. Нанобиотехнологии.....	41
2.3. Разновидности наноматериалов и наносистем.....	43
2.3.1. Наночастицы.....	43
2.3.2. Консолидированные наноматериалы и нанодисперсии.....	47
2.3.3. Наносистемы.....	49
ГЛАВА 3. ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ	64
3.1. Основные направления применения нанотехнологий в АПК.....	64
3.2. Растениеводство.....	67
3.2.1. Обработка растений и семян нанодисперсными химическими веществами.....	70
3.2.2. Обработка растений и семян наночастицами металлов.....	72
3.2.3. Наносредства доставки химических веществ к корням растений.....	76
3.2.4. Наносенсорный контроль состояния растений и почвы.....	78
3.2.5. Обработка растений и семян наноструктурированной водой.....	80
3.3. Животноводство и ветеринария.....	81
3.3.1. Нанодисперсные кормовые добавки.....	82
3.3.2. Нанодисперсные ветеринарные препараты.....	84
3.3.3. Ветеринарные препараты на основе биологически активных наночастиц.....	86
3.3.4. Наносредства доставки ветеринарных препаратов.....	89
3.3.5. Наносредства ветеринарного контроля.....	94
3.4. Переработка сельскохозяйственного сырья и производство пищевых продуктов.....	96
3.4.1. Нанодисперсные компоненты пищевых продуктов.....	98
3.4.2. Нанокатализаторы процессов пищевого производства.....	99
3.4.3. Наноматериалы для упаковки пищевых продуктов.....	100
3.5. Агропромышленная техника, строительство и энергетика.....	103
3.5.1. Конструкционные и строительные наноматериалы.....	106
3.5.2. Нанопокрытия.....	116
3.5.3. Смазочные наноматериалы.....	119
3.5.4. Топливные наноматериалы.....	122
ГЛАВА 4. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ	126
4.1. Принципы выбора приоритетов развития нанотехнологий в АПК.....	126
4.2. Риски инвестирования в развитие нанотехнологий в АПК.....	134
4.3. Экологические аспекты развития нанотехнологий в АПК.....	137
4.3.1. Роль нанотехнологий в обеспечении экологической безопасности агропромышленного производства.....	137
4.3.2. Токсичность наноматериалов.....	140
4.4. Особенности развития нанотехнологий в АПК разных стран.....	141
ЛИТЕРАТУРА	145

ПРЕДИСЛОВИЕ

Нанотехнологии, начавшие интенсивно развиваться на рубеже XX-XXI веков, ныне активно вторгаются практически во все сферы человеческой деятельности. Они стали причиной происходящих в настоящее время кардинальных изменений в характере производственных процессов, привели к созданию принципиально новых методов и средств переработки и преобразования информации, энергии и вещества. Ожидается, что в ближайшие 10-20 лет бурное развитие нанотехнологий неизбежно приведет к существенным переменам в экономике и жизни людей в целом.

В последние годы нанотехнологии все более широко распространяются в различных отраслях агропромышленного комплекса (АПК) – важнейшего сектора экономики, обеспечивающего потребности населения в продуктах питания. Сегодня, в связи с наметившимися долгосрочными тенденциями роста цен на продукты питания при одновременном росте спроса на них в мире, особую актуальность приобретает решение задач по увеличению масштабов и темпов агропромышленного производства. Одним из ключевых подходов к решению этих задач является всемерное развитие агропромышленных нанотехнологий, на основе которых, с учетом их высоких потенциальных возможностей, можно достигнуть значительного повышения количества выпускаемых высококачественных и экологически чистых продовольственных товаров.

Вместе с тем следует заметить, что разработка и практическое освоение нанотехнологий в АПК связаны с немалыми сложностями, что обусловлено рядом обстоятельств. Во-первых, нанотехнологии находятся в состоянии постоянного развития. С каждым годом возрастает объем знаний в нанонауке, совершенствуются существующие и возникают новые виды нанотехнологий, расширяется круг их всевозможных применений. Во-вторых, нанотехнологии как область научных знаний имеют ярко выраженный междисциплинарный характер. Они базируются на физических, химических и биологических процессах, которые часто оказываются тесно свя-

занными между собой. Все это создает определенные трудности при прогнозировании нанотехнологического развития АПК, главной целью которого является выбор приоритетных направлений, установление характера и условий применения нанотехнологий в агропромышленной сфере с учетом особенностей отраслевой структуры и тенденций экономического роста АПК. Кроме того, указанные обстоятельства создают определенные трудности и при реализации выбранных приоритетов нанотехнологического развития АПК.

Для успешного продвижения нанотехнологий в агропромышленную сферу необходимо, прежде всего, обеспечить подготовку соответствующих специалистов. Решением задач нанотехнологического развития АПК должны заниматься коллективы научных, инженерных и производственных работников, которые специализируются как в области агропромышленного производства, так и в области нанотехнологий. Соответственно, требуется обобщение и систематизация знаний и опыта по вопросам применения нанотехнологий в АПК. Именно этому посвящена предлагаемая книга, в которой рассмотрены современное состояние, проблемы и перспективы развития нанотехнологий в АПК, включая такие его отраслевые направления, как растениеводство, животноводство и ветеринария, переработка сельскохозяйственного сырья и производство пищевых продуктов, агропромышленная техника, строительство и энергетика.

Монография адресуется в первую очередь специалистам в области агропромышленного производства. При этом главной целью является обращение их внимания на потенциальные возможности нанотехнологий, способствовать активизации их деятельности по эффективному применению нанотехнологий в различных отраслях АПК. В то же время она представляет интерес и для «чистых» нанотехнологов, которым практически важно знать о возможных направлениях и особенностях развития нанотехнологий в агропромышленном производстве. Монография может быть полезна студентам аграрных и технических вузов, магистрантам, аспирантам и преподавателям, интересующимся проблемами научно-технологического развития АПК.

Монография подготовлена коллективом авторов, специализирующихся в вопросах агропромышленного производства и нано-

технологий: академиком НАН Беларуси, доктором технических наук, профессором С.А. Жданком (Институт тепло- и массообмена НАН Беларуси, гл. 2, 4), членом-корреспондентом НАН Беларуси, доктором экономических наук, профессором З.М. Ильиной (Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, гл.1), доктором физико-математических наук, профессором Н.К. Толочко (Белорусский государственный аграрный технический университет, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, гл. 1, 2, 3, 4).

ГЛАВА 1 АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС

1.1. Отраслевая структура АПК

Агропромышленный комплекс – это совокупность взаимосвязанных отраслей экономики, взаимодействующих при производстве, переработке и коммерческой реализации сельскохозяйственной продукции, обеспечивающих потребности населения в пищевых продуктах и товарах народного потребления из сельскохозяйственного сырья.

АПК условно подразделяется на три основные отраслевые сферы:

- сельскохозяйственное производство (сельское хозяйство) – группа отраслей, занимающихся возделыванием сельскохозяйственных культур и разведением сельскохозяйственных животных для получения земледельческой и животноводческой продукции, а также первичной переработкой этой продукции;
- группа отраслей, обеспечивающих переработку продукции сельского хозяйства, в том числе пищевая, комбикормовая промышленность, соответствующие отрасли легкой промышленности;
- группа отраслей, осуществляющих производство средств производства для сельского хозяйства и связанных с ним перерабатывающих отраслей; включает отрасли машиностроения, выпускающие машины и устройства для агропромышленного производства, в том числе для сельского хозяйства, пищевой промышленности, комбикормовой промышленности и соответствующих отраслей легкой промышленности.

В каждую из трех указанных сфер АПК также входят специализированные предприятия, занимающиеся материально-техническим обеспечением и техническим обслуживанием производства, транспортировкой, хранением и коммерческой реализацией выпускаемой продукции.

Особенность сельского хозяйства по сравнению с двумя другими сферами АПК состоит в том, что выпускаемая продукция может иметь двойное назначение, выступая в качестве готовой продукции и в качестве сырья, используемого в двух других сферах. Причем одна и та же продукция, производимая в сельском хозяйстве, может выступать и в качестве готовой продукции, и в качестве сырья. Так, овощи, потребляемые в свежем виде, представляют собой сельскохозяйственную продукцию. Те же овощи, предназначенные для промышленной переработки, например, для получения овощных консервов, являются сельскохозяйственным сырьем для пищевой промышленности.

Основные отрасли сельского хозяйства:

- земледелие – возделывание сельскохозяйственных культур (продовольственных, технических, кормовых и др. растений) для получения земледельческой продукции (часто земледелие отождествляется с растениеводством);

- животноводство – разведение сельскохозяйственных животных для получения животноводческой продукции.

К подотраслям земледелия относятся:

- полеводство – возделывание полевых культур (зерновых, кормовых, технических – льна, хлопчатника и др., картофеля);
- овощеводство – возделывание овощных культур;
- плодоводство – возделывание плодовых культур.

Кроме того, как отдельные подотрасли земледелия рассматриваются:

- семеноводство – выращивание растений для получения сортовых семян;
- селекция растений – выведение сортов и гибридов растений.

Из полеводства принято выделять луговое хозяйство как отдельную подотрасль земледелия, занимающуюся производством сена, зеленого корма, сырья для приготовления травяной муки и других кормов на природных и сеяных сенокосах и пастбищах (полеводство, в отличие от лугового хозяйства, осуществляется на пахотных землях).

К подотраслям животноводства относятся:

- скотоводство – разведение крупного рогатого скота для получения молока, мяса и кожсырья;
- свиноводство – разведение свиней для получения мяса, сала и кожсырья;

- овцеводство – разведение овец для получения мяса, сала, молока, а также сырья для легкой промышленности (шерсть, овчина, смушка);

- птицеводство – разведение птицы для получения мяса и яиц, а также побочной продукции – пуха и пера.

- другие отрасли (коневодство, кролиководство и т. д.);

Кроме того, как отдельные подотрасли животноводства рассматриваются:

- селекция животных – выведение пород животных;

- племенное дело – выращивание на племя приплода высокопродуктивных стад животных определенных пород.

Как неотъемлемую часть животноводства следует рассматривать практическую ветеринарию, в задачи которой входит предупреждение и лечение болезней животных, обеспечение выпуска доброкачественных в ветеринарно-санитарном отношении продуктов животноводства и ветеринарно-санитарной защиты окружающей среды.

Основные отрасли пищевой промышленности:

- молочная – выработка из молока различной молочной продукции (животного масла, цельномолочной продукции, молочных консервов, сухого молока, сыра, брынзы, мороженого, казеина и др.);

- мясная – заготовка и убой скота и птицы и выработка мяса и мясопродуктов (колбасных изделий, мясных консервов, полуфабрикатов, кулинарных изделий и др.), а также сухих животных кормов, медицинских препаратов (инсулин, гепарин, лиокаин и др.), клея, желатина, перопуховых изделий;

- масложировая – производство растительных масел, гидрогенизация и расщепление жиров, производство маргарина, майонеза, глицерина, хозяйственного мыла и моющих средств на жировой основе, олифы;

- рыбная – добыча и переработка рыбы, морского зверя, китов, морских беспозвоночных и водорослей в разнообразные виды пищевой, медицинской, кормовой и технической продукции;

- мукомольно-крупяная – переработка зерна и производство муки и круп;

- хлебопекарная – выработка хлеба, хлебобулочных и бараночных изделий, лечебных и диетических хлебных изделий, сухарей;

- макаронная – выработка макаронных изделий;

- сахарная – выработка сахара-песка из сахарной свеклы и других сахароносных растений, а также сахара-рафинада из сахара-песка;

- консервная – переработка скоропортящихся продуктов растительного и животного происхождения (плоды, овощи, молоко, мясо, рыба) с целью хранения их в течение длительного времени и выпуск полуфабрикатов и готовых к употреблению консервов, в основном в герметически закрытой таре;

- кондитерская – производство кондитерских изделий на специализированных фабриках, а также в цехах хлебо- и пищекомбинатов, консервных заводов;

- винодельческая – производство виноградных и плодово-ягодных вин, коньяков;

- пивоваренная и безалкогольных напитков промышленность – производство пива и безалкогольных напитков, разлив минеральных вод.

Комбикормовая промышленность вырабатывает комбикорма и белково-витаминные добавки для сельскохозяйственных животных; состоит как из самостоятельных предприятий (комбикормовых заводов, заводов белково-витаминных концентратов), так и из цехов мукомольных, крупяных, хлебоприемных предприятий.

Основные отрасли легкой промышленности, работающие на сельскохозяйственном сырье:

- текстильная – выработка текстильных тканей из различных видов растительного, животного, а также синтетического волокна;

- кожевенно-обувная – выделка кожи из шкур животных и производство обуви, а также одежды, шорно-седельных и галантерейных изделий, деталей машин из кожи, как натуральной, так и искусственной;

- меховая – переработка пушно-мехового и овчинного сырья и производство меховых и шубных изделий.

Основные отрасли машиностроения для агропромышленного производства:

- сельскохозяйственное – производство тракторов, комбайнов, других машин и агрегатов для сельского хозяйства, а также запасных частей к ним;

- пищевое – производство машин и агрегатов для пищевой промышленности, а также запасных частей к ним.

В сельскохозяйственном машиностроении принято выделять тракторостроение как отдельную отрасль, производящую тракторы, тракторные и комбайновые двигатели, а также запасные части к ним.

АПК ресурсно и производственно связан с другими отраслями экономики, в частности, такими как:

- отрасли машиностроения, производящие технологические, транспортные и энергетические машины и агрегаты;

- отрасли химической промышленности, производящие минеральные удобрения, лакокрасочные материалы и другие виды химической продукции;

- отрасли горнохимической промышленности, занимающиеся выработкой минеральных удобрений;

- отрасли строительства и строительных материалов, занимающиеся возведением и реконструкцией зданий и сооружений и производством строительных материалов;

- отрасли топливной промышленности, занимающиеся добычей и переработкой различных видов топлива;

- отрасли энергетики, осуществляющие выработку, преобразование и передачу различных видов энергии.

1.2. Функции АПК

Основной функцией АПК, прежде всего, его главной составляющей – сельского хозяйства является производство продуктов питания. Исключительно высокая значимость продуктов питания для людей определяет ту важную роль, которую занимает сельское хозяйство не только в экономике, но и в жизни общества в целом. Вместе с тем, согласно концепции многофункциональности сельского хозяйства, сформировавшейся в 1980-90-е годы, сельское хозяйство выполняет ряд других функций, которые носят как производственный, так и непроизводственный характер, создавая разнообразные материальные и нематериальные блага, определить рыночную цену которых, порой, довольно сложно или вообще невозможно [1-3].

Особенно важны социальные функции сельского хозяйства, к числу которых относятся [3]:

- рекреационная;

- функция социального контроля сельских территорий;
- функция воспроизводства населения.

Рекреационная функция заключается в оздоровлении городского и сельского населения за счет использования природных рекреационных ресурсов сельских территорий: горных и лесных ландшафтов, морских и речных пляжей, минеральных источников, целебных грязей и т. д. Как правило, на сельских территориях располагается большинство санаториев, загородных больниц, домов отдыха, детских оздоровительных лагерей, дачных поселков, спортивных и туристических баз и т. п.

Функция социального контроля сельских территорий заключается в контроле состояния сельских территорий со стороны местного населения, которое следит за процессами их хозяйственного освоения, за тем, как на них обеспечивается сохранение природных ресурсов и биоразнообразия, соблюдение правопорядка, поддержание традиционной культуры землепользования.

Функция воспроизводства населения заключается не только в постоянном возобновлении численности и структуры сельского населения в процессе смены поколений и миграции людей, но также в передаче от поколения к поколению навыков природопользования и ведения сельскохозяйственного производства, сельского уклада жизни и традиционных норм и ценностей.

Рассмотренные функции тесно связаны между собой. Так, отсутствие воспроизводства населения приводит к исчезновению сельских поселений и, как следствие, к потере социального контроля сельских территорий, снижению рекреационного потенциала последних.

С учетом многофункциональности сельского хозяйства государство заинтересовано как в развитии сельскохозяйственного производства, так и в обустройстве сельских поселений, улучшении качества жизни сельского населения.

Концепция многофункциональности сельского хозяйства предполагает диверсификацию сельской экономики, в том числе размещение в сельской местности промышленных производств, опирающихся, прежде всего, на использование местного природного сырья, развитие народных промыслов, вовлечение в хозяйственный оборот разнообразных рекреационных ресурсов сельских территорий.

1.3. Принципы устойчивого развития АПК

Одной из важнейших задач современного развития мирового сообщества является обеспечение его устойчивого характера, отличительной чертой которого является его экологическая направленность [4, 5]. Впервые концепция устойчивого развития была представлена в докладе «Наше общее будущее», подготовленном Всемирной комиссией ООН по окружающей среде и развитию и опубликованном в 1987 г. В этом докладе убедительно показано, что решение крупных экологических проблем возможно только во взаимосвязи с решением экономических, социальных и политических проблем. В частности, в нем устойчивое развитие связывается с необходимостью создания таких условий, при которых «удовлетворение потребностей настоящего времени не подрывает способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности». В дальнейшем концепция устойчивого развития была дополнена требованием сохранения системы поддержания жизни и биоразнообразия и обеспечения устойчивого использования возобновляемых ресурсов, которое было сформулировано в международном документе «Забота о планете Земля – стратегия устойчивости жизни», подготовленном в рамках Программы ООН по окружающей среде (UNEP) и опубликованном в 1991 г.

Основоположающими положениями стратегии устойчивого развития являются следующие:

- признание того, что конечной целью экономического развития должен быть не экономический рост как таковой, а человек, который имеет право на здоровую и плодотворную жизнь в гармонии с природой;
- неразрывность решения задач экономического развития и сохранения окружающей среды;
- рациональное использование природных ресурсов, которое обеспечивает удовлетворение потребностей в сохранении окружающей среды как для нынешнего, так и для будущих поколений [4].

В рамках концепции устойчивого развития особое значение отводится развитию АПК. В частности, применительно к сельскому хозяйству концепция устойчивого развития предполагает выполнение ряда общих требований по обеспечению экономической, социальной и экологической устойчивости, а также специальных требо-

ваний по обеспечению агрономической устойчивости, обусловленных тем обстоятельством, что в сельском хозяйстве земля выступает в роли основного средства производства [6]. При этом под экономической устойчивостью понимается наличие для сельскохозяйственных предприятий возможности функционировать длительное время в качестве основной экономической единицы, в том числе выпускать продукцию, конкурентоспособную на внутреннем и внешнем рынках; под социальной – повышение уровня жизни работников сельского хозяйства на основе роста их доходов, развития социально-культурного обслуживания сельского населения; под экологической – недопущение нанесения вреда окружающей среде и целостности несельскохозяйственных систем. В свою очередь, под агрономической устойчивостью понимается сохранение продуктивности сельскохозяйственных угодий на протяжении длительного периода.

Таким образом, развитие сельского хозяйства может считаться устойчивым при выполнении следующих условий:

- обеспечение уровня сельскохозяйственного производства, удовлетворяющего потребности населения в продуктах питания, а перерабатывающей промышленности – в сырье;
- развитие сельских территорий на основе увеличения доходов сельского населения, создания нормальных условий жизни на селе;
- сохранение и приумножение природного потенциала.

С учетом рассмотренных особенностей устойчивого развития сельского хозяйства определяется комплекс факторов этого развития, которые подразделяются на внутренние и внешние [6].

К внутренним факторам относятся:

- производственные, связанные непосредственно с процессом сельскохозяйственного производства, главной целью которого является выпуск продовольственной продукции;
- социально-экономические, проявляющиеся на стадии коммерческой реализации произведенной продовольственной продукции;
- социально-физиологические, проявляющиеся на стадии потребления произведенной продовольственной продукции.

Производственные факторы подразделяются на природные, биологические, экономические, научно-технологические и экологические.

Природные факторы, включая климатические условия, плодородие почв, наличие и достаточность водных ресурсов, существенно

влияют на урожайность сельскохозяйственных культур, продуктивность скота, трудоемкость и объемы производства продовольственной продукции. Особенность климатических факторов состоит в том, что они могут изменять свои значения как в территориальном, так и во временном аспектах, образуя, тем самым, множество разнообразных сочетаний.

Как правило, сельскохозяйственное производство может быть адаптировано к действию природных факторов путем подбора соответствующих сортов растений, пород животных, научной организации труда. В связи с этим из производственных факторов выделяется группа биологических факторов, обеспечивающих интенсификацию биологических процессов, лежащих в основе технологий сельскохозяйственного производства. Так, оптимальный подбор сортов растений, удобрений, регуляторов роста и средств защиты растений позволяет существенно снизить химическую нагрузку на почвы, улучшить условия эксплуатации сельскохозяйственной техники, уменьшить расходы на средства обработки почв, повысить устойчивость растений к неблагоприятным факторам (засухе, полеганию, сорнякам, болезням и вредителям и т. д.), увеличить урожайность.

К экономическим факторам относятся производственный потенциал сельхозпредприятий, уровень организации сельскохозяйственного производства, территориальное размещение и отраслевая структура сельского хозяйства, объем и эффективность использования инвестиций. Среди этих факторов ведущую роль играет производственный потенциал, который определяется состоянием основных производственных фондов: сельхозтехники, транспортных средств, хранилищ и т. д.

Научно-технологические факторы характеризуются уровнем научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ (НИОКР и ОТР), проводимых в сфере сельского хозяйства, и уровнем технологий, используемых в сельскохозяйственном производстве, в том числе качеством сельхозтехники, семян, удобрений, регуляторов роста и средств защиты растений, кормов, ветеринарных препаратов и т. д.

Следует отметить, что уровень технологической вооруженности сельхозпредприятий зависит не только от уровня НИОКР и ОТР в целом, но и от того, в каких масштабах и с какой эффективностью используются результаты НИОКР и ОТР в производственной практике.

В последнее время в связи с ростом влияния сельскохозяйственного производства на окружающую среду все большее значение приобретают экологические факторы: разрушение структуры почвы вследствие использования тяжелых машин и механизмов; засоление почв из-за несоблюдения режимов полива; загрязнение почвы и водоемов химическими веществами, используемыми в агротехнической практике, что в итоге приводит к накоплению вредных веществ в продуктах питания, и т. д.

Социально-экономические факторы определяют состояние кадрового обеспечения сельскохозяйственного производства, а также – физическую и экономическую доступность продуктов питания для различных социально-демографических групп населения. К ним относятся степень занятости сельского населения, уровень образования и квалификации кадров сельского хозяйства, условия функционирования социальной и инженерной инфраструктуры на селе, уровень доходов населения, в том числе сельского, включая социальные льготы и выплаты, изменение соотношения численности городского и сельского населения и др.

Социально-физиологические факторы, характеризующиеся среднестатистическим потреблением основных продуктов питания, определяют состояние потребления этих продуктов, т. е. их фактическую востребованность, которая в значительной мере определяется их качеством. В этой связи особую тревогу вызывает все возрастающее в последние годы поступление на продовольственный рынок некачественных, фальсифицированных и опасных для здоровья продуктов.

Социально-физиологические факторы непосредственно связаны с социально-экономическими. Так, снижение уровня доходов населения приводит к тому, что значительная его часть переключается на потребление более дешевых, но менее качественных продуктов питания. Как следствие, происходит снижение спроса на одни продукты по отношению к другим, что негативно влияет на устойчивость их воспроизводства. Кроме того, деформируется структура питания, которая перестает соответствовать научно-обоснованным нормам по энергетической, пищевой и биологической ценности, т. е. по содержанию белков, жиров, углеводов, минеральных веществ и витаминов.

Факторы внешней среды делятся на две группы:

- прямого воздействия – поставщики трудовых, финансовых, информационных, материальных и прочих ресурсов, потребители,

органы государственной власти, конкуренты, контактные аудитории средств массовой информации;

- косвенного воздействия – состояние экономики, социально-политические, демографические, культурно-исторические, нормативно-правовые и погодные условия развития сельского хозяйства.

1.4. АПК и научно-технологический прогресс

1.4.1. Задачи, факторы и эффективность НТП в АПК

Традиционно в качестве важнейшего фактора роста экономического потенциала и уровня жизни общества принято рассматривать научно-технический прогресс (научно-техническое развитие), под которым понимается поступательное, взаимосвязанное развитие науки и техники [7]. Между тем в современной экономической литературе вместо этого термина все чаще используется термин «научно-технологический прогресс» («научно-технологическое развитие») [8], что обусловлено следующими двумя обстоятельствами:

- во-первых, технология является более емким понятием по сравнению с техникой [9]. Так, применительно к производственной сфере технология – это совокупность процессов, связанных с производством, включая процессы получения и переработки вещества, энергии и информации, а также процессы контроля и управления. Эти процессы, называемые технологическими, характеризуются не только видом и последовательностью выполняемых операций, но также условиями их выполнения: параметрами используемых видов вещества, энергии и информации, режимами и т. п. Кроме того, эти процессы характеризуются средствами технологического оснащения, с помощью которых они реализуются: технологическим оборудованием и технологической оснасткой (приспособлениями и инструментом), а также устройствами контроля и управления. Указанные средства принято обозначать общим понятием «техника». Таким образом, понятие «техника» включается в понятие «технология» как составная часть;

- во-вторых, развитие современного производства связано не столько с понятием «техника», сколько с более емким понятием «технология». Особенно наглядно это видно на примере развития агропромышленного производства. Так, в сельском хозяйстве в последние годы все более

широкое распространение находят химические технологии, основанные на использовании различных химических веществ для обработки почв, семян и растений, и биотехнологии, основанные на использовании различных микроорганизмов для получения новых сортов растений и пород животных. В свою очередь, типичными примерами создания новой сельскохозяйственной техники являются разработки в области механизации, автоматизации и компьютеризации.

С учетом вышеизложенного, научно-технологический прогресс (НТП) в АПК можно определить как поступательное взаимосвязанное развитие науки и технологий и практическое применение результатов этого развития в агропромышленной сфере с целью повышения эффективности производства и качества продукции, прежде всего, продуктов питания [10].

Взаимосвязь науки и технологий проявляется, с одной стороны, в постоянном воздействии достижений науки на уровень технологий, с другой – в использовании новых технологических средств в научных исследованиях.

В более широком смысле НТП в АПК представляет собой процесс технологического и организационно-экономического совершенствования агропромышленного производства на основе применения передовых научно-технологических достижений, форм и методов организации производственной деятельности [11].

Задачи НТП в АПК определяются с учетом его отраслевой структуры, функций и принципов устойчивого развития. Они делятся на следующие три основные группы:

1. Производственные – повышение эффективности производства, в том числе рост производительности труда, улучшение качества и снижение себестоимости продукции, прежде всего, продовольственной; диверсификация производства, включая создание новых высокотехнологичных производств различной отраслевой направленности и расширение ассортимента продукции, как продовольственной, так и непродовольственной;

2. Социальные – повышение уровня жизни населения, в том числе рост степени удовлетворения социальных потребностей людей, обеспеченности населения потребительскими благами, прежде всего, продовольственными товарами; улучшение условий труда и жилищно-бытовых условий, в первую очередь в сельской местности;

3. Экологические – обеспечение охраны окружающей среды, рационального природопользования; развитие экологически чистых производств, основанных на использовании местных природно-сырьевых ресурсов и возобновляемых источников энергии; обеспечение населения безопасной, экологически чистой продукцией, прежде всего, продовольственной.

Темпы и масштабы НТП в АПК зависят от ряда факторов, влияющих на ход и, как следствие, на результаты НТП [12-14]. К их числу относятся:

- научно-технологические – уровень базовых научно-технологических знаний в сфере агропромышленного производства и степень их практического освоения;

- экономические – объемы финансирования, степень обеспеченности материально-техническими и энергетическими ресурсами НИОКР и ОТР;

- социальные – степень обеспеченности кадрами, наличие нормальных условий труда и отдыха работников, мотиваций выполнения НИОКР и ОТР;

- информационные – степень обеспеченности информацией о научно-технологических достижениях;

- правовые – степень обеспеченности нормативно-правовой базой по вопросам научно-технологического развития АПК.

Эффективность НТП в АПК определяется соотношением эффекта и затрат, вызвавших этот эффект. Под эффектом понимается положительный результат, который получается в результате использования достижений НТП в АПК. Эффект может быть:

- политический (обеспечение экономической независимости, продовольственной безопасности);

- экономический (снижение себестоимости продукции, рост прибыли, рост производительности труда и т. д.);

- социальный (улучшение условий труда, повышение материального уровня жизни и здоровья населения и т. д.);

- экологический (уменьшение загрязнения окружающей среды, повышение безопасности производства и продукции).

1.4.2. НТП и развитие мировой продовольственной системы

В начале XX века все страны мира придерживались практически одной концепции в области развития агропромышленного производства,

в первую очередь сельского хозяйства: производить как можно больше и с меньшими издержками продуктов питания и в меру своих возможностей обеспечивать продовольственную безопасность за счет внедрения интенсивных технологий.

Вместе с тем, в 1990-е годы начали нарастать противоречия между разными группами стран по использованию агропромышленных технологий в сельском хозяйстве: экономически развитые страны, практически достигнув верхнего предела сельскохозяйственного производства (при этом используемые интенсивные технологии вошли в противоречие со здоровьем человека и окружающей средой), начинают переходить на более экологически безопасные технологии с некоторым уменьшением продуктивности, многие развивающиеся страны не могут обеспечить растущее население продуктами питания и по-прежнему считают своей основной задачей производство максимально возможного количества продуктов с помощью любых технологий, не принимая во внимание последствия их воздействия на здоровье населения и состояние природы; третья группа стран еще не определила свою позицию в отношении концепции будущего развития сельского хозяйства.

Продовольственная политика с начала до середины XX века была в основном сосредоточена на двух группах факторов: влияющих на возможность увеличивать объем производства пищевых продуктов и обеспечивающих адекватное распределение пищевых продуктов. В той степени, в какой направления политики в области здравоохранения касались производства пищевых продуктов, ставились цели повысить обеспеченность продуктами и улучшить доступ к ним для всего населения, главным образом в ответ на широко распространенные заболевания, связанные с недостаточностью питания, и просто голод среди малообеспеченных домашних хозяйств. Эти подходы были приняты структурами ООН – Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) и Организацией по продовольствию и сельскому хозяйству (ФАО), созданными после Второй мировой войны. Считалось, что продукты питания должны быть в изобилии и стоить дешево [15].

Во второй половине XX века заболевания, связанные с недостаточностью пищевых веществ, стали сменяться болезнями, связанными с нарушениями правильного соотношения между пищевыми веществами или с несбалансированностью рациона питания. В государственной политике приоритетом становится санитарное про-

свещение и распространение идей, поощряющих людей изменить характер питания и другие стереотипы, связанные с образом жизни и качеством питания.

Различные направления политики призваны улучшить обеспеченность пищевыми продуктами и предотвратить заболеваемость, благодаря чему удалось увеличить объемы производства пищевых продуктов. В настоящее время эти направления рассматриваются как потенциальные причины нездоровья; сельскохозяйственная политика, приведшая к увеличению объемов производства пищевых продуктов, критикуется за то, что не смогла обеспечить экологическую устойчивость, поставила под угрозу безопасность пищевых продуктов и пренебрегает вопросами качества пищевых продуктов, в особенности питательных свойств.

Экономические и социальные аспекты развития мировой продовольственной системы ориентированы на обеспечение населения планеты продовольствием, необходимым для поддержания нормальной жизнедеятельности. На протяжении всего периода становления мировой продовольственной системы, включающего четыре технологических этапа и столько же временных, возникали и возникают различного рода противоречия, которые находят отражение в новых тенденциях и приоритетах развития.

Одной из основополагающих тенденций функционирования мировой продовольственной системы XXI века, также определяющей закономерности формирования продовольственного рынка, является проникновение в отрасль новой продукции аграрных биотехнологий – генных модификаций.

Влияние НТП на продовольственные отрасли проявляется по-разному. По справедливому замечанию российского исследователя аграрных проблем развивающихся стран М.Г. Борисова: «... так же как и вся система мирового хозяйства, мировая продовольственная система формируется не «на равных». Превосходство одних стран над другими достигается за счет не только более высокого уровня экономического развития, но и, как следствие, более высокой эффективности сельскохозяйственного производства» [16]. В свою очередь, эта эффективность напрямую зависит от возможностей доступа к достижениям НТП. Получается в определенной степени эффект «замкнутого круга».

Теоретически обе группы стран, как развитые, с высоким уровнем потребления продовольствия, так и развивающиеся, с низким,

а порой и критическим уровнем такого потребления, могли бы получить весьма весомые экономические преимущества от широкого внедрения биотехнологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. Для развитых стран это, безусловно, увеличение прибыли на отраслевом и фирменном уровнях за счет диверсификации ассортимента и улучшения характеристик товара, а также за счет расширения возможностей промышленной экспансии. Выгоды развивающихся стран могли бы заключаться в решении приоритетных задач развития: в росте производства продовольствия, балансировании пищевого потребления, снижении за счет этого голода и, как следствие, росте уровня жизни. Однако на практике естественным барьером на пути проникновения биотехнологий в продовольственные отрасли являются частный характер собственности на результаты биотехнологических исследований и их высокая капиталоемкость и наукоемкость.

Одной из важнейших характерных черт современного развития мировой продовольственной системы является ее экологизация, выражающаяся не только в формировании и реализации специальных региональных программ экологического земледелия, выработке стандартов экологического питания, разработке образовательных и обучающих проектов щадящего по отношению к окружающей среде аграрного производства, но и в росте оборота органических продуктов.

В органическом секторе сельского хозяйства уровень наукоемкости к концу XX века также значительно вырос. В развитых странах сложилась сеть научных центров, занятых исследованиями агротехнических, биологических, производственных, экономических, экологических аспектов применения данного метода. Однако принципиальное отличие НИОКР и ОТР в органическом секторе от аналогичных работ в области трансгенных (генетически модифицированных) продуктов заключается: в экономических особенностях созданного на их базе товара и в характере собственности на результаты таких исследований. Если результатом НИОКР и ОТР в секторе трансгенных продуктов является товар с уникальными свойствами, то в органическом – группа товаров улучшенного качества за счет отсутствия химических веществ и других отрицательных «сюрпризов» НТП. В первом случае товар и процесс его производства жестко охраняются развитым законодательством о защите прав интеллектуальной собственности, во втором такая защита находится на более низком уровне.

В настоящее время продукты, снабженные торговыми знаками «био», широко известны потребителю. Органический знак показывает потребителю, что продукт произведен с применением определенных методов, т. е. он обозначает, скорее, требования к процессу, чем к товару. Сам же товар абсолютно идентичен аналогичной продукции, полученной традиционным способом. Тем не менее, потребительская стоимость органических продуктов отличается от традиционных аналогов.

Мировая торговля органическими продуктами питания за десятилетие активного развития приобрела характерные черты и особенности, не свойственные секторам трансгенных и традиционных товаров.

В органическом секторе рынка поставки носят преимущественно комплексный характер. Это значит, что производственные структуры, как правило, поставляют контрагентам на внутренний и внешний рынки широкий ассортимент продовольствия растительного и животного происхождения. Такой отход от тенденции к специализации объясняется сущностью и особенностями самого метода ведения органического производства.

Специфический характер носит географическое распределение мировой торговли органическими продуктами. Из-за более высокой цены они ввозятся в основном в развитые государства с высокой степенью самообеспечения продовольствием как из развитых стран, так и из развивающихся. Причем последние экспортируют высококачественные продукты при значительном внутреннем недопотреблении продовольствия.

Несмотря на вполне обоснованные утверждения экспертов ФАО о том, что НТП сделал реальностью ликвидацию голода на планете, проблемы развития мировой продовольственной системы, определяемые ее глобальным значением для человеческого общества, не теряют актуальности и, более того, выходят на другие уровни.

Исходя из сложившихся и прогнозируемых тенденций продовольственного рынка, мировому сообществу предстоит определить взаимоприемлемую перспективу его развития. Важнейшее направление решения проблемы – достижение стабильности продовольственной системы на основе устойчивого развития агропромышленного производства, в первую очередь сельского хозяйства.

1.4.3. Особенности НТП в АПК

НТП в АПК имеет ряд особенностей, обусловленных соответствующими особенностями развития АПК, прежде всего, сельского хозяйства, к числу которых относятся:

- 1) высокая социальная значимость производимой продукции;
- 2) биологические механизмы процессов производства;
- 3) зависимость результатов производства от природных факторов;
- 4) зависимость результатов производства от обеспеченности трудовыми ресурсами;
- 5) сезонный характер производства;
- 6) наличие больших объемов скоропортящейся продукции;
- 7) множественность отраслей производства и многочисленность видов производимой продукции;
- 8) значительная дифференциация параметров качества земель по сельскохозяйственным зонам и регионам;
- 9) значительная дифференциация сельского населения по уровню профессиональной квалификации [17–19].

Рассмотрим влияние указанных особенностей развития АПК на характер развития НТП в АПК:

1. Высокая значимость продукции, производимой в АПК, заключается в том, что она представляет собой продукты питания, являющиеся для людей предметом первой жизненной необходимости. Отсюда следует, что научно-технологическое развитие агропромышленного производства должно быть направлено, в конечном счете, на увеличение масштабов производства и улучшение качества продуктов питания.

2. Биологические механизмы процессов производства, или, иными словами, развитие растений и животных, происходящее по биологическим законам, делает необходимым разработку технологий производства, которые обеспечивают нормальное протекание естественных биологических процессов во времени либо вносят в характер их протекания строго определенные допустимые изменения. Кроме того, при разработке технологий производства той или иной продукции следует учитывать биологические особенности соответствующих видов сельскохозяйственных культур и животных. Следствием большой длительности биологических процессов, лежащих в основе многих сельскохозяйственных технологий,

является большая продолжительность периода от создания научно-технологических новшеств, например, новых сортов растений и пород животных, до их массового применения на практике.

3. Зависимость результатов производства от природных факторов сказывается, прежде всего, на возделывании сельскохозяйственных культур: продолжительность вегетационного периода, требовательность к теплу, свету и качеству почв у разных видов растений различны, отсюда неодинаковы и территориальные границы распространения культур и возможности их сочетания на отдельных территориях. Влияние природных факторов на развитие животноводства проявляется через кормовую базу: в наибольшей зависимости от почвенно-климатических условий находится пастбищное животноводство, на которое оказывают значительное влияние состояние пастбищ, в частности, состав растительности и продолжительность периода их использования. В силу указанных обстоятельств требуется разработка новых сортов сельскохозяйственных культур и технологий их возделывания, обеспечивающих повышенную устойчивость растений к воздействию природных факторов в рамках конкретных территориальных границ. Одновременно следует предусматривать возможности повышения стойкости сельхозтехники к воздействию природных факторов, включая механическую, коррозионную, тепловую стойкость.

4. Зависимость результатов производства от обеспеченности трудовыми ресурсами проявляется в том, что развитие того или иного вида сельскохозяйственного производства на данной территории осуществляется с учетом его трудоемкости (наиболее трудоемкими считаются производство овощей, картофеля, сахарной свеклы, некоторые отрасли животноводства). При этом возможно возникновение таких ситуаций, когда выгодное по природным условиям производство сдерживается из-за невозможности его обеспечения трудовыми ресурсами на данной территории. Как следствие, необходима разработка технологий, обеспечивающих существенное повышение производительности труда, а также развитие механизации, автоматизации и компьютеризации технологических процессов, что значительно сокращает потребности в трудовых ресурсах.

5. Сезонный характер производства, особенно ярко выраженный в земледелии, предопределяет неравномерное использование тру-

довых ресурсов, делает невозможной узкую специализацию работников, занятых в производственном процессе. Это обуславливает необходимость более высокой технологической оснащенности производства, обеспечения его универсальными машинами и агрегатами, которые можно использовать на различных видах работ.

6. Наличие больших объемов скоропортящейся продукции вызывает необходимость разработки эффективных технологий ее переработки и хранения.

7. Множественность отраслей производства и многочисленность видов производимой продукции обуславливают необходимость проведения НИОКР и ОТР по широкому спектру различных научно-технологических направлений.

8. Значительная дифференциация параметров качества земель (химического и гранулометрического состава, плодородия) по сельскохозяйственным зонам и регионам обуславливает соответствующую дифференциацию технологий земледелия, что требует применения различных научно-технологических подходов к решению задач зонального и регионального развития сельского хозяйства.

9. Значительная дифференциация сельского населения по уровню профессиональной квалификации требует большего внимания к подготовке кадров в сфере новых сельскохозяйственных технологий, повышению их квалификации

1.4.4. Основные направления НТП в АПК

К основным, традиционно сложившимся направлениям НТП в АПК относятся: механизация, автоматизация и компьютеризация; химизация; биотехнологии; экотехнологии.

Механизация, автоматизация и компьютеризация [20–23]

Механизация производства – модернизация производства путем замены ручных средств труда (инструментов) машинами, обеспечивающими выполнение технологических операций; при этом ручной труд используется для управления машинами, их регулирования и наладки, а также на тех нетрудоемких технологических операциях, механизация которых экономически нецелесообразна.

Автоматизация производства – высшая стадия механизации производства, при которой выполнение технологических операций

обеспечивается с помощью средств автоматики без непосредственного участия человека; при этом управление машинами, их регулирование и наладка осуществляются автоматически.

Компьютеризация производства – высшая стадия автоматизации производства, при которой выполнение технологических операций основывается на широком применении компьютерной техники и программных средств.

Главные цели механизации, автоматизации и компьютеризации – повышение производительности труда, улучшение качества и снижение себестоимости продукции, оптимизация управления, устранение человека от производств, опасных для здоровья.

Механизация, автоматизация и компьютеризация могут быть частичными и комплексными – в зависимости от степени оснащения производства техническими средствами и рода выполняемых работ. В первом случае осуществляется механизированное, автоматизированное или компьютеризированное выполнение отдельных технологических операций, во втором – всех основных технологических операций, что в результате приводит к созданию практически полностью механизированных, автоматизированных или компьютеризированных технологических линий, производственных участков, цехов и предприятий.

Наиболее прогрессивные направления механизации, автоматизации и компьютеризации связаны с применением технологического оборудования с числовым программным управлением, роботизированных технологических комплексов и гибких производственных систем (гибких автоматизированных производств).

Технологическое оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ) – производственный автомат (полуавтомат), рабочие органы которого выполняют движения или иные функции автоматически, по заранее установленной числовой управляющей программе в виде совокупности команд на языке программирования, соответствующей заданному алгоритму функционирования оборудования.

Роботизированный технологический комплекс (РТК) – совокупность единицы технологического оборудования, промышленного робота и средств оснащения, автономно функционирующая и осуществляющая многократные циклы. Средствами оснащения РТК могут быть устройства накопления, ориентации, поштучной выдачи заготовок и другие устройства, обеспечивающие функционирование РТК.

Гибкая производственная система (ГПС) – автоматизированная производственная система, в которой на основе соответствующих технических средств и организационных решений обеспечивается возможность оперативной переналадки на выпуск новой продукции в довольно широких пределах ее номенклатуры и характеристик.

В сельском хозяйстве широкое применение находят машины, характеризующиеся высокой мощностью и вместе с тем низкой материалоемкостью и энергоемкостью, с сохранением для подвижных машин маневренности и проходимости; унифицированные базовые машины с комплектами сменного навесного и полуприцепного оборудования; многофункциональные виды техники, в том числе комбайны-автоматы, позволяющие механизировать и автоматизировать практически любой технологический процесс сельскохозяйственного производства.

Современные тракторы, а также другие сельскохозяйственные машины оснащаются электронными системами контроля и управления. С помощью бортового компьютера, устанавливаемого на тракторе, осуществляется управление работой различных узлов трактора: двигателя, коробки передач, гидравлического подъемника, ведущих осей колес и т. д. Кроме того, во взаимосвязи с бортовым компьютером могут функционировать контролирующие и управляющие системы, находящиеся на сопряженных с трактором сельскохозяйственных агрегатах. Применение комплексных электронных управляющих систем, которые охватывают взаимодействие тракториста, трактора, агрегатов и почвы, создает большие возможности для повышения производительности труда, снижения расхода топлива, улучшения обработки почвы.

В последнее время при разработке сельхозтехники все больше внимания уделяется вопросам программного управления технологическими процессами: внесением удобрений, посевом, обработкой почвы и др.

Особую значимость имеют новые подходы, применяемые к разработке сельхозтехники в связи с развитием технологий точного земледелия. Суть этих технологий состоит в том, что сельскохозяйственные поля рассматриваются с учетом присущих им неоднородностей по рельефу, почвенному покрову, агрохимическому содержанию и, соответственно, на отдельных участках каждого поля применяются разные агротехнические приемы. Для получения не-

обходимой информации о состоянии полей проводится спутниковый мониторинг. В зависимости от биологической потребности растений на каждый участок поля избирательно вносятся строго нормированные дозы удобрений, регуляторов роста и средств защиты растений. Таким образом, обеспечиваются оптимальные условия их роста. Это приводит к экономии химических средств, вносимых в почву, и, кроме того, не создает реальной опасности загрязнения окружающей среды. Для реализации технологий точного земледелия разрабатываются специальные виды сельхозтехники, оснащенной автоматизированными системами дозированного распределения семян, удобрений и средств защиты растений.

В пищевой промышленности применяются автоматические установки для прямой переработки сельскохозяйственной продукции в пищевые полуфабрикаты, кулинарные изделия и даже готовые блюда, что способствует лучшему сохранению питательных и вкусовых качеств исходных продуктов с наименьшими потерями.

Важным направлением в комплексной автоматизации пищевой промышленности является переход от периодических процессов с большим числом операций к непрерывным процессам, в том числе на основе применения прогрессивных технологий, таких как: сублимационное обезвоживание; ультразвуковое эмульгирование, суспензирование и экстрагирование; стерилизация под действием электронных потоков и радиоактивных излучений; нагрев с помощью высокочастотных магнитных и электрических полей и инфракрасного излучения и т. д.

Высокой эффективностью отличаются автоматические линии для переработки и упаковки скоропортящихся продуктов, оборудование для скоростного автоматического контроля качества сырья, промежуточных полупродуктов и готовой продукции не только по их физико-химическим параметрам, но также и по вкусовым и ароматическим свойствам и концентрации полезных и вредных веществ.

В сельскохозяйственном и пищевом машиностроении для изготовления деталей применяются металлообрабатывающие станки с ЧПУ, РТК и ГПС, для сборки узлов – роторные автоматические линии, в состав которых входят сборочные и транспортные роторы, устройства автоматической загрузки собираемых деталей, контроля и т. д.

Химизация [24, 25]

Химизация производства – модернизация производства, характеризующаяся широким применением химических технологий, химического сырья, материалов и изделий из них.

Химизация в сфере АПК обеспечивает расширение сырьевой базы агропромышленного производства и экономию природных ресурсов, улучшение качества материалов и изделий, а также расширение их ассортимента; снижение затрат на производство и эксплуатацию изделий; совершенствование структуры сырьевого баланса в результате опережающего роста применения новых химических материалов.

В сельском хозяйстве применяются минеральные удобрения, искусственно получаемые средства защиты и регуляторы роста растений, кормовые добавки, ветеринарные препараты, горючесмазочные материалы, дезинфицирующие вещества.

В пищевой промышленности применяются полимерные тарные и упаковочные материалы. В частности, большое распространение находят, полимерные пленки для упаковки продовольственной продукции, создания теплиц и парников, временных хранилищ зерна.

В сельскохозяйственном и пищевом машиностроении все шире используются конструкционные полимерные материалы, отличающиеся высокой удельной прочностью, коррозионной стойкостью, тепло- и электроизоляционными свойствами. Различные виды химических материалов служат для формирования упрочняющих, защитных и декоративных покрытий на деталях машин. Особенно широко распространены лакокрасочные материалы, которыми покрывают как машины, так и строительные конструкции.

При возведении сооружений агропромышленного назначения применяются строительные полимерные материалы, позволяющие облегчить и упростить возводимые конструкции, повысить производительность труда, снизить затраты и сократить сроки строительных работ.

Биотехнологии [26, 27]

Биотехнологии основаны на промышленном использовании естественных и целенаправленно создаваемых живых систем (микроорганизмов) и биологических процессов. Современный этап развития биотехнологий связан с достижениями в области генной инженерии, клеточной инженерии, инженерной энзимологии.

Генная инженерия представляет собой раздел молекулярной биологии, который изучает закономерности формирования и функции нуклеиновых кислот и белков. Она включает систему методов создания искусственных генетических программ, что имеет ключевое значение для биотехнологий, так как необходимым условием решения биотехнологических задач является наличие высокопродуктивных штаммов микроорганизмов с заданными свойствами. Генная инженерия основана на введении гибридной молекулы ДНК, содержащей требуемые гены, в организмы для выработки необходимых белковых продуктов: ферментов, гормонов и др.

Генная инженерия открывает широкие возможности повышения продуктивности и качества растений и животных, пищевой ценности продуктов питания. С помощью генно-инженерных методов можно создавать высокоэффективные ветеринарные препараты.

Одним из важнейших направлений применения генной инженерии в сельском хозяйстве является получение трансгенных (генетически модифицированных) растений и животных. В частности, в результате трансгеноза можно получать:

- новые сорта растений, устойчивых к стрессовым воздействиям (засухе, переувлажнению, высоким и низким температурам, засоленности и кислотности почв), а также к вредным насекомым, грибковым, бактериальным и вирусным инфекциям, гербицидам; овощи и фрукты, пригодные для длительного хранения, а также целенаправленно измененным внешним видом и вкусом; цветы с новыми коммерчески выгодными вариантами формы и окраски;

- новые породы животных, устойчивых к бактериальным и вирусным инфекциям, а также паразитным инвазиям; коров, дающих молоко улучшенного качества; овец с повышенной скоростью роста шерсти.

Клеточная инженерия основана на уникальном свойстве клеток – способности давать начало развитию целостного организма. Она включает систему методов конструирования клеток нового типа на основе их культивирования, гибридизации и реконструкции в специально подобранных условиях *in vitro* (вне организма).

Клеточная инженерия позволяет получать биологически активные вещества из выращиваемых растений для нужд ветеринарии, пищевой промышленности; растительную продукцию на основе применения клеточных и тканевых культур для быстрого клонального размножения

и оздоровления растений путем прорастания их в специальных условиях из их небольших частей (верхушек побегов, листа, стебля) или даже групп клеток с последующим размножением и высаживанием в почву полученного посадочного материала, свободного от грибковых, бактериальных и вирусных инфекций, что обеспечивает высокую урожайность и качество растений; новые формы и сорта растений путем гибридизации соматических клеток, что позволяет преодолевать естественный барьер межвидовой нескрещиваемости, недоступный для преодоления традиционными методами селекции, для чего в специальных условиях выделяют и сливают протопласты (клетки без стенок) обоих родительских растений, формируя гибридные клетки, способные регенерировать гибридное растение с признаками обоих родителей, а также совершенно новые организмы, ранее не существовавшие в природе.

Инженерная энзимология нацелена на создание различных ферментов, играющих роль биокатализаторов, которые обеспечивают специфичность и высокую скорость биохимических процессов, связанных с переработкой сельскохозяйственных и пищевых отходов. Особое место отводится ферментам в производстве ветеринарных препаратов. Благодаря высокой чувствительности и специфичности действия ферменты используются в качестве эффективных аналитических реагентов, применяемых в биосенсорах.

Перспективным направлением биотехнологий является биоэнергетика, которая ставит в качестве своей главной задачи создание возобновляемых за счет солнечной энергии источников энергии и сырья (в отличие от невозобновляемых, таких как уголь, нефть, газ, уран). В этом отношении весьма эффективными являются методы использования фототрофных микроорганизмов, преобразующих солнечное излучение в энергию химических связей; биофотолиз воды с получением водорода; метановое брожение с переработкой органического сырья (отходов животноводства, птицеводства, сточных промышленных и городских вод) в метан.

Экотехнологии [28–30]

Экотехнологии – природосберегающие безотходные технологии, обеспечивающие защиту окружающей среды и наиболее рациональное использование природных ресурсов, как правило, в рамках замкнутых технологических циклов, предусматривающих вторичную переработку (рециклинг) производственных, а также бытовых отходов.

При организации производств по замкнутому технологическому циклу необходимо руководствоваться следующими принципами:

1. Возможно более полное использование первичного природного сырья;
2. Возможно более полное использование отходов (их переработка и превращение в сырье для последующих ступеней производства);
3. Создание конечных продуктов производства с такими свойствами, чтобы используемые отходы производства и потребления могли быть ассимилированы экологическими системами.

Вообще говоря, концепция безотходной технологии в некоторой степени носит условный характер. Под безотходной технологией следует понимать идеальную модель производства, которая в большинстве случаев может быть реализована не в полной мере, а лишь частично, но с развитием технологического прогресса – с все большим приближением к идеальному варианту. На практике чаще всего реализуются малоотходные технологии, характеризующиеся минимальными выбросами загрязняющих веществ, при которых способность природы к самоочищению в достаточной мере может предотвратить возникновение необратимых экологических изменений.

Развитие экотехнологий особенно актуально в сельском хозяйстве и пищевой промышленности, так как эти отрасли вызывают наиболее сильное загрязнение окружающей среды. Важной базой для развития экотехнологий являются биотехнологии.

В сельском хозяйстве к числу эффективных направлений развития экотехнологий, основанных на использовании биотехнологических подходов, относятся:

- замена химических средств обработки почвы адекватными биологическими средствами: применение ядохимикатов, отравляющих почву и гидросферу и снижающих ценность пищевых продуктов, может быть в значительной степени уменьшено благодаря применению специально разводимых биологических врагов вредителей сельскохозяйственных культур (насекомых-хищников, насекомых-паразитов, бактерий и вирусов);
- возделывание трансгенных сельскохозяйственных культур, способных поддерживать жизнедеятельность бактерий, выполняющих защитные и другие полезные функции;
- очистка с помощью бактерий воды, загрязненной нитратами (при этом азот переходит в биомассу).

С помощью биотехнологий создаются штаммы-деструкторы, способные разлагать массивные скопления нефтепродуктов, которые могут образовываться на сельскохозяйственных землях в результате аварий на нефтепроводах.

Все большее распространение в сельском хозяйстве получает опыт комплексной переработки помета, накапливающегося на животноводческих предприятиях, в органические удобрения и биотопливо. Применение на этих предприятиях биоэнергетических установок позволяет одновременно решать несколько задач: утилизировать отходы животноводства; повысить сохранность окружающей среды; получать электроэнергию на основе местного возобновляемого сырья; производить дешевые и экологически чистые органические удобрения, а также обеспечить процесс восстановления и увеличения естественного плодородия почв.

В качестве органических удобрений, помимо отходов животноводства, можно также использовать бытовые отходы. Кроме того, органические удобрения, а также сырье для получения биологических средств защиты растений можно эффективно производить в результате переработки отходов бродильной, масложитной, сахарной, мукомольной и других отраслей пищевой промышленности. В свою очередь, биотопливо можно получать не только из отходов животноводства, но и из других видов отходов биологического происхождения: бытовых, древесных, переработки сельскохозяйственной продукции, канализационных стоков.

В пищевой промышленности важной экологической проблемой является утилизация отходов полимерных упаковочных материалов, особенно полиэтилентерефталата (ПЭТ), из которого изготавливают разнообразные бутылки, контейнеры, пленки для упаковки пищевой продукции. Экономически наиболее целесообразной является вторичная переработка ПЭТ-упаковок, так как первичное сырье – ПЭТ-гранулят является достаточно дорогим продуктом, а то сырье, что может быть получено путем вторичной переработки, практически не отличается по эксплуатационным свойствам от первичного сырья.

В последние годы начали распространяться одноразовые упаковки из биodeградирующих материалов, основу которых составляют полимеры, наполненные специальными добавками. Благодаря этому они разлагаются непосредственно под воздействием микро-

организмов или же подвергаются быстрой эрозии под воздействием окружающей среды с последующим разложением микроорганизмами. В зависимости от состава таких материалов их биоразложение может происходить как в почве, так и на открытом воздухе.

С целью возвращения в оборот сельскохозяйственных земель, подвергнутых загрязнению, перспективно проводить их биологическую рекультивацию – путем применения почвоулучшающих биопрепаратов, активно участвующих в создании нового почвенного слоя, с одновременным посевом растений-эндемиков, ограниченных в своем распространении небольшими территориями.

ГЛАВА 2 НАНОТЕХНОЛОГИИ

2.1. Общая характеристика нанотехнологий

Исследования и разработки в области наномира развиваются бурными темпами. С каждым годом возрастает поток новых научных и технологических знаний в этой области, что требует корректировки и уточнения соответствующего понятийного аппарата, который находится в стадии формирования. Нередко термины наномира даются в разных трактовках и вызывают неоднозначное восприятие, что объясняется наличием двух подходов к их рассмотрению. Согласно первому подходу, объекты наномира рассматриваются с учетом только лишь их наноразмерных параметров, для которых устанавливаются условные границы возможных изменений. Согласно второму подходу, объекты наномира характеризуются особыми свойствами, которые проявляются в силу присущих им наноразмеров.

Приставка «нано» в терминах наномира означает изменение масштаба в 10^9 (миллиард) раз: 1 нм (1 нанометр) = 10^{-9} м, что составляет одну миллионную миллиметра (например, многие вирусы имеют размер около 10 нм, а характерный размер белковых молекул составляет около 1 нм, в частности, радиус двойной спирали молекулы ДНК равен именно 1 нм).

Принято считать, что к объектам наномира относятся такие, характерные размеры которых лежат в пределах от 1 до 100 нм. Следует заметить, такое размерное ограничение является довольно условным. Главная особенность нанобъектов состоит в том, что в силу их малости в них проявляются особые свойства. Причем, во многих случаях они могут проявляться и тогда, когда размеры нанобъектов превышают условно установленный предел в 100 нм. Таким образом, приставка «нано» – скорее, обобщенное отражение объектов исследований, прогнозируемых явлений, эффектов и спо-

собов их описания, чем просто характеристика протяженности базового структурного элемента.

Одним из наиболее распространенных терминов наномира является термин «наноматериалы». К наноматериалам относятся такие материалы, которые характеризуются нанометровым масштабом размеров хотя бы в одном из трех измерений. При этом нанометровый масштаб размеров может относиться как к образцу материала в целом, так и к его структурным элементам. Соответственно, в первом случае нанобъектами являются непосредственно образцы материалов, во втором – их структурные элементы. Наноматериалы, так же как и обычные материалы, могут находиться в различных агрегатных состояниях.

С понятием «наноматериалы» тесно связано понятие «наносистемы». Под наносистемами понимаются устройства, изготовленные с использованием наноматериалов. Наносистемы, подобно наноматериалам, характеризуются нанометровым масштабом размеров хотя бы в одном из трех измерений. В отличие от наноматериалов они обладают более высокой конструктивной сложностью. Конструкция наносистем определяется конфигурацией, размерами, пространственным расположением и взаимосвязью составляющих их компонентов. К наиболее широко распространенным наносистемам относятся наносенсоры.

Развитие наноматериалов происходит в тесной взаимосвязи с развитием нанотехнологий, которые представляют собой совокупность методов и средств, позволяющих контролируемым образом создавать наноматериалы, а также оперировать ими, т. е. применять их по тому или иному назначению. Таким образом, нанотехнологии в общем случае обеспечивают решение следующих взаимосвязанных задач: получение наноматериалов с заданной структурой и свойствами; применение наноматериалов по определенному назначению с учетом их структуры и свойств; контроль (исследование) структуры и свойств наноматериалов в ходе их получения и применения [31].

Наноматериалы имеют ряд структурных особенностей, которые находят свое отражение в необычном проявлении их свойств. Поскольку наноматериалы лежат в основе создания наносистем, то свойства наносистем в значительной степени зависят от свойств наноматериалов.

Существуют различные виды наноматериалов, каждый из которых характеризуется присущей ему спецификой структуры и свойств. Наноматериалы подразделяются по степени структурной сложности на наночастицы и наноструктурные материалы (рис. 2.1).

Наночастицы представляют собой наноразмерные комплексы определенным образом взаимосвязанных атомов или молекул. К наночастицам относятся нанокластеры (упорядоченные и неупорядоченные), нанокристаллы (кристаллические наночастицы), фуллерены, нанотрубки, супермолекулы, мицеллы, липосомы, дендримеры, биомолекулы.

Наноструктурные материалы представляют собой ансамбли наночастиц. В таких материалах наночастицы играют роль структурных элементов. Наноструктурные материалы подразделяются по характеру взаимосвязи наночастиц на консолидированные наноматериалы и нанодисперсии.

Консолидированные наноматериалы – это компактные твердофазные материалы, состоящие из наночастиц, которые имеют фиксированное пространственное положение в объеме материала и жестко связаны непосредственно друг с другом. К консолидированным наноматериалам относятся нанокристаллические материалы, нанокompозиты (матричные и слоистые) и нанопористые материалы. Нанодисперсии представляют собой дисперсные системы с наноразмерной дисперсной фазой. К нанодисперсиям относятся указанные выше матричные нанокompозиты и нанопористые материалы, а также нанопорошки, наносuspензии, наноэмульсии и наноаэрозоли. Особой разновидностью наноструктурных материалов являются биомолекулярные комплексы.

Довольно часто образцы различных наноструктурных материалов являются объемными (массивными), т. е. характеризуются микро- или макро размерами, в то время как составляющие их структурные элементы являются наноразмерными.

В разных наноматериалах могут иметь место те или иные особенности проявления эффектов, связанных с малыми размерами составляющих их структур. Особенности структуры и свойств индивидуальных наночастиц накладывают определенный отпечаток на структуру и свойства образуемых на их основе наноструктурных наноматериалов, а также наносистем.

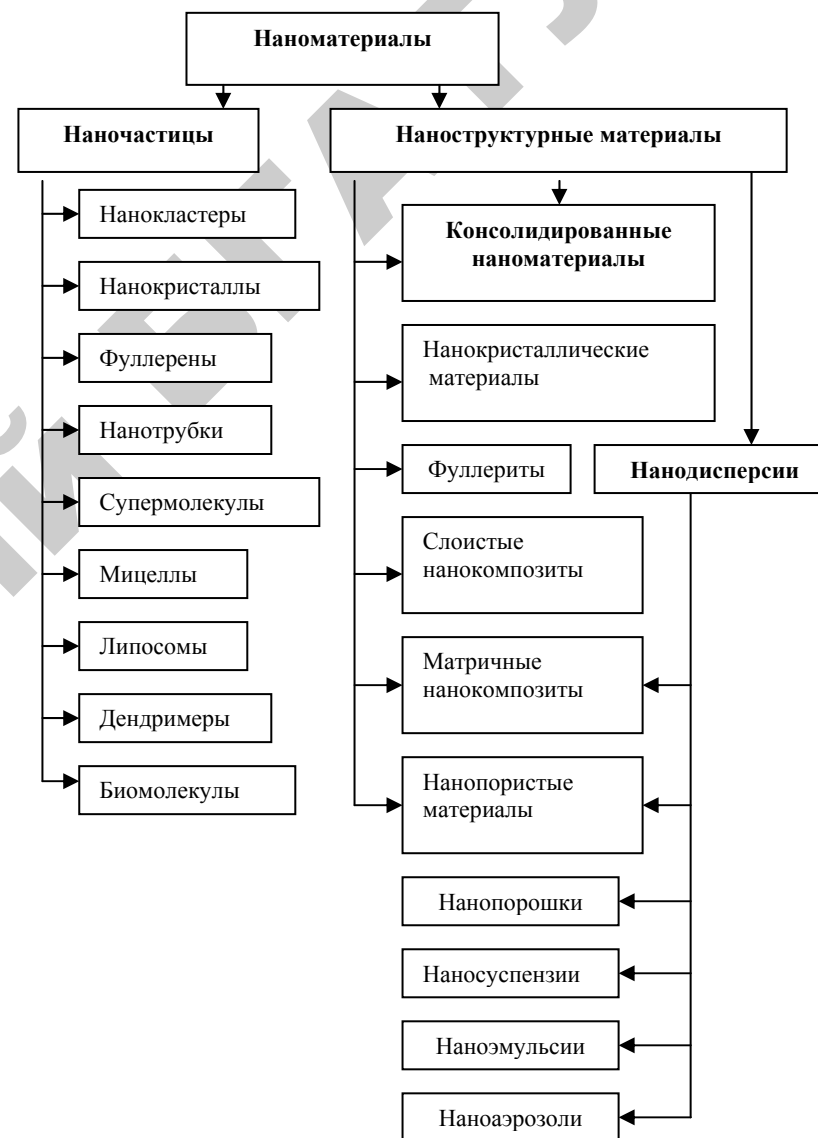


Рис. 2.1. Классификация наноматериалов по структурным признакам

Разнообразие наноматериалов обуславливает и разнообразие технологий их получения, которые подразделяются на две большие группы: нанотехнологии «сверху вниз» и нанотехнологии «снизу вверх».

Технологический подход «сверху вниз» (top-down) сформировался во второй половине XX века. Он основан на уменьшении размеров исходных заготовок путем их фрагментации в ходе механической или иной обработки. Развитие этого подхода привело к разработке технологий микроминиатюризации, или микротехнологий. Дальнейшее совершенствование технологического подхода «сверху вниз» позволило на рубеже XX-XXI веков перейти от микрообработки к нанообработке, т. е. к созданию изделий с нанометровыми параметрами. В это же время, т. е. на рубеже XX-XXI веков сформировался технологический подход «снизу вверх» (bottom-up), который заключается в том, что создание изделий происходит путем их сборки непосредственно из отдельных атомов или молекул, а также элементарных атомно-молекулярных блоков, структурных фрагментов биологических клеток и т. п. Данный подход иначе называется атомной инженерией.

В целом нанотехнологии базируются на различных физических, химических и биологических процессах, которые могут иметь место при реализации нанотехнологических подходов как «сверху вниз», так «снизу вверх».

2.2. Нанобиотехнологии

Нанотехнологии тесно связаны с биотехнологиями, основанными на использовании биологических объектов и процессов в промышленном производстве продуктов для различных сфер человеческой деятельности. С развитием биотехнологий связывается решение глобальных проблем человечества – ликвидация нехватки продовольствия, энергии и минеральных ресурсов, улучшение состояния здравоохранения и качества окружающей среды.

В биотехнологических процессах реализуется каталитический потенциал разнообразных биологических агентов и систем, в том числе микроорганизмов, вирусов, растительных и животных клеток и тканей.

Биотехнологии находятся в постоянном развитии. Традиционные биотехнологические процессы, основанные на брожении, дополняются новыми процессами получения белков, аминокислот, антибиотиков, ферментов, витаминов, органических кислот, вакцин, гормонов, интерферонов и т.д. Важнейшими задачами, стоящими перед биотехнологиями сегодня, являются: повышение продуктивности сельскохозяйственных растений и животных, создание новых сортов растений и пород животных, защита окружающей среды и утилизация отходов, создание высокоэффективных экологически чистых процессов получения энергии и минеральных ресурсов.

Как разновидности современных биотехнологий в соответствии со спецификой сфер их применения принято выделять: медицинскую, сельскохозяйственную и экологическую биотехнологии; клеточную и генную инженерии; промышленную микробиологию; инженерную энзимологию; технологическую биоэнергетику и др.

На стыке нанотехнологий и биотехнологий сформировалась новая область нанотехнологий – нанобиотехнологии (или бионанотехнологии), основанные на использовании биологических объектов, которые формируются и функционируют при активном участии наноматериалов и наносистем.

Нанобиотехнологии активно вторгаются в различные сферы человеческой деятельности, в первую очередь, в медицину, а также в сельскохозяйственное и пищевое производство.

С помощью нанобиотехнологий создаются наноструктурные биоактивные вещества (в виде наносуспензий, наноэмульсий, наноаэрозолей и др.); наноструктурные средства доставки биоактивных веществ (на основе иммобилизации на наноплатформах, наноинкапсулирования и др.); бионаноматериалы (биосовместимые, биodeградирующие, биомиметические и др.); бионаносистемы (бионаносенсоры, бионанороботы и др.).

2.3. Разновидности наноматериалов и наносистем

2.3.1. Наночастицы

Нанокластеры представляют собой наноразмерные комплексы атомов или молекул. По степени упорядоченности структуры, т. е. по характеру расположения образующих их атомов или молекул, а также химических связей между ними, они разделяются на упорядоченные и неупорядоченные.

В упорядоченных нанокластерах атомы или молекулы расположены в определенном порядке и довольно сильно связаны между собой. Неупорядоченные нанокластеры характеризуются отсутствием

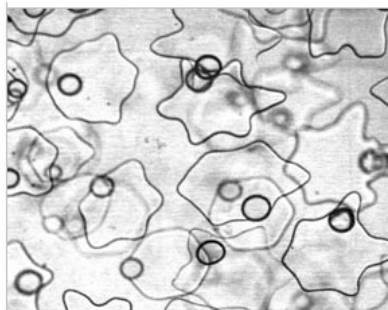


Рис. 2.2. Схема формирования нанокластерной структуры воды при таянии льда

порядка в расположении атомов или молекул и слабыми химическими связями, чем существенно отличаются от упорядоченных нанокластеров.

Неупорядоченные нанокластеры играют особую роль в процессах фазовых превращений, происходящих в жидкостях. В частности, при определенных условиях в них может формироваться так называемая нанокластерная структура, характеризующаяся большой концентрацией нанокластеров. Полу-

чаемая таким образом наноструктурированная вода (рис. 2.2) может применяться для обработки растений и семян, способствуя улучшению их роста.

Нанокристаллы (кристаллические наночастицы), также как и нанокластеры, представляют собой наноразмерные комплексы атомов или молекул. По своей устойчивости они подобны упорядоченным нанокластерам, однако составляющие их атомы или молекулы в своем расположении образуют кристаллическую решетку, типичную для массивных кристаллов (макрокристаллов) (рис. 2.3).

Кристаллические наночастицы обладают рядом необычных свойств, главная особенность которых заключается в проявлении размерных эффектов. Благодаря малости размеров они имеют

большую удельную поверхность, которая заметно увеличивает их растворимость, реакционную, каталитическую и адсорбционную способность. Кроме того, из-за малости размеров они обладают повышенной проникающей способностью. В силу указанных свойств кристаллические наночастицы могут эффективно применяться в сельском хозяйстве.

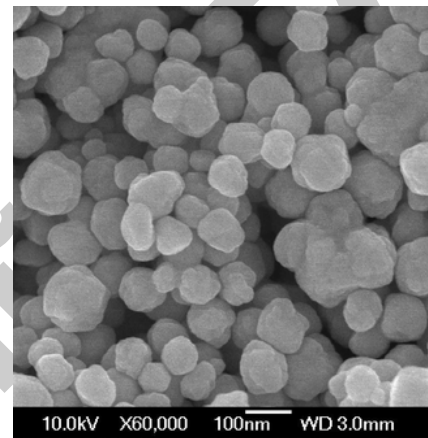


Рис. 2.3. Наночастицы серебра

Наиболее перспективным является применение наночастиц металлов, которые обладают пестицидным и бактерицидным эффектом; стимулируют действие ферментов, улучшающих рост растений; способствуют повышению содержания биологически активных веществ растений. Они также могут вносить непосредственный вклад в минеральное питание растений. С их помощью можно обеспечивать направленную доставку агрохимикатов и минеральных удобрений растениям и ветеринарных

препаратов животным. Наночастицы металлов, а также некоторые другие виды кристаллических наночастиц (например, нанодиамазы) могут эффективно использоваться в качестве кормовых добавок, способствуя повышению сопротивляемости животных инфекционным заболеваниям и стрессам, в частности, предотвращению микотоксикозов. Особый практический интерес для ветеринарии имеет применение наночастиц с магнитными и флуоресцентными свойствами. Наночастицы металлов также могут играть роль катализаторов в процессах пищевого производства.

Фуллерены и нанотрубки состоят из атомов углерода (или других элементов), образующих структуру в виде сфероподобного (в случае фуллеренов) или цилиндрического (в случае нанотрубок) каркаса. Наиболее распространенный фуллерен C_{60} , состоящий из 60 атомов углерода, имеет диаметр менее 1 нм (рис. 2.4). Менее 1 нм составляет диаметр и одностенных углеродных нанотрубок (рис. 2.5).

Фуллерены и углеродные нанотрубки характеризуются высокой прочностью, благодаря чему их перспективно использовать в качестве упрочняющего армирующего компонента в нанокompозитах. Значительные перспективы применения фуллеренов и углеродных нанотрубок в ветеринарной практике связаны с их свойствами, которые они приобретают при взаимодействии с другими веществами, образуя различные производные.

Особенно эффективной является инкапсуляция в фуллерены и углеродные нанотрубки лекарственных препаратов. Углеродные нанотрубки весьма чувствительными к воздействию различных химических веществ, что делает перспективным их применение для изготовления химических наносенсоров.

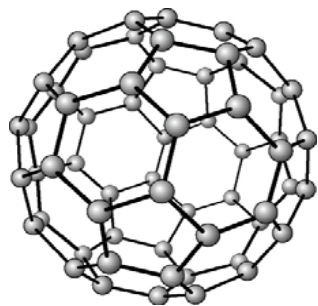


Рис. 2.4. Фуллерен C₆₀

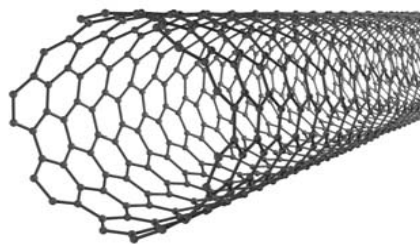


Рис. 2.5. Углеродная нанотрубка

Супермолекулы, мицеллы, липосомы и дендримеры находят применение в ветеринарии в качестве средств направленной доставки лекарств (липосомы также можно использовать для доставки химических веществ к корням растений).

Супермолекулы (иначе называемые супрамолекулярными ассоциатами) состоят из органических «молекул-хозяев» с пространственной структурой, в полости которых содержатся «молекулы-гости» другого сорта (в частности, там могут содержаться молекулы лекарственных препаратов) (рис. 2.6).

Мицеллы являются разновидностью коллоидных частиц, состоящих из ядра кристаллической или аморфной структуры и поверхностного слоя, включающего сольватно связанные молекулы окружающей жидкой дисперсионной среды (в частности, поверхностно-активных веществ) (рис. 2.7).

Липосомы состоят из молекул гидрофобных жировых соединений (фосфолипидов), образующих сфероподобную оболочку, внутри которой содержится вода или раствор (рис. 2.8).

Дендримеры относятся к классу полимерных соединений, молекулы которых имеют большое число разветвлений (рис. 2.9).

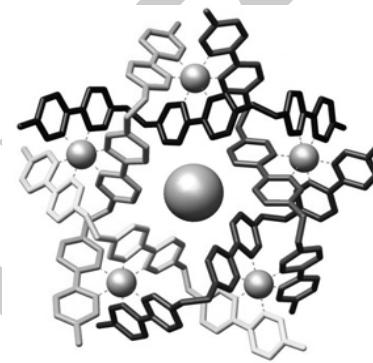


Рис. 2.6. Супрамолекулярный ансамбль

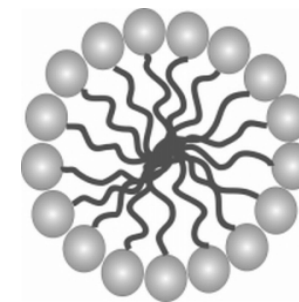


Рис. 2.7. Мицелла

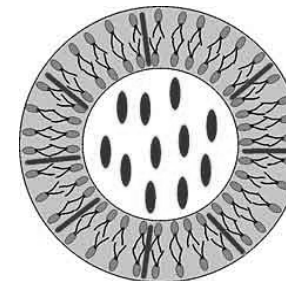


Рис. 2.8. Липосома

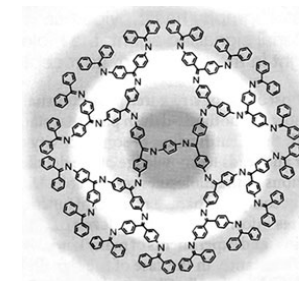


Рис. 2.9. Дендример

Биомолекулы представляют собой сложные молекулы биологической природы, характеризующиеся полимерным строением (нуклеиновые кислоты, белки). Они составляют биологические клетки, являющиеся основой структуры и жизнедеятельности растений и животных. Для ветеринарии особый практический интерес представляют ДНК и ферменты (разновидности белков, иначе называемых энзимами), с помощью которых можно создавать бионаносенсоры.

2.3.2. Консолидированные наноматериалы и нанодисперсии

Среди консолидированных наноматериалов наибольшее применение находят **нанокристаллические материалы**, состоящие из нанокристаллов (их иначе называют нанозернами, или нанокристаллитами) (рис. 2.10), и **нанокомпозиционные материалы**, прежде всего, **матричные наноконкомпозиты**, состоящие из твердофазной основы – матрицы, в объеме которой распределены наночастицы (или нанопроволоки) (рис. 2.11), а также **слоистые наноконкомпозиты**, состоящие из слоев различных материалов наноразмерной толщины.

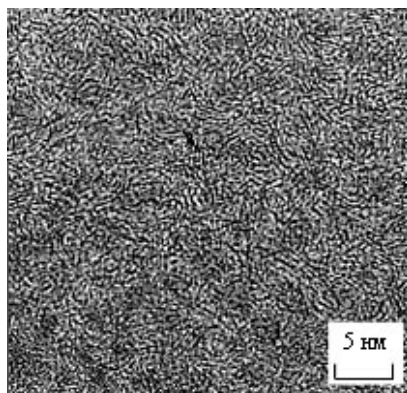


Рис. 2.10. Нанокристаллическая пленка BC_xN_y

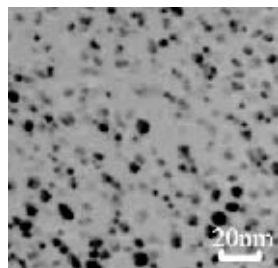


Рис. 2.11. Матричный наноконкомпозит на основе полиэтилена с включениями наночастиц железа

Эти материалы благодаря высоким механическим свойствам могут эффективно применяться при изготовлении машин и агрегатов, а также при сооружении зданий и сооружений, т. е. выступать в качестве как конструкционных, так и строительных материалов. К наиболее распространенным из них относятся нанокристаллические металлы и сплавы, металлические и полимерные наноконкомпозиты, а также нанокристаллическая и наноконпозиционная керамика. В строительстве все большее распространение получает нанобетон. Кроме того, различное применение находят нанорезина и наностекло.

Для изготовления определенных типов деталей машин и агрегатов (в частности, фильтрующих элементов) служат **нанопористые материалы**, которые характеризуются наличием нанопор (рис. 2.12). Благодаря высокой сорбционной способности нанопористые материалы, в первую очередь цеолиты (рис. 2.13), перспек-

тивно использовать в качестве кормовых и пищевых добавок (размеры поровых каналов цеолита менее 1 нм).

Для повышения надежности элементов конструкций применяются **нанопокрyтия**, которые выполняют упрочняющие и защитные, а также некоторые специальные функции.

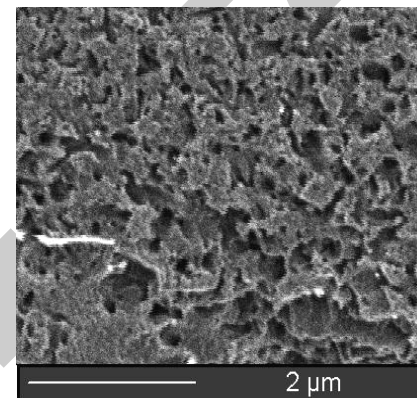


Рис. 2.12. Нанопористый кремний

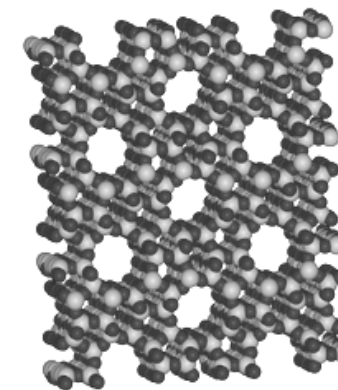


Рис. 2.13. Структура цеолита

Среди нанодисперсий наибольшее применение находят **наносуспензии**, состоящие из наночастиц, свободно распределенных в объеме жидкости, и **наномульсии**, состоящие из наночастиц жидкости, свободно распределенных в объеме другой жидкости (рис. 2.14). Также довольно широкое распространение получают **наноаэрозоли**, состоящие из наночастиц или наночапель, свободно распределенных в объеме газовой среды.

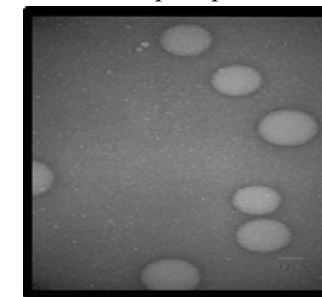


Рис. 2.14. Наночапли эмульсии, размер 200 нм

Наносуспензии, содержащие наночастицы различных химических веществ, а также наночастицы металлов, обладающие пестицидным эффектом, перспективно применять для обработки растений и семян. В ветеринарной практике все более широко используются лекарственные наносуспензии, наномульсии и наноаэрозоли. Расширяется применение пищевых доба-

вок, сорбентов, бактерицидов, катализаторов, лакокрасочных, смазочных и топливных материалов в нанодисперсном виде.

2.3.3. Наносистемы

Существуют разнообразные наносистемы, различающиеся как функциональными, так и конструктивными свойствами. По принципу действия они подразделяются на электронные, оптические и механические. Действие электронных наносистем основано на преобразовании электрических сигналов, оптических – на преобразовании оптических (световых) сигналов в электрические и наоборот, механических – на преобразовании механического движения.

Совокупности наносистем определенных типов образуют соответствующие отрасли наносистемной техники – наноэлектронику, нанооптику и наномеханику. Развитие различных типов наносистем идет в тесной взаимосвязи, что приводит к созданию более сложных по конструкции, интегрированных наносистем, таких как нанооптоэлектронные, наноэлектромеханические, нанооптомеханические и нанооптоэлектромеханические.

Создание наносистем является дальнейшим шагом на пути развития соответствующих микросистем. Обычно на практике наносистемы встраиваются в различные микросистемы, формируя тем самым перспективное направление современной системной техники – микронаносистемную технику.

Среди различных типов наносистем в агропромышленном производстве наибольшее распространение получили **наносенсоры**, которые представляют собой аналитические устройства, содержащие чувствительные наноэлементы, воспринимающие и преобразующие параметры анализируемого объекта в пригодный для практического использования сигнал, обычно электрический, хотя возможно и иной по природе, например, оптический сигнал.

С помощью наносенсоров можно с высокой точностью регистрировать параметры объектов, локализованных в очень малых объемах. Например, наносенсоры могут свободно циркулировать в потоке крови, скапливаясь вблизи клеток-мишеней или возле определенных молекул, обнаруживая генетические дефекты в ДНК, молекулы токсических веществ или поврежденные клетки.

По типу анализируемых объектов (воспринимаемых и преобразуемых параметров) наносенсоры подразделяются на три основных класса: физические – детектируют физические параметры анализируемых объектов; химические – детектируют химический состав анализируемых объектов, наличие химических веществ в окружающей среде; биологические (бионаносенсоры) – детектируют физиологическое состояние анализируемых объектов, наличие биологических веществ в окружающей среде.

С помощью наносенсоров контролируются физиологическое состояние растений, в частности, потребности растений во влаге; температура, влажность и кислотность почвы, а также содержание некоторых видов гербицидов в воде и почве. Наносенсоры применяются для обнаружения заболеваний животных, а также для идентификации животных, определения их местонахождения. Наносенсоры, встроенные упаковочные материалы, способны информировать потребителя или изготовителя о качестве упакованных пищевых продуктов.

Ниже в качестве примера рассмотрены некоторые типы наносенсоров, их конструктивные особенности и функциональные возможности.

Для контроля температуры применяются сенсоры в виде пленок на основе многостенных углеродных нанотрубок, характеризующихся температурной зависимостью проводимости [32].

Для контроля влажности применяются керамические сенсоры, действие которых основано на зависимости электропроводности керамики от влажности. Наиболее эффективно можно использовать сенсоры на основе нанопористой керамики, так как характеризуются высокой чувствительностью благодаря большой площади поверхности, доступной для адсорбции воды [33, 34]. В этом отношении особенно перспективны нанопористые пленки оксида алюминия (рис. 2.15). Наносенсоры подобного типа также могут использоваться для контроля содержания аммиака в потребляемой растениями воде [34].

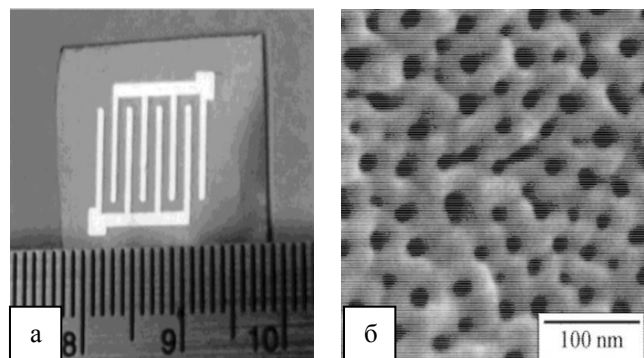


Рис. 2.15. Типичный вид сенсора влажности (а) на основе пленки из нанопористого оксида алюминия (б)
а – масштаб метки – 1 мм, б – средний диаметр пор 22,7 нм

Для определения химического состава газовых сред применяются сенсоры, конструкцию которых составляют изолирующая подложка, размещаемая на подложке пластинка нагревательного элемента и нанесенная на пластинку нанопленка из полианилина (рис. 2.16) [35]. Принцип действия таких наносенсоров состоит в том, что проводимость полианилиновой пленки при нагревании меняется в зависимости от состава газовой смеси, молекулы которой адсорбируются полианилином.

Для определения химического состава газовых и жидких сред применяются сенсоры на основе кремниевой нанопроволоки (рис. 2.17) [35]. Кремний, окисляясь на воздухе, покрывается слоем SiO_2 , в результате чего проводимость нанопроволоки меняется. Если поместить такую нанопроволоку в газовую или жидкую среду, то на слой SiO_2 будут осаждаться молекулы газа или растворенных в жидкости веществ, что также вызывает изменение проводимости нанопроволоки. В общем это изменение зависит от типа и количества осажденных молекул. Если же предварительно покрыть окисленную кремниевую нанопроволоку специально подобранным веществом, то полученный таким образом наносенсор будет детектировать строго определенные молекулы и характеристики анализируемой среды. Так, для создания рН-сенсора достаточно покрыть нанопроволоку 3-аминопропил-этоксисиланом [36].

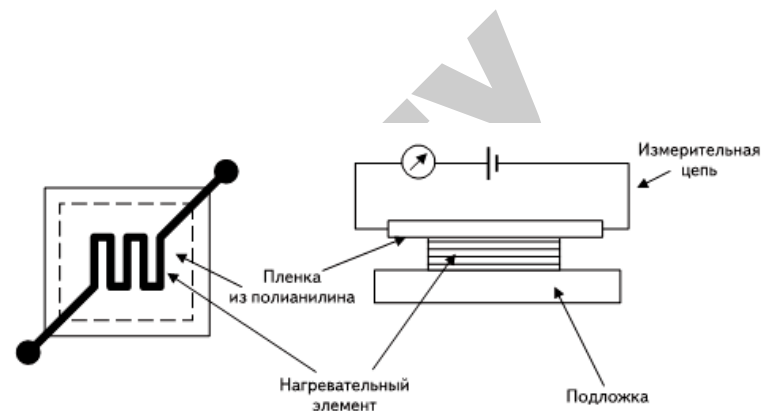


Рис. 2.16. Схема сенсора на основе нанопленки полианилина

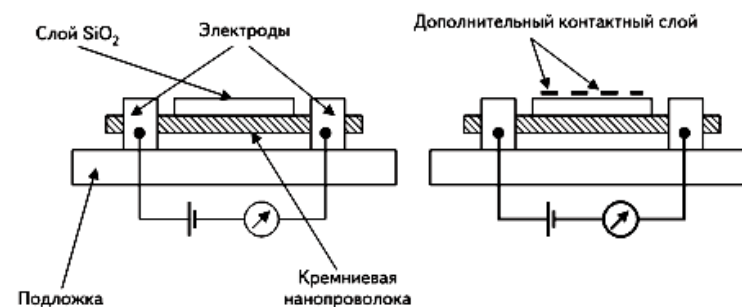


Рис. 2.17. Конструкция сенсора на основе кремниевой нанопроволоки

Весьма чувствительным газовым наносенсором является полевой транзистор на полупроводниковой нанотрубке. Так, эксперименты показывают, что если такой транзистор поместить в среду газа NO_2 , то проводимость нанотрубки повышается почти в 3 раза, о чем свидетельствуют результаты сравнения вольтамперных характеристик транзистора до и после контакта с NO_2 [37]. Такой эффект обусловлен тем, что при связывании NO_2 нанотрубкой заряд переносится с нанотрубки на группу NO_2 , а это, в свою очередь, ведет к увеличению концентрации дырок в нанотрубке и ее проводимости.

Известны также газовые наносенсоры на основе углеродных нанотрубок, принцип действия которых связан с изменением термоэдс или сопротивления при адсорбции молекул различных газов на поверхности нанотрубок [38]. Разновидностью наносенсоров подобного типа является устройство, в котором адсорбция атомов газа

на нанотрубках приводит к изменению частоты колебаний резонатора (рис. 2.18). Основным элементом такого наносенсора – резонансный контур, выполненный в виде проводящего диска из меди, покрытого слоем нанотрубок – однослойных (толщина слоя ~ 10 мкм) либо многослойных (толщина слоя ~ 100 мкм). При помещении наносенсора в камеру, наполненную газом (например, парами аммиака), происходит изменение резонансной частоты контура в результате адсорбции молекул газа на нанотрубке. Достоинство данного устройства состоит в малом времени восстановления прежней резонансной частоты после откачки газа из камеры (~10 мин).

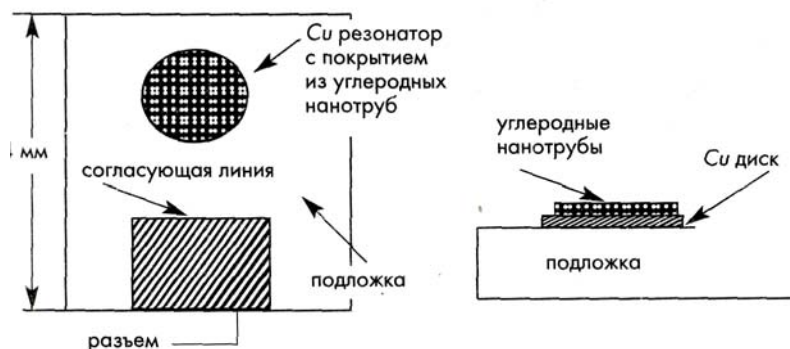


Рис. 2.18. Схема сенсора на основе углеродной нанотрубки

Биосенсоры на основе одностенных углеродных нанотрубок можно рассматривать как особый вид полевых транзисторов, выполненных на основе квази-одномерного наноматериала и характеризующихся сверхмалыми размерами, высоким отношением поверхность – объем и уникальными физико-химическими свойствами, что существенно отличает их от объемных аналогов. Действие обычных полевых транзисторов основано на управлении с помощью электрического поля проводимостью полупроводникового канала, который скрыт внутри конструкции транзистора. В отличие от обычных полевых транзисторов транспорт заряда в квази-одномерном наноматериале осуществляется при непосредственном контакте с окружающей средой и, как следствие, является крайне чувствительным к ее химическим или физическим воздействиям. Это явление наиболее заметно проявляется в одностенных углеродных нанотрубках, поскольку благодаря их уникальной однослойной

атомарной структуре транспорт заряд через нанотрубки происходит по поверхности, непосредственно подвергающейся воздействию внешней среды. В общем случае одиночная биомолекула, находящаяся на поверхности или вблизи нанотрубки, способна изменять электронные свойства нанотрубки за счет: 1) передачи заряда между биомолекулой и нанотрубкой, 2) рассеяния потенциала, прикладываемого к движущимся зарядам и 3) рассеяния заряда, вызванного локальной деформацией.

Функционирование биосенсоров на основе одностенных углеродных нанотрубок обеспечивается благодаря иммобилизации биоагента нанотрубкой, которая происходит путем нековалентной адсорбции биоагента нанотрубкой или обертывания биоагента вокруг нанотрубки либо путем ковалентного присоединения биоагента к функциональным группам, образующимся на каркасе нанотрубки в ходе химической реакции. С помощью указанных механизмов такие биосенсоры способны эффективно детектировать нуклеиновые кислоты и белки, а также клеточные патогенные бактерии (*Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* и др.).

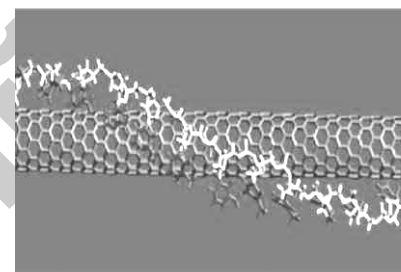


Рис. 2.19. Одностенная углеродная нанотрубка, обернутая молекулой одноцепочечной ДНК

На рис. 2.19 демонстрируется принцип действия биосенсора на основе одностенной углеродной нанотрубки в случае, когда нанотрубка оказывается обернутой одноцепочечной молекулой ДНК, взаимодействие которой с нанотрубкой приводит к изменению электропроводности последней в результате ее допинга электронами.

Полупроводниковые нанопроволочные биосенсоры изготавливают из нанопроволок на основе полупроводниковых элементов (Si, Ge и др.) или соединений (группы II-VI, III-V и IV-IV). Принцип их действия, так же как и биосенсоров на основе углеродных нанотрубок, основан на использовании полевого эффекта. Подобно биосенсорам на основе углеродных нанотрубок их можно применять для детектирования нуклеиновых кислот, белков и бактерий.

Кроме того, они чувствительны к изменениям pH растворов. На рис. 2.20 показан конструктивный вариант полупроводниковых нанопроволочных биосенсоров в виде системы SiNW-нанопроволок, с помощью которых можно эффективно определять вирусы гриппа и аденовирусы.

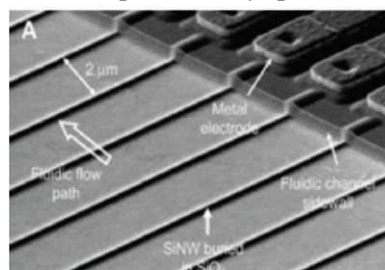


Рис. 2.20. Матрица из SiNW-нанопроволок

Наноцелевые биосенсоры имеют конструкцию, состоящую из двух металлических электродов, изготовленных, например, из золота или титана и разделенных изолирующей щелью нанометрового размера, которая препятствует протеканию электрического тока между электродами. Возможно также применение электродов в виде одностенных углеродных нанотрубок. Детектирование молекул различных биологических агентов, например, молекул ДНК или белков основано на свойственном им транспорте зарядов.

Наноканальные биосенсоры имеют конструкцию, основу которой составляет линейный канал нанометровой ширины и глубины, через который осуществляется жидкостный транспорт молекул биоагентов.

На рис. 2.21 показана схема наноканального биосенсора применительно к детектированию молекулы ДНК, которая перемещается вдоль канала. Электропроводность измеряется с помощью пары нанoelectродов, расположенных перпендикулярно позвоночнику молекулы ДНК.

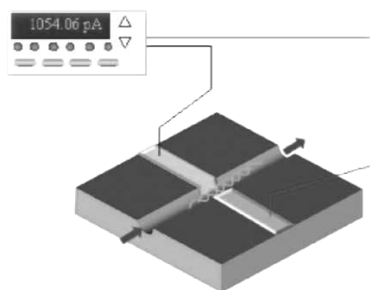


Рис. 2.21. Схема наноканального биосенсора для детектирования молекулы ДНК

Для детектирования сложных биологических соединений, например, белков можно применять рассмотренные выше сенсоры на основе кремниевых нанопроволок с оболочкой SiO₂. Так, для того чтобы обес-

печить детектирование белка стрептовицина, оболочку из SiO₂ следует покрыть бычьим альбумином, меченным биотинидамиокапроилом, который является селективным рецептором для стрептовицина (рис. 2.22) [36].

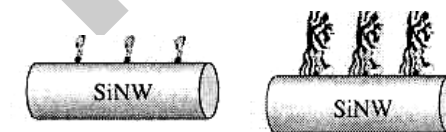


Рис. 2.22. Модифицированная кремниевая нанопроволока (слева) и присоединенный к ней стрептовидин

Осажденный на такую пленку стрептовидин меняет заряд на ее поверхности, а значит и проводимость нанопроволоки. Кремниевые нанопроволоки могут реагировать на концентрацию ионов кальция Ca²⁺, входящих в состав оболочки клеток и влияющих на метаболические процессы в живых организмах. Их применяют для детектирования ДНК, вирусов.

Особой конструкцией отличаются биосенсоры на основе нанoelectромеханических систем (nanoelectromechanical system – NEMS) [39].

На рис. 2.23 показана схема NEMS-биосенсора, основу конструкции которого составляет пара кантилеверов нанометровой толщины. Между кантилеверами располагается молекула ДНК, которая вызывает их изгиб, регистрирующийся с помощью высоко разрешающего оптического дефлектора. В качестве кантилеверов перспективно использовать углеродные нанотрубки благодаря их уникальным механическим свойствам, а именно: способности реверсивно изгибаться под действием ничтожно малой нагрузки.

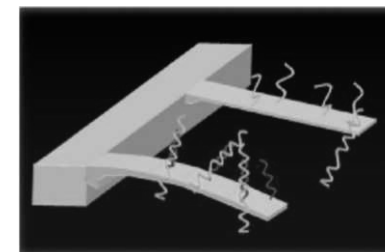


Рис. 2.23. Схема NEMS-биосенсора для детектирования молекулы ДНК

Существуют разные типы конструкций биосенсоров на основе нанокантилеверов [40]. Основная идея применения нанокантилеверов в качестве биосенсоров состоит в том, что биоматериал, адсорбированный на нанокантилевере, может изменять характери-

стики последнего. Это может быть изменение как массы (благодаря очень малой массе самого нанокантилевера), так и поверхностного напряжения. Соответственно, существует два подхода к созданию бионаносенсоров – на основе резонансных и поверхностно-напряженных нанокантилеверов.

Действие резонансных нанокантилеверов основано на зависимости резонансной частоты их вибрации от величины присоединенной массы. Приложение переменного электрического напряжения между кантилевером и близлежащим электродом переводит кантилевер в возбужденное состояние и вызывает его вибрации, амплитуда которых может измеряться. Резонансная частота колебаний кантилевера изменяется с изменением присоединенной к нему массы, в частности, массы детектируемого вещества: чем меньше масса самого кантилевера, тем больше чувствительность к изменению массы. Резонансный нанокантилевер может использоваться в качестве биосенсора, способного детектировать одиночные молекулы.

Действие поверхностно-напряженных нанокантилеверов основано на зависимости угла отклонения (изгиба) кантилевера от величины его поверхностного напряжения. Посадение молекул детектируемого вещества на поверхность одной из сторон кантилевера вызывает изменение поверхностного напряжения, что приводит к изгибу кантилевера. Величина изгиба определяется с помощью близлежащего электрода или по отклонению лазерного луча, отраженного от поверхности кантилевера (подобно тому, как это имеет место в атомном силовом микроскопе). В последнем случае возможно разрешение до 1 ангстрема, что обеспечивает высокую чувствительность детектирования, которая будет тем выше, чем тоньше кантилевер.

Прогресс последних лет в области создания высокочувствительных оптических преобразователей для исследования биомолекулярных взаимодействий привел к разработке оптических бионаносенсоров [41]. В частности, довольно высокой эффективностью характеризуется метод оптического биодетектирования, реализуемый с использованием эффектов коллоидной агрегации. Этот метод основывается на изменении цвета, происходящем в процессе агрегирования коллоидных растворов, содержащих наночастицы золота, используемые в качестве зонда для обнаружения взаимодействий между цепочками ДНК. При этом производится смешивание двух

коллоидов, причем на наночастицах каждого коллоида иммобилизуются различные некоплементарные одноцепочечные ДНК. Добавление третьего олигонуклеотида, комплементарного к обоим иммобилизованным цепочкам, вызывает агрегацию наночастиц посредством гибридизации комплементарных олигонуклеотидов. Такая агрегация сопровождается резким изменением цвета коллоидов, который варьируется от красного до фиолетово-синего. Созданные ансамбли наночастиц могут возвращаться обратно в стабильное коллоидное состояние путем простого изменения ионной силы раствора или увеличения температуры выше точки плавления ДНК, приводящего к дегибридации. Происходящие таким образом изменения цвета в коллоидных агрегатах позволяют проводить четкую дифференциацию между комплементарными цепочками и цепочками с одним или более несоответствиями. Изменения цвета могут быть усилены в случае визуализации агрегатов после высушивания растворителя. Соответствующий метод анализа основан на рассеянии белого света металлическими наночастицами или агрегатами, осажденными на поверхность прозрачной пластины.

Другой аналогичный метод оптического биодетектирования реализуется с использованием немодифицированных наночастиц золота и основывается на более высоком сродстве к коллоидам золота одноцепочечных ДНК по сравнению с двухцепочечными ДНК благодаря их различному электростатическому взаимодействию. Адсорбция одноцепочечных ДНК препятствует агрегации наночастиц, в то время как адсорбция двухцепочечных ДНК, наоборот, приводит к образованию агрегатов.

Биодетектирование на основе коллоидной агрегации может проводиться в отношении молекул не только ДНК, но и белков.

Одним из перспективных направлений создания бионаносенсоров является использование техники поверхностно усиленного рамановского рассеяния, которая представляет собой вариант стандартной рамановской спектроскопии [42]. Рамановское рассеяние применяется для детектирования молекул различных веществ, а также бактерий и вирусов. Существуют два принципиальных подхода к такому биодетектированию: внутренний и внешний. При внутреннем детектировании молекулы анализируемого вещества непосредственно иммобилизуются на наноструктурной поверхно-

сти (например, на наночастицах золота) и характерный рамановский спектр биомолекул измеряется и сравнивается с эталонным спектром. При внутреннем детектировании молекулы анализируемого вещества генерируют детектируемый сигнал.

Характерной особенностью бионаносенсоров является лежащий в основе их действия механизм биомолекулярного распознавания (такие биосенсоры иначе называют иммуносенсорами) [43, 44]. Схема действия сенсоров по механизму биораспознавания включает несколько стадий (рис. 2.24): 1) распознавание биоэлементом специфического для него вещества (субстрата) из многокомпонентной смеси; 2) преобразование трансдьюсером информации о протекании биохимической реакции в форму электрического или другого сигнала; 3) преобразование электрического (или другого) сигнала в нужную форму для последующей обработки.

Существуют два вида биораспознавания: продуктивное и непродуктивное, каждое из которых реализуется с помощью различных биоэлементов.

Продуктивное биораспознавание проводится ферментами, представляющими собой узкоспециализированные по своему действию белки, которые связываются со специфическими субстратами, в результате чего протекает химическая реакция, приводящая к образованию определенного продукта.

Принцип иммобилизации ферментов основан на том, что часть функциональных групп белка не участвует в формировании его активного центра и может вступать в различные взаимодействия, в том числе и химические реакции, с функциональными группами полимерного модификатора. Благодаря иммобилизации ферментов можно целенаправленно изменять их свойства, повышать стабильность и долговечность ферментативных препаратов, в частности, увеличивать время их циркуляции в кровеносных сосудах. Иммобилизованные ферменты применяются для осуществления различных химических процессов. Весьма перспективно создание на их основе биосенсоров. Такие ферментативные биосенсоры обеспечивают высокоточное детектирование веществ за счет специфичности их ферментативного определения.

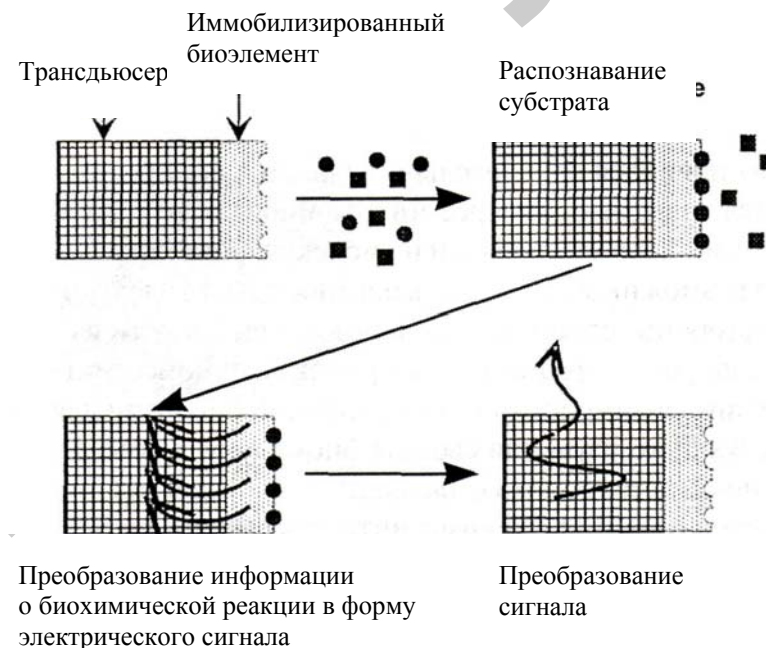


Рис. 2.24. Схема действия биосенсора по механизму биораспознавания

Непродуктивное биораспознавание, отличающееся высокоизбирательным взаимодействием, проводится в основном биологическими системами типа антиген – антитело.

Антитела представляют собой глобулярные белки, образующиеся в ответ на введение в организм человека или животных антигенов, к которым относятся высокомолекулярные коллоидные вещества, которые воспринимаются организмом как чужеродные: белки, полисахариды, комплексы белков с разнообразными химическими соединениями и другие макромолекулы. Термин «антигены» также употребляется по отношению к растительным и животным клеткам, бактериям, вирусам, содержащим антигены. Антитела обладают способностью специфически связываться (реагировать) с соответствующими антигенами. Таким образом, действие бионаносенсоров по механизму непродуктивного биораспознавания основано на ис-

пользовании способности иммобилизованных на их рабочей поверхности антител распознавать антигены, благодаря чему их перспективно применять для диагностики инфекционных заболеваний человека и животных, а также для определения зараженности растений возбудителями различных болезней.

Сложность создания бионаносенсоров, действующих по принципу биораспознавания, связана с трудностью обеспечения их длительного и надежного функционирования, так как биоэлементы обычно быстро теряют способность к биораспознаванию. В связи с этим необходимо, прежде всего, научиться синтезировать молекулы, надолго сохраняющие заданные избирательность и химическое средство.

Одним из перспективных подходов к созданию бионаносенсоров является применение техники оптоволоконного биозондирования [40]. Действие оптоволоконных биозондов основано на принципах ближнепольной оптической микроскопии. Для детектирования используются оптические волокна с очень тонким наконечником (до 20 нм). Когда свет проходит через волокно, он создает затухающее электромагнитное поле в наконечнике, которое охватывает очень малый объем, поскольку его интенсивность падает экспоненциально с удалением от наконечника. Кроме того, это поле вызывает возбуждение преимущественно флуоресцентных частиц. Соответственно, техника оптоволоконного биозондирования используется в основном для детектирования биоагентов, снабженных флуоресцентными маркерами, в частности, для определения характера их распределения внутри клетки.

Возможен вариант применения данной техники, когда наконечник волокна покрывается антителами, которые способны связываться с антигенами – бактериями или вирусами (как известно, реакции антител с антигенами широко применяются в диагностике различных заболеваний).

Техника оптоволоконного биозондирования предполагает пунктирование клеточной мембраны зондом, но благодаря малому диаметру наконечника зонда разрушение клетки не является губительным и клетки способны подвергаться дальнейшему клеточному делению (рис. 2.25).



Рис. 2.25. Оптоволоконное биозондирование одиночной клетки

В последние годы все большее распространение получает техника биодетектирования, основанная на использовании клеток, которая является наиболее перспективной альтернативой существующей биосенсорной технике, поскольку клетки имеют способность идентифицировать мельчайшую концентрацию агентов окружающей среды [45]. Использование живых клеток в качестве сенсорных элементов обеспечивает возможность достижения высокой чувствительности к широкому кругу химически активных веществ, которые влияют на электрохимическую активность клеток. В частности, особого внимания заслуживают планарные микроэлектродные матрицы, позволяющие осуществлять запись внеклеточных сигналов от электрохимически активных клеток, культивируемых *in vivo*. Спектр внеклеточных сигналов может модулироваться, когда клетки помещаются в разнообразные химические или биологические агенты, и этот модулированный сигнал является характерным «образцом подписи» (служит в качестве «отпечатка пальца») специфического агента.

Применение клеточных биосенсоров довольно многообразно [46]. Разработаны биосенсоры для селективного определения фенолов, пролина, глутамина, тирозина, молочной и аскорбиновой кислот, глюкозы, сульфат-иона, аммония и др. Весьма эффективно применяются клеточные биосенсоры для экспресс-анализа качества воды и сточных вод. Существует метод определения биологического потребления кислорода – анализ на определение совокупности органических соединений, которые могут быть использованы микроорганизмами. Традиционно этот метод требует для получения необходимых данных нескольких дней. Биосенсоры с иммобилизованными клетками позволяют получать эти же результаты в течение нескольких минут.

Для детектирования инфекционных агентов предложен оригинальный метод, основанный на строгом учете размера и вида виру-

са [45]. Эдесь в качестве бионаносенсора используется система из кремниевой пластины и лазерного излучателя.

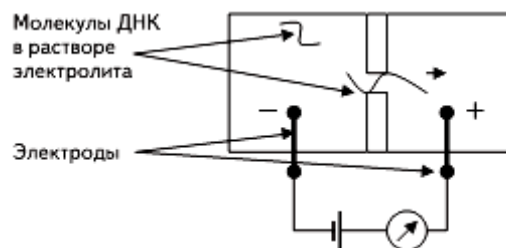


Рис. 2.26. Конструкция устройства для анализа ДНК на основе нанопоры

В кремниевой пластине имеются поры диаметром 240 нм. Если обработать пластину раствором, содержащим вирусные частицы, то часть из них, характеризующихся соответствующим диаметром, окажется внутри пор. Затем поверхность пластины сканируется лазерным лучом. Находящиеся в порах вирусные частицы по-разному рассеивают свет – в зависимости от размера. На основании анализа изменений в спектре отраженного от кремниевой пластины лазерного луча устанавливаются размеры и виды попавших в отверстия вирусов. Таким методом можно, в частности, делать анализ ДНК (рис. 2.26).

ГЛАВА 3 ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

3.1. Основные направления применения нанотехнологий в АПК

С учетом свойств и функциональных возможностей наноматериалов и наносистем можно выделить следующие основные направления применения нанотехнологий в агропромышленном комплексе:

- в растениеводстве: обработка растений и семян нанодисперсными химическими веществами, наночастицами металлов, наноструктурированной водой; наносредства доставки химических веществ к корням растений; наносенсорный контроль состояния растений (рис. 3.1);



Рис. 3.1. Основные направления применения нанотехнологий в растениеводстве

- в животноводстве и ветеринарии: нанодисперсные кормовые добавки; нанодисперсные ветеринарные препараты и ветеринарные препараты на основе биологически активных наночастиц; наносредства доставки ветеринарных препаратов и наносредства ветеринарного контроля (рис. 3.2);

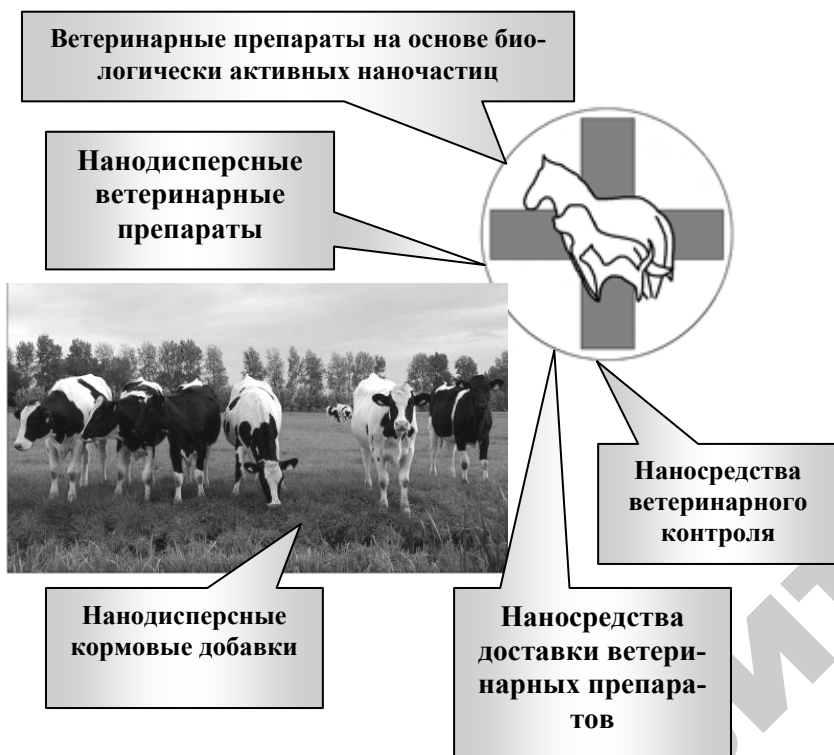


Рис. 3.2. Основные направления применения нанотехнологий в животноводстве и ветеринарии

- в переработке сельскохозяйственного сырья и производстве пищевых продуктов: нанодисперсные компоненты пищевых продуктов; нанокатализаторы процессов пищевого производства; наноматериалы для упаковки пищевых продуктов (рис. 3.3);

- в агропромышленной технике, строительстве и энергетике: конструкционные и строительные наноматериалы и нанопокртия; смазочные и топливные наноматериалы (рис. 3.4).



Рис. 3.3. Основные направления применения нанотехнологий в переработке сельскохозяйственного сырья и производстве пищевых продуктов

Особенности применения нанотехнологий по указанным направлениям рассмотрены в последующих разделах.



Рис. 3.4. Основные направления применения нанотехнологий в агропромышленной технике, строительстве и энергетике

3.2. Растениеводство

К числу наиболее эффективных средств повышения урожайности и качества сельскохозяйственных культур и плодородия почвы относятся минеральные удобрения и пестициды [24, 47]. Минераль-

ные удобрения содержат необходимые для растений элементы питания в форме неорганических веществ, главным образом солей. Пестициды объединяют большой класс органических и неорганических веществ, служащих для борьбы с сорняками (гербициды), вредителями (инсектициды, акарициды, зооциды и др.), болезнями растений (фунгициды, бактерициды и др.). В группу пестицидов также входят регуляторы роста растений, стимулирующие или тормозящие процессы развития растений.

Минеральные удобрения и пестициды используются для обработки как вегетирующих растений, так и семян перед посевом. При их употреблении требуется строго соблюдать нормы расхода, определяемые биологической потребностью растений и состоянием почвы. При превышении этих норм возникают реальные опасности для окружающей среды, в частности, повышается химическая нагрузка на почву, что приводит к ее деградации.

Минеральные удобрения способны оказывать негативное действие на почвенную экосистему в силу несовершенства их свойств и химического состава. К недостаткам большинства минеральных удобрений относятся: наличие остаточной кислоты вследствие технологии их производства; физиологическая кислотность и щелочность, образующаяся в результате преимущественного использования растениями катионов или анионов; высокая растворимость. При чрезмерном употреблении минеральных удобрений их компоненты могут накапливаться в почве в таком количестве, которое способно тормозить процессы ее самоочищения. Кроме того, компоненты минеральных удобрений могут попадать в поверхностные и подземные водоемы, загрязняя их. Избыточное использование минеральных удобрений приводит к загрязнению сельскохозяйственной продукции вредными для здоровья людей компонентами. Серьезным недостатком многих удобрений является наличие в них тяжелых металлов. Особенно сильно загрязнены ими фосфорные удобрения, так как тяжелые металлы содержатся в фосфатных рудах. Кроме того, существенным источником загрязнения почвы тяжелыми металлами являются микроудобрения, содержащие микроэлементы – вещества, потребляемые растениями в небольших количествах. В основном это металлы: Fe, Cu, Zn, Mn, Co и др., входящие в состав микроудобрений в виде ионов солей металлов и некоторых иных соединений.

Пестициды способны наносить вред почвенной экосистеме в силу присутствия у них ядовитых свойств. Ядохимикаты влияют на микрофлору и микрофауну почвы, приводят к заметным изменениям в биохимических и микробиологических процессах, вызывая повышенное образование и выделение углекислого газа, аммиака, аминокислот и др. продуктов метаболизма. При этом также изменяется характер процессов распада органических веществ почвы – клетчатки, белка, сахаров. Под воздействием пестицидов снижается качество сельскохозяйственной продукции: ухудшаются хлебопекарные и пищевые свойства муки, повышается «водянистость» мяса. Опасность пестицидного загрязнения окружающей среды усугубляется тем, что ядохимикаты обнаруживаются только специфическими труднореализуемыми методами анализа, проявляются через заболевания и гибель организмов. В силу указанных обстоятельств в последние годы в мире все большее предпочтение отдается сельскохозяйственной продукции, выращенной без применения пестицидов.

Для решения задач снижения химической нагрузки на почву применяются различные нанотехнологические подходы, в том числе:

- обработка растений и семян минеральными удобрениями и пестицидами, находящимися в нанодисперсном состоянии, благодаря чему повышается их биоактивность;
- обработка растений и семян вместо пестицидов безъядными наночастицами металлов, проявляющими пестицидные эффекты;
- доставка минеральных удобрений и пестицидов к корням растений с помощью наночастиц, благодаря чему обеспечивается более рациональное их использование.

Одним из перспективных путей повышения урожайности и качества сельскохозяйственных культур за счет обеспечения оптимальных условий их возделывания, а также плодородия почвы за счет снижения химической нагрузки на нее является применение методов точного земледелия [21, 28]. С их помощью становится возможным вносить поставлять воду, удобрения, средства защиты растений на различные участки сельхозугодий строго нормированными дозами с учетом реальной биологической потребности растений на разных стадиях их вегетации. Для реализации методов точного земледелия важно своевременно получать необходимую информацию о характере развития растений, что обычно осуществляется в результате спутникового мониторинга сельхозугодий. Аль-

тернативным решением этой задачи является применение наносенсоров для контроля параметров состояния растущих растений, а также почвы непосредственно в полевых условиях.

В развитии растений исключительно важная роль отводится воде, которая выполняет жизненно важные функции, поддерживающие обменные процессы, а также служит источником питания [49, 50]. Одним из эффективных агротехнических приемов, обеспечивающих ускорение прорастания семян и, как следствие, более интенсивный рост растений, является замачивание семян, заключающееся в выдерживании семян перед посевом в воде в течение определенного периода времени (от нескольких часов до нескольких суток) [51, 52]. Эффект воздействия воды как на растения, так и на семена может быть повышен в результате ее перевода в наноструктурированное состояние, характеризующееся наличием в ней нанокластеров.

3.2.1. Обработка растений и семян нанодисперсными химическими веществами

Экспериментально исследована эффективность нетоксичных регуляторов роста растений, приготовленных на основе нанодисперсных композиций, обладающих антистрессовым действием [53, 54]. Препараты получали механохимической обработкой растительного сырья. Твердофазная механохимическая экстракция осуществлялась за счет ударно-сдвигового воздействия на порошковую смесь растительного сырья и реагента в виброцентриробежном активаторе, благодаря чему обеспечивалось измельчение растительных клеток до наноразмеров и перевод целевых веществ (потенциальных регуляторов роста) в водорастворимую активную форму. Так, в результате механохимической обработки смеси древесной коры с твердой щелочью были получены нанодисперсные композиции с развитой поверхностью раздела фаз. Добавление воды к таким композициям приводило к полной экстракции целевых веществ в одностадийном процессе, без предварительного обезжиривания. Аналогичным образом получали нанодисперсные композиции с использованием в качестве сырья шелухи риса (отходов производства рисовой крупы), а также коры облепихи. Введение разработанных препаратов в питательную среду в концентрации 10 мг/л способствовало активизации роста корней, побегов и листьев растений (рапса, люцерны).

При возделывании различных культур, в том числе зерновых, сахарной свеклы, применяются препараты специального состава в виде наноэмульсий, обладающих пестицидным действием [55]. Эти препараты, в отличие от традиционных ядохимикатов, обеспечивают полное смачивание поверхности растений, полностью всасываются растениями, не смываются дождем. Они отличаются максимальным проникновением в листья, стебли и корни активно действующих веществ. Их применение дает возможность при минимальных дозах препаратов достигать значительного эффекта. Аналогичная информация о пестицидных препаратах в форме наноэмульсий приводится в [56]. Испытания препаратов в такой форме показывают, что они обладают повышенной биологической активностью, благодаря чему нормы их расхода могут быть существенно снижены.

Применение нанопрепаратов, совмещенных с бактериородопсином, стимулирующим рост растений, приводит к повышению устойчивости к неблагоприятным погодным условиям и увеличению урожайности в 1,5-2 раза практически всех производственных (картофель, зерновые, овощные, плодово-ягодные) и технических (лен, хлопок) культур [57].

Особенно перспективно применять различные композиции, содержащие наночастицы, для предпосевной обработки семян растений. Влияние наночастиц на прорастание семян и последующий рост растений объясняется их повышенной способностью проникать сквозь довольно толстую оболочку семян. Вместе с тем механизмы непосредственного действия наночастиц на семена до конца не изучены. В значительной мере они зависят от типа частиц, вида обрабатываемых растений, условий обработки. В этом отношении определенный интерес представляют экспериментальные исследования обработки семян помидор с помощью углеродных нанотрубок [58]. Семена обрабатывали в специально приготовленной агаризованной питательной среде, в которую вводили углеродные нанотрубки. Эксперименты показали, что нанотрубки способствуют ускоренному прорастанию и дальнейшему развитию семян. Предполагается, что стимулирующее действие нанотрубок обусловлено созданием благоприятных условий для поглощения воды семенами. Это может быть вызвано тем, что нанотрубки, пронизывая оболочку семян, формируют в ней систему пор, через которые вода проникает в семена. Другим возможным объяснением является спо-

собность нанотрубок, встраиваясь в оболочку семян, играть роль водных каналов.

По-видимому, наночастицы могут оказывать наиболее значительное, комплексное воздействие на семена при их введении в состав инкрустирующих композиций. Инкрустирование семян заключается в их покрытии полимерными пленкообразователями совместно с веществами, активизирующими ростовые процессы. Обычно инкрустирующие смеси содержат органические и минеральные питательные вещества, регуляторы роста и средства защиты, находящиеся в мелкодисперсном состоянии [59]. Повышение степени дисперсности указанных компонентов до наноразмерных масштабов вызывает существенное увеличение их биодоступности и, как следствие, более сильное воздействие на семена.

3.2.2. Обработка растений и семян наночастицами металлов

Для обработки вегетирующих растений и предпосевной обработки семян используются нанопорошки ряда металлов, обладающие пестицидным эффектом. Их применение обеспечивает снижение пестицидной нагрузки на почвы и одновременно способствует повышению урожайности и качества сельскохозяйственных культур.

В [60–63] представлены результаты экспериментов по обработке различных видов сельскохозяйственных культур нанопорошками алюминия, железа, меди, молибдена, никеля, цинка, оксидами меди и цинка, а также их композициями. Нанопорошки с размером частиц 10–50 нм, полученные химико-металлургическим и плазмохимическим методами, применяли в составе специально приготовленных препаратов суспензионного типа на основе гидрофобных полимеров. В ходе экспериментов изучались закономерности влияния химического и гранулометрического состава нанопорошков, а также их относительного количества на прорастание семян, рост растений, их устойчивость к заболеваниям. О характере этих закономерностей свидетельствуют, в частности, опыты по обработке семян пшеницы нанопорошком оксида меди.

В опытах использовались образцы нанопорошков с различной удельной поверхностью – от 70,23 м²/г до 1,43 м²/г и различной концентрацией – 0,1 и 0,2 г на 1 кг семян. Все образцы характеризовались положительными защитными свойствами от почвенных

патогенных микроорганизмов. Первичный корешок и росток были лучше развиты в тех случаях, когда нанопорошки имели удельную поверхность от 70,23 до 4,735 м²/г. Это значит, что эффективность нанопорошков тем выше, чем больше их удельная поверхность и, соответственно, чем меньше размеры наночастиц. Более высокие концентрации нанопорошков приводили к снижению на 10 % энергии прорастания семян, не влияя при этом на их всхожесть.

Нанопорошки металлов обладают пролонгированным действием: постепенно окисляясь в почве, они создают неблагоприятные условия для патогенных микроорганизмов и используются растениями в процессе роста и развития как микроэлементы. Так, исследования изменения содержания молибдена на разных стадиях развития ряда растений (капусты, кукурузы, клевера и др.), семена которых обрабатывали препаратами на основе нанопорошка молибдена различной концентрации (от 0,5–10 % по сухому веществу), показывают, что растения расходуют нанесенный на семена металл в течение всей вегетации, причем содержание его в корнях растений оказывается в 3 раза выше, чем в надземной части.

Обработка семян и вегетирующих растений препаратами, содержащими нанопорошки металлов, обеспечивает устойчивую иммунную систему растений в течение всей вегетации. Так, нанопорошковая обработка семян свеклы предотвращает грибные болезни и заражение долгоносиком, а семян пшеницы – поражаемость бурой ржавчиной и септориозом; нанопорошковая обработка овощных культур способствует снижению заболеваний пероноспорозом и гнилями.

Положительное влияние нанопорошков металлов на развитие растений имеет место и в тех случаях, когда нанопорошки используются совместно с пестицидами. Например, обработка вегетирующего льна нанопорошками с половинной дозой гербицида вызывает его ускоренное созревание, а обработка семян моркови нанопорошками совместно с инсектицидами предотвращает поражение всходов мухой.

Результаты, аналогичные рассмотренным выше, представлены в экспериментах с рапсом [64], в ходе которых установлено, что предпосевная обработка семян водной суспензией нанопорошка железа приводит к более сильному развитию корневой системы, увеличению фотосинтетической поверхности и водоудерживающей

способности листьев, повышению устойчивости растений к ряду заболеваний и, как следствие, к повышению урожайности и качества рапса. Максимальная прибавка рапса от действия нанопорошков составляет 1,1 ц/га или 4,7 %. Подобные положительные результаты получены для сурепицы, горчицы, льна.

Эффективность влияния нанопорошков железа на развитие растений подтверждена масштабными испытаниями, в ходе которых установлено, что урожайность зерновых культур увеличивается в среднем на 15 %, зеленой массы растений – на 5 %, клубнеплодов – на 30 % [57]. Нанопорошки железа, легко адсорбируясь на семенах, стимулируют их всхожесть. Кроме того, они активизируют ферментативные системы растений, повышают их устойчивость к неблагоприятным условиям среды.

Особый научно-практический интерес представляют экспериментальные исследования влияния нанопорошковой обработки на эколого-биологическую безопасность растений, когда они применяются в качестве лекарственного сырья [65]. Важность этих исследований связана с необходимостью оценки степени проявления токсичных свойств нанопорошков металлов в системе «почва – растение – человек».

В экспериментах использовали нанопорошки железа, меди и кобальта с размером частиц 20–50 нм, полученные химико-металлургическим методом. Величину удельной поверхности нанопорошков измеряли методом низкотемпературной адсорбции азота и по полученным данным определяли значение среднего эффективного размера частиц. На основе нанопорошков готовили водные суспензии. Исследовалось влияние нанопорошков при обработке семян растений лапчатки гусиной и горца птичьего на накопление каротина, аскорбиновой кислоты и углеводов. Кроме того, изучалось сравнительное содержание металлов в почве до и после посадки растений.

Основные результаты экспериментов сводятся к следующему:

1) нанопорошки металлов стимулируют рост растений: всхожесть и урожайность повышается на 25–32 %; при обработке семян нанопорошками содержание исследуемых металлов в почве не изменяется;

2) под действием нанопорошков металлов увеличилось содержание биологически активных веществ растений: аскорбиновой

кислоты на 24–37 %, каротина на 23–50 %, углеводов на 23–50 % в зависимости от типа металла, растения и сроков вегетации;

3) из надземных частей горца птичьего, семена которого были обработаны нанопорошком кобальта, выделены водорастворимые полисахариды, относящиеся к гликуроногликанам; эти биополимеры состоят из двух отличающихся по физико-химическим свойствам фракций: у одной из них основным компонентом является полигалактуроновая кислота (79–92 %), вторая содержит набор нейтральных углеводов: рамнозу, арабинозу, ксилозу, галактозу и глюкозу; влияние кобальта заключается в увеличении разветвленности, молекулярной массы отдельных фракций и увеличении выхода полисахаридов до 15 %.

В [66] представлены результаты экспериментов по разработке композиций на основе водорастворимых полимеров, в состав которых вводили наночастицы металлов (железа, меди, цинка) в виде жидкой дисперсии, стабилизированные ультразвуковой обработкой и поверхностно-активными веществ. Разработанная композиция обеспечивает увеличение густоты всходов пшеницы ввиду наличия фунгицидных свойств, а также синергетический эффект при совместном применении с химическими средствами защиты, в частности, более существенное снижение поражений пшеницы корневыми гнилями.

В [67] описаны эксперименты по предпосадочной обработке клубней картофеля водными суспензиями на основе нанопорошков железа, меди и кобальта с размерами большинства частиц от 7 до 20 нм. Как показали результаты полевых опытов, благодаря такой обработке повышается водоудерживающая способность листьев, снижается заболеваемость, происходит более раннее появление полных всходов и цветение, увеличивается численность стеблей, что приводит к росту урожайности. В частности, максимальное увеличение урожайности (более чем на 30 %) имело место под воздействием наночастиц меди с концентрацией 0,004 %.

Опыт применения наночастиц металлов (железо, медь, цинк и др.) показывает, что в отличие от их солей, они являются гораздо менее токсичными [68–73]. Обычно наночастицы металлов используются в малых дозах и не загрязняют окружающую среду. Они стимулируют действие ферментов, переводящих нитраты в аммонийный азот, оказывают влияние на фотосинтез, синтез ферментов

и аминокислот, углеводный и азотный обмен. Кроме того, они вносят непосредственный вклад в минеральное питание растений.

Наночастицы металлов (железо, медь, цинк и др.), играя роль бактерицидов, способны дополнять или усиливать традиционные средства защиты. Их бактерицидное действие состоит в том, что, находясь в почве, они окисляются, создавая условия, неблагоприятные для обитания патогенной микрофлоры. В частности, они вызывают поражение оболочек клеток бактерий, в результате чего последние погибают. Особенно сильной бактерицидной способностью обладают наночастицы серебра. Эффективно применение бактерицидных наночастиц в сочетании с ядохимикатами, что обеспечивает уменьшение доз ядохимикатов, замедление процессов приспособления вредителей к ядохимикатам, избирательное воздействие на популяции, устойчивые к традиционным средствам защиты растений.

3.2.3. Наносредства доставки химических веществ к корням растений

Системы доставки химических веществ, в том числе пестицидов, непосредственно к корням растений с помощью наночастиц имеют много общего с системами доставки лекарственных препаратов. В последнем случае лекарственный препарат загружается в «наноконтейнеры» со специфическими детерминантами – молекулами, обладающими сродством к определенным клеточным структурам, и лекарство доставляется непосредственно к пораженным органам и тканям. Роль таких «наноконтейнеров» могут играть, в частности, липосомы [74].

В [75–79] экспериментально исследованы возможности доставки химических веществ к корням растений с помощью наносистем на основе липосом, содержащих различные углеводные детерминанты. Предварительно была выявлена способность липосом, инкрустированных бактериальными липополисахаридами (ЛПС), имитировать процессы агрегации почвенных бактерий и их адсорбции на корнях растений [75, 76]. Это дало основание предполагать, что, разработав подход для конструирования таких систем, можно создавать средства доставки химических веществ, распознающие клетки-мишени целевых растений [77]. Данное предположение бы-

ло подтверждено последующими экспериментами, целью которых было изучение возможностей применения ЛПС клеточной поверхности бактерий *Azospirillum brasilense* в качестве специфического компонента системы доставки химических веществ к корням пшеницы [78, 79]. При этом учитывался ранее установленный факт колонизации корней пшеницы данными бактериями и участия ЛПС их клеточной поверхности в образовании ассоциатов [80].

ЛПС выделяли из бактериальных клеток и встраивали в липосому. Липидная часть ЛПС была погружена в билипидный слой липосом, полисахаридная часть располагалась по нормали к поверхности везикул. Липосомы с ЛПС получали методом инъекции с последующим ультразвуковым диспергированием образованной суспензии. В качестве доставляемого химического вещества использовали индолил-3-уксусную кислоту (ИУК), выбор которой был обусловлен возможностью быстрой оценки эффективности системы доставки вещества, проводившейся по приросту клеток coleoptily пшеницы. Липосомы с ИУК готовили инъекцией спиртового раствора фосфатидилхолина в цитрат-фосфатный буфер, содержащий ЛПС и ИУК. Coleoptily пшеницы предварительно выращивали в термостате, после чего их помещали в анализируемые системы и измеряли величину их прироста.

Результаты экспериментов свидетельствуют о высокой эффективности использования ЛПС как специфического компонента систем доставки. Системы доставки такого типа позволяют уменьшить расход химических веществ, так как все вещество с помощью «наноконтейнеров» целенаправленно доставляется к корням растений, а не рассеется в почве. Кроме того, используя специфический компонент, обладающий сродством к корням определенных растений, можно избирательно проводить подкормку, лечение или уничтожение растений, что уменьшает химическую нагрузку на почву.

В дополнительных экспериментах в качестве системы доставки химических веществ к корням пшеницы использовались наночастицы диоксида кремния, выбор которых обусловлен возможностью инкрустации частиц полисахаридами растений, которые являются более привлекательными по сравнению с бактериальными ЛПС. В качестве углеводной детерминанты использовались полисахариды, выделенные из корней пшеницы. Результаты экспериментов показывают, что степень сорбции для наночастиц, инкру-

стированных полисахаридами, по сравнению с наночастицами без полисахаридного покрытия, возрастает в 22 раза для полисахаридов высокой молекулярной массы и в 11 раз для полисахаридов низкой молекулярной массы.

Таким образом, как следует из экспериментальных данных, и липосомы, и наночастицы диоксида кремния, несущие на поверхности углеводные детерминанты, как бактериальной, так и растительной природы, являются эффективными системами для целевой доставки химических веществ к корням растений. Особенно эффективно можно обеспечивать целенаправленную доставку растениям агрохимикатов и других веществ, способных уменьшать повреждение растительных тканей, с помощью магнитных наночастиц [81].

Наночастицы весьма перспективно использовать для доставки к растениям минеральных удобрений. Механизмы влияния локального распределения минеральных удобрений, когда часть корневой системы растения функционирует в условиях существенно повышенной концентрации питательных элементов, до сих пор остаются до конца непонятыми. Неоднородное распределение питательных элементов в корнеобитаемой среде является дополнительным фактором активации ростовых функций как корневой системы, так и надземных органов растений [82]. Целевая доставка минеральных удобрений к растениям имеет значительные преимущества по сравнению с разбросным (экранным) способом применения удобрения и довольно широко используется в мировой агротехнической практике. Она приобретает особую актуальность при организации многостадийного питания растений с использованием различных видов питательных элементов, что позволяет корректировать дозы, сроки и условия питания.

3.2.4. Наносенсорный контроль состояния растений и почвы

Важнейшим параметром физиологического состояния растущих растений является степень насыщения их водой, а также качество потребляемой ими воды.

Контроль потребности растений во влаге в полевых условиях может осуществляться с помощью специальных сенсоров, размещаемых на листьях растений [83]. Такие сенсоры могут преобразовывать получаемую информацию о содержании влаги в электрические сигналы, которые передаются по каналам радиосвязи на пульт

оператора (фермера). В последние годы получили распространение керамические сенсоры влажности, действие которых основано на зависимости электропроводности керамики от влажности. Наиболее эффективно использовать сенсоры на основе нанопористой керамики, так как характеризуются они высокой чувствительностью благодаря большой площади поверхности, доступной для адсорбции воды [84, 85]. В этом отношении особенно перспективны нанопористые пленки оксида алюминия. Наносенсоры подобного типа также могут использоваться для контроля содержания аммиака в потребляемой растениями воде [85].

Для контроля физиологического состояния растений могут найти широкое применение наносенсоры на основе полупроводниковых нанопроволок [86]. Типичный пример такого рода устройств – рН-наносенсоры, основным элементом которых является нанопроволока из кремния. Принцип действия таких наносенсоров основан на зависимости электропроводности нанопроволоки от того, сколько и каких заряженных частиц оседает на поверхность пленки SiO₂, неизбежно формируемой на нанопроволоке на воздухе. Путем специальной обработки пленки можно обеспечить селективную адсорбцию на ней молекул определенного состава. В простейшем случае наносенсор может реагировать на рН (кислотность) воды, которая будет различной для чистой воды и воды с примесями. Для повышения эффективности детектирования оболочку из SiO₂ покрывают тонкой пленкой 3-аминопропил-этоксисилана. При нанесении такой пленки на ней образуются группы NH₂, которые в зависимости от рН среды могут или отдавать один протон или, наоборот, присоединять его из раствора, т. е. заряжаться, что незамедлительно сказывается на проводимости наносенсора, которая скачком меняет свое значение при каждом изменении рН среды.

Для регулирования передачи тепловой энергии и воды между земной поверхностью и атмосферой посредством испарения и транспортных процессов в растениях важно контролировать температуру и влажность почвы. Поскольку вода имеет первостепенное значение в сельском хозяйстве, то для управления ирригацией необходимо получать точные сведения о влажности почвы на уровне корневой системы растений. Традиционные средства контроля температуры и влажности почвы не в состоянии достаточно точно определять температурные и влажностные профили. К тому же они

громоздки и дороги. Вместо них можно эффективно применять сравнительно дешевые наносенсоры влажности, выполненные в виде нанокантлелевера с нанесенным на него нанопокрывом из чувствительного к воде полимера, и пьезорезистивные наносенсоры температуры в чип-исполнении [87].

Значительный практический интерес представляет применение бионаносенсоров для контроля содержания некоторых видов гербицидов в воде и почве [83]. В частности, для этого используются водоросли хлореллы, поселенные в питательном геле на поверхности микрочипа. Электронные устройства измеряют параметры флуоресценции хлореллы и передают соответствующий электрический сигнал об уровне загрязнения по радиоканалу. Подобным образом с помощью бионаносенсоров можно контролировать содержание возбудителей растительных инфекций в органических удобрениях (навозе) [88], а также нитратов в почве [89].

3.2.5. Обработка растений и семян наноструктурированной водой

Благотворное влияние на развитие растений способна оказывать талая вода, находящаяся в наноструктурированном состоянии. Она применяется в следующих процессах: проращивание семян (сахарная свекла, пшеница, огурцы, капуста, томаты, кукуруза); обработка опрыскиванием овощных и зерновых растений; обработка черенков плодовых деревьев и кустарников; обработка опрыскиванием плодовых деревьев [90, 91]. Замачивание семян в талой воде перед посевом улучшает их всхожесть. Совместная обработка семян и опрыскивание в вегетационный период овощей, картофеля и пшеницы талой водой приводит, кроме прибавки урожая, к повышению устойчивости растений к некоторым заболеваниям; засухоустойчивости; уменьшению потребности растения в поливе обычной водой. Обработка плодовых деревьев талой водой позволяет увеличить водоудерживающую способность листа, концентрацию в нем клеточного сока. Кроме того, талая вода способствует повышению содержания сахаров, витаминов, сухих веществ в плодах и овощах. Отмечается ее положительное влияние на рост картофеля, клубни которого перед посадкой обрабатываются талой водой с добавками компонентов, стимулирующих его рост [92].

В последние годы о различных эффектах применения талой воды в растениеводстве довольно часто сообщается в средствах массовой информации, научно-популярной литературе, на многочисленных интернет-сайтах [93–96]. Вместе с тем практически отсутствуют публикации по данной тематике в научных изданиях. До сих пор остаются до конца невыясненными механизмы влияния талой воды на развитие растений, что сдерживает ее применение в агротехнической практике.

3.3. Животноводство и ветеринария

Одним из важнейших условий успешного развития животноводства является обеспечение высокоэффективного кормления [97–99] и ветеринарного обслуживания [99, 100] сельскохозяйственных животных.

Для повышения эффективности кормления необходимо, прежде всего, улучшить качество кормов – продуктов растительного и животного происхождения, а также различных минеральных веществ. С этой целью в состав кормов вводятся различные добавки, в том числе:

- премиксы – смеси биологически активных веществ (белковых, витаминных, минеральных) микробиологического и химического синтеза, применяемые для повышения питательности кормов и улучшения их биологического действия на организм животных;
- пробиотики – биологически активные вещества микробного происхождения, проявляющие свои позитивные свойства на организм животных через регуляцию кишечной микрофлоры;
- нутрицевтики – биологически активные вещества, обладающие общеукрепляющим эффектом и используемые для обогащения организма животных витаминами и микроэлементами;
- консерванты – антисептические вещества, обеспечивающие длительную сохранность кормов.

Кроме того, в состав кормов добавляют ветеринарные препараты, которые вместе с ними поступают в организм животных.

Качество кормов может быть значительно улучшено при применении кормовых добавок в нанодисперсном состоянии.

Для повышения эффективности ветеринарного обслуживания применяются различные нанотехнологические подходы, многие из которых первоначально были разработаны и апробированы в медицине [101, 103]. К их числу относятся:

- применение традиционных ветеринарных препаратов в нанодисперсном состоянии;
- применение в качестве ветеринарных препаратов различных типов наночастиц, обладающих терапевтическим действием;
- применение наносредств доставки ветеринарных препаратов в организм животных;
- применение наносредств ветеринарного контроля и диагностики.

3.3.1. Нанодисперсные кормовые добавки

В последние годы все шире применяются кормовые продукты, содержащие добавки в нанодисперсном состоянии, что способствует наиболее полному и эффективному усвоению содержащихся в них биологически активных веществ [104, 105]. Так, освоено производство кормовых добавок с лечебно-профилактическими свойствами на основе микроэлементов в наноразмерном состоянии, которые способствуют повышению сопротивляемости инфекционным заболеваниям и стрессам, быстрому росту, стимулированию репродуктивной функции, а также консервантов на основе использования бактерицидных свойств наночастиц серебра и фунгицидных свойств наночастиц меди [105–108]. Перевод кормовых добавок в нанодисперсное состояние позволяет не только улучшить их качество, но и снизить их расход [105].

Об эффективности кормов в нанодисперсном состоянии свидетельствуют, в частности, данные по использованию кормов на основе соломы [109]. Известно, что в соломе содержится кормовых единиц почти столько же, сколько и в самом зерне, но в ней очень прочная клетчатка, поэтому ферменты животного не успевают ее разложить и выделить эти кормовые единицы за время прохождения пищи по кишечному тракту животного. Если же солому размолоть до микронных или меньших размеров и добавить полученную муку в комбикорм в процентном соотношении 1:1, то ферменты успеют выделить эти скрытые кормовые единицы, поскольку такая мелкая фракция имеет очень большую поверхность на единицу массы корма, т. е. эффективность переваривания такого корма животным во много раз возрастает.

Исключительно большое значение имеет применение нанодисперсных кормовых добавок для борьбы с микотоксикозами – тяжелыми заболеваниями, весьма распространенными среди сельскохозяйственных животных [110, 111]. Причиной микотоксикозов являются микотоксины – ядовитые вещества, накапливающиеся в кормах, пораженных различными патогенными и плесневыми грибами. Возникновение микотоксикозов возможно осенью или весной при пастбище по неубранным зимовавшим злакам, отмерзшей растительности, а также в стойловый период при скармливании животным растительных кормов, хранившихся в помещениях с повышенной влажностью и температурой. Особенно сильно поражаются микотоксинами зерновые культуры (в мире около 25 % всего урожая зерновых ежегодно).

Микотоксикозы наносят значительный экономический ущерб, который обусловлен снижением продуктивности животных и их воспроизводительной способности; снижением эффективности усвоения кормов и их использования на производство продукции; повышением восприимчивости животных к заболеваниям; увеличением материальных затрат на лечение и профилактические мероприятия; ухудшением качества получаемой продукции, а в случае превышения допустимых концентраций микотоксинов – ее полной непригодности к использованию; угрозой здоровью человека в случае появления микотоксинов в мясе, яйцах, молоке и других продуктах животноводства.

С целью профилактики микотоксикозов предпринимаются различные меры, в том числе: использование агротехнических методов, обеспечивающих минимизацию накопления микотоксинов в растениях в полевых условиях; тщательный контроль качества кормов; введение в корма специальных добавок (аммиак, пропионовая кислота, микробные и ферментные добавки), способных сократить образование микотоксинов вследствие их воздействия на снижение роста плесени, а также уменьшить степень воздействия микотоксинов на животных. Наиболее эффективно применять кормовые добавки, действие которых направлено на удаление токсинов из корма и желудочно-кишечного тракта животных путем адсорбции на развитых поверхностях добавок. К числу такого рода добавок относятся цеолиты и глины (бентонитовые, монтмориллонитовые), которые в силу своей развитой нанопористой структуры

обладают высокой сорбционной способностью [112, 114]. Высокие сорбционные свойства по отношению к микотоксинам проявляет также нанодисперсный кремнезем [115]. Подобными сорбционными свойствами обладают наночастицы алмазов, которые к тому же проявляют каталитическую активность в органических реакциях, благодаря чему появляется возможность использовать их не только как адсорбенты, но и как катализаторы дезактивации микотоксинов [116, 117]. При этом, как свидетельствуют результаты экспериментов с разными видами животных, наноалмазы характеризуются высокой биосовместимостью и малой токсичностью.

Для предотвращения появления микотоксинов эффективно использовать наночастицы серебра благодаря их бактерицидному действию. В частности, разработан серебряный нанокompозит на цеолитной основе, который проявляет высокую эффективность в борьбе с картофельной палочкой, вызывающей «картофельную» болезнь зерна и зернопродуктов [108]. Обработка данным нанокompозитом муки приводит к снижению содержания в ней картофельной палочки более чем на 40 %, а также к исчезновению спор плесневых грибов и микроорганизмов [118].

3.3.2. Нанодисперсные ветеринарные препараты

Многие лекарственные средства, традиционно применяемые в ветеринарии, представляют собой вещества, которые плохо растворяются в воде и других растворителях. Следствием их плохой растворимости являются их малая биоактивность и степень усвоения (всасывания) организмом животных, что существенно снижает их терапевтическое действие. Радикальным решением данной проблемы является приготовление лекарств в виде наносuspензий [119–122].

Дисперсность является важнейшей характеристикой лекарственных наносuspензий, особенно в случае их применения для внутривенной инъекции: с уменьшением размеров частиц не только увеличивается эффективность их усвоения организмом, но также снижается опасность возникновения тромбов в результате закупорки частицами кровеносных сосудов. Однако при этом следует заметить, что утверждения типа «чем меньше частицы лекарства, тем лучше продукт» в общем являются неправомерными. Существует ряд специфических требований, предъявляемых к свойствам лекар-

ственных наносупензий, размеры частиц которых должны быть специально подобраны с учетом достигаемой терапевтической цели. Так, в случае, когда требуется очень быстрое всасывание, предпочтительным является размер около 100–200 нм. Если желательно более длительное растворение, средний диаметр частиц должен лежать в более высокой нанометровой области (800–1000 нм).

К числу основных достоинств применения наносупензионных лекарственных форм относится повышенная лекарственная нагрузка, ведущая к снижению требуемых доз введения лекарств, что особенно важно в случае их внутривенной инъекции, а также более широкие возможности варьирования фармакокинетических параметров, определяющих величину доз и частоту применения лекарств [123].

Лекарственные наносупензии получают двумя различными путями: измельчением сравнительно крупных частиц до наноразмерных и формированием наночастиц из центров кристаллообразования в процессе кристаллизации [31].

Лекарственные средства могут применяться не только в виде наносупензий, но и в виде наноземульсий, которые по аналогии с наносупензиями получают двумя различными путями: измельчением сравнительно крупных капелек до наноразмерных и формированием нанокапелек из центров каплеобразования в процессе конденсации [124, 125].

Повышение активности общепринятых ветеринарных препаратов за счет их перевода в нанодисперсное состояние обусловлено особыми свойствами наночастиц, которые способны сравнительно легко вступать в химические реакции, образуя разнообразные комплексы, а также проникать в организм животных через желудочно-кишечный тракт, кожный покров и респираторную систему [126].

Введение нанодисперсных лекарственных средств через кожный покров осуществляется посредством специальных трансдермальных терапевтических систем – обычно в виде пластырей, замедленно высвобождающих лекарственное средство [127]. Пластырь наклеивается на кожу, и лекарство через верхние слои кожи проникает в кровеносные сосуды. Подобным образом можно также применять лекарственные мази, примочки или присыпки, которые наносятся на кожу или слизистые оболочки. Для трансдермального введения используются лекарственные средства как в виде наносупензий, так и в виде наноземульсий [128].

Трансдермальные методы введения лекарств находят разнообразное применение при лечении животных [129]. Так, в патологии коров особое место занимают маститы, которые сдерживают темпы роста производства молока и наносят значительный экономический ущерб животноводству. В силу ряда причин, несмотря на проводимые лечебно-профилактические мероприятия, маститы широко распространены и охватывают до 30–50 % поголовья дойного стада [130]. Для лечения маститов используются специальные ветеринарные препараты, которые наносятся на кожные покровы и слизистые оболочки животных [131]. Для лечения диареи новорожденных поросят разработан специальный способ введения в их пищеварительный тракт противомикробных препаратов [132]. Согласно этому способу трансдермальный препарат противомикробного действия наносится на кожу молочной железы свиноматки на второй-третий день после опороса перед кормлением поросят, которые получают требуемое лекарство с молоком матери.

В практике лечения животных широко применяются ингаляционные методы, основанные на использовании лекарств, приготовленных в виде аэрозолей [133]. Одним из критических параметров, влияющих на эффективность осаждения вдыхаемых животными аэрозольных частиц в респираторной части легких, является их размер. Установлено, что частицы диаметром 10–20 нм осаждаются в легких в несколько раз эффективнее, чем частицы микронного диапазона. Для получения наноземульсионных лекарств перспективно использовать терموконденсационную технику, позволяющую генерировать частицы размером 1–1000 нм при счетной концентрации до 10^8 см^{-3} .

3.3.3. Ветеринарные препараты на основе биологически активных наночастиц

В последние годы все более расширяется спектр веществ, используемых в терапевтических целях в виде наночастиц. Среди них наибольшее применение находят наночастицы металлов. Так, наночастицы железа и цинка в биотических дозах ускоряют рост животных и птиц, усиливают регенерацию печени после частичной гепатэктомии, ускоряют заживление тканей [126]. В экспериментах по изучению ранозаживляющего действия наночастиц же-

леза на животных установлено, что размеры биологически активных наночастиц лежат в пределах 100 нм [134–136]. Характерной особенностью исследуемых наночастиц железа, обусловленной условиями их получения химико-металлургическим методом, яв-

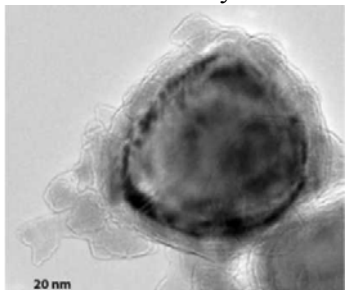


Рис. 3.5. Биологически активные наночастицы железа, полученные химико-металлургическим методом

лялось наличие на их поверхности оксидных фаз, которые, как предполагается, формируют защитную «капсулу», предохраняющую их от быстрого растворения в организме животных и обеспечивающую пролонгированное действие наночастиц (рис. 3.5).

В терапии различных заболеваний применяются производные фуллеренов [103]. В частности, они используются как противовирусные [137] и антибактериальные [138] агенты. Ряд производных

фуллеренов эффективно применять в качестве фотосенсибилизаторов для фотодинамической терапии онкологических заболеваний [139]. Данный метод лечения основан на способности фотосенсибилизаторов, введенных в организм, избирательно накапливаться в опухоли. Пораженные патологическим процессом ткани подвергаются лазерному облучению с длиной волны излучения, соответствующей максимуму поглощения фотосенсибилизатора. Процесс поглощения излучения приводит к фотохимической реакции, продукты которой вызывают гибель опухолевых клеток.

Для фотодинамической терапии могут быть также перспективны наночастицы оксидов металлов (TiO_2 , ZnO), полупроводников групп A4 (Ge , Si) и A2B6 (CdTe , CdSe , ZnSe , CdSe/CdS) [140], фталоцианина кобальта и алюминия [141, 142], ряда других соединений [143].

Особый практический интерес имеет применение в ветеринарной практике магнитных наночастиц, которые могут играть роль контрастных агентов в методах магнитно-резонансной томографии – благодаря способности улучшать качество формирования изображений органов тела, а также гипертермических агентов в методах термальной абляции

и гипертермии – благодаря способности селективно нагреваться под действием высокочастотного магнитного поля [144, 145].

Наночастицы ряда веществ обладают ярко выраженными биоцидными свойствами. Так, наночастицы оксидов некоторых металлов с присоединенными к ним активными формами галогенов, например, $\text{MgO}\cdot\text{Cl}_2$, $\text{CaO}\cdot\text{Br}_2$, при контакте с патогенными бактериями (*Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Bacillus globigii*) вызывают их гибель в течение нескольких минут [103]. Сильный противомикробный эффект демонстрируют нанотрубки, синтезированные из углеводородов и аммония [146], а также наночастицы серебра, добавление которых в перевязочный материал позволяет снизить риск развития инфекционных осложнений [147, 148]. Серебряные нанокompозиты на цеолитной основе можно эффективно применять для борьбы с желудочно-кишечными заболеваниями, на долю которых приходится до 70 % причин гибели сельскохозяйственных животных [149].

Одно из перспективных направлений применения наночастиц в ветеринарии может быть связано с созданием гидроколлоидных адгезивов, которые представляют собой средства, смягчающие раздражение кожи, такие, как повязки на раны, язвы и ожоги, а также как средства доставки лекарственных препаратов через кожу [150]. Наиболее эффективно использование гидроколлоидных композиций на основе жидкокристаллической гидроксипропилцеллюлозы и слоистых алюмосиликатов. С помощью этих компонентов можно создавать желаемую морфологию многокомпонентного адгезива, регулировать реологические свойства эластомерных композиций, увеличивать сорбцию влаги. Кроме того, в их структуру можно вводить активные препараты с последующим дозированным выходом при аппликации (контакте с биологическими жидкостями), в частности, такой антибактериальный агент, как соли серебра. В последние годы ведутся исследования в области улучшения таких свойств гидроколлоидов, как адгезия, способность сорбировать большое количество биологических жидкостей, выделяющихся из поврежденных участков, отсутствие травмирования здоровых участков кожи при снятии пластыря-покрытия, поглощение неприятного запаха, смягчающий эффект, прозрачность, дающая возможность визуализировать процесс заживления без снятия повязки в течение нескольких суток и др. Современной тенденцией в области гидроколлоидных композиций является использование таких

матриц для ввода в организм через кожу лекарственных препаратов и антибактериальных агентов.

Большинство гидроколлоидных композиций чувствительны к давлению адгезивами, т. е. они формируют адгезионный контакт с кожей при легком нажатии на пластырь. Это означает, что, по крайней мере, один из компонентов многокомпонентной композиции должен обладать определенной пластичностью под небольшим давлением и липкостью. Вместе с тем композиция должна быть способна к упругому восстановлению после снятия нагрузки. Два противоречивых требования заставляют обращать особое внимание на вязкоупругое поведение композиций при их применении.

Попытка найти компромисс между указанными конфликтующими привела к разработке так называемой «нанокompозитной концепции», которая состоит во введении в гидроколлоидные композиции двух семейств веществ: на основе полимеров и монтмориллонитовых глин [150]. Эти компоненты способны формировать гидрофильные каналы для интенсивного проникновения влаги от поверхности кожи внутрь адгезива, а при наличии активного водорастворимого компонента – растворять его и обратным током доставлять к коже. С другой стороны, они способны образовывать физические сетки различной топологии, обеспечивающие оптимальные соотношения параметров, определяющих их упругое и вязкопластическое поведение. Кроме того, частички глины склонны к водонабуханию, т. е. они могут работать как аккумуляторы влаги без заметного ухудшения адгезии к коже, задаваемой гидрофобными компонентами. Наконец, нанопространства между элементарными слоями кристаллической структуры глины или между соседними структурными фрагментами полимеров могут служить в качестве резервуаров для активных агентов, например, ионов серебра, обладающих антибактериальной активностью. При контакте с биологическими жидкостями активные реагенты будут выделяться из этих резервуаров по иным правилам, в сравнении с реагентами, растворенными или диспергированными в матрице адгезива.

3.3.4. Наносредства доставки ветеринарных препаратов

Многие лекарства характеризуются недостаточно высокими фармакокинетическими параметрами или обладают нежелательными по-

бочными эффектами, поэтому актуальна разработка методов их направленной доставки к поврежденным тканям.

Для направленной доставки лекарств в организм животных эффективно использовать наносредства, с помощью которых можно также доставлять вакцины, пробиотики, нутрицевтики, биоактивные соединения, питательные вещества [151, 152].

Достоинствами наносредств доставки лекарств являются:

- снижение объема распределения лекарств, а также их токсичности лекарств за счет избирательного накопления в поврежденной ткани и меньшего поступления в здоровые ткани;
- способность ряда наносредств доставки увеличивать растворимость гидрофобных лекарств в водной среде, что делает возможным их парентеральное введение (вне желудочно-кишечного тракта);
- способность ряда наносредств доставки повышать стабильность лекарств на основе пептидов, олигонуклеотидов и небольших гидрофобных молекул [103, 122].

Для доставки лекарств могут применяться разнообразные типы наночастиц: липосомы, мицеллы, дендримеры, супермолекулы, нанокристаллы и др.

В липосомах лекарственные препараты могут располагаться в ядрах липосом (водорастворимые вещества) либо в их липидных оболочках (жирорастворимые вещества). Доставка лекарств с помощью липосом не получила широкого распространения, что связано с рядом недостатков липосом: относительно низкой стабильностью, невозможностью обеспечить стандартное действие в различных партиях препаратов, недостаточной нагрузкой препаратами и др. [103, 122].

В мицеллах лекарственные препараты могут либо помещаться в липидные ядра мицелл, либо связываться с их поверхностью. Наибольшее распространение имеют полимерные мицеллы, которые, в частности, могут использоваться для парентерального введения животным таких препаратов, как амфотерицин В (противогрибковый антибиотик), пропофол (быстродействующий анестетик), паклитаксел (противоопухолевое средство) [103, 122, 153].

В дендримерах лекарственные препараты вводятся в полости дендримеров либо закрепляются на их поверхности. Наиболее широко применяются полиамидаминовые дендримеры, с помощью которых можно доставлять разнообразные химиотерапевтические препараты [103, 122, 154]. Дендримеры также используются для

переноса противовоспалительных средств, противомикробных и противовирусных агентов [103, 122, 155].

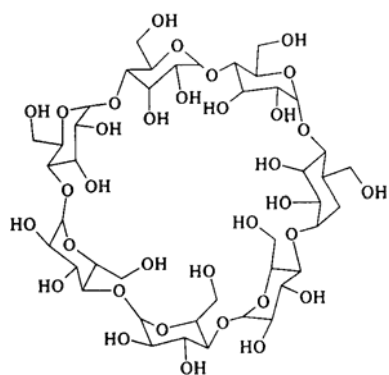


Рис. 3.6. Структура β -циклодекстрина [6]

В супрамолекулярных ассоциатах лекарственные препараты выступают в качестве молекул-гостей, которые размещаются в полости молекул-хозяев. Весьма перспективны в практическом отношении супрамолекулярные ассоциаты на основе циклодекстринов – разновидности углеводов типа олигосахаридов [156]. Молекулы циклодекстринов имеют форму полого усеченного конуса, в котором по окружности нижнего и верхнего основания расположены гидроксильные группы (ОН-группы). Известны

различные виды циклодекстринов, состоящие из 6, 7 или 8 взаимосвязанных звеньев глюкозы – соответственно α -, β - и γ -циклодекстрины. Из них наиболее широкое применение получил β -циклодекстрин (рис. 3.6). Благодаря тому что молекулы циклодекстрина способны образовывать прочные комплексы с большим количеством «гостей» различных типов, их можно использовать в качестве строительных блоков при создании разнообразных наноструктур. Особенно эффективно является включение в молекулу циклодекстрина молекул лекарственных веществ. Это приводит к значительному улучшению свойств лекарств: повышению стабильности, снижению летучести, увеличению растворимости и биодоступности.

Среди кристаллических наночастиц наибольшее применение для доставки лекарств находят наночастицы золота, прежде всего, благодаря высокой биохимической стойкости и отсутствию токсичности [157].

К числу перспективных нанопереносчиков лекарств относятся кристаллические наночастицы на основе железа, в частности, оксидов железа, обладающие магнитными свойствами, благодаря чему оказывается возможным бесконтактно управлять их перемещением

в организме с помощью внешнего магнитного поля [158]. Так, в [152, 159] показана возможность введения в кровотоки животных магнитных наночастиц с противораковыми агентами, разрушающими опухоли. В экспериментах использовались наночастицы из оксида железа, которые под действием магнитного поля доставлялись к опухолевым клеткам, после чего эмитировали присоединенное к ним лекарство для уничтожения этих клеток.

Магнитные наночастицы в терапевтических целях редко применяют в чистом виде, обычно их инкапсулируют или помещают в биоинертные матрицы различного состава с целью снижения возможного токсичного воздействия магнитной фазы, повышения ее физико-химической устойчивости и создания возможности иммобилизации на поверхности таких капсул или матриц лекарственных препаратов (рис. 3.7) [158].

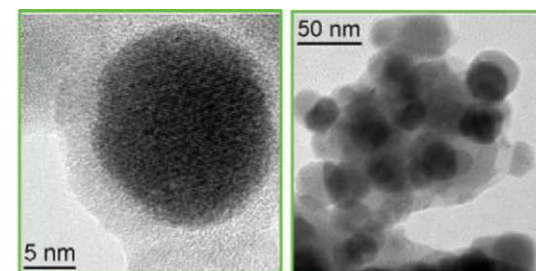


Рис. 3.7. ТЕМ-изображения магнитных наночастиц, помещенных в кремнеземную капсулу (а) и цеолитовую матрицу (б)

Значительный интерес представляет разработка наносредств доставки лекарств на основе фуллеренов и углеродных нанотрубок благодаря возможности заполнения их внутренних полостей молекулами лекарственных веществ. Однако применение заполненных фуллеренов в настоящее время сдерживается сравнительно низкой производительностью и высокой стоимостью технологий их получения. В этом отношении более перспективны нанотрубки, с помощью которых можно эффективно осуществлять доставку лекарств не только путем размещения их молекул во внутренних полостях нанотрубок, но и путем их присоединения к внешним стенкам нанотрубок [160, 161].

Особого внимания заслуживает опыт использования фуллеренов в качестве наносредства доставки вакцин, служащих для активной иммунизации животных с профилактическими и лечебными целями. В последние годы различные типы наносредств доставки вакцин получают все более широкое распространение [162, 163]. В частности, применяя нанотехнологические подходы, можно создавать препараты, способные избирательно связываться с молекулами ДНК, РНК, определенными генами и антигенами. Эффективность применения фуллеренов для целей вакцинации обусловлена тем, что они способны не только присоединять к себе различные антигены, но также дезактивировать свободные радикалы, которые являются одной из главных причин, вызывающих преждевременное снижение инфекционной активности вакцин [163].

В последние годы изучаются возможности доставки лекарств с помощью так называемых стручков – углеродных нанотрубок, заполненных фуллеренами [164].

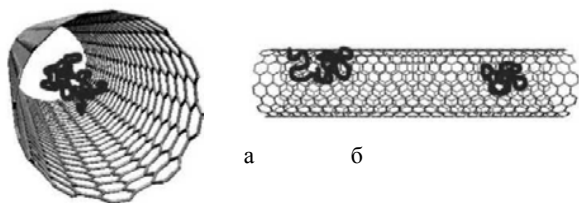


Рис. 3.8. Механизмы взаимодействия нанотрубок и лекарственных веществ:
а – размещение молекул лекарственных веществ в полостях нанотрубок;
б – присоединение молекул лекарственных веществ к стенкам нанотрубок

Эффективность доставки лекарств может быть существенно повышена в результате их использования в составе наноэмульсий [122]. Существует два типа наноэмульсий, используемых в терапевтических целях: масло в воде (oil-in-water – O/W) и вода в масле (water-in-oil – W/O). В O/W-наноэмульсиях гидрофобные лекарственные вещества растворяются преимущественно в нанок капельках масла и их диффузия протекает довольно медленно по сравнению с водорастворимыми лекарственными веществами, отличающимися быстрой диффузией. В W/O-наноэмульсиях имеет место обратная картина.

Одним из перспективных средств доставки лекарств являются наногели [122, 165]. В частности, разработаны различные наносистемы на основе полимерных гидрогелей, содержащих как природные (хитозан, альгинат), так и синтетические (поливиниловый спирт, полиэтиленоксид, полиэтиленимин, поливинилпирролидон и др.) полимеры. Для всех типов используемых полимеров имеет место довольно сложный механизм выхода лекарственных агентов из гидрогеля, включающий три основных составляющих: диффузию лекарств, разбухание гидрогелевой матрицы и реакцию системы лекарство-матрица. Наночастицы гидрогелей обладают одновременно свойствами и гидрогелей, и наночастиц и поэтому проявляют ряд достоинств при практическом использовании: гидрофильность, эластичность, эксплуатационная гибкость, высокая адсорбционная способность в отношении воды, биодоступность, большое время жизни, способность целенаправленной обработки требуемых биофаз, например, опухолевых участков.

3.3.5. Наносредства ветеринарного контроля

Раннее выявление заболеваний и своевременное лечение животных позволяют уменьшить число болезней на 30–50 %, поэтому большое значение имеет организация эффективного ветеринарного контроля, в первую очередь мониторинга физиологического состояния заболевших животных [166].

В последние годы в практике ветеринарного контроля все более широкое применение получают различные типы наночастиц. Среди них особая роль отводится кристаллическим наночастицам ряда веществ, способных флюоресцировать. Такие нанокристаллы обладают высокой яркостью флюоресценции, обусловленной большим значением коэффициента поглощения, благодаря чему их можно детектировать как индивидуальные объекты с помощью обычных флюоресцентных микроскопов, что позволяет визуализировать процессы на уровне единичных молекул. Длина волны флюоресценции нанокристаллов зависит от их размеров, при этом для возбуждения нанокристаллов всех цветов достаточно одного источника излучения. Например, наночастицы селенида кадмия CdSe диаметром 3–6 нм могут возбуждаться источником света одной и той же длины волны, испуская при этом флюоресценцию в диапазоне от голубой до ближней инфракрасной области в зависимости от

своего размера. Кроме того, нанокристаллы обладают высокой фотостабильностью, обеспечивая как возможность многократного увеличения мощности возбуждающего излучения, так и длительного (в течение дней или даже недель) отслеживания поведения метки в реальном времени. Такие уникальные свойства нанокристаллов позволяют использовать их в качестве идеальных флуорофоров в системах диагностики различных заболеваний, требующих регистрации многих параметров одновременно с целью установления точного диагноза [167].

Так как флуоресцентные нанокристаллы являются гидрофобными, то для биологических применений необходимо обеспечить их перевод в водную фазу, стабилизацию и конъюгацию с биомолекулами. Для этого нанокристаллы заключают в кремниевые оболочки, содержащие на своей поверхности тиольные, аминные или карбоксильные группы либо в оболочки из полимеров, способных связываться с поверхностью наночастиц, обеспечивать их растворимость в водной фазе за счет полярных групп и содержащих дополнительные функциональные группы, доступные для конъюгации. Наночастицы, сконъюгированные с биомолекулами, могут использоваться во флуоресцентных методах селективной визуализации различных биологических объектов, включая вирусы.

Нанокристаллы CdSe способны конъюгировать с агглютинином зародышей зерен пшеницы. Такие конъюгированные нанокристаллы, реагируя с бактериальными клетками, могут связываться с некоторыми веществами на стенках клеток. Кроме того, нанокристаллы CdSe способны взаимодействовать с железом, которое играет существенную роль в росте патогенных микроорганизмов у животных. Патогенные бактерии обычно имеют рецепторы в отношении трансферрина (белка, транспортирующего железо) и могут извлекать из него железо. Как следствие, конъюгированные нанокристаллы CdSe могут транспортироваться через мембрану к метаболически активным клеткам стафилококка и обнаруживаться благодаря флуоресцентному возбуждению. Таким способом можно выявлять стафилококкозы – инфекционные заболевания, особенно распространенные у птиц [168]. Нанокристаллы CdSe также могут быть конъюгированы со специфическими антителами для обнаружения патогенных микроорганизмов, таких как *Cryptosporidium parvum* и *Giardia lamblia*, которые могут находиться в воде и пищевых продуктах [169, 170].

Экспериментально установлено, что ферменты, адсорбированные на поверхности наноалмазов, могут сохранять свою каталитическую функцию, позволяя тем самым создавать индикаторные и диагностические тест-системы на основе комплексов типа наночастицы – маркерные белки [171]. Показана возможность создания на основе наноалмазов и нескольких ферментов многокомпонентных комплексов многоразового использования, которые могут найти применение в диагностике различных заболеваний.

Одним из эффективных путей решения проблем разведения животных является применение нанотрубок, которые имплантируются под кожу животных, чтобы обеспечить контроль в реальном времени изменения уровня эстрадиола (наиболее активного природного эстрогена млекопитающих) в крови. Нанотрубки используются в качестве средства отслеживания течки у животных, поскольку нанотрубки способны связывать и детектировать эстрадиольные антитела в период течки за счет инфракрасной флуоресценции [152, 172]. Сигнал с такого сенсора регистрируется контрольной системой, обеспечивающей централизованное управление разведением животных.

Для раннего обнаружения заболеваний животных весьма эффективно применять биочипы, представляющие собой устройства, содержащие ветви искусственных ДНК, осажженные на кремниевую электронную схему [152]. Биочипы могут быть использованы для анализа крови, тканей и других биообъектов. Они способны детектировать очень малые количества химических загрязнений, вирусов и бактерий в организме животных. Кроме того, биочипы эффективно использовать для идентификации животных, определения их местонахождения [173, 174].

3.4. Переработка сельскохозяйственного сырья и производство пищевых продуктов

Применение нанотехнологий в производстве сельскохозяйственной продукции связано, прежде всего, с получением и переработкой сырьевых материалов в нанодисперсных формах. Важнейшими видами сельскохозяйственной продукции являются продукты пита-

ния, поэтому первостепенное значение приобретает развитие нанотехнологий в пищевой промышленности, на что, в частности, указывается в документах Международной сети органов по безопасности пищевых продуктов (ИНФОСАН) [175].

Многие пищевые продукты содержат нанодисперсные вещества естественного происхождения. К ним относятся белки, большинство полисахаридов и липидов, размеры которых не превышают 10 нм. Успешная переработка пищевых продуктов обусловлена наличием в перерабатываемых компонентах самоорганизующихся наноструктур. Примерами последних являются плоские упорядоченные структуры волокон целлюлозы в стенках растительных клеток; кристаллические структуры в крахмале, которые определяют степень клейстеризации и усиливают полезные диетологические свойства пищевых крахмальных продуктов в процессе переваривания пищи; волокнистые структуры, которые регулируют плавление, формирование и текстуру желатина; мицеллы, которые образуются на границе контакта масла и воды или воздуха и воды и регулируют стабильность пищевой пены и пищевых эмульсий и т. д. Более полное понимание природы наноструктур, содержащихся в пищевых продуктах, обеспечивает более широкие возможности для рационального выбора, модифицирования и переработки сырьевых материалов.

Основным направлением нанотехнологических исследований в области пищевой промышленности является разработка нанопозиций для получения пищевых продуктов более высокого качества. При этом, как показывает изучение пищевых продуктов, имеющих в наличии или находящихся на стадии разработки, особое значение имеет разработка новых составов пищевых добавок. Общий подход к работе в этой области заключается в создании нанодисперсных питательных веществ или их носителей на основе наночастиц для улучшения функционально-технологических характеристик пищевых добавок. Повышенная активность наночастиц также делает их более привлекательными в плане улучшения усвоения и биодоступности витаминов и микроэлементов, необходимых для нормального развития человеческого организма. Ожидается, что нанотехнологии позволят решить одну из наиболее сложных проблем в питании человека – разбалансированность рациона и дефицит микронутриентов на клеточном уровне [176].

Применение нанодисперсных пищевых добавок, сорбентов, бактерицидов и катализаторов может способствовать не только улучшению качества продуктов питания, но также повышению производительности и снижению энергоемкости их производства. Аналогичные эффекты обеспечивает и применение нанопористых фильтров.

В последние годы в пищевой промышленности все большее внимание уделяется созданию упаковочных наноконпозиционных материалов, обеспечивающих высокую сохраняемость и безопасность готовых пищевых продуктов. Вместе с тем повышенную актуальность приобретает разработка нанотехнологических подходов к решению проблем экологически безопасной утилизации упаковочных материалов.

3.4.1. Нанодисперсные компоненты пищевых продуктов

В производстве биодобавок широко используются биологически активные вещества (БАВ), экстрагируемые из растительного сырья. При этом подавляющая часть БАВ в растениях находится в оболочках клеток в виде биополимерных комплексов, которые трудно переводятся в биодоступную форму. Экспериментально установлено [177], что диспергирование растительного сырья (листья крапивы, кора осины, корень лопуха) до наноразмеров обеспечивает значительное увеличение количества экстрагируемых водорастворимых БАВ и, кроме того, повышает их биологическую активность.

Различные виды нанодисперсных БАВ, в частности, витамины, приготовленные в виде наночастиц, используются в качестве биодобавок, которыми насыщается пищевое сырье [178]. Нанодисперсные добавки способны изменять вкус и питательные свойства продуктов питания и поэтому являются компонентами хлебобулочных изделий, шоколадных кремов, сыров и других продуктов [179]. Кроме того, нанодисперсные вещества применяются в пищевой промышленности при производстве эмульгаторов, стабилизаторов, консервантов.

Многие водорастворимые БАВ трудно ввести в состав пищевых эмульсий. Решить эту проблему позволяет использование липосом, которые, будучи органичным компонентом таких эмульсий, могут выполнять транспортные функции, целенаправленно доставляя БАВ внутрь клеток благодаря своей способности избирательно накапливаться в определенных клеточных структурах [176].

Свидетельством успешного применения нанотехнологий в переработке сельскохозяйственного сырья и производстве пищевых продуктов являются результаты экспериментальных исследований по получению и использованию нанодисперсных форм БАВ на основе бетулина [180]. Бетулин обладает гепатопротекторными, ранозаживляющими, гастропротекторными, антиоксидантными, противовоспалительными свойствами. Обычно бетулин получают из хурмы и иссопа, однако большое содержание его в коре березы повислой и ольхи черной дает возможность использовать эти более дешевые виды сырья как основной источник бетулина. Широкий спектр биологической активности бетулина придает улучшенные функциональные свойства масложировой пищевой продукции, а его антиоксидантное действие увеличивает сроки хранения продукции. Введение бетулина в продукцию в нанодисперсной форме позволяет повысить его биодоступность, а также снизить его расход при том же биологическом эффекте.

3.4.2. Нанокатализаторы процессов пищевого производства

Обычно основными катализаторами гидрирования в масложировой промышленности являются катализаторы на основе никеля, но поскольку никель и его соединения обладают аллергенным и канцерогенным действием, то после гидрирования требуются дорогостоящие операции по его отделению. Кроме того, значительные технологические и экологические проблемы возникают при утилизации отработанного никелевого катализатора. Как показывают результаты экспериментальных исследований [181], гораздо эффективнее использовать для гидрирования растительного масла катализаторы на основе наночастиц палладия. Палладиевые нанокатализаторы по сравнению обычными никелевыми являются нетоксичными и характеризуются очень малой дозировкой, что делает их применение экономически выгодным.

Особенно выгодно как с экономической, так и с экологической точек зрения применять в пищевой промышленности биокатализаторы на основе ферментов [182]. Ферменты играют ключевую роль во многих процессах пищевых производств, включая переработку зерна, крахмала; хлебопечение; пивоварение; производство молочных продуктов, вин, фруктовых соков, масел и жиров, мясopодуков, растительных экстрактов и т. д. [183].

3.4.3. Наноматериалы для упаковки пищевых продуктов

Существуют разнообразные наноматериалы, используемые для изготовления упаковки пищевых продуктов. Все они разделяются на следующие основные группы [184]:

- «пассивные», улучшающие эксплуатационные свойства упаковки;
- «активные», характеризующиеся противомикробными действиями;
- «интеллектуальные», способные осуществлять контроль и индикацию состояния пищевых продуктов;
- биodeградирующие.

Как правило, упаковочные наноматериалы представляют собой нанокomпозиты, состоящие из матричного материала, наполненного наночастицами модифицирующих веществ. Для изменения эксплуатационных свойств упаковки достаточно ввести в матрицу очень малое количество наночастиц (обычно не более 5 %, вес.), благодаря чему плотность, прозрачность, а также технологические характеристики исходного материала остаются практически неизменными [184].

Наибольшее распространение в качестве упаковочного материала получили полимерные нанокomпозиты, содержащие наночастицы глины [184]. Глиняный минерал, входящий в такие нанокomпозиты, представляет собой монтмориллонит (также известный как бентонит). Он имеет естественную нанослоистую структуру, которая ограничивает проникновение газов и тем самым обеспечивает существенное улучшение барьерных свойств нанокomпозитов [185]. Это способствует широкому применению таких материалов для упаковки мяса, сыра, кондитерских и хлебобулочных изделий, изготовления упаковочных пакетов для пищи, фруктовых соков, молочных продуктов, бутылок для пива и газированных напитков [186].

Роль матрицы в упаковочных полимерных нанокomпозитах обычно играют полиамид, нейлон, полиолефин, полистирол, этиленвинилацетат, эпоксидная смола, полиуретан и полиэтилентерефталат [184]. Помимо наночастиц глины для наполнения полимерной матрицы используются наночастицы металлов (серебра, золота), оксидов металлов (оксидов цинка, титана, алюминия, железа), а также ряда других веществ, которые способствуют повыше-

нию прочности и износостойкости нанокomпозиционной упаковки, ее термо- и огнестойкости, технологичности и способности к рециклингу [187–191].

Наночастицы диоксида титана эффективно использовать в составе упаковочных нанокomпозитов в качестве поглотителей УФ излучения, предотвращающих УФ деградацию пластиков [184]. В результате включения в нанокomпозиты фотохромных веществ можно получать упаковку, оптическая плотность которой будет увеличиваться или уменьшаться в зависимости от интенсивности светового потока [181].

Наночастицы серебра, находясь в упаковочных материалах, благодаря своему бактерицидному действию обеспечивают более длительную сохранность пищевых продуктов, предотвращая развитие микроорганизмов. Наночастицы серебра также внедряют во внутреннюю поверхность домашних холодильников для поддержания в них чистой гигиенической среды. Кроме того, на основе наночастиц серебра формируют противомикробные покрытия на кухонных принадлежностях и столовой посуде. Подобно наночастицам серебра бактерицидным действием обладают наночастицы оксидов цинка и магния [184].

Одним из перспективных направлений развития нанотехнологий в упаковочной отрасли является создание упаковочных материалов со встроенными в них наносенсорами, которые способны информировать потребителя или изготовителя о состоянии упакованных пищевых продуктов [178, 181]. Например, это могут быть полимерные пленки с нанесенным на них рисунком, который может изменять свою форму или цвет в зависимости от химического или биологического состава пищевых продуктов в процессе их хранения [178], а также специальные бионаносенсоры, способные быстро реагировать на неприятные запахи, выделяющиеся при гниении пищи [192]. Благодаря этому можно свести к минимуму необходимость проведения длительных процедур микробиологического анализа пищевых продуктов.

Кроме того, практически важно создание наносредств маркировки упаковочных материалов, с помощью которых можно было бы осуществлять хранение, отображение и считывание информации об источнике, происхождении и хранении конкретных пищевых продуктов, их диетологических характеристиках и пригодности для генетической системы и образа жизни отдельных потребителей [193].

К основным нерешенным проблемам в области технологии упаковочных «интеллектуальных» наноматериалов относится создание такой упаковки, которая могла бы: 1) не только сохранять пищевые продукты, но также своевременно предупреждать о возникновении потенциальных источников их порчи и, более того, самостоятельно уничтожать эти источники; 2) обеспечивать саморегулирование присущих ей свойств в процессе эксплуатации с учетом изменяющихся условий хранения пищевых продуктов, а также их состояния; 3) минимизировать риски долгосрочного использования пищевых продуктов для здоровья потребителей и окружающей среды [175].

В последние годы все более актуальной становится разработка упаковочных биodeградирующих наноматериалов. Это связано с ускоренным ростом потребления полимерной упаковки, что неизбежно ведет к экологической угрозе населения, поскольку использованная упаковка большей частью не уничтожается, а время ее деградации в окружающей среде составляет десятки лет [194]. Для придания упаковке способности к биodeградации ее создают на основе природных полимеров (крахмал, хитозан, полигидроксиалканаты, производные целлюлозы и др.) или композитов из синтетических и природных полимеров [194]. Для повышения эксплуатационных свойств такой биodeградирующей упаковки, в нее вводят нанодобавки глины и ряда других веществ [195], о роли которых упоминалось выше.

Биodeградирующие полимерные материалы широко применяются для изготовления не только упаковки для пищевых продуктов, но также разнообразных видов изделий, контактирующих с пищей, включая одноразовые ножи, вилки, ложки, тарелки, стаканы для питья, чашки для салатов, пленочные обертки для продуктов, соломки, палочки для перемешивания коктейля, крышки, контейнеры для дозирования деликатесов и пищи быстрого приготовления и т. д. [195].

Следует отметить, что наряду с полимерной упаковкой традиционно применяется бумажная упаковка. Соответственно, в создаваемых упаковочных нанокomпозитах в качестве матрицы используются не только полимеры, но и бумага [178, 196].

3.5. Агропромышленная техника, строительство и энергетика

Для осуществления процессов агропромышленного производства применяются разнообразные по своему назначению технические средства [197, 198]. В сельском хозяйстве используются различные типы машин и агрегатов, предназначенных для земледелия (предпосевной обработки почвы, посева и посадки, ухода за посевами, полива и орошения, внесения удобрений, уборки урожая) и животноводства (заготовки и переработки кормов, ухода за животными); в пищевой промышленности – для измельчения, перемешивания, сортировки, прессования и тепловой обработки пищевых продуктов; в комбикормовой промышленности – для измельчения, дозирования, смешивания, сепарирования, гранулирования, тепловой обработки комбикормов.

Как правило, многие детали агропромышленных машин и агрегатов испытывают значительные механические нагрузки, в том числе ударные и вибрационные. Детали узлов трения (подшипники скольжения; плунжеры насосов; манжетные уплотнения; уплотнительные кольца торцовых уплотнителей центробежных насосов, сепараторов, центрифуг; гильзы цилиндров-дозаторов; ножи резательных машин, мясорубок, волчков, куттеров и т.д.) подвергаются износу. Особенно значительный абразивный износ имеет место у деталей рабочих органов в результате взаимодействия с почвой, сельскохозяйственным сырьем, пищевыми продуктами или кормами (лемеха плугов, лапы культиваторов, диски борон, масловыжимные шнеки, винты гидравлических прессов, ножи кормоизмельчителей и т. д.).

Кроме того, детали агропромышленных машин и агрегатов подвергаются значительной коррозии. В сельскохозяйственной технике коррозия наиболее сильно развивается на деталях, находящихся в контакте с почвой (особенно черноземной и болотистой), сточными водами (особенно с высоким содержанием навоза), соками трав и зерновых культур. В наиболее опасных условиях, провоцирующих развитие коррозии, находятся детали машин и агрегатов для внесения удобрений и ядохимикатов. В технике пищевых и кормовых производств корродируют в первую очередь детали, которые контактируют с пищевыми и кормовыми средами, а также

обрабатываются мощными и дезинфицирующими растворами (с учетом тепловых воздействий, скоростей истечения рабочих сред, больших перепадов давления и т. д.).

Следует отметить особенность сельскохозяйственной техники, заключающуюся в сезонном характере ее использования. При этом в период длительного хранения (без консервации) под действием влаги, солнечных лучей, ветра, колебаний температуры и других факторов происходят разрушения и деформация ряда деталей и покрытий, а также их коррозия.

Процессы агропромышленного производства осуществляются в разнообразных по своему назначению производственных зданиях и сооружениях [199]. В сельском хозяйстве к ним относятся теплицы, зерно- и овощесушилки, силосные башни, животноводческие фермы, птицефабрики, ремонтные машинно-тракторные мастерские и т. д.; в пищевой промышленности – хлебозаводы, мясокомбинаты, молочные, маслодельные и сыроваренные заводы, сахарозаводы, консервные заводы, кондитерские фабрики, промышленные холодильники и т. д.; в комбикормовой промышленности – комбикормовые заводы и кормоприготовительные цехи.

Как правило, агропромышленные строительные конструкции, особенно их опорные и несущие элементы, подвергаются значительным механическим нагрузкам. Кроме того, они испытывают разрушительное воздействие со стороны природных и технологических факторов. В частности, они подвергаются атмосферной и пылевой эрозии, разложению под действием ультрафиолетового солнечного излучения. Для них характерно развитие различных видов коррозии: химической (при действии органических кислот пищевых или кормовых сред), биологической (вследствие жизнедеятельности микроорганизмов на поверхностях, смоченных пищевыми или кормовыми средами), физико-химической (например, при теплообмене с окружающей средой, при действии жидких компонентов сельскохозяйственного сырья, пищевых продуктов или кормов в результате замерзания).

Тяжелые условия эксплуатации используемых в агропромышленном производстве машин и агрегатов, зданий и сооружений обуславливают повышенные требования к их надежности. Для выполнения этих требований следует обеспечивать высокую эффективность конструкционных и строительных материалов.

Конструкционные материалы предназначены для изготовления деталей разнообразных конструкций, воспринимающих силовую нагрузку, включая машины и агрегаты, здания и сооружения. В свою очередь, строительные материалы предназначены для возведения зданий и сооружений. Причем, многие строительные материалы, подобно конструкционным, служат для восприятия силовой нагрузки. Таким образом, одни и те же типы материалов, в частности, металлические, полимерные, керамические и композиционные, могут использоваться в качестве как конструкционных, так и строительных.

Применимость того или иного материала в конструкции определяется комплексом механических свойств, включающих соотношение между прочностью (предел текучести и предел прочности) и пластичностью (относительная равномерная деформация, полное относительное удлинение до разрушения), а также вязкость разрушения и некоторые другие свойства [200]. Наилучшим соотношением «прочность – пластичность» обладают металлические материалы. Недостатком полимерных и особенно керамических материалов по сравнению с металлическими является низкая пластичность. Композиционные материалы по прочности и пластичности занимают промежуточное положение между керамическими и полимерными материалами.

Кроме конструкционных и строительных материалов в агропромышленном производстве используются вспомогательные материалы, которые обычно не входят в состав создаваемых конструкций в качестве основных субстанций, а служат для разнообразных производственных и эксплуатационных нужд. Среди них особое значение имеют смазочные и топливные материалы, служащие для обеспечения нормальной работы агропромышленной техники.

В последние годы наметился ряд прогрессивных направлений повышения эффективности машин и агрегатов, зданий и сооружений, связанных с применением различных наноматериалов. К наиболее распространенным конструкционным и строительным наноматериалам относятся нанокристаллические и наноконпозиционные материалы, обладающие улучшенными механическими свойствами. Для повышения надежности элементов конструкций применяются нанопокртия, выполняющие упрочняющие и защитные, а также некоторые специальные функции. Для изготовления опре-

деленных типов деталей машин и агрегатов служат нанопористые материалы. Для снижения износа деталей узлов трения используются смазочные наноматериалы, повышения эффективности работы двигателей внутреннего сгорания – топливные наноматериалы для двигателей.

Многие агропромышленные предприятия являются крупными потребителями электрической и тепловой энергии. К ним в первую очередь относятся предприятия по выращиванию овощей в закрытом грунте; производству и переработке мяса птицы, свинины и крупного рогатого скота; производству и переработке молочной продукции, хранению и переработке сахарной свеклы, овощей и зерна; производству пищевой продукции.

Для энергообеспечения агропромышленных предприятий служат в основном централизованные источники энергии, среди которых наиболее распространенными являются теплоэлектростанции и котельные установки, работающие на органическом топливе. Для повышения эффективности производства энергии используются соответствующие наномодификации этого топлива.

3.5.1. Конструкционные и строительные наноматериалы

Металлические нанокристаллические материалы. Металлические материалы с нанокристаллической структурой обладают необычными механическими свойствами, которые существенным образом зависят от размера составляющих их зерен. С уменьшением размера зерен уменьшается плотность содержащихся в них дислокаций и вместе с тем увеличивается объемная доля границ раздела (границ зерен и тройных стыков), что приводит к изменению механических свойств материалов. Существует некоторый критический размер нанозерен R^* (приблизительно 10–20 нм), которым определяется степень устойчивости в них дислокаций: в нанозернах с размером $R < R^*$ вероятность существования дислокаций мала, наоборот, в нанозернах с размером $R > R^*$ может содержаться довольно большое число дислокаций [31]. Если нанокристаллический материал состоит из нанозерен с размером $R < R^*$, то он обладает высокой прочностью, и, кроме того, сверхтвердостью. Например, предел текучести и микротвердость у нанокристаллической меди в 4 раза выше, чем у крупнозернистой меди [200]. Если нанокристаллический

материал состоит из нанозерен размером $R > R^*$, то он обладает сверхпластичностью, которая проявляется при сравнительно низких температурах и высоких скоростях деформации. Например, относительное удлинение до разрушения никеля с размером зерен 35 нм при температуре 420 °С и скорости деформации 10^{-2} с^{-1} составляет около 1000 % [200]. Такой характер проявления механических свойств нанокристаллических материалов в зависимости от изменения размеров зерен принципиально отличает их от крупнозернистых материалов, для которых прочность и твердость однозначно повышаются с уменьшением размера зерен (согласно эмпирическому закону Холла-Петча) [201].

Низкотемпературная сверхпластичность металлических наноматериалов открывает новые возможности для развития перспективных технологий сверхпластичной штамповки и формовки, а также комбинированных технологий, сочетающих сверхпластическую формовку и сварку давлением, что позволяет существенно расширить ассортимент сложнопрофильных изделий [202].

Особенностью металлических нанокристаллических материалов является их большая износостойкость. Так, при уменьшении размера зерна в никеле от 10 мкм до 10 нм скорость износа снижается с 1330 до 7,9 мкм³/мкм [200].

Среди металлических материалов наиболее распространенными являются стали (доля сталей в общем объеме конструкционных материалов превышает 90 %) [200]. Соответственно, применению сталей с нанокристаллической структурой уделяется особое внимание, прежде всего в силу присущих им повышенных прочностных свойств. Например, сталь 12Х18Н10Т с размером зерна 100 нм имеет предел текучести 1340 МПа, что в 6 раз больше предела текучести этой же стали с крупнозернистой структурой [200]. Кроме того, в нанокристаллической стали этой марки резко возрастает внутреннее трение по сравнению с ее крупнозернистыми аналогами, что обеспечивает повышение ее демпфирующих свойств. Стали с нанокристаллической структурой, приобретая более высокую прочность, сохраняют высокие показатели пластичности и ударной вязкости, в том числе при отрицательных температурах.

К широко применяемым металлическим материалам относятся алюминиевые сплавы, достоинством которых являются легкость и коррозионная стойкость (на воздухе алюминий покрывается проч-

ной пленкой Al_2O_3 , которая препятствует его дальнейшему окислению). Из алюминиевых сплавов изготавливают корпусные детали машин и агрегатов, подшипники скольжения, емкости для жидкостей, трубопроводы, двери, оконные рамы и т.д. Алюминиевые нанокристаллические сплавы обладают высокой износостойкостью, которая значительно выше износостойкости аналогичных крупнозернистых сплавов. Кроме того, в алюминиевых сплавах с уменьшением размеров зерен до нанометровых могут проявляться сверхпластические свойства, что расширяет технологические возможности изготовления из них изделий путем обработки давлением. Например, в субмикрокристаллическом сплаве Al-3% Mg-0,2% Sc при температуре 400 °С и скорости деформирования $3,3 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ наблюдается удлинение 2280 % [200].

В пищевой промышленности в последние годы все более широко применяется титан благодаря высокой стойкости к действию пищевых сред [203]. Из него изготавливают котлы для приготовления рассолов, томатных продуктов и соусов, оборудование для переработки овощей и т. д. Прочность свойства титана существенно возрастает (предел прочности составляет 1100 МПа) при формировании в нем нанокристаллической структуры [200]. Кроме того, в нанокристаллическом титане и его сплавах наблюдается уменьшение адгезионной составляющей коэффициента трения, а также склонности к схватыванию (налипанию, сварке), типичной при наличии крупнозернистой структуры [204].

Эффективным способом упрочнения металлических деталей является формирование на их поверхности нанокристаллического слоя в результате интенсивной многократной пластической деформации, которая может осуществляться, в частности, в процессе трения [205].

Металлические нанокompозиты. Металлические нанокompозиционные материалы делятся на матричные и слоистые. Наибольшее распространение имеют матричные нанокompозиты, типичными представителями которых являются твердые сплавы системы WC-Co. В них с переходом размеров зерен карбида вольфрама в нанометровую область увеличивается твердость зерен и уменьшается толщина межзеренной кобальтовой прослойки. Это приводит к уменьшению пластичности и затрудняет вырывание зерен при износе и, как следствие, способствует значительному улучшению

механических свойств сплавов [206]. Так, в твердом сплаве состава WC-6% Co при уменьшении среднего размера зерен карбида вольфрама с 1,5 до 0,5 мкм прочность, твердость и износостойкость возрастают в 1,5–2 раза [200].

Нанокompозиты на стальной матрице армируют преимущественно наночастицами оксидов металлов (Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2), которые играют роль упрочняющих компонентов [31]. Выбор в качестве таких компонентов оксидов, а не карбидов или нитридов, обусловлен тем, что кислород значительно меньше растворяется в матричном материале, чем углерод или азот.

Легирование порошкового железа нанопорошковой медью (3 мас. %) вызывает значительное улучшение механических свойств спеченных порошковых сталей: относительное удлинение возрастает в 5 раз, ударная вязкость – в 3, твердость в 1,25 раза по сравнению со сталями, легированными крупнодисперсным порошком меди [181].

Нанокompозиты на алюминиевой матрице, упрочненные наночастицами керамики (SiC , B_4C , BN) или синтетического алмаза, обладают более высокими антифрикционными свойствами и износостойкостью, чем матричные алюминиевые сплавы [200, 207, 208]. Особенно широко применяются нанокompозиты типа САП (спеченная алюминиевая пудра), в которых алюминиевая матрица армирована наночастицами Al_2O_3 [31].

Нанокompозиты на медной матрице с включениями наночастиц оксидов металлов (Al_2O_3 , BeO_2 , ThO_2) или синтетических алмазов приобретают повышенную прочность, сохраняя при этом высокую электропроводность медной матрицы, что делает их перспективными для изготовления электроконтакторов, работающих при высоких динамических нагрузках [31, 208].

Подобно металломатричным нанокompозитам высокие механические свойства демонстрируют металлические слоистые нанокompозиты. Так, многослойный наноламинат Mo-W толщиной 50 мкм, состоящий из слоев молибдена и вольфрама толщиной 4 нм, по прочности и твердости в 15 раз превышает сплав соответствующего состава [200].

Полимерные нанокompозиты. При изготовлении деталей машин и агрегатов, наряду с металломатричными нанокompозитами, все большее применение находят нанокompозиты с полимерной

матрицей, которая наполняется наночастицами глинистых минералов, металлов и их соединений, а также наноалмазами, фуллеренами или углеродными нанотрубками [181, 209, 210]. Такие композиты обладают повышенной износостойкостью. Так, скорость изнашивания для нанокompозитов на основе политетрафторэтилена, наполненного нанопорошком $MgAl_2O_4$ (2–5 мас. %), составляет 0,6–3,4 мг/ч, в то время как для традиционных аналогов, содержащих в качестве наполнителя кокс и дисульфид молибдена – 12–16 и 40–45 мг/ч соответственно. При этом прочность и пластичность для всех материалов остаются практически одинаковыми [200].

Для герметизации различных соединений, а также в качестве уплотнителей используются нанокompозиты на основе эпоксидной смолы, модифицированной углеродными нанотрубками [181]. У таких композитов наблюдается значительное повышение предела прочности при растяжении (на 400 %) и при изгибе (на 120 %). Из таких композитов также можно изготавливать детали, обладающие низким коэффициентом трения [181]. На основе эпоксидной смолы с добавками фуллеренов разработаны клеевые композиции, которые применяются в ремонтном производстве [31, 181].

Керамические нанокристаллические материалы и нанокompозиты. При изготовлении деталей машин и агрегатов особая роль отводится конструкционной керамике, которая формируется на основе карбида и нитрида кремния, оксидов циркония и алюминия, нитридов алюминия, титана, бора, циркония и некоторых других соединений и обладает повышенной прочностью, твердостью, износостойкостью, температурной и коррозионной стойкостью. Из нее изготавливают режущие элементы, экструзионные головки, сопла, штуцеры, фильеры, уплотнители, крыльчатки и др. детали машин и агрегатов [211, 212]. В частности, она является перспективным материалом для изготовления режущих элементов рабочих органов почвообрабатывающей техники [213]. К основным недостаткам керамики относятся низкая трещиностойкость и пластичность. Этим недостаткам лишена нанокристаллическая керамика (рис. 3.9). Для нее характерна повышенная низкотемпературная пластичность, которую можно использовать в промышленных процессах экструзии и прокатки керамики [200]. С уменьшением размеров зерен до нанометровых возникает возможность деформировать керамику при довольно высоких скоростях деформации (около 10^2 с⁻¹).

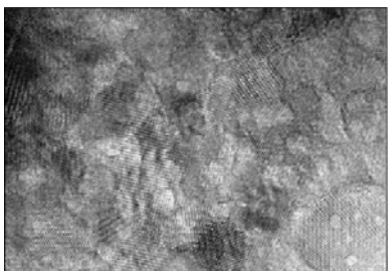


Рис. 3.9. Нанокристаллическая структура керамики (средний размер зерен 16 нм)

При возведении зданий и сооружений находят применение керамические наноконпозиты. Так, одним из существенных недостатков лицевой кирпичной кладки стен является образование высолов – соляных налетов белого цвета, выступающих на поверхности кладки. Чтобы предотвратить высолы, необходимо исключить возможность вымывания солей из материала стен. С этой целью эффективно пропитывать облицовочные кирпичи водными наносуспезия-

ми на основе полимеров, которые, проникая в поры кирпича, гидрофобизируют поверхность и образуют в порах преграду, препятствующую высолам [214]. Такая пропитка также предотвращает разрушение наружного слоя кирпичей под действием знакопеременных температур.

Нанопористые материалы. Среди нанопористых материалов наиболее широкое распространение получили нанопористые мембраны, служащие в качестве фильтрующих элементов, применяемых в процессах производства пищевых продуктов. Для осуществления эффективной нанофильтрации такие мембраны должны обладать механической и химической стабильностью в органических средах, демонстрировать высокие значения удерживания целевых компонентов и транспорта органических растворителей. Этим требованиям отвечают мембраны из керамических и полимерных материалов. Керамические мембраны обычно изготавливают из оксидов металлов (Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 и др.), полимерные – из стеклообразных полимеров (полиамидов, полиимидов, полисульфонов и др.) и эластомеров (сшитых силиконовых каучуков) [31, 215].

Нанофильтры применяются для очистки воды, соков, пива, вина, уксуса. С их помощью можно управлять ароматом, цветом и другими свойствами пищевых продуктов, а также удалять избыток воды из фруктовых соков, сиропов и экстрактов (выход фруктовых соков из исходного продукта увеличивается до 95-99 %) [31, 179, 216-218].

При приготовлении виноградных вин через мембраны проходят вода и этиловый спирт, в то время как ионы калия и винная кислота остаются в концентрате, из которого выпадает осадок примеси – винного камня. После удаления этого осадка смешивают фильтрат и концентрат, что повышает стабильность продукта и увеличивает срок его хранения [31].

Мембраны весьма эффективно используются в молочной промышленности, в частности, для фракционирования молочных белков при переработке сырной сыворотки в высококачественный заменитель жира [216], а также для очистки молока от бактерий, вызывающих его порчу [180, 218]. Проводимая таким образом стерилизация продлевает срок годности молока в 1,5 раза. При этом через мембраны проходят белки, витамины, ферменты и минеральные вещества, которые составляют ценность молока как пищевого продукта.

При помощи мембран можно извлекать различные вещества из растворов, в частности, экстрагировать продукты пищевого происхождения (растительные масла, белки, биологически активные препараты и т. п.) [31, 215]. Их также можно использовать для отмывки и обезжиривания деталей и узлов машин и аппаратов [215].

Для длительного хранения фруктов и овощей применяют так называемые газоселективные мембраны, ограничивающие поступление кислорода в емкость и вместе с тем пропускающие диоксид углерода [31].

Довольно широкое применение находят мембраны особого типа – так называемые ядерные фильтры, которые получают с использованием ядерной технологии. Такие мембраны обладают калиброванными размерами пор, формируемых тяжелыми ионами, которые проходят сквозь пленку облучаемого вещества (слюда, стекло, полимер) и образуют каналы размерами от 0,1 до 5 нм (в зависимости от толщины пленки) [31].

Эффективность мембранных нанофильтров повышается в результате нанесения на них наночастиц серебра, благодаря чему становится возможным осуществлять одновременно и фильтрационную, и бактерицидную обработку пищевых продуктов [216].

Значительное место среди нанопористых материалов отводится цеолитам ввиду их особых свойств, таких, как способность к обратимой адсорбции, наличие пор с входными отверстиями строго оп-

ределенных размеров, большая величина внутренней поверхности. С помощью цеолитов осуществляется сушка и очистка газов и жидкостей, сорбция токсичных веществ в жидких и газовых средах, разделение смесей различных веществ [31].

Одной из перспективных областей применения цеолитов является строительная индустрия [219]. Из цеолитов производятся строительные блоки для возведения хранилищ, амбаров и погребов. Благодаря влагоустойчивым свойствам и сорбционной способности по отношению к воде цеолитовые строительные блоки и построенные из них помещения продлевают сохранность плодоовощных культур, задерживают начало процессов их гниения и плесневения.

Цеолиты улучшают схватывание строительных смесей и повышают их прочность. Они также находят применение в качестве вяжущего компонента силикатных бетонов.

Нанобетон. Бетон является одним из основных строительных материалов. Он получается в результате затвердевания уплотненной смеси вяжущего вещества (цемент, гипс, асфальт, битум и др.), воды, заполнителей (песок, гравий, щебень и др.) и добавок (разнообразные по составу вещества, используемые для придания бетону определенных свойств – пластификаторы, гидрофобизаторы, пено- и газообразователи, ускорители и замедлители твердения вяжущего вещества и др.).

Наномодифицирование бетона осуществляется в основном за счет использования различных добавок, находящихся в нанодисперсном состоянии.

Одной из основных целей, преследуемых при наномодифицировании бетона, является повышение его прочности. В современных бетонах с обычными добавками прочность составляет около 100 МПа, в то время как с нанодисперсными добавками она может достигать до 300 МПа и выше (у специальных бетонов – до 850 МПа) [220]. Применяя бетоны с повышенной прочностью, становится возможным заменять традиционные громоздкие железобетонные конструкции на очень тонкие и даже ажурные, создавать конструкции новых форм, уменьшать их вес и материалоемкость.

Степень упрочнения бетона зависит от типа используемых нанодисперсных добавок. Например, добавки наночастиц диоксида кремния (SiO_2), получаемых измельчением песка (типичного компонента бетонной смеси), вызывая значительное уплотнение бето-

на, приводят к повышению его прочности в 3-6 раз [221]. Упрочняющее воздействие также способны оказывать добавки углеродных нанотрубок [222]. Так, в [223] представлены результаты использования углеродных нанотрубок для модифицирования неавтоклавно цементного пенобетона. Нанотрубки диаметром 40-60 нм, заполненные медью, вводили в бетонную смесь в количестве 0,05 мас. %. Распределяясь в объеме пенобетона, нанотрубки предотвращают образование пор с перфорированными стенками, что характерно для пенобетона, получаемого без модифицирования. При этом прочность пенобетона повышается в 1,7 раза.

Важный в практическом отношении эффект самокомпактирования бетона вызывают добавки наночастиц поликарбоксилата [221]. Набухая при высыхании бетонной смеси, они препятствуют образованию пустот и трещин. Получаемый таким образом самокомпактирующийся бетон не требует вибрационного воздействия для консолидации материала, что приводит к значительной экономии энергетических и трудовых затрат. Самокомпактирующийся бетон обладает еще одним важным достоинством. Дело в том, что обычный бетон медленно схватывается в зимнее время, что вызывает необходимость дополнительной операции парообработки. Наночастицы поликарбоксилата значительно уменьшают количество используемой воды и время высыхания материала, делая тем самым парообработку необязательной [221].

Значительное улучшение свойств бетона может быть достигнуто при использовании добавок наночастиц диоксида титана (TiO_2), обладающих фотокаталитическим действием [221, 224, 225]. Эти добавки придают бетону способность к самоочистке, обеспечивая тем самым его белизну и, как следствие, более эстетичный вид построенных из него зданий и сооружений (а также покрытий дорог) в течение длительного времени. Дело в том, что под воздействием солнечного света наночастицы TiO_2 работают как фотокатализатор, преобразуя атмосферный кислород и пары воды в атомарный кислород. При этом выделяющегося активного кислорода достаточно для окисления и разложения органических загрязнений, дезодорирования помещений, уничтожения бактерий. Цементные материалы, модифицированные наночастицами TiO_2 , начали применяться в строительстве с середины 1990-х годов, когда итальянской фирмой «Italcementi» был разработан цемент марки «Bianco TX Millennium» для возведения церкви Dives in Misericordia в Риме (рис. 3.10) [221, 225].

Пропитка бетона водными наносuspensionями на основе полимеров обеспечивает эффективное решение проблемы гидроизоляции бетонных сооружений за счет полного закрытия пор пропитывающим составом [214].

С целью экономии цемента, а также улучшения его свойств в него можно добавлять нанодисперсные модификаторы, являющиеся отходами. К ним относится, в частности, кремнезем, который образуется при получении кремния и ферросилиция, а также гальваношлам, образующийся при обработке известью сточных вод гальванического производства [226].



Рис. 3.10. Церковь Dives in Misericordia, построенная из бетона с добавками наночастиц диоксида титана

Одним из перспективных способов улучшения свойств минеральных вяжущих веществ является их помол до частиц нанометровых размеров. Например, перевод портландцемента в нанодисперсное состояние в результате помола вызывает повышение его реакционной способности, благодаря чему в нем значительно (до 90 %) увеличивается доля вещества, вступающего в реакцию с водой (для сравнения, в обычном портландцементе в реакцию вступает лишь третья часть его объема, преимущественно с поверхности, остальной объем выполняет в готовом изделии функцию инертного заполнителя) [227].

Нанорезина. При ремонте машин большой объем работ составляет замена изношенных резинотехнических изделий (шин, ремней, уплотнителей и т. д.). Для повышения срока службы, а также эксплуатационных свойств резины в нее вводят нанодисперсные наполнители: графит, технический углерод, продукты биохимической переработки природных углей [181]. Для повышения механических свойств шинной резины (условной прочности, сопротивления раздиру и прочности сцепления с металлокордом) ее наполняют металлочерными нанопорошками (0,25–0,5 мас. %) [181].

Наностекло. Для придания стеклу противопожарных свойств, его изготавливают из двух слоев обычного стекла, между которыми

заключают прозрачный слой нанопористого оксида кремния [224]. При пожаре нанопена затвердевает и мутнеет, позволяя стеклу выдерживать гораздо более сильные тепловые нагрузки и одновременно становясь надежным барьером для теплового потока. Аналогично, для улучшения его теплозащитных свойств, между двумя слоями обычного стекла закладывают поливинилбутиратную пленку, содержащую наночастицы гексаборида лантана (LaB_6), которая служит фильтром для инфракрасного излучения [227].

3.5.2. Нанопокрyтия

Для повышения технического ресурса деталей машин и агрегатов применяются различные виды покрытий, благодаря которым повышается не только прочность деталей, но также их стойкость к воздействию коррозии и др. негативных факторов.

Эффективность покрытий существенно возрастает при формировании в них наноструктуры.

Исследования трибологических характеристик детонационных покрытий из нанокристаллических (размер зерна карбида вольфрама 17 нм) и крупнозернистых порошков твердых сплавов WC-Co показывают, что наноструктурированное покрытие имеет предельную нагрузку, при которой наблюдается катастрофическое разрушение поверхности, на 20 % выше, чем крупнозернистое покрытие [200]. Коэффициент трения для нанокристаллического покрытия на 40–50 % меньше, чем для крупнозернистого покрытия.

Методом плазменного напыления и лазерного оплавления получены износостойкие металлокерамические покрытия с ультрадисперсной упрочняющей фазой оксида алюминия для тяжело нагруженных узлов трения. По показателям износостойкости, задиростойкости и антифрикционности такие покрытия значительно эффективнее твердого электролитического хромирования, а по экономическим показателям в условиях серийного производства и по экологии процесса существенно лучше. Нанесение таких покрытий на внутреннюю цилиндрическую поверхность корпуса роторно-пластинчатого насоса для перекачки травящего раствора в производстве печатных плат позволяет повысить ресурс работы насосов более чем в 20 раз [200].

Для улучшения свойств металлических деталей на них наносят металломатричные покрытия, содержащие наночастицы керамики (Al_2O_3 , CrB_2 , SiC и др.) [181, 228]. Так, в композиционном покрытии на основе хрома, полученном с применением нанодисперсного порошка оксида алюминия Al_2O_3 , износостойкость выше в 2,2 раза, микротвердость – в 1,4 и коррозионная стойкость – в 1,8 раза по сравнению с обычным хромовым покрытием [181]. Испытания показывают, что ресурс плунжерных пар, восстановленных и упрочненных с применением наноконпозиционного хромирования, по сравнению с плунжерными парами, восстановленными стандартным хромированием, выше в 1,8 раза. Существенное повышение износостойкости также имеет место при включении наночастиц Al_2O_3 в Ni-Cr-сплавы [228].

Широкое применение находят металломатричные покрытия, содержащие наноалмазы. Включение наноалмазов в структуру Cr-покрытий приводит к повышению их износостойкости и микротвердости, благодаря чему такие покрытия позволяют повысить эффективность режущего инструмента [229]. Наличие наноалмазов в структуре Ag-покрытий обеспечивает повышение износостойкости при сохранении высоких электрофизических свойств, что важно при их использовании для изготовления скользящих контактов электротехнических устройств [230]. В Ni-покрытиях, модифицированных наноалмазами, износостойкость увеличивается в 2–4 раза при одновременном увеличении коррозионной стойкости на 50–120 % [181]. Аналогичный эффект обеспечивается металлополимерными покрытиями с добавками наноалмазов, которые способны надежно защищать детали от совместного воздействия износа и коррозии [229].

Значительные перспективы имеют лакокрасочные нанопокрyтия. Модифицирование лакокрасочных материалов наночастицами различного состава дает возможность обеспечить сочетание в них таких свойств, как высокая эластичность, твердость, износостойкость, коррозионная стойкость, гидрофобность [231, 233]. Неорганическими компонентами таких материалов могут быть нанопорошки металлов, диоксидов кремния и титана, сульфата бария, оксидов алюминия, циркония и других веществ, включая полимеры. Эффективными модификаторами лакокрасочных материалов также являются фуллерены, углеродные нанотрубки, наноалмазы [234].

Лакокрасочные нанопокрyтия перспективно применять при изготовлении деталей из древесных материалов [235]. Для улучшения гидрофобных свойств поверхности древесины на нее наносят наноземлю циркониймодифицированных полиолефинов с высоким значением краевого угла смачивания. Благодаря малости частиц наноземли обеспечивается их хорошее распределение по поверхности, при этом повышение степени гидрофобизации достигается в результате взаимодействия атомов циркония с олефинами. Важно отметить, что в таких покрытиях высокое значение краевого угла смачивания имеет место при крайне малой толщине наносимой пленки, благодаря чему не ухудшаются пористость и паропроницаемость древесины, т. е. сохраняется способность древесины «дышать». Для уменьшения влияния ультрафиолетового излучения в состав применяемых лакокрасочных наноземлей вводят нанодобавки веществ, поглощающих излучение или нейтрализующих его деструктивное воздействие, а для предотвращения развития грибков – нанодобавки фунгицидов [235]. Для понижения горючести древесины применяют лакокрасочные материалы, содержащие нанопорошки антипиренов [214].

Для защиты от наледей на деталях конструкций, линиях электропередач, дорогах разработано сверхгидрофобное покрытие из кремнийорганической смолы с наночастицами кремния [236].

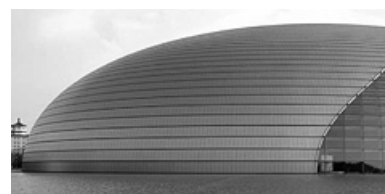


Рис. 3.11. Стекланный купол Национального театра в Пекине, покрытый пленкой диоксида титана

Особый практический интерес представляют нанопокрyтия диоксида титана TiO_2 , наносимые на стекла [225]. Если покрыть стекло тонкой пленкой, содержащей наночастицы TiO_2 , то оно приобретает способность не только к самоочищению от органических загрязнителей (благодаря фотокаталитическому эффекту наночастиц TiO_2), но и к регулируемому пропусканию света. Стекла с таким покрытием особенно перспективно использовать в теплицах и оранжереях.

В последнее время повышенное внимание уделяется разработке нанотехнологических подходов к созданию «умных» стекол, способных контролировать потоки света и тепла внутрь здания. Для этого применяются различные виды тонкопленочных покрытий, в том числе:

- спектрально-чувствительные, не пропускающие инфракрасное излучение;
- термохромные, реагирующие на изменение температуры и способные термоизолировать помещение, обеспечивая одновременно приемлемый уровень освещенности;
- фотохромные, изменяющие коэффициент пропускания стекла в зависимости от его освещенности;
- электрохромные, реагирующие изменением прозрачности на изменение приложенного напряжения [224].

3.5.3. Смазочные наноматериалы

Износ деталей в узлах трения является одной из наиболее распространенных причин нарушения режима нормального функционирования и, в конечном итоге, выхода из строя машин и агрегатов. Для снижения износа используются различные виды смазочных масел, которые обеспечивают эффект жидкостного трения, заключающийся в образовании жидкой прослойки между трущимися поверхностями, препятствующей их непосредственному соприкосновению. При жидкостном трении работа на преодоление сил трения в основном направлена на преодоление сил молекулярного притяжения жидкой смазки.

Жидкостное трение зависит от различных факторов, к числу которых относятся смазывающая способность масла, в значительной мере определяемая его вязкостью, а также скорость относительного движения трущихся деталей, нагрузка на них и величина зазора между ними. При чрезмерно высокой вязкости масла возрастает работа на преодоление сил трения и, кроме того, затрудняется подача масла в зазор. Чем больше зазор, т. е. чем толще слой смазки, тем надежнее жидкостное трение. Однако при чрезмерно большом зазоре становится все более возможным выдавливание масла. Вероятность выдавливания масла возрастает с понижением его вязкости, а также с повышением нагрузки на детали. По мере вытекания масла из зазора жидкостное трение сменяется на менее благоприятное граничное трение, при котором поверхности разделяются только лишь адсорбированными молекулярными масляными пленками. Если прочность сцепления таких пленок с поверхностью невелика, то они разрушаются, что приводит к полусухому или даже сухому трению, при котором резко возрастает износ трущихся поверхностей, на них появляются задиры и происходит сваривание деталей.

Традиционный путь улучшения свойств смазочных масел – добавление к ним противоизносных присадок. Эти присадки состоят из поверхностно-активных веществ, образующих на поверхности деталей прочные адсорбированные масляные пленки, благодаря чему повышается сопротивление масел выдавливанию. Кроме того, такие пленки способны оказывать полирующее воздействие на поверхности. В качестве присадок используются различные продукты на основе высокомолекулярных жирных кислот, а также синтетические соединения, содержащие серу, хлор, фосфор.

В последние годы, в связи с развитием нанотехнологий, ведется разработка смазочных масел, модифицированных наночастицами различного состава, т. е. представляющих собой наносuspensions [31].

Изучением фрикционных процессов, происходящих на наноуровне, занимается новая научная область – нанотрибология, в развитии которой можно выделить два основных направления [237]. Первое направление связано с исследованием фрикционных процессов, характеризующихся наличием нанорельефных контактирующих поверхностей и нанотолщинных смазочных слоев [238, 239]. Особенности таких процессов, типичных для механических наносистем, определяются атомно-молекулярным взаимодействием поверхностей, контактирующих наночастицами (включая единичные наноконтакты) и находящихся под малой нагрузкой. Второе направление связано с исследованием фрикционных процессов, характеризующихся наличием наноструктурных контактирующих поверхностей и наноструктурных смазочных слоев. Такие процессы могут иметь место в различных узлах трения, в том числе содержащих поверхности, контактирующие макро/микроучастками, обладающие макро/микрорельефом и находящиеся под большой нагрузкой, а также содержащих макро/микротолщинные смазочные слои. Нанотрибологические исследования, проводимые в обоих направлениях, тесно взаимосвязаны. Это обусловлено тем, что фрикционное взаимодействие нанотел является частным случаем фрикционного взаимодействия макро/микротел, контактирующие поверхности которых содержат множество макро/микро- и наношероховатостей.

Известны различные виды нанодисперсных присадок к смазочным маслам, количество которых ежегодно увеличивается на рынках автохимической продукции [181, 240, 241]. Среди них наибольшее распространение имеют нанопрепараты, позволяющие осуществлять безразборный сервис машин и агрегатов, под кото-

рым понимается такое техническое обслуживание, которое проводится без разборочно-сборочных операций [242, 243].

По своему составу и принципу действия наноприсадки к смазочным маслам делятся на следующие основные типы [244]:

- детергентно-диспергирующие – коллоидные системы, содержащие мицеллы, которые состоят из наноразмерных карбонатных ядер, олеофилизированных по поверхности молекулами сульфатов или алкилсалицилатов щелочноземельных металлов (Ca, Mg, Ba); оказывают моющее действие;

- модификаторы трения – олеофильные нанодисперсии сульфида молибдена MoS_2 , графита, фуллеренов, карбоната кальция $CaCO_3$, фторопласта; оказывают противоизносное действие;

- металлоплакирующие – олеофильные нанодисперсии пластичных металлов (меди, олова, свинца, серебра, алюминия); применяются для заполнения микротрещин на поверхностях трения;

- приработочные – нанодисперсные абразивы (алмазные или керамические нанопорошки); ускоряют приработку поверхностей трения;

- микрокапсулированные – нанодисперсии, содержащие наночастицы присадочного вещества, покрытые пористой полимерной оболочкой, благодаря которой обеспечивается постепенное (замедленное) выделение присадочного вещества.

Особенности проявления механизмов влияния присадок к смазочным маслам на процессы трения определяются свойствами применяемых присадок и масел (моторных, трансмиссионных, промышленных), качественными характеристиками поверхностей трения, условиями их взаимодействия.

Повышение износостойкости стальных деталей в узлах трения при введении в смазку нанопорошков пластичных металлов обусловлено взаимодействием присадочных наноконпонентов с трущимися поверхностями с образованием на поверхностях в местах точечных контактов тонких пленок, предотвращающих непосредственный контакт поверхностей [245].

Особый характер структурных изменений поверхностных слоев пар трения наблюдается в условиях интенсивной пластической деформации при наличии в масле нанопорошка сплава меди [246]. Поверхностные слои в результате деформирования приобретают нанокристаллическую структуру, в которой значительно возрастает зернограничная диффузия меди, выделяющейся на поверхности в процессе

трения. Как следствие, структура поверхностных слоев становится не только нанокристаллической, что приводит к повышению твердости, но и наноконпозиционной, что вызывает повышение пластичности.

Модифицирование масла наноалмазами приводит при малых давлениях к усиленному изнашиванию стали, что ускоряет приработку трибосопряжений, а при больших – к повышению твердости и трещиностойкости за счет образования нанозернистой структуры приповерхностного слоя в результате интенсивного пластического деформирования под действием наноалмазов [247]. Введение в масло силикатных нанопорошков улучшает температурные характеристики масла и расширяет диапазон рабочих температур [248], что связывается со структурированием масла под влиянием наночастиц [249]. Модифицирование масел, а также пластичных смазок алмазо-графитовыми и сажевыми наночастицами улучшает антифрикционные и противоизносные свойства смазочных материалов [250]. Аналогичное улучшение противоизносных свойств масел наблюдается при их модифицировании углеродными нанотрубками [251].

Особой разновидностью смазочных материалов являются магнитные жидкости, находящиеся в узлах трения под действием магнитного поля [252]. Магнитные наночастицы удерживаются магнитным полем в зоне трения, что способствует заполнению ими микронеровностей трущихся поверхностей и, как следствие, значительному уменьшению износа поверхностей.

3.5.4. Топливные наноматериалы

Основными видами топливных материалов для двигателей внутреннего сгорания (ДВС) являются бензин и дизельное топливо. Для улучшения условий их использования в них вводят разнообразные нанодисперсные добавки – нанокатализаторы, которые обладают высокой каталитической активностью, селективностью и стабильностью [244, 254-256]. Наличие нанокатализаторов в бензине и дизтопливе существенно снижает образование загрязнений и отложений в системах подачи топлива, впускных и выпускных системах, в камерах сгорания, в каталитических нейтрализаторах отработавших газов и в целом способствует улучшению экологических, энергетических и ресурсных характеристик двигателей.

Одним из довольно оригинальных и вместе с тем эффективных путей снижения эмиссии вредных веществ с отработавшими газами ДВС является использование растворимых в моторном топливе производных мочевины вместе с наночастицами диоксида церия CeO_2 (размером 10-40 нм) [253]. Данная композиция добавляется непосредственно в моторное топливо любого типа и обеспечивает понижение температуры оптимального горения топливной смеси и дополнительный резерв кислорода для ее более полного сгорания. Кроме того, она способствует уменьшению образования отложений в камере сгорания и выпускной системе, сокращению расхода топлива, снижению эмиссии вредных веществ с отработавшими газами.

На основе этой композиции разработан ряд других функциональных нанодобавок к бензину и дизельному топливу [253-255]:

- нанотюнинг топлива (добавка к бензину) – способствует увеличению мощности двигателя, снижению расхода топлива и токсичности выхлопа, очищает топливную систему и стабилизирует ее работу в целом;

- наночиститель инжекторов (добавка к бензину) – очищает систему подачи топлива от отложений и нагара, способствует удалению губчатых образований с впускных клапанов и нагара со стенок камеры сгорания; облегчает запуск двигателя, снижает износ и повышает защиту деталей от коррозии; снижает расход топлива и токсичность выхлопа;

- наночиститель каталитического нейтрализатора (добавка к бензину) – очищает нейтрализаторы выхлопных газов бензиновых двигателей, электроды кислородного датчика, способствует повышению приемистости двигателя, снижению расхода топлива и токсичности выхлопа, увеличению срока службы нейтрализатора;

- наночиститель форсунок (добавка к дизельному топливу) – обеспечивает очистку распылителей, топливной аппаратуры и стенок камеры сгорания от углеродистых отложений и нагара; облегчает запуск двигателя, способствует восстановлению распыла топлива и мощности дизеля, снижению износа, защите от коррозии, снижению расхода топлива и токсичности выхлопа.

Свойства нанокатализаторов, используемых для сжигания топлива, определяются наноструктурными особенностями носителей и наноразмерностью частиц активных компонентов [256].

Каталитическое сжигание принципиально отличается от факельного: оно протекает без образования пламени на поверхности твердых катализаторов при сравнительно невысоких температурах (500–900 °С) и характеризуется отсутствием токсичных выбросов углеводородов, CO , NO_x ; высокой эффективностью сжигания.

Основой нанокатализаторов являются нанопористые носители, на которые наносятся активные компоненты. Каталитические реакции протекают при взаимодействии молекул газообразных веществ на поверхности активного компонента, поэтому необходимо обеспечивать максимальную реакционную способность поверхности активного компонента в единице веса, что достигается в первую очередь увеличением удельной поверхности оксидного носителя и уменьшением размера индивидуальных частиц активного компонента. В качестве носителей используются оксиды алюминия, титана, кремния (с размерами пор до 40–60 нм), а также цеолиты (с размерами пор до 1 нм). Активными компонентами служат наночастицы благородных металлов, главным образом платины Pt , палладия Pd и родия Rh (размером 1-5 нм), а также оксидов переходных металлов – меди, хрома, марганца, кобальта и др. (размером 25–40 нм и менее). Благородные металлы более активны в реакциях окисления топлива, однако их использование ограничено высокой стоимостью и склонностью к дезактивации при высоких температурах.

Для реализации процессов каталитического сжигания топлива сконструированы специальные воздухонагреватели, работающие на газообразном углеводородном топливе [256]. Такие воздухонагреватели по сравнению с традиционными факельными топочными устройствами имеют более высокий коэффициент полезного использования топлива (около 100 %). Их эффективно применять для отопления теплиц, коровников, птичников, складских помещений, производственных зданий промышленных предприятий и т. д. Благодаря своей автономности они позволяют успешно решать проблемы теплоснабжения удаленных объектов, для которых не экономично строительство стационарных теплоцентралей и прокладка теплосетей.

В последние годы все большее распространение получает высокоэффективное топливо для теплоэлектростанций и котельных установок в виде водно-угольных наносuspензий, содержащих уголь в нанодисперсном состоянии [241]. Наносuspензии могут эффек-

тивно распыляться при концентрации твердой фазы до 50–80 % с высокой агрегативной устойчивостью и исключением закупорки трубопроводов при транспорте суспензионного топлива. Для повышения теплоты сгорания, а также предотвращения замерзания при отрицательных температурах часть водной дисперсионной среды может заменяться спиртами или смесями спиртов и углеводов, получаемых синтезом из продуктов газификации углей. Уголь в наносуспензиях при сжигании выгорает практически полностью (на 98–99 %), что делает возможным их использование в парогазовых установках.

ГЛАВА 4 ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

4.1. Принципы выбора приоритетов развития нанотехнологий в АПК

При формировании стратегии нанотехнологического развития АПК важно определить его приоритетные направления, т. е. такие, которые имеют первостепенное значение и, соответственно, получают первоочередное внимание. Нанотехнологическое развитие в этих направлениях происходит более интенсивно, поскольку на них концентрируются основные ресурсы, поэтому от правильности их выбора в значительной степени зависят перспективы экономического роста АПК.

Круг всевозможных направлений нанотехнологического развития АПК постоянно расширяется с возрастанием объема новых знаний в нанонауке и углублением связей в цепочке «наука – технология – производство». В связи с этим государственные органы (министерства, ведомства), осуществляющие управление деятельностью АПК, вынуждены проводить селективную стратегию нанотехнологического развития, основанную на отборе наиболее перспективных направлений с учетом их значимости для государства и имеющегося у него научного и экономического потенциала [10].

Селективная стратегия нанотехнологического развития порождается дифференциацией нанонауки в силу присущего ей междисциплинарного характера и необходимостью сдерживать распыление ресурсного обеспечения. Она применяется, прежде всего, в тех странах, которые не обладают достаточными ресурсами для развития нанотехнологий по широкому кругу задач агропромышленного производства. Применение селективной стратегии позволяет достичь значительных результатов в избранных областях нанотехноло-

гий, но вместе с тем требует создания эффективной системы международного сотрудничества для компенсации негативных последствий одностороннего нанотехнологического развития.

Приоритетные направления нанотехнологического развития определяются на основе анализа результатов его прогнозирования, которое является одним из разделов теории управления экономикой [257]. Принято различать поисковое и нормативное прогнозирование. Поисковое прогнозирование предполагает продолжение в будущем наблюдаемых тенденций при условном допущении, что они не будут изменены средствами управления; оно нацелено на выявление перспективных проблем, подлежащих решению. Нормативное прогнозирование сводится к определению возможных путей решения проблем с целью достижения желаемого результата на основе заранее заданных критериев; по времени упреждения различают текущее, краткосрочное и долгосрочное прогнозирование.

Главной задачей прогнозирования нанотехнологического развития АПК является определение возможных направлений, масштабов и темпов применения нанотехнологий в агропромышленной сфере в их взаимосвязи с его экономическим ростом. Вместе с тем прогнозирование этого развития должно осуществляться с учетом его социальных и экологических аспектов.

Следует заметить, что в силу объективных причин невозможно сделать абсолютно точные прогнозы нанотехнологического развития, прежде всего, потому, что ни одна математическая модель в принципе не может учесть всех его тенденций и случайных факторов. Для него характерен стремительный рост масштабов и темпов накопления новых научных знаний и практического опыта. Прогноз становится более точным с сокращением длительности прогнозируемого периода.

Прогностические, или, как их еще называют, форсайтные исследования в области агропромышленных нанотехнологий, проводимые в ведущих индустриальных странах, имеющих развитый аграрный сектор, в общих чертах совпадают по содержанию. Основные их различия заключаются в длительности прогнозного периода, в направленности (адресации) результатов исследований, в степени конкретности вырабатываемых рекомендаций.

Анализ опыта проведения форсайтных исследований в научно-технологической сфере в ведущих индустриальных странах пока-

зывает, что, как правило, такие исследования организуются и финансируются соответствующими министерствами и ведомствами через специально создаваемые органы управления форсайтом, в состав которых входят авторитетные специалисты – представители научных и деловых кругов, государственных агентств и т. д. [10]. На эти органы возлагаются функции по разработке стратегии, общего направления и методик исследований, а также сводному анализу результатов.

Министерства и ведомства (или органы управления форсайтом) формируют тематические рабочие группы (секции, комиссии) по определенным областям социально-экономической сферы страны. Перед каждой группой ставится задача оценить глобальные тенденции в тех или иных областях в долгосрочной перспективе (на 10–20 лет). Выбор отраслей, для проведения исследований в которых формируются группы, осуществляется по критериям чувствительности к влиянию науки и технологии на экономическое развитие и по наличию в стране необходимых предпосылок для продвижения на мировой уровень. Группы готовят обзоры по состоянию научно-технологического потенциала в различных отраслях, исследуют рыночные перспективы новшеств, проводят соответствующие опросы и консультации, прорабатывают альтернативные сценарии и т. д. Результаты работы групп оформляются в виде отчетов, в которых выделяются отрасли, перспективные для развития в данной стране, в которых она должна занять лидирующее положение. Отчеты передаются управляющему органу для обобщения и представления правительству.

Степень и формы использования результатов форсайта правительствами разных стран могут быть различными. Главным критерием при этом является сохранение и дальнейшее развитие ведущих позиций на мировом рынке технологий (наукоёмкой продукции) с учетом технологического уровня и экспортной ориентации экономики страны. Анализ перспектив научно-технологического развития страны в тех или иных областях осуществляется в тесной связи с изучением глобальных тенденций в смежных областях. При этом принимается во внимание близость (удаленность) страны относительно промышленных регионов мира, чувствительность к экологическим факторам, зависимость от источников сырья и энергии.

Обычно государственная научно-технологическая стратегия рассматривается как составная часть общей интегральной стратегии благоприятствования инновационному процессу в его расширенном понимании, включающей формирование содействующих этому процессу рамочных условий, создание устойчивых связей между его различными звеньями, активизацию сотрудничества науки и промышленности. На выбор приоритетов научно-технологического развития оказывают свое влияние также соображения поддержания международного авторитета национальной науки. Материальным выражением научно-технологической политики, проводимой государством, являются решения о распределении бюджетных средств между различными направлениями исследований, институциональное финансирование отдельных научных учреждений, формирование и поддержка определенных инфраструктурных элементов.

Наряду с общими для большинства стран базовыми критериями пути и формы выработки национальных приоритетов научно-технологического развития в разных странах, как правило, различаются. При выборе приоритетных направлений нанотехнологического развития АПК следует учитывать, с одной стороны, тенденции развития нанотехнологий в целом [258] и, с другой, – тенденции развития агропромышленного производства [259].

Опыт ведущих стран с развитой аграрной сферой свидетельствует, что все они прошли своего рода «технологическую революцию» в агропромышленном развитии. Классическое экстенсивное земледелие вытесняется точным земледелием. Широко используются многооперационные энергосберегающие сельскохозяйственные машины и агрегаты, геоинформационные технологии, селекция высокоурожайных сортов растений и выведение высокопродуктивных пород животных, создание биологически активных кормовых добавок, новых лекарственных средств для животных, современные методы борьбы с эпизоотиями, карантинными болезнями животных и растений,

Всероссийским институтом аграрных проблем и информатики им. А.А. Никонова в содружестве с Российско-немецкой высшей школой управления Академии народного хозяйства разработан прогноз развития мирового АПК на период до 2050 г. [259]. В качестве предпосылок для данного прогноза были выдвинуты следующие четыре гипотезы:

1. Во всех странах посевные площади под главными сельскохозяйственными культурами (пшеница, кукуруза, рис) не будут сокращаться, более того, они будут увеличиваться (во избежание продовольственных кризисов);

2. Во всех странах все больше ресурсов будет тратиться на внедрение достижений научно-технологического прогресса в агропромышленное производство, что позволит увеличить эффективность использования природных ресурсов, прежде всего земли и воды;

3. Развивающиеся страны будут увеличивать потребление белков за счет мясомолочной продукции, из чего следует, что все большая доля выращенных растительных ресурсов будет использоваться на корма;

4. В большинстве стран будет сохраняться тенденция использования агропромышленного потенциала в первую очередь для продовольственных целей (за исключением тех стран, где существуют особые природные и политические условия, которые позволяют им эффективно использовать земельные ресурсы для производства биотоплива; к таким странам относятся, прежде всего, США (этанол из кукурузы), Бразилия (этанол из сахарного тростника) и в перспективе – ряд стран Юго-Восточной Азии, которые смогут освоить эффективное производство биотоплива из пальмового масла).

В рамках данного прогноза определены следующие основные направления научно-технологического развития АПК:

в растениеводстве:

- технологии с преимущественным использованием многооперационных сельскохозяйственных машин и агрегатов, что позволяет минимизировать затраты на обработку почв, уход за посевами и уборку урожая;

- технологии управления продукционным и средообразующим потенциалом агроэкосистем и агроландшафтов на основе дифференцированного использования ресурсов и применения средств агрокосмического и позиционного зондирования (адаптивное растениеводство);

- зональные технологии, разрабатываемые для каждой подотрасли растениеводства и видов культур в соответствии с тремя основными критериями – ресурсосбережение, экологическая безопасность, экономическая целесообразность (повышение конкурентоспособности);

- технологии охраны и использования биологических средств защиты растений (энтомофагов, энтомопатогенов), в том числе в сочетании с традиционными средствами химической защиты;

- методы мониторинга и прогноза фитосанитарной обстановки в регионах, разрабатываемые для обеспечения защиты растений на основе учета закономерностей изменения видового разнообразия и динамики численности вредителей сельскохозяйственных культур, цикличности их появления в определенном регионе и особенностей экспансии;

в животноводстве и ветеринарии:

- методы генетического контроля и управления селекционными процессами с целью улучшения существующих и выведения новых пород и типов животных, линий и кроссов птицы;

- технологии кормления животных и птицы, обеспечивающие повышенную конверсию кормов;

- ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии производства и переработки животноводческой и птицеводческой продукции;

- методы ветеринарной санитарии, основанные на использовании биологических препаратов для диагностики, терапии и профилактики наиболее распространенных болезней животных и птицы, разработанных с учетом достижений физико-химической биологии, биотехнологии и молекулярной иммунологии;

в переработке и хранении сельскохозяйственной продукции:

- ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии переработки и хранения сельскохозяйственной продукции, обеспечивающие получение продуктов питания с заданными параметрами качества и повышенной сохраняемостью, в том числе с применением биоутилизируемых упаковочных материалов с регулируемым сроком службы;

в агропромышленном машиностроении и энергетике:

- энергонасыщенные машины и агрегаты для интенсификации производства основных видов сельскохозяйственной продукции, определяющих продовольственную безопасность;

- интегрированное использование различных видов энергоресурсов, включая возобновляемые источники энергии.

Нанотехнологии имеют ряд особенностей в характере своего развития, осложняющих его прогнозирование и, как следствие, выбор его приоритетных направлений.

Во-первых, нанотехнологии пока еще находятся в стадии формирования, поэтому с учетом стремительных темпов их преобразований сегодня трудно предвидеть, какими они будут даже в ближайшем будущем – через 5-10 лет.

Во-вторых, нанотехнологии представляют собой междисциплинарную область научно-технических знаний и, соответственно, развиваются параллельно по многим направлениям, часто тесно взаимосвязанным между собой, поэтому выбирая одно из них, следует учитывать его взаимосвязи с другими.

В-третьих, нанотехнологиям свойственна конвергенция (слияние) с другими технологиями, прежде всего, с биотехнологиями и информационными технологиями, что приводит к эффекту синергизма возможностей разных технологий, т. е. к появлению новых технологий, реализующихся, соответственно, на новых научных принципах [260]. Предполагается, что в результате конвергенции нанотехнологий мы в скором времени станем свидетелями появления множества принципиально новых процессов и изделий. Например, создание сенсоров нового поколения, способных быстро регистрировать ничтожно малые количества химических и биологических веществ в окружающей среде, сможет привести к кардинальному изменению многих областей науки и техники, производственных отраслей [260]. В этой связи следует ожидать, что распространение нанотехнологий в АПК сможет привести к появлению принципиально новых процессов агропромышленного производства и продуктов питания, о которых мы сегодня даже не можем предполагать.

Выбирая приоритетные направления нанотехнологического развития АПК важно не только оценить результаты, которые могут дать агропромышленные нанотехнологии, но и определить меры, которые следует принять для того, чтобы эти результаты были успешно достигнуты. Прежде всего, должна быть решена проблема финансового обеспечения планируемых научно-исследовательских, конструкторско-технологических и опытно-производственных работ. Кроме того, необходимо решить проблемы материально-технического, кадрового, инновационно-инфраструктурного и правового обеспечения этих работ, а также проблемы ответственности и контроля [14, 260].

Для проведения нанотехнологических исследований и разработок в сфере АПК необходимо иметь: сложное технологическое и контрольно-измерительное оборудование, которое нередко приходится специально конструировать и изготавливать в силу его уникальности; научных и инженерно-технических работников, владеющих знаниями в области как нанотехнологий, так и агропромышленных технологий, которых следует готовить в рамках специально сформированной образовательной системы; инновационную инфраструктуру, способствующую ускоренной коммерциализации результатов проведенных исследований и разработок.

Деятельность в области нанотехнологических исследований и разработок нуждается в юридическом обосновании. В частности, необходимо совершенствование нормативно-правовой базы в области применения агропромышленных нанотехнологий в части вопросов, касающихся охраны здоровья населения и окружающей среды, обеспечения продовольственной безопасности, как следствие, социально-экономической стабильности государства. Правовое регулирование этих вопросов является довольно сложным, поскольку до сих пор не накоплен в достаточной степени опыт оценки возможных социальных, экологических и экономических последствий широкого применения нанотехнологий.

Важность и разнообразие нанотехнологических исследований и разработок, возможность их революционного воздействия на экономику и общество требуют от государственных органов, учреждений и предприятий, занимающихся проблемами развития агропромышленных нанотехнологий, серьезного изучения всех потенциальных последствий их применения, как положительных, так и отрицательных, включая опасности и риски.

При организации нанотехнологических исследований и разработок необходимо обеспечить строгий всесторонний контроль их проведения, включая контроль расходования финансовых средств, рационального использования материально-технической базы, соблюдения технологической дисциплины и т. д. Повышенное внимание должно уделяться контролю обеспечения безопасности агропромышленных нанотехнологических производств и выпускаемой ими продукции для людей и окружающей среды.

4.2. Риски инвестирования в развитие нанотехнологий в АПК

Риски инвестирования в развитие нанотехнологий в агропромышленном производстве имеют сложную структуру, в которой можно выделить следующие три группы:

- типичные риски инвестирования технологических инноваций;
- специфические риски инвестирования инноваций в сфере нанотехнологий;
- специфические риски инвестирования инноваций в сфере агропромышленных технологий;
- синергетические риски инвестирования инноваций в сфере агропромышленных нанотехнологий.

Все технологические инновации несут в себе коммерческую неопределенность, опасность недополучения ожидаемых технологических результатов, т. е. им свойственны различные инвестиционные риски [261, 262].

Неопределенность и опасность возможного просчета с последующими убытками объясняются сложностью и динамичным характером инновационных процессов, бизнеса и окружающей бизнес-среды.

При реализации инноваций можно опереться лишь на немногие величины, полученные из опыта, поэтому точное прогнозирование затруднено как в отношении размеров подлежащих использованию ресурсов, особенно финансовых, так и в отношении трансформирования инноваций во времени и их признания на рынке. Эти ненадежные компоненты входят в риски планирования.

Из-за неопределенности возможностей практической реализации и рыночного успеха трудно делать надежные предсказания в отношении точной достижимости преследуемых целей. Эти ненадежные компоненты входят в риски результатов.

Разграничение типичных инновационных рисков на риски планирования и риски результатов затруднительно ввиду их взаимосвязи (так, ошибочное планирование может повысить риски получения успешного результата).

Среди рисков результата особое значение имеют рыночные и технические риски. Рыночные риски возникают из-за возможных

помех при выходе на рынок, трудностей сбыта или трудностей расширения рынка. При определении величины этих рисков решающую роль играет научно-технологический уровень инноваций. Технические риски связаны с трудностями реализации инноваций, обусловленными сложностью лежащих в их основе технологий, производственными проблемами инновационной фирмы, недостаточной государственной поддержкой инноваций и т. п.

Специфика рисков инвестирования инноваций в сфере нанотехнологий обусловлена недостаточной завершенностью нанотехнологических исследований и разработок, а также токсичностью наноматериалов.

Для процессов развития нанотехнологий характерна так называемая S-образная (сигмоидальная) кривая, которая описывает зависимость между вложениями ресурсов в нанотехнологии и соответствующей этим вложениям «отдачей» (т. е. повышением продуктивности, качества и т. п.) [260]. Практический смысл S-образной кривой состоит в следующем. Вложения ресурсов на начальном этапе развития нанотехнологий (когда уровень знаний о них невелик) приносят сравнительно небольшую выгоду. Далее, по мере роста знаний и накопления опыта эти вложения становятся все более эффективными. После некоторой критической точки развития нанотехнологий общий процесс роста эффекта от вложения ресурсов замедляется, а затем практически прекращается, что свидетельствует о достигнутой «зрелости» нанотехнологий. Нахождение источников финансирования затруднено на начальном участке S-образной кривой, когда инвесторы не уверены в потенциальной ценности проводимых исследований и разработок. На последующих этапах проблема инвестиций решается значительно легче.

Особая опасность применения нанотехнологий обусловлена токсичностью наноматериалов. Особенности проявления токсичных свойств наноматериалов, характер их влияния на людей, животных и окружающую среду исследованы недостаточно. Как следствие, отсутствуют надежные способы предотвращения этого влияния.

Специфика рисков инвестирования инноваций в сфере агропромышленных технологий обусловлена, прежде всего, особым характером сельскохозяйственного производства, которое подвержено погодным, биологическим и экологическим рискам [263, 264].

Погодные риски – это возможные убытки, связанные с изменением погоды, которая характеризуется такими метеорологическими элементами, как температура, влажность воздуха, сила и направление ветра, облачность, продолжительность солнечного сияния, атмосферные осадки, наличие туманов и других атмосферных явлений, способных оказывать негативное влияние на сельское хозяйство. Особенно большой урон могут наносить сельскому хозяйству пыльные бури, град, недостаточный снежный покров на полях, наводнения.

Биологические риски – это возможные убытки, связанные с биологической природой используемых в сельском хозяйстве производственных ресурсов и получаемой продукции. Этой природой предопределяются сроки и последовательность выполнения технологических операций, нарушение которых неизбежно ведет к росту потерь продукции. Причинами значительных потерь продукции также являются запоздалый или слишком ранний сев, затянувшаяся уборка урожая, плохие условия хранения продукции, болезни животных и вредители растений.

Экологические риски связаны с возможностью понести убытки в результате ухудшения состояния окружающей среды (усилением солнечной радиации, изменение климата, выбросами вредных веществ в атмосферу и воду и т. д.), следствием чего является возникновение разнообразных мутаций живых организмов, часто вредных для человека, уменьшение объема высококачественной сельскохозяйственной продукции. Как правило, снижение экологических рисков требует больших финансовых затрат.

Синергизм рисков инвестирования инноваций в сфере агропромышленных нанотехнологий проявляется в первую очередь в том, что для токсичных наноматериалов, входящих в состав продуктов питания и кормов, открывается прямой путь проникновения в организм людей и животных, что сопряжено с повышенной опасностью нанесения вреда их здоровью.

В заключение следует отметить, что в целом «проблема опасности внедрения любых новых технологий осложняется тем, что их реальные последствия выявляются лишь после завершения всего жизненного цикла производства, то есть после этапов научно-исследовательских и конструкторских работ, коммерциализации результатов и длительной эксплуатации продуктов, а также их об-

служивания, хранения и утилизации. Очень часто опасности и риски отдельных этапов проявляются со значительным запаздыванием, что снижает достоверность оценки» [260].

4.3. Экологические аспекты развития нанотехнологий в АПК

АПК является одной из важнейших отраслей экономики, которая определяет жизненный уровень населения, обеспечивает продовольственную безопасность государства. Вместе с тем агропромышленное производство характеризуется рядом факторов, оказывающих негативное влияние на людей и окружающую среду. В связи с этим по мере развития агропромышленного производства все более актуальными становятся проблемы его экологизации.

Решению этих в значительной мере может способствовать применение нанотехнологий. При этом, однако, следует учитывать, что среди наноматериалов, перспективных для использования в агропромышленной сфере, имеется немало таких, которые относятся к категории токсичных. Проникая в человеческий организм, они могут вызывать различные изменения на клеточном уровне в жизненно важных органах, что может быть опасным для здоровья людей. Следует отметить, что особенности проявления токсичных свойств многих наноматериалов до сих пор изучены недостаточно. Данные остоятельства на сегодняшний день являются одной из основных причин, сдерживающих широкое применение нанотехнологии в АПК [261].

4.3.1. Роль нанотехнологий в обеспечении экологической безопасности агропромышленного производства

Характерной особенностью агропромышленного производства является его развитие не только по экономическим законам, но и по биологическим, не зависящим от человека. Данная особенность относится в первую очередь к сельскому хозяйству, в котором, кроме основного средства производства – земли, используются такие средства производства, как живые организмы и растения. В связи с этим сельское хозяйство в значительной степени подвержено рискам биологического характера. Причем, биологическим рискам

подвержены не только получение урожая, здоровье и продуктивность сельскохозяйственных животных, но также здоровье, производительность и качество труда работников сельского хозяйства.

Одной из основных причин малой урожайности сельскохозяйственных культур является низкое плодородие почвы, обусловленное чрезмерным внесением минеральных удобрений и пестицидов. Для уменьшения химической нагрузки на почву применяются различные нанотехнологические подходы, обеспечивающие: повышение биоактивности минеральных удобрений и пестицидов за счет их перевода в нанодисперсное состояние; сокращение объема применяемых пестицидов путем их замены безъядными наночастицами металлов, проявляющими пестицидные эффекты; более рациональное использование минеральных удобрений и пестицидов благодаря их целенаправленной доставке к корням растений с помощью наночастиц (см. раздел 3.2).

Повышение урожайности может быть обеспечено применением наносенсоров для контроля параметров состояния растений и почвы непосредственно в полевых условиях, что расширяет возможности развития методов точного земледелия (см. раздел 3.2).

Эффективным агротехническим приемом, способствующим ускоренному прорастанию семян и, как следствие, более интенсивному росту растений, является предпосевное замачивание семян в наноструктурированной воде (см. раздел 3.2).

Состояние здоровья и продуктивность сельскохозяйственных животных определяются, во-первых, качеством кормов, для улучшения которого применяются нанодисперсные кормовые добавки, и, во-вторых, уровнем ветеринарного обслуживания, для повышения которого применяются: нанодисперсные формы традиционных ветеринарных препаратов; различные типы наночастиц, обладающих терапевтическим действием; наносредства доставки ветеринарных препаратов в организм животных, а также наносредства ветеринарного контроля и диагностики (см. раздел 3.3).

Для содержания животноводческих ферм в соответствии с санитарно-гигиеническими нормами помещения, территории и оборудование ферм подвергают дезинфекции с помощью специальных средств, содержащих бактерицидные и фотокаталитические наночастицы [265, 266]. Такой же дезинфекции подвергаются помещения, территории и оборудование птицефабрик и мясокомбинатов, а также транс-

портные средства, служащие для перевозки животных, кормов, сырья и продуктов животного происхождения; инвентарь и предметы ухода за животными и другие объекты, с которыми могут контактировать животные или производственный персонал и которые могут быть фактором передачи возбудителей болезней [267, 268].

Бактерицидные и фотокаталитические наночастицы способствуют уменьшению выделений аммиака, закиси азота и других газов, оказывающих вредное воздействие на животных и людей [266].

Поддержание на высоком уровне здоровья животных приводит к снижению риска заражения людей инфекционными заболеваниями от животных. К другим рискам, которым могут подвергаться люди, относятся аллергические реакции и отравления от контактов с биологическими веществами, используемыми в агропромышленном производстве. Для предотвращения таких контактов применяются средства индивидуальной защиты, в частности, специальная одежда, изготовленная из тканей, содержащих наночастицы, обладающие бактерицидными свойствами, а также способностью отталкивать жидкость, грязь, посторонние запахи [269, 270].

Особенно высокие риски для здоровья людей создают недоброкачественные продукты питания. Поэтому при разработке нанотехнологических подходов к получению и хранению пищевой продукции особое внимание уделяется вопросам ее безопасности. В частности, применяются нанодисперсные пищевые добавки, обладающие бактерицидными, сорбирующими и консервирующими свойствами, и нанокпозиционные упаковочные материалы, которые способны не только обеспечивать повышенную сохраняемость пищевых продуктов, но также своевременно предупреждать об ухудшении их качества. Кроме того, такие материалы могут подвергаться биodeградированию, благодаря чему их можно уничтожить после использования, не нанося вред окружающей среде (см. раздел 3.3).

В агропромышленном производстве большое значение имеет качество воды, которая не только употребляется животными, но также используется в производстве продуктов питания. Для очистки и обеззараживания питьевой и технологической воды применяются нанопористые фильтры, содержащие бактерицидные наночастицы [179, 271]. Такие же наночастицы используют в фильтрах для очистки и обеззараживания сточных вод. Другим перспективным средством очистки воды являются цеолитоподобные наноструктуры, играющие роль коагулянтов и фло-

кулянтов, с помощью которых происходит укрупнение тонкодисперсных примесей, после чего их можно эффективно удалять на обычных очистных сооружениях [272].

Для мониторинга окружающей среды разработаны различные виды наносенсоров, которые позволяют определять содержание загрязняющих веществ в атмосфере и в сточных водах [273].

4.3.2. Токсичность наноматериалов

Наноматериалы обладают необычными физико-химическими свойствами, благодаря чему они способны оказывать значительное биологическое (в том числе токсичное) действие на человека [274–277]. Особенно сильным токсичным действием могут обладать широко применяемые в пищевой промышленности различные виды наночастиц, а также нанопористые структуры с развитой системой открытых пор (типа цеолитов).

Наночастицы из-за малости своих размеров имеют повышенную растворимость, реакционную и каталитическую способность. Они могут связываться с нуклеиновыми кислотами (вызывая, например, образование аддуктов ДНК), что, в свою очередь, может быть использовано для целей метаболической и генной инженерии, но и несет в себе риски изменения экспрессии генов, мутагенного и канцерогенного эффектов.

Для наночастиц характерна высокая способность к аккумуляции. Они могут не распознаваться защитными системами организма, не подвергаются биотрансформации и не выводятся из организма. Это ведет к накоплению наночастиц в растительных и животных организмах, а также микроорганизмах, передаче их по пищевой цепи, способствуя их поступлению в организм человека.

Очень высокая удельная поверхность наноматериалов повышает их адсорбционную емкость, реакционную и каталитическую способность. Это может приводить, в частности, к увеличению продукции свободных радикалов и активных форм кислорода, способных вызывать повреждения биологических структур (липидов, белков, нуклеиновых кислот, в том числе, ДНК).

Благодаря высокоразвитой поверхности наноматериалы являются высокоэффективными адсорбентами, которые можно использовать для удаления вредных продуктов. Вместе с тем на них могут

адсорбироваться различные контаминанты химической или биологической природы, которые при этом будут приобретать возможность облегченного транспорта внутрь клетки, что резко увеличивает их токсичность. Многие наноматериалы обладают гидрофобными свойствами или являются электрически заряженными, что усиливает как процессы адсорбции на них различных контаминантов, так и их проникающую способность.

Наночастицы обладают высокой проникающей способностью в человеческий организм. Они могут беспрепятственно проходить сквозь мембраны биологических клеток. Основные возможные пути попадания наночастиц в организм – желудочно-кишечный тракт и кожа. В составе наноаэрозолей они могут проникать в дыхательные органы, осажаясь в носу и зеве, трахее и бронхиолах и, наконец, скапливаясь в легочных альвеолах.

На сегодняшний день нет надежных и убедительных данных по распределению наноматериалов по органам и тканям и отсутствуют достоверные данные по критическим органам [274]. Имеющиеся научные данные указывают на то, что наноматериалы могут быть токсичными, в то время как их эквиваленты в обычной форме в этой же концентрации являются безопасными. Согласно результатам лабораторных исследований токсичными свойствами в разной степени обладают наночастицы ряда металлов и их окислов, полимерных соединений, углеродные нанотрубки и фуллерены [278–281].

4.4. Особенности развития нанотехнологий в АПК разных стран

В мире, прежде всего в ведущих индустриальных странах с развитым аграрным сектором накоплен большой опыт в области применения агропромышленных технологий [260, 282]. Как правило, исследования и разработки в этой области проводятся при существенной государственной поддержке. Наряду с решением собственно нанотехнологических проблем большое внимание уделяется социальным аспектам развития нанотехнологий, в частности, анализу правовых и этических норм их применения; оценке токсичности наноматериалов и обеспечению их безопасного использования,

созданию «зеленых» нанопроизводств, обеспечивающих минимизацию вредных отходов; разработке образовательных программ в сфере агропромышленных нанотехнологий.

Лидирующие позиции в области применения нанотехнологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности занимают США, что обусловлено не только большими масштабами и темпами развития нанотехнологий, но и высоким уровнем инновационности аграрной индустрии [283]. Министерство сельского хозяйства США через входящую в его структуру Кооперативную службу исследований, образования и развития в сельском хозяйстве финансирует многочисленные исследовательские проекты в рамках Национальной нанотехнологической программы (National Research Initiative Nanotechnology Program), которые направлены на решение проблем сельскохозяйственного производства и переработки сельскохозяйственной продукции; качества и сохранности продуктов питания, в том числе создания упаковочных материалов для продуктов питания; охраны окружающей среды и т. д.

Значительное внимание уделяется разработке наносенсоров для контроля биоопасных факторов в сельском хозяйстве и пищевой промышленности, в частности, для обнаружения вирусов и пищевых токсинов. Так, в Университете Беркли разрабатываются наномикроэлектромеханические системы для определения патогенных микроорганизмов во всей «пищевой цепочке» [284]. Такие системы также могут использоваться при определении болезней зерна на ранних стадиях процессов метаболизма и респирации. Известные события, связанные с заболеванием крупного рогатого скота (так называемое коровье бешенство), привели к коллапсу мирового рынка мясопродуктов – в конце 1990-х годов на 40 % сократилась продажа говядины на внутренних рынках, прекратился ее экспорт. Для предотвращения подобной ситуации в Мичиганском университете разрабатываются бионаносенсоры, размещаемые в слюнной железе коров, которые определяют признаки появления соответствующего вируса задолго до начала его размножения и возникновения симптомов заболевания [384]. В последние годы в США получили широкое развитие технологии точного земледелия на основе использования автономных наносенсоров, связанных с GPS [285]. В Университете Ратджерса разработаны наносенсоры с повышенной чувствительностью к газам, выделяемым испорченными про-

дуктами питания. Такие наносенсоры, внедренные в упаковочный материал, за счет изменения своего цвета сигнализируют о том, насколько свежими являются упакованные продукты [285].

В Канаде координацией и финансовой поддержкой нанотехнологических исследований для агропромышленного производства занимается государственная организация Advanced Foods and Materials Network, которая уделяет повышенное внимание разработке и применению пищевых нанотехнологий, обеспечивающих получение и сохранность безопасных продуктов питания, а также контролируемое извлечение содержащихся в них функциональных ингредиентов; созданию коммерчески перспективных наноструктурных биоматериалов, биопленок, гидрогелей и т. д.

В Японии финансирование исследований в сфере агропромышленных нанотехнологий осуществляется Министерством сельского, лесного и рыбного хозяйства, которое с 2002 г. руководило организацией выполнения пятилетнего проекта по развитию нанотехнологий и наноматериалов для инновационных биологических применений («Development of Nanotechnology and Materials for Innovative Utilizations of Biological Functions»). В рамках этого проекта проводились исследования по таким направлениям, как: наноструктурные тканевые культуры, монодисперсные наночастицы и их применение для доставки лекарств, биореакторы, нанорамзерный анализ и модификация биомолекул, пищевых продуктов и биоматериалов и т. д.

Характерным примером развития агропромышленных нанотехнологий в Западной Европе является опыт Нидерландов – страны с высокоразвитой агроиндустрией. Голландские нанотехнологи проводят исследования по широкому кругу проблем в области сельского хозяйства и пищевой промышленности, включая такие, как: улучшение питательной ценности и усвоения продуктов питания за счет корректировки их пищевых характеристик на наноуровне, использования наносредств доставки питательных веществ; мониторинг процессов пищевого производства и контроль качества продуктов питания с помощью нанодатчиков с повышенной чувствительностью и селективностью; совершенствование упаковочных материалов; оценка и предотвращение рисков для потребителей пищевой продукции и т. д.

Например, в Университете Вагенинген основан научный центр, который фокусирует свои исследования на применении нанотехнологий в агроиндустрии, в частности, в нем разрабатываются системы контроля качества и сохранности продуктов питания, технологии инкапсулированной доставки питательных веществ, наноприборы для процессов физической и биохимической переработки, а также изучаются проблемы нанотоксикологии [285].

Уровень финансирования исследований в сфере агропромышленных нанотехнологий в развивающихся странах ниже по сравнению с высокоразвитыми странами, однако это не уменьшает влияние ряда этих стран (Китай, Индия, Южная Корея, Таиланд, Иран и др.) на глобальное положение дел в данной сфере [285]. Так, Иран имеет специальную программу по развитию нанотехнологий в агроиндустрии. Министерство сельского хозяйства Ирана поддерживает консорциум из 35 лабораторий, которые занимаются исследованиями в области агропромышленных нанотехнологий. Иранские нанотехнологи разработали сильнодействующие бактерицидные вещества, которые широко применяются в пищевой промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Многофункциональность сельского хозяйства и устойчивое развитие сельских территорий. – Москва : ВИАПИ им. А. А. Никонова, 2007. – 655 с.

2. Третьякова, Л. А. Стратегическая роль и многофункциональность сельского хозяйства в свете реализации приоритетного проекта «Развитие АПК» / Л.А. Третьякова // Нац. интересы: приоритеты и безопасность. – 2009. – № 5. – С. 20-27.

3. Калугина, И. Новая парадигма сельского развития / И. Калугина, О. П. Фадеева // Мир России. – 2009. – № 2. – С. 34-49.

4. Шимов, В. Н. Устойчивое развитие: императивы, механизмы достижения / В. Н. Шимов, А.В. Богданович, С. П. Ткачев // Белорус. эконом. журн. – 2002. – № 1. – С. 4-12.

5. Свириденко, А. И. Научно-инновационные аспекты устойчивого развития в условиях глобализации / А. И. Свириденко, С. А. Маскевич // Белорус. эконом. журн. – 2003. – № 1. – С. 4-17.

6. Васильева, Н. К. Факторы обострения проблемы устойчивости развития сельского хозяйства / Н. К. Васильева // Сб. науч. тр. СевКавГТУ. Сер. «Экономика». – 2005. – № 1.

7. Научно-технический прогресс. Словарь / сост. В. Г. Горохов, В. Ф. Халипов. – Москва : Политиздат, 1987. – 336 с.

8. Нехорошева, Л. Н. Научно-технологическое развитие и рынок / Л. Н. Нехорошева. – Минск : БГЭУ, 1996. – 212 с.

9. Анищик, В. М. Инновационная деятельность: словарь-справочник / В. М. Анищик, А. В. Русецкий, Н. К. Толочко; под ред. Н. К. Толочко. – Минск : Изд. центр БГУ, 2006. – 176 с.

10. Анищик, В. М. Инновационная деятельность и научно-технологическое развитие: учеб. пособие / В. М. Анищик, А. В. Русецкий, Н. К. Толочко; под ред. Н. К. Толочко. – Минск : Изд. центр БГУ, 2005. – 151 с.

11. Научно-техническое развитие агропромышленного комплекса России (состояние и перспективы). Коллективная монография. – Москва : «Экономика и информатика», 2001. – 392 с.

12. Вертий, М. А. Методические подходы к оценке эффективности влияния научно-технического прогресса на уровень использования основных факторов аграрного производства / М. А. Вертий // Теория и практика общественного развития. – 2010. – № 1.

13. Оглоблин, Е. Освоение инноваций и эффективность сельхозпроизводства / Е. Оглоблин // Экономика сельского хозяйства России. – 2007. – № 11 – С. 24-26.

14. Анищик, В. М. Инновационная деятельность: учеб. пособие / В. М. Анищик, А. В. Русецкий, Н. К. Толочко; под ред. Н. К. Толочко. – Минск : Изд. центр БГУ, 2006. – 175 с.

15. Ильина, З. М. Продовольственная безопасность: теория, методология, практика / З. М. Ильина. – Минск : ГНУ «Ин-т экономики НАН Беларуси», 2007. – 230 с.

16. Борисов, М. Г. Эволюция продовольственной проблемы на Востоке / М. Г. Борисов. – М. : Институт востоковедения РАН, 1999. – 321 с.

17. Гусаков, В. Г. Состояние, задачи, принципы и стратегия развития инновационной деятельности в АПК / В. Г. Гусаков // Научно-инновационная деятельность в АПК: проблемы эффективности и управления: сб. статей междунар. науч.-практич. конф., Минск, 16–18 февраля 2006 г.: в 2 ч. / Белорусский государственный аграрный технический университет; редкол.: Г. И. Гануш [и др.]. – Минск, 2005. – Ч. 1. – С. 12-24.

18. Демина, Н. Ф. Инновации и инвестиционная деятельность в АПК / Н. Ф. Демина, С. А. Булыгина. – Красноярск: Красноярский гос. аграр. ун-т, 2009. – 400 с.

19. Инновационная деятельность в аграрном секторе экономики России / под ред. И. Г. Ушачева, И. Т. Трубилина, Е. С. Оглоблина, И. С. Санду. – М. : КолосС, 2007. – 636 с.

20. Клочков, А. В. Механизация сельского хозяйства в XX веке и современные приоритеты / А. В. Клочков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – № 2.

21. Якушев, В. П. Точное земледелие. Концептуальные положения / В. П. Якушев, Р. А. Полуэктов // Сб. матер. науч. сессии Россельхозакадемии. – Москва, 2004. – С. 115-123.

22. Адамчук, В. В. Точное земледелие: существо и технические проблемы / В. В. Адамчук, В. К. Мойсеенко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – № 8. – С. 4-6.

23. Толочко, Н. К. Основы технологии сельскохозяйственного машиностроения: конспект лекций / Н. К. Толочко, Л. Е. Сергеев; под ред. Н. К. Толочко. – Минск : БГАТУ, 2010. – 310 с.

24. Ягодин, Б. А. Агрохимия: учебник для вузов / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко; под ред. проф. Ягодина Б. А. – Москва : Мир Колос, 2004. – 584 с.

25. Рубанов, И. Н. Типы устойчивого развития и химизация сельского хозяйства в зарубежных странах : Дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.24 / И. Н. Рубанов; РГБ ОД, 61:04-11/174 – М., 2004. – 164 с.

26. Шевелуха, В. С. Сельскохозяйственная биотехнология: учебник / В. С. Шевелуха [и др.]; под ред. В. С. Шевелухи. – Москва : Высш. школа, 2003. – 469 с.

27. Чиркин, А. А. Введение в биотехнологию: учеб.-метод. комплекс для студентов биолог. ф-та / А.А. Чиркин. – Витебск : Изд-во УО «ВГУ им. П. М. Машерова», 2004. – 143 с.

28. Коробкин, В. И. Экология : учебник для вузов / В. И. Коробкин, Л. В. Передельский. – М. : Феникс, 2010. – 602.

29. Бобович, Б. Б. Переработка промышленных отходов : учебник для вузов / Б. Б. Бобович. – М.: СП «Интермет Инжиниринг», 1999. – 445 с.

30. Спириин, А. С. Современная биология и биологическая безопасность / А. С. Спириин // Вестник РАН. – 1997. – Т. 67. – № 7. – С. 579-588.

31. Наноматериалы и нанотехнологии / В.М. Анищик [и др.]; под ред. В. Е. Борисенко и Н. К. Толочко. – Минск : Изд. центр БГУ, 2008. – 375 с.

32. Di Bartolomeo, A. Multiwalled carbon nanotube films as small-sized temperature sensors / A. Di Bartolomeo [et al.] // J. Appl. Phys. – 2009. – Iss. 6. – P. 064518-064518-6.

33. Varghese, O.K. Highly ordered nanoporous alumina films: Effect of pore size and uniformity on sensing performance / O.K. Varghese [et al.] // J. Mater. Res. – 2002. – Vol. 17. – No 5. – P. 1162-1071.

34. Dickey, E.C. Room Temperature ammonia and humidity sensing using highly ordered nanoporous alumina films / E.C. Dickey [et al.] // Sensors. – 2002. – No 2. – P. 1-21.

35. Грибачев, В. Наносенсоры / В. Грибачев // Компоненты и технологии. – 2009. – № 4. – С. 21-24.

36. Handbook of Nanotechnology. Bharat Bhushan (Ed.). 2nd edition. – Springer Science+Business Media, Inc. Le-TeX GbR, Leipzig, 2007. – 1916 pp.

37. Пул – мл., Ч. Нанотехнологии: пер. с англ. / Ч. Пул – мл., Ф. Оуэнс. – Москва : Техносфера, 2006. – 336 с.

38. Харрис, П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века: пер. с англ. / П. Харрис; под ред. Л. А. Чернозатонского. – Москва : Техносфера, 2003. – 336 с.

39. Roy, S. Nanostructure-base electrical biosensors / S. Roy, Z. Gao // Nano Today. – 2009. – No 4. – P.318-334.

40. Kvennefors, A. The technology and applications of bionanosensors / A. Kvennefors, F. Persson // [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа: <http://nanobio.ffflth.se/~biokurs/projects/projects2004/7CNanoBioSensor.pdf>. – Дата доступа: 11.01.2010.

41. Sepulveda, B. LSPR-based nanobiosensors / B. Sepulveda [et al.] // Nano Today. – 2009. – No 4. – P. 244-251.

42. Tripp, R. A. Novel nanostructures for SERS biosensing / R. A. Tripp [et al.] // Nano Today. – 2008. – No 3-4. – P. 31-37.

43. Карякин, А. А. Биосенсоры и биомолекулярная электроника / А. А. Карякин / В кн.: Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам // Сб. статей под ред. П. П. Мальцева. – Москва : Техносфера, 2005. – С. 471-477.

44. Ansari, A. A. Prospects of nanotechnology in clinical immunodiagnosics / A. A. Ansari [et al.] // Sensors. – 2010. – No 10. – P. 6536-6581.

45. Ozkan, C. S. Cell Based Sensing Technologies / C. S. Ozkan [et al.] // BioMEMS and Biomedical Nanotechnology. – Springer US, 2007. – P. 55-92.

46. Треглазов, И. В. Сенсоры / И. В. Треглазов [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа: <http://nanobio.ffflth.se/~biokurs/projects/projects2004/7CNanoBioSensor.pdf>. – Дата доступа: 11.01.2010.

47. Вальков, В. Ф., Экология почв: учеб. пособие для студ. вузов. 3 ч. Загрязнение почв / В. Ф. Вальков, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников. – Ростов-н-Д. : УПЛ РГУ, 2004. – 54 с.

48. Рунов, Б. А. Новейшие технологии (точное земледелие) – основа развития выгодного сельского хозяйства / Б. А. Рунов, Н. В. Пильникова // Экономика сельск. х-ва России. – 2010. – № 2. – С. 25-34.

49. Андреева, И. И., Ботаника: учебник для вузов / И. И. Андреева, Л. С. Родман. – М. : «КолосС», 2002. – 488 с.

50. Кузнецов, В. В. Физиология растений : учебник / В. В. Кузнецов, Г. А. Дмитриева. – Москва : Высш. школа, 2006. – 742 с.

51. Николаева, М. Г. Справочник по проращиванию покоящихся семян / М. Г. Николаева, М. В. Разумова, В. Н. Гладкова; отв. ред. М. Ф. Данилова. – Л. : Наука : Ленингр. отд-ние, 1985. – 348 с.

52. Основы технологии сельскохозяйственного производства. Земледелие и растениеводство : учеб. пособ.; под. ред. В. С. Никляева. – Москва : Былина, 2000. – 555 с.

53. Rozhanskaja, O. A. Nanocomposites as growth stimulants of plants in vitro and in agro / O.A. Rozhanskaja [et al] // Сб. тез. Междунар. форум по нанотехнологиям «Rusnanotech'08», Москва, 3-5 дек. 2008 г.

54. Дарханова, В. Г. Применение нанобиокмполитов для стимуляции роста растений in vitro / В. Г. Дарханова [и др.] / Сб. тез. Междунар. форум по нанотехнологиям «Rusnanotech'09», Москва, 6-8 дек. 2009 г.

55. Нанотехнологии придут на поля Мордовии [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://sgmlab.ru/nanotechnology-in-agriculture>. – Дата доступа: 7.09.2010.

56. Нестерова, Л. М. Новые технологии препаративной формы пестицидов / Л. М. Нестерова, Л. С. Елиневская, Л. А. Березина // Агрохимия. – 2009. – № 1. – С. 33-37.

57. Федоренко, В. Ф. Научные разработки по нанотехнологиям в интересах агропромышленного комплекса / В. Ф. Федоренко // Нанотехника. – 2008. – № 4. – С. 59-61.

58. Khodakovskaya, M. Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth / M. Khodakovskaya [et al] // ACS Nano. – 2009. – No.3. – P. 3221-3227.

59. Доронин, В. А. Предпосевная обработка семян / В. А. Доронин // Сахарная свекла. – 2007. – № 2. – С. 9-11.

60. Райкова, А. П. Исследование влияния ультрадисперсных порошков металлов, полученных различными способами, на рост и развитие растений / А. П. Райкова, Л. А. Паничкин, Н. Н. Райкова / Матер. Междунар. науч.-практ. конф. «Нанотехнологии и информационные технологии – технологии XXI века», Москва, 2006. – С. 108-111.

61. Потапова, Л. В. Практические рекомендации по использованию порошка ультрадисперсного железа при возделывании масличных крестоцветных культур / Л. В. Потапова, Д. В. Виноградов. – Рязань : РГАТУ, 2008. – 8 с.

62. Райкова А. П. Нанопорошки металлов – для экологически безопасного сельского хозяйства / А. П. Райкова, Н. Н. Райкова / Сб. тез. Междунар. форум по нанотехнологиям «Rusnanotech'08», Москва, 3-5 дек. 2008 г.

63. Паничкин, Л. А. Использование нанопорошков металлов для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур / Л. А. Паничкин, А. П. Райкова // Изв. Тимирязевской сельскохозяйств. академии. – 2009. – № 1. – С. 59-65.

64. Виноградов, Д. В. Использование нанокристаллического металла железа для предпосевной обработки семян рапса / Д. В. Виноградов, П. Н. Алабко // Сетевой научно-метод. электрон. журн. Москов. гос. агроинж. ун-та [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://agromagazine.msau.ru/index.php/currentissue/sciense-and-technology/plants/366-vinogradov.html>. – Дата доступа: 6.09.2010.

65. Чурилов, Г. И. Влияние нанопорошков железа, меди, кобальта в системе почва – растение / Г. И. Чурилов // Вестник Оренбург. гос. ун-та. – 2009. – № 12. – С. 1-4.

66. Егоров, Н. П. Разработка и проведение экспериментальной оценки эффективности применения в растениеводстве новых видов удобрений, полученных с использованием нанотехнологий / Н. П. Егоров [и др.] // Вестник Нижегород. ун-та им. Н. И. Лобачевского. – 2008. – № 6. – С. 94-99.

67. Полякова О. П. Предпосадочная обработка клубней картофеля нанокристаллическими микроэлементами / О. П. Полякова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2000. – № 8. – С. 18-20.

68. Федоренко, В. Ф. Направления использования нанотехнологий и наноматериалов в АПК и задачи информационного обеспечения их развития / В. Ф. Федоренко, Д. С. Буклагин, И. Г. Голубев / Тр. III науч.-практ. конф. «Нанотехнологии – производству`2006», Фрязино, Москов. обл., 29-30 нояб. 2006 г. – Москва : Янус-К, 2007. – С. 409-413.

69. Способ предпосадочной подготовки семян. Пат. РФ 2056084 / Г. Э. Фолманис. – 1996.

70. Арсентьева, И. Ультрадисперсные порошки металлов / И. Арсентьева [и др.] // Национальная металлургия. – 2002. – № 4. – С. 66-71.

71. Коваленко, Л. В. Активация прорастания семян ультрадисперсными порошками железа / Л. В. Коваленко, Г. Э. Фолманис // Достижения науки и техники АПК. – 2001. – № 9. – С. 7-8.

72. Коваленко, Л. В. Высокоэффективные биопрепараты нового поколения / Л. В. Коваленко, Г.Э. Фолманис // Сахарная свекла. – 2000. – № 4-5. – С. 20.

73. Селиванов, В. Н. Пролонгированное воздействие ультрадисперсных порошков металлов на семена злаковых культур / В. Н. Селиванов [и др.] // Перспективные материалы. – 2001. – № 4. – С. 66-69.

74. Водовозова, Е. Л. Взаимодействие липосом, несущих углеводные детерминанты, с клетками меланомы / Е. Л. Водовозова [и др.] // Биологические мембраны. – 2004. – Т. 21. – № 1. – С. 53-64.

75. Arefeva, O. A. Computer Simulation and Experimental Study of the Polysaccharide Interaction in the Bacteria *Azospirillum brasilense* Sp245 / O. A. Arefeva [et al.] // Proceedings of SPIE, USA, Washington, 2003. – V.5067. – P. 288-294.

76. Арефьева, О. А. Липосомы в изучении механизма агрегации бактерий и их адсорбции на корнях растений / О. А. Арефьева [и др.] // Биологические мембраны. – 2006. – Т. 23. – № 3. – С. 195-202.

77. Арефьева, О. А. Экологосберегающие технологии на основе наносистем в агротехнической практике / О. А. Арефьева [и др.] / Эколого-правовые и экономические аспекты техногенной безопасности регионов: Матер. II Междунар. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых, Украина, Харьков, 9-11 окт. 2007 г. – Харьков, 2007. – С. 39-41.

78. Арефьева, О. А. Разработка систем для доставки химических веществ для применения в агротехнической практике / О. А. Арефьева [и др.] / Экологические проблемы промышленных городов. Сб. науч. тр.; под ред. проф. Т. И. Губиной. – Саратов : Саратовский гос. техн. ун-т, 2007. – С. 8-11.

79. Рогачева, С. М. Нанотехнологии в сельском хозяйстве: целевая доставка химических веществ к корням растений / С. М. Рогачева // Проблемы региональной экологии. – 2008. – № 1. – С. 118-121.

80. Федоренко, Ю. П. Участие липополисахаридов азоспирилл во взаимодействии с поверхностью корней пшеницы / Ю. П. Федоренко // Микробиология. – 2001. – Т. 70. – № 3. – С. 384-390.

81. Kalpana, S. R. Nanotechnology patents as R&D indicators for disease management strategies in agriculture / S.R. Kalpana [et al.] / J. Intellect. Prop. Rights. – 2010. – Vol. 15. – P. 197-205.

82. Трапезников, В. К. Локальное питание растений / В. К. Трапезников, И. И. Иванов, Н. Г. Тальвинская. – Уфа : Гилем, 1999. – 260 с.

83. Патыко, Д. Чего хочет огурец, знает биосенсор / Д. Патыко // Республика. – 2009. – 2 кастр. – С. 7.

84. Varghese, O. K. Highly ordered nanoporous alumina films: Effect of pore size and uniformity on sensing performance / O. K. Varghese [et al.] // J. Mater. Res. – 2002. – Vol. 17. – No 5. – P. 1162-1071.

85. Dickey, E. C. Room Temperature ammonia and humidity sensing using highly ordered nanoporous alumina films / E. C. Dickey [et al.] // Sensors. – 2002. – No 2. – P. 1-21.

86. Handbook of Nanotechnology / Bharat Bhushan (Ed.). 2nd edition. – Leipzig: Springer Science+Business Media, Inc. Le-TeX GbR., 2007. – 1916 pp.

87. Baruah, S. The Age of Nanotechnology / S. Baruah, S. L. Ranamukhaarachchi, J. Dutta; ed. Nirmala Rao Khadpekar / The ICFAI University Press, Hyderabad, India, 2009.

88. Zhang, T. RNA Viral Community in human feces: prevalence of plant pathogenic viruses / T. Zhang [et al.] // PloS Biology. – 2006. – Vol. 4. – Iss. 1.

89. Precision agriculture – nanotech methods used, such as «smart dust», «smart fields» and nanosensors [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.azonano.com/Details.asp?ArticleID=1318>. – Дата доступа: 20.09.2010.

90. Зелепухин, И. Стимуляция продуктивности растений биологически активной водой / И. Зелепухин, В. Зелепухин. – Алма-Ата : Экспресс-информация, КазНИИТИ, 1975. – 50 с.

91. Зелепухин, И. Ключ к «живой» воде / И. Зелепухин, В. Зелепухин. – Алма-Ата : Кайнар, 1980. – 110 с.

92. Способ возделывания раннего картофеля. Пат. РФ RU2120716 / Р.Б. Албегов [и др.]. – 1996.

93. Сидоров, А. Семена и посев – основа урожая / А. Сидоров // Краевая газета Приморья «Арсеньевские вести». – 2009. – 22 апр. – С. 3.

94. Дача и усадьба // Обществ.-полит. газета Приморского края «Утро России». – 2009. – 5 февр. – С. 4.

95. Шафранский, В. Рассада огурцов: растим без ошибок / В. Шафранский // Садовод. – 2010. – № 14. – С. 4.

96. Угарова, Т. Ю. Как вырастить здоровую рассаду / Т. Ю. Угарова // Настоящий хозяин. – 2008. – № 2. – С. 6.

97. Кормление сельскохозяйственных животных : учеб. пособие / В. К. Пестис [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2009. – 540 с.

98. Хохрин, С. Н. Корма и кормление животных / С. Н. Хохрин. – СПб : Лань, 2002. – 512 с.

99. Мишанин, М. Ю., Практическая ветеринария : учеб. пособие / М. Ю. Мишанин, Ю. Ф. Мишанин. – Москва : ИЦмарТ, 2002. – 384 с.

100. Коробов, А. В. Практикум по основам ветеринарии : учебник для вузов / А. В. Коробов, В. Т. Кумкова, Ф. И. Василевич; под ред. А. В. Коробова, В. Т. Кумкова. – Москва : КолосС, 2004. – 200 с.

101. Robert, A. What is nanomedicine? / A. Robert, Jr. Freitas // Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine. – 2005. – No1. – P. 2-9.

102. Sahoo, S. K. The present and future of nanotechnology in human health care / S. K. Sahoo, S. Parveen, J. J. Panda // Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine. – 2007. – No.3. – P. 20- 31.

103. Нанотехнологии в биологии и медицине. Коллективная монография; под ред. Е. В. Шляхто. – СПб : Санкт-Петербург, 2009 г. – 320 с.

104. Thornton, Ph.K. Livestock production: recent trends, future prospects / Ph.K. Thornton // Phil. Trans. R. Soc. B 27. – 2010. – Vol. 365. – No 1554. – P. 2853-2867.

105. Нанотехнологии, экология и сельское хозяйство [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.slavlibrary.ru/forum/22-330-1>. – Дата доступа: 5.10.2010.

106. Нанотехнологии и наноматериалы в животноводстве и фермерском хозяйстве [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://nanosvit.com/index/0-14>. – Дата доступа: 5.10.2010.

107. Организация производства кормовых премиксов в виде нанопорошков монтмориллонита с повышенным содержанием микроэлементов и физиологически активных веществ [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.kng.ru/nd/files/publ002.doc>. – Дата доступа: 5.10.2010.

108. Мачихина, Л. И. Серебряные нанобиоконпозиты в кормовых добавках для сельскохозяйственных животных и птицы / Л. И. Мачихина [и др.] // Сб. тез. Междунар. форум по нанотехнологиям «Rusnanotech'08», Москва, 3-5 дек. 2008 г.

109. Конкурс русских инноваций. Фундаментальные исследования по сверхтонкой и высокоэффективной переработке сельскохозяйственной продукции и отходов агропромышленного комплекса

[Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.inno.ru>. – Дата доступа: 5.10.2010.

110. Петрович, С. В. Микотоксикозы животных / С. В. Петрович // Москва : Росагропромиздат, 1991. – 238 с.

111. Лимаренко, А. А. Кормовые отравления сельскохозяйственных животных : учеб. пособие / А. А. Лимаренко, Г. М. Бажов, А. И. Баранников // СПб. : Лань, 2007. – 384 с.

112. Микотоксины в кормах / Feedstuffs (Корма) от 10 июля 2002 г. Л. У. Витлоу, У. М. Хеглер Мл. [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: http://hms.alltech.com/russia/micosorb_feeds.htm. – Дата доступа: 5.10.2010.

113. Наноглина против микотоксинов [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://agrovision.ru>. – Дата доступа: 5.10.2010.

114. Нанотехнологии в животноводстве [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.nanonewsnet.ru>. – Дата доступа: 5.10.2010.

115. Шабанова, Н. А. Основы золь-гель технологии нанодисперсного кремнезема / Н. А. Шабанова, П. Д. Саркисов // Москва : ИКЦ Академкнига, 2004. – 208 с.

116. Бондарь, В. С. Наноалмазы с оригинальными свойствами: применение в биологии и медицине / В. С. Бондарь [и др.]; Ин-т биофизики СО РАН / Национальный исследовательский ядерный ун-т «МИФИ» [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: http://www.edu-cons.net/atlas_last/doc/141/ТезисыБондарь.pdf. – Дата доступа: 5.10.2010.

117. Бондарь, В. С. Каталитическая активность наноалмазных частиц в органических реакциях / В.С. Бондарь [и др.] // Доклады РАН. – 2008. – Т. 418. – С.267-269.

118. Полунина, О. А. Лечебно-профилактические хлебобулочные изделия с антимикробными минеральными сорбентами / О. А. Полунина [и др.] // Современное хлебопекарное производство, перспективы его развития / Сб. науч. тр. в 8-ой Межрегион. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 20 февраля 2007 г. – С.15-19.

119. Shekunov B.Yu. Crystallization processes in pharmaceutical technology and drug delivery design / B. Yu. Shekunov, P. York // J. Cryst. Growth. – 2000. – Vol. 211. – P. 122-48.

120. Толочко, Н. К. Получение наносuspензий методом ультразвукового диспергирования / Н. К. Толочко [и др.] / Наноструктурные материалы-2004: Беларусь – Россия: Матер. III Междунар. семинара. Минск : ИТМО им. В. А. Лыкова НАН Беларуси, 2004. – С. 240-241.

121. Толочко Н. К. Лекарственные наносuspензии / Н. К. Толочко, С. Е. Мозжаров / XI Нац. конф. по росту кристаллов. Тез. докл., Москва, 13-17 декабря 2004 г. – С. 470.

122. Koo, O. M. Role of nanotechnology in targeted drug delivery and imaging: a concise review / O. M. Koo, I. Rubinstein, H. Onyuksel / Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine. – 2005. – No 1. – P. 193-212.

123. Wong, J. Suspensions for intravenous (IV) injection: a review of development, preclinical and clinical aspects / J. Wong [et al.] // Adv. Drug Delivery Rev. – 2008. – Vol. 60. – P. 939-954.

124. Гельфман М. И. Коллоидная химия / М. И. Гельфман, О. В. Ковалевич, В. П. Юстратов. – СПб. : Изд-во «Лань», 2003. – 336 с.

125. Зимон, А. Д. Коллоидная химия: учебник для вузов / А. Д. Зимон. – Москва : Агар, 2003. – 320 с.

126. Богословская, О. А. Изучение безопасности введения наночастиц меди с различными физико-химическими характеристиками в организм животных / О. А. Богословская [и др.] // Вестник Оренбург. гос. ун-та. – 2009. – № 2. – С. 124-127.

127. Мизина, Г. П. Введение лекарственных веществ через кожу – достижения и перспективы (обзор) / Г. П. Мизина [и др.] // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2004. – № 4. – С. 176-183.

128. Transdermal delivery of pharmaceutical agents. Int. Appl. No.: PCT/AU2006/001999. Pub. No.: WO/2007/070983 / G.J. Russell-Jones, V.R. Luke, S.R. Himes.

129. Mills, P.C. Transdermal drug delivery: basic principles for the veterinarian / P.C. Mills, S.E. Cross // Vet. J. – 2006. – Vol. 172 – No 2. – P. 218-233.

130. Ивашура, А. И. Система мероприятий по борьбе с маститами коров / А. И. Ивашура – Москва : Росагропромиздат, 1991. – 240 с.

131. Шкиль, Н. А. Новый противомаститный препарат перкутан / Н. А. Шкиль, Ю. Г. Попов [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.rosvetfarm.ru/publ/vet1.html>. – Дата доступа: 29.09.2010.

132. Препарат для лечения диареи новорожденных поросят и способ лечения диареи новорожденных поросят. Патент 2075971 РФ; опубл. 27.03.1997 / Ю. Я. Дольников, Т. Ю. Дольникова.

133. Онишук, А. А. Эффект наночастиц индометацина при осажении в легких / А. А. Онишук [и др.] // Доклады Академии Наук (РФ). – 2009. – Т. 425. – № 4. – С. 692-695.

134. Арсентьева, И. Л. Материаловедческая аттестация наночастиц металлов / И. Л. Арсентьева, Е. С. Зотова, А. А. Арсентьев [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: http://www.sibupk.su/stat/confer_nir/2007/30.pdf. – Дата доступа: 29.09.2010.

135. Арсентьева, И. Л. Аттестация и применение наночастиц металлов в качестве биологически активных препаратов / И. Л. Арсентьева [и др.] // Нанотехника. Спец. вып. Нанотехнологии – медицине. – 2007. – № 2 (10). – С. 72-77.

136. Арсентьева, И. П. Закономерности строения и биологической активности нанокристаллических порошков железа / И. Л. Арсентьева [и др.] // Перспективные материалы. – 2004. – № 4. – С. 64-67.

137. Schinazi, R. F. Synthesis and virucidal activity of a water – soluble, configurationally stable, derivatized C60 fullerene / R. F. Schinazi [et al.] // Antimicrob. Agents Chemother. – 1993. – Vol. 37(8). – P. 1707-1710.

138. Bosi, S. Antimycobacterial activity of ionic fullerene derivatives / S. Bosi [et al.] // Bioorg. Med. Chem. Lett. – 2000. – Vol. 10(10). – P. 1043-1045.

139. Mroz, P. Functionalized fullerenes mediate photodynamic killing of cancer cells: Type I versus Type II photochemical mechanism / P. Mroz [et al.] // Free Radic. Biol. Med. – 2007. – Vol. 43(5). – P. 711-719.

140. Тимошенко, В. Ю. Кремний и его применения в нанотехнологиях / В. Ю. Тимошенко / МГУ им. М. В. Ломоносова. Физ. ф-т. Науч.-образоват. центр по нанотехнологиям [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://nano.msu.ru/files/conferences/school-2010-04/TimoshenkoVYu.pdf>. – Дата доступа: 1.10.2010.

141. Лощенов, В. Б. Применение нанофотосенсибилизаторов в медицинской диагностике и лечении / В. Б. Лощенов [и др.] [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: http://rusnano-tech08.rusnanoforum.ru/sadm_files/disk/Docs/1/10/8.pdf. – Дата доступа: 1.10.2010.

142. Васильченко, С. Ю. Применение нанофотосенсибилизаторов на основе фталоцианина алюминия для модуляции ангиогенеза / С. Ю. Васильченко [и др.] // Российский биотерапевт ж. – 2009. – Т. 8. – № 1. – С. 19.

143. Chatterjee, D. K. Nanoparticles in photodynamic therapy: an emerging paradigm / D.K. Chatterjee, L. Sh. Fong, Y. Zhang // *Adv. Drug Delivery Rev.* – 2008. – Vol. 60. – P. 1627-1637.

144. Arruebo, M. Magnetic nanoparticles for drug delivery / M. Arruebo [et al.] // *Nanotoday.* – 2007. – Vol. 2. – No 3. – P. 22-31.

145. Liua, T.-Y. Biomedical nanoparticle carriers with combined thermal and magnetic responses / T.-Y. Liua [et al.] // *Nano Today.* – 2009. – No 4. – P. 52-65.

146. Lee, S. B. Self-assembly of biocidal nanotubes from a single-chain diacetylene amine salt / S.B. Lee [et al.] // *J. Am. Chem. Soc.* – 2004. – Vol. 26(41). – P. 13400-13405.

147. Kim, J. S. Antimicrobial effects of silver nanoparticles / J. S. Kim [et al.] // *Nanomedicine.* – 2007. – Vol. 3(1). – P. 95-101.

148. Chen, X. Nanosilver: a nanoparticle in medical application / X. Chen, H.J. Schluesener // *Toxicol. Lett.* – 2008. – Vol. 176(1). – P. 1-12.

149. Онищенко, Г. Г. О концепции токсикологических исследований, методологии оценки риска, методов идентификации и количественного определения наноматериалов / Г. Г. Онищенко, В. А. Тутельян // *Вопросы питания.* – 2007. – Т. 76. – № 6. – С. 48.

150. Куличихин, В. Г. Нанокompозитные гидроколлоидные адгезивы для биомедицинского применения / В. Г. Куличихин [и др.] // *Российские нанотехнологии.* – 2006. – № 1-2. – С. 170-182.

151. Scott, N. R. Nanotechnology and animal health / N. R. Scott // *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.* – 2005. – Vol. 24 (1). – P. 425-432.

152. Patil, S. S. Nanotechnology and its applications in veterinary and animal science / S. S. Patil, K.B. Kore // *Veterinary World.* – 2009. – Vol. 2(12). – P. 475-477.

153. Kwon, G. S. Polymeric micelles for delivery of poorly water-soluble compounds / G. S. Kwon // *Crit. Rev. Ther. Drug. Carrier Syst.* – 2003. – Vol. 20. – P. 357-403.

154. Kojima, C. Synthesis of polyamidoamine dendrimers having poly (ethylene glycol) grafts and their ability to encapsulate anticancer drugs / C. Kojima [et al.] // *Bioconjug. Chem.* – 2000. № 11/ – P. 910-917.

155. Cheng, Y. Pharmaceutical applications of dendrimers: promising nanocarriers for drug delivery / Y. Cheng [et al.] // *Front. Biosci.* – 2008. – Vol.13. – P. 1447-1471.

156. Астахова, А. В. Современные технологии лекарственных форм: получение, исследование и применение комплексов включения лекарственных веществ с циклодекстрином (обзор) / А. В. Астахова, Н. Б. Демина // *Хим.-фарм. журн.* – 2004. – Т. 38. – № 2. – С. 46-49.

157. Ghosh, P. Gold nanoparticles in delivery applications / P. Ghosh [et al.] // *Adv. Drug Delivery Rev.* – 2008. – Vol. 60. – P. 1307-1315.

158. Arruebo, M. Magnetic nanoparticles for drug delivery / M. Arruebo [et al.] // *Nanotoday.* – 2007. – Vol. 2. – No 3. – P. 22-31.

159. Hirsch L. R., Stafford R. J., Bankson J. A., Sershen S. R., Rivera B., Price R. E., Hazle J. D., Halas N. J. & West J.L. (2003). – Nanoshell-mediated near-infrared thermal therapy of tumors under magnetic resonance guidance. *Proc. Nation. Acad. Sci. USA*, 100 (23), 13549-13554.

160. Foldvari, M. Carbon nanotubes as functional excipients for nanomedicines: II. Drug delivery and biocompatibility issues / M. Foldvari, M. Bagonluri // *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine.* – 2008. -No 4. – P. 183-200.

161. Lacerda. L. Cell-penetrating CNTs for delivery of therapeutics / L. Lacerda [et al.] // 2007. – Vol. 2. – No 6. – P. 38-43.

162. Peek, L.J. Nanotechnology in vaccine delivery / L. J. Peek, C. R. Middaugh, C. Berkland // *Adv. Drug Delivery Rev.* – 2008. – Vol. 60. – P. 915-928.

163. Придыбайло, Н. Нанотехнологии – путь к созданию новых вакцин для птицеводства / Н. Придыбайло // V Междунар. ветеринар. конгр. по птицеводству, 21-24 апр. 2009 г., Москва. – С. 26-29.

164. Simon, F. Fullerene release from the inside of carbon nanotubes: A possible route toward drug delivery / F.Simon [et al.] // *Chem. Phys. Lett.* – 2007. – Vol. 445. – P. 288-292.

165. Hamidi, M. Hydrogel nanoparticles in drug delivery / M. Hamidi, A. Azadi, P. Rafiei // *Adv. Drug Delivery Rev.* – 2008. – Vol. 60. – P. 1638-1649.

166. Алексеев, В. А. Организация автоматизированного ветеринарного контроля на животноводческом комплексе / В. А. Алексеев, С. Хамдан, С. И. Юран. Ижевский гос. техн. ун-т, Ижевская гос.

с.-х. акад. [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.rae.ru/use/pdf/2005/07/Alekseev.pdf>. – Дата доступа: 1.10.2010.

167. Олейников, В. А. Флуоресцентные полупроводниковые нанокристаллы в биологии и медицине / В. А. Олейников, А. В. Суханова, И. Р. Набиев // Российские нанотехнологии. – 2007. – Т. 2. – № 1-2. – С. 1-14.

168. Олейников, В. А. Квантовые точки в биологии и медицине / В. А. Олейников // Природа. – 2010. – № 3. – С. 22-28.

169. Нанокристаллы для биомедицинской диагностики / Российский электронный наножурнал (нанотехнологии и их применение) [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: http://www.nanorf.ru/science.aspx?cat_id=718&d_no=781&print=1&back_url=%2Fscienc.aspx. – Дата доступа: 6.10.2010.

170. Liu, W.-T. Nanoparticles and Their Biological and Environmental Applications / W.-T. Liu // J. Bioscience and Bioengineering. – 2006. – Vol. 1-2. – No 1. – P. 1-7.

171. Бондарь, В. С. Наноалмазы с оригинальными свойствами: применение в биологии и медицине / В. С. Бондарь [и др.]; Ин-т биофизики СО РАН / Национальный исследовательский ядерный ун-т «МИФИ» [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: http://www.edu-cons.net/atlas_last/doc/141/ТезисыБондарь.pdf. – Дата доступа: 5.10.2010.

172. O'Connell, M.J. Band gap fluorescence from individual single-walled carbon nanotubes / M.J. O'Connell [et al.] // Science. – 2002. – Vol. 297 (5581). – P. 593-596.

173. Электронный паспорт (чипирование) [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.kanisyar.ru/index/0-17>. – Дата доступа: 5.10.2010.

174. Микрочипирование животных [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.pet-id.ru/index.php?idm=25&page=33>. – Дата доступа: 5.10.2010.

175. Информационная записка ИНФОСАН № 1/2008 от 7.02.2008 г. – Нанотехнология [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: http://www.who.int/foodsafety/fs_management/No_01_nanotechnology_Feb_08_ru_rev1.pdf. – Дата доступа: 5.10.2010.

176. Бутова, С. Н. Использование наночастиц в технологии получения жировых продуктов функционального назначения / С. Н. Бутова,

Г. П. Карпиленко, С. Ю. Солдатова / Сб. тез. Междунар. форум по нанотехнологиям «Rusnanotech'08», Москва, 3-5 дек. 2008 г.

177. Буркова, В. Н. Нанодиспергированные продукты из растительного сырья / В. Н. Буркова [и др.] / Сб. тез. Междунар. форум по нанотехнологиям «Rusnanotech'08», Москва, 3-5 дек. 2008 г.

178. Нанотехнологии для хранения агропродукции [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: http://www.softholm.com/news/miscellaneous/article_1292.html. – Дата доступа: 7.09.2010.

179. Наномембранные технологии для переработки сельхозпродукции [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <http://nanoagro.ru/pererabotka/pererabotka-selhozproduktsii-2.html>. – Дата доступа: 7.09.2010.

180. Бутова, С. Н. Технология жиров и биоорганического синтеза / С. Н. Бутова / Московский гос. ун-т пищевых производств [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.mgupp.ru> – Дата доступа: 5.10.2010.

181. Федоренко, В. Ф. Нанотехнологии и наноматериалы в агропромышленном комплексе. Науч. изд. / В. Ф. Федоренко. – Москва : ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 148 с.

182. Зайцева, Е. А. Развитие биокаталитических технологий в Московском университете и некоторых научно-исследовательских институтах в начале XXI века / Е. А. Зайцева, Т. А. Осипова // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. – 2002. – Т. 43. – № 6. – С. 340-344.

183. Капрельянц, Л. В. Ферменты в пищевых технологиях: вчера, сегодня, завтра / Л. В. Капрельянц / Одес. нац. акад. пищевых технологий [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.milkbranch.ru/publ/view/310.html>. – Дата доступа: 20.10.2010.

184. Chaudhry, Q. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector / Q. Chaudhry [et al.] // Food Additives & Contaminants: Part A. – 2008. – Vol. 25. – Is. 3. – P. 241-258.

185. Ke, Z. Improve the gas barrier property of PET film with montmorillonite by in situ interlayer polymerization / Z. Ke, B. Yongping // Mater. Let. – 2005. – Vol. 59. – P. 3348-3351.

186. Akbari, Z. Potential of nanotechnology for food packaging industry / Z. Akbari, T. Ghomashchi, A. Aroujalian / Proc. Int. Conf. «Nano Micro Technologies in the Food Health Food Industries», Amsterdam, Institute of Nanotechnology, 25-26 Oct. 2006.

187. Alexandra, M. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials / M. Alexandra, P. Dubois // Mater. Sci. & Eng. Rep. – 2000. – Vol. 28. – P. 1-63.

188. Ray, S. New polylactide/layered silicate nanocomposites. 1. Preparation characterization properties / S. Ray [et al.] // Macromolecules. – 2002. – Vol. 35. – P. 3104-3110.

189. Schartel, B. Fire behaviour of polyamide 6/multiwall carbon nanotube nanocomposites / B. Schartel [et al.] // Eur. Polymer J. – 2005. – Vol. 415. – P. 1061-1070.

190. McGlashan, S. A. Preparation characterization of biodegradable starch-based nanocomposite materials / S. A. McGlashan, P. J. Halley // Polymer Int. – 2003. – Vol. 52. – P. 1767-1773.

191. Park, H. M. Preparation properties of biodegradable thermoplastic starch/clay hybrids / H.M. Park [et al.] // Macromolecular Mater. Eng. – 2002. – Vol. 287. – P. 553-558.

192. Baruah, S. Nanotechnology for Agriculture, Food Systems and the Environment / S. Baruah, S. L. Ranamukhaarachchi, J. Dutta. / The Age of Nanotechnology (2009), ed. Nirmala Rao Khadpekar. The ICFAI University Press, Hyderabad, India, 2009.

193. Баблюк, Е. Перспективы применения нанотехнологий и современная упаковка / Е. Баблюк // Тара и упаковка. – 2007. – № 1. – С. 12-15.

194. Снежко, А. Г. Использование нанотехнологий для упаковки мясных продуктов / А. Г. Снежко, А. В. Федотова // Мясная индустрия. – Февраль/2008. – С. 22-24.

195. Власов, С. О саморазлагающейся полимерной упаковке / С. Власов, А. Ольхов, А. Иорданский // Тара и упаковка. – 2008. – № 2. – С. 42-47.

196. Siracusa, V. Biodegradable polymers for food packaging: a review / V. Siracusa [et al.] // Trends in Food Science & Technology. – 2008. – Vol.19. – P. 634-643.

197. Панфилова, В. А. Машины и аппараты пищевых производств / В. А. Панфилова. – Млсква : Высш. школа, 2001. – 1380 с.

198. Плаксин, Ю. М. Процессы и аппараты пищевых производств / Ю. М. Плаксин, Н. Н. Малахов, В. А. Ларин. – Москва : КолосС, 2007. – 760 с.

199. Новикова, Н. В. Архитектура предприятий агропромышленного комплекса : учеб. пособие / Н. В. Новикова. – Москва : Архитектура С, 2008. – 280 с.

200. Лякишев, Н. П. Наноматериалы конструкционного назначения / Н. П. Лякишев, М. И. Алымов // Росс. нанотехнологии. – 2006. – Т. 1. – № 1-2. – С. 71-81.

201. Малыгин, Г. А. Пластичность и прочность микро- и нанокристаллических материалов / Г. А. Малыгин // ФТТ. – 2007. – Т. 49. – Вып. 1. – С. 961-982.

202. Мулюков, Р. Р. Объемные наноматериалы в машиностроении будущего: методы получения, свойства и перспективы применения / Р. Р. Мулюков / Ин-т проблем сверхпластичности металлов РАН [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: [http://rusnanotech08.rusnanoforum.ru/sadm_files/disk/Docs/2/12/12%20\(8\).pdf](http://rusnanotech08.rusnanoforum.ru/sadm_files/disk/Docs/2/12/12%20(8).pdf). – Дата доступа: 20.10.2010.

203. Титан в пищевой промышленности [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.npotitan.ru>. – Дата доступа: 20.10.2010.

204. Шустер, Л. Ш. Триботехнические характеристики титана с ультрамелкозернистой структурой / Л. Ш. Шустер [и др.] // Трение и износ. – 2005. – Т. 26. – № 2. – С. 208-214.

205. Золотухина, Л. В. Формирование нанокристаллической структуры на поверхности трения в присутствии нанопорошков сплавов меди в смазочном материале / Л. В. Золотухина [и др.] // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2007. – № 3. – С. 7-12.

206. Прожега, М. В. Влияние размеров зерна WC на износостойкость твердых сплавов WC-Co / М. В. Прожега [и др.] // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2007. – № 5. – С. 42-46.

207. Чернышева, Т. А. Трибологические характеристики алюмоматричных композиционных материалов, упрочненных наноразмерными наполнителями / Т. А. Чернышева [и др.] // Трение и износ. – 2005. – Т. 26. – № 4. – С. 446-450.

208. Гульбин, В. Металломатричные композиты, упрочненные высокотвердыми нанопорошками / В. Гульбин, В. Попов, И. Севостьянов [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: <http://ropnano.ru/science/index.php?task=view&id=71>. – Дата доступа: 20.10.2010.

209. Струк, В. А., Кравченко В. И. Наноконпозиционные полимерные материалы и технологии / В кн.: Новые ресурсосберегающие технологии и композиционные материалы / Ф. Г. Ловшенко

[и др.] – Москва : Энергоатомиздат; Гомель: БелГУТ, 2004. – С. 400-513.

210. Песецкий С. С. Триботехнические свойства нанокомпозитов, получаемых диспергированием наполнителей в расплавах полимеров / С. С. Песецкий, С. П. Богданович, Н. К. Мышкин // Трение и износ. – 2007. – Т. 28. – № 6. – С. 500-524.

211. Керамические композиционные материалы с нанокристаллической структурой и регулируемой пористостью / Институт физики прочности и материаловедения СО РАН [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.sbras.nsc.ru/dvlp/rus/pdf/387.pdf>. – Дата доступа: 20.10.2010.

212. НИЦ перспективных и нетрадиционных технологий «Спектр» [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.tpu.ru/html/nii-spectr.htm>. – Дата доступа: 20.10.2010.

213. Бабин, Ю. А. Техническая керамика – перспективный материал для рабочих органов и деталей сельскохозяйственной техники / Ю. А. Бабин, Д. Б. Бернштейн, Н. И. Кисетова // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1988. – № 9. – С. 132-136.

214. Нанотехнологии при производстве строительных материалов, конструкций и композиций [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.ecrushim.ru/documents/nano.php>. – Дата доступа: 30.10.2010.

215. Парашук, В. В. Получение и исследование свойств полимерных нанопермембран для разделения органических сред: дисс. ... канд. хим. наук: 05.17.18 / В. В. Парашук. – Москва, 2008. – 106 с.

216. Наноиндустрия в агробизнесе, животноводстве, растениеводстве [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: http://www.softholm.com/news/miscellaneous/article_1292.html. – Дата доступа: 5.10.2010.

217. Молоко, которое мы выбираем [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.biozone-lgs.spb.ru/articles/milk.htm>. – Дата доступа: 5.10.2010.

218. Асеев, А. Л. Наноматериалы и нанотехнологии / А. Л. Асеев // Нано- и микросистемная техника. – 2005. – № 3. – С. 2-11.

219. Области применения цеолита [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.promc.ru/zeolite/index.php?page=>. – Дата доступа: 5.10.2010.

220. Романтика бетона // Росс. нанотехнологии. – 2010. – Т. 5. – № 1-2. – С. 19-20.

221. Материалы активные и умные. Бетон // Росс. нанотехнологии. – 2010. – Т. 5. – № 1-2. – С. 8-9.

222. Данилов, А. Бетонная наука / А. Данилов // Росс. нанотехнологии. – 2010. – Т. 5. – № 1-2. – С. 8-9.

223. Яковлев, Г. И. Нанодисперсная арматура в цементном пенобетоне / Г. И. Яковлев [и др.] // Технологии бетонов. – 2006. – № 3. – С. 68-71.

224. Новые активные и умные стройматериалы на основе нанотехнологий [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: <http://www.nanonewsnet.ru/articles/2010/> – Дата доступа: 5.10.2011.

225. Морозова, М. Технологии во плоти / М. Морозова // Росс. нанотехнологии. – 2010. – Т. 5. – № 1-2. – С. 28-29.

226. Войтович, В. А. Нанонаука, нанотехнологии, строительные наноматериалы / В. А. Войтович [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://interlibrary.narod.ru>. – Дата доступа: 30.10.2010.

227. Арефьев, П. Наностекло защищает от жары / П. Арефьев [Электронный ресурс]. – 2003. – Режим доступа: <http://press.try.md/item.php?id=30705>. – Дата доступа: 30.10.2010.

228. Алисин, В. В. Наноструктурные технические кристаллы и керамики для узлов трения / В. В. Алисин [и др.] // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2007. – № 9. – С. 21-27.

229. Витязь, П. Наноматериалы в Беларуси и их применение / П. Витязь, В. Урбанович // Наука и инновации. – 2006. – № 7. – С. 14-18.

230. Хмыль, А. А. Влияние режимов электролиза на субструктуру композитов серебро – ультрадисперсный алмаз / А. А. Хмыль [и др.] // Докл. НАН Беларуси. – 2001. – Т. 45. – № 6. – С. 119-121.

231. Уатсайдс, Дж. Нанотехнологии в ближайшем десятилетии / Дж. Уатсайдс [и др.]; под ред. М. К. Роко, Р. С. Уильямса и П. Аливисатоса. Пер с англ. – Москва : Мир, 2002. – 292 с.

232. Верхованцев, В. В. Наноматериалы в технологии лакокрасочных покрытий / В. В. Верхованцев // ЛКМ и их применение. – 2004. – № 10. – С. 20-23.

233. Стокозенко, В. Н. Нанотехнологии сегодня и завтра / В. Н. Стокозенко // Пром. окраска. – 2006. – № 3. – С. 22-24.

234. Витязь, П. Фуллеренсодержащие структуры для практических приложений / П. А. Витязь, С. А. Жданок, Э. М. Шпилевский /

В кн.: Углеродные наноструктуры; сб. науч. тр. – Минск : ИТМО, 2006. – С. 3-15.

235. Райт, Дж. Нанотехнологии для защиты древесины / Дж. Райт, О.В. Гордон // Лакокрасоч. материалы и их применение. – 2008. – № 4. – С. 35-37.

236. Нанопокрывание // Росс. нанотехнологии. – 2009. – Т. 4. – № 11-12. – С. 6.

237. Толочко, Н. К. Особенности фрикционных процессов при наличии наноструктурных контактирующих поверхностей и наноструктурных смазочных слоев / Н. К. Толочко / Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин: сб. науч. трудов VII Междунар. науч.-техн. конф. В 3-х т.; под общ. ред. П. А. Витязя, С. А. Астапчика. – Новополоцк : ПГУ, 2009. – Т. II. – С. 33-35.

238. Дедков, Г. В. Нанотрибология: экспериментальные факты и теоретические модели / Г. В. Дедков // УФН. – 2000. – Т. 170. – № 6. – С. 585-618.

239. Буяновский, И. А. Нанотрибология: некоторые тенденции развития / И. А. Буяновский, М. М. Хрущев, В. А. Левченко // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2008. – № 1. – С. 39-40.

240. Паренаго, О. П. Наноразмерные структуры в углеводородных смазочных материалах / О. П. Паренаго, В. Н. Бакунин, Г. Н. Кузьмина // Рос. хим. журн. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева). – 2003. – Т. XLVII. – № 2. – С. 45-50.

241. Морозова, А. П. Перспективы применения нанотехнологий в теплоэнергетике / А. П. Морозова / Науч.-техн. конф. МГТУ, 2008 г. [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: <http://www.mgtu.ru>. – Дата доступа: 30.10.2010.

242. Балабанов, В. И. Нанотехнологические препараты автотехники / В. И. Балабанов [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа: http://www.nanometer.ru/2009/07/19/avtohimia_156241.html. – Дата доступа: 5.10.2010.

243. Безразборный сервис автомобиля / В. И. Балабанов [и др.]. – Москва : Известия, 2007. – 272 с.

244. Баранов, Л. П. Наночастицы и нанотехнологии в смазочных материалах / Л. П. Баранов, Т. С. Голоднова, А.Ф. Мухаметзянова // Рынок продуктов и технологий. – 2005. – № 1. – С. 20-26.

245. Сафонов, В. В. Наноразмерные добавки к смазочным материалам в условиях их моделирования / В. В. Сафонов [и др.] // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2008. – № 2. – С. 8-10.

246. Золотухина, Л. В. Формирование нанокристаллической структуры на поверхности трения в присутствии нанопорошков сплавов меди в смазочном материале / Л. В. Золотухина [и др.] // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2007. – № 3. – С. 7-12.

247. Витязь, П. А. Формирование износостойких поверхностных структур и механизм разрушения при трении в среде смазочного материала, модифицированного ультрадисперсными алмазграфитовыми добавками. Часть I. Триботехнические свойства / П. А. Витязь [и др.] // Трение и износ. – 2006. – Т. 27. – № 1. – С. 61-68.

248. Волнянко, Е. Н. Влияние высокодисперсных органоминеральных наполнителей на температурные характеристики смазочных композиций / Е. Н. Волнянко [и др.] // Трение и износ. – 2006. – Т. 27. – № 2. – С. 232-235.

249. Савкин, В. Г. Влияние внешних воздействий и процессы структурообразования в смазочных маслах / В. Г. Савкин [и др.] // Трение и износ. – 2007. – Т. 28. – № 6. – С. 634-639.

250. Терентьев, В. Ф. Применение смазочных композиций с углеродосодержащими ультрадисперсными добавками в приводах и трансмиссиях транспортных машин и технологического оборудования / В. Ф. Терентьев // Мобильная техника. – 2004. – № 3. – С. 41-45.

251. Толочко, Н. К. Триботехнические характеристики жидких смазочных материалов с добавками углеродных наночастиц / Н. К. Толочко [и др.] // Техника и технологии: инновации и качество. Матер. Междунар. научно-практ. конф. – Барановичи : БарГУ. – 2007. – С. 366-368.

252. Тельнов, Н. Ф. Применение магнитной жидкости в качестве смазочного материала / Н. Ф. Тельнов, А. М. Баусов, С. П. Швец // МЭСХ. – 1999. – № 5. – С. 22-24.

253. Абрамян, А. Нанокатализаторы в топливе для транспорта. Нано без границ / А. Абрамян [и др.] // Промышленные нанотехнологии. – 2007. – № 4. – С. 24-26.

254. Основы прикладной нанотехнологии / А. А. Абрамян [и др.]. – Москва : Магистр-Пресс, 2007. – 208 с.

255. Щербина, М. Большие надежды планеты на спасателей «нано-крох» / М. Щербина // Росс. нанотехнологии. – 2009. – Т. 4. – № 11-12. – С. 27-28.

256. Исмагилов, З. Р. Катализаторы для эффективного сжигания топлива / З. Р. Исмагилов [и др.] // Росс. нанотехнологии. – 2009. – Т. 4. – № 11-12. – С. 32-34.

257. Прогнозирование и планирование экономики : учебник / Г. А. Кандаурова [и др.]; под общ. ред. Г. А. Кандауровой, В. И. Борисевича. – Минск : Современная школа, 2005. – 476 с.

258. Киселев, В. Н. Инновационная политика в области нанотехнологий: опыт США и ЕС / В. Н. Киселев, Д. А. Рубвальтер, О. В. Руденский / Центр исследований и статистики Минобрнауки [Электронный ресурс]. – 2006. – Режим доступа: <http://www.portalnano.ru/read/ms/ip>. – Дата доступа: 15.11.2010.

259. Крылатых, Э. Перспективы развития мирового сельского хозяйства до 2050 года: возможности, угрозы, приоритеты / Э. Крылатых, С. Строков // Аграрное обозрение, ноябрь-дек. 2006 г.

260. Фостер, Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности / Л. Фостер. – Москва : Техносфера, 2008. – 352 с.

261. Фоломьев, А. Н. Инновационное инвестирование / А. Н. Фоломьев, В. Г. Ревазов. – СПб. : Наука, 2001. – 184 с.

262. Булатов А. С. Экономика : учебник / А. С. Булатов. – Москва : БЕК, 1999. – 816 с.

263. Притыкина, А. А. Управление экономическими рисками в агропромышленном комплексе / А. А. Притыкина [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://science.ncstu.ru/articles/econom/6/17.pdf>. – Дата доступа: 15.11.2010.

264. Завгороднева, О. В. Управление рисками в инвестиционной сфере агропромышленного комплекса: Дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / О. В. Завгороднева. – Кисловодск, 2002. – 165 с.

265. Роскошная, А. С. Наночастицы и новые свойства известных материалов / А. С. Роскошная / Рос. электрон. наножурнал [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: http://www.nanometer.ru/2008/06/04/nanochastici_53086.html. – Дата доступа: 29.10.2010.

266. Мычко, А. Достижения нанотехнологий в сельскохозяйственной практике / А. Мычко / Экология и сельскохозяйственная

техника. Т. 3. Экологические аспекты производства продукции животноводства и электротехнологий: Матер. 4-й науч.-практ. конф. – СПб. : СЗНИИМЭСХ, 2005. – С. 69-73.

267. Бело, М. Ветеринарно-санитарная оценка и профилактическая дезинфекция цехов первичной переработки мясокомбинатов. Канд. дисс. ... вет. наук: 16.00.06 / М. Бело. – Москва, 2003. – 107 с.

268. Дезинфекция в птицеводстве [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <http://www.agrojour.ru/pticevodstvo/dezinfekciya-v-pticevodstve.html>. – Дата доступа: 11.11.2010.

269. Трусов, Л. А. Новый метод покрытия тканей наночастицами серебра / Л. А. Трусов [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: http://www.nanometer.ru/2008/06/04/nanochastici_53086.html. – Дата доступа: 29.10.2010.

270. Samal, S. S. Sonochemical coating of Ag-TiO₂ nanoparticles on textile fabrics for stain repellency and self-cleaning – The indian scenario: review / S.S. Samal, P. Jeyaraman, V. Vishwakarma // J. Miner. & Mater. Characterization & Engineering. – 2010. – Vol. 9. – No 6. – P. 519-525.

271. Асеев, А. Л. Наноматериалы и нанотехнологии / А. Л. Асеев // Нано- и микросистемная техника. – 2005. – № 3. – С. 2-11.

272. Лагунцов, Н. И. Нанотехнологии в процессах реагентной очистки воды / Н. И. Лагунцов, Ю. П. Нецименко, Д. Ю. Феклистов / Сб. тез. Междунар. форум по нанотехнологиям «Rusnanotech'08», Москва, 3-5 дек. 2008 г.

273. Baruah, S. Nanotechnology for Agriculture, Food Systems and the Environment / S. Baruah, S. L. Ranamukhaarachchi, J. Dutta. / The Age of Nanotechnology (2009), ed. Nirmala Rao Khadpekar The ICFAI University Press, Hyderabad, India, 2009.

274. Об утверждении Концепции токсикологических исследований, методологии оценки риска, методов идентификации и количественного определения наноматериалов: постановление Глав. гос. сан. врача РФ от 31.10.2007 г. № 79.

275. Linkov, I. Nanotoxicology and nanomedicine: making hard decisions / I. Linkov, F.K. Satterstrom, L.M. Corey // Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine. – 2008. – No 4. – P. 167-171.

276. Гмошинский, И. В. Наночастицы: о вреде и пользе / И. В. Гмошинский, В. В. Смирнова, С. А. Хотимченко // Рос. нанотехнологии. – 2010. – Т. 5. – № 9-10.

277. Холоденко, В. П. Биобезопасность наноматериалов и нанотехнологий / В. П. Холоденко [и др.] / Сб. тез. Междунар. форум по нанотехнологиям «Rusnanotech'08», Москва, 3-5 дек. 2008 г.

278. Исламов, Р. А. Токсикологические и фармакологические аспекты исследований наноматериалов и нанокompозитов / Р. А. Исламов, А. К. Нерсесян / Сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф., посв. 50-летию Науч.-исслед. ин-та проблем биол. безопасности. – Алматы : 2008. – С. 128-130.

279. Brayner, R. The toxicological impact of nanoparticles / R. Brayner // Nanotoday. – 2008. – Vol. 3. – No 1-2. – P. 48-55.

280. Foldvari, M. Carbon nanotubes as functional excipients for nanomedicines: II. Drug delivery and biocompatibility issues / M. Foldvari, M. Bagonluri // Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine. – 2008. – No 4. – P. 183-200.

281. Kagan, V. E. Nanomedicine and nanotoxicology: two sides of the same coin / V. E. Kagan [et al.] // Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine. – 2005. – No 1. – P. 313-316.

282. The First IFT International Food Nanotechnology Conference, June 28-29, 2006, Orlando, Fla. [Электронный ресурс]. – 2006. – Режим доступа: <http://members.ift.org/IFT/Research/Conference-Papers/firstfoodnano.htm>. – Дата доступа: 15.11.2010.

283. Червяков, Б. А. Основные факторы конкурентоспособности аграрного сектора США: опыт для России / Б. А. Червяков // Экономика сельскохозяйств. и перерабатыв. предприятий. – 2009. – № 4. – С. 75-81.

284. Киселев, В. Н. Инновационная политика в области нанотехнологий: опыт США и ЕС / В. Н. Киселев, Д. А. Рубвальтер, О. В. Руденский / Центр исследований и статистики Минобрнауки [Электронный ресурс]. – 2006. – Режим доступа: <http://www.portalnano.ru/read/ms/ip>. – Дата доступа: 15.11.2010.

285. Joseph, T. Nanotechnology in Agriculture and Food / T. Joseph, M. Morrison / European Nanotechnology Gateway [Электронный ресурс]. – 2006. – Режим доступа: <http://www.nanoforum.org>. – Дата доступа: 15.11.2010.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научное издание

Жданок Сергей Александрович, **Ильина** Зинаида Макаровна,
Толочко Николай Константинович

**НАНОТЕХНОЛОГИИ
В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ**

Редактор В. М. Воронович
Компьютерная верстка А. И. Стебули

Подписано в печать 06.03.2012. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 10,0. Уч.-изд. л. 7,81. Тираж 100 экз. Заказ 279.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет»

ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.

ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.

Пр. Независимости, 99–2, 220023, Минск.