

**И.С. Михаловский,**  
кандидат биологических наук;  
**М.В. Самойлов,**  
кандидат технических наук;  
**Н.П. Кохно**  
кандидат технических наук

## **БИОФИЗИКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ — МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА СОЗДАНИЯ НОВЫХ ПРОДУКТОВ**

*В статье приведены основы нового научного направления — установление общих (универсальных) физических закономерностей пространственно-временной динамики субмолекулярных биологических систем в различных производственных процессах обработки материалов биологического происхождения. Биофизика производственных процессов позволит заложить принципиально новые методологические подходы к созданию научных основ технологий получения продуктов нового поколения. Исследования по данному научному направлению ориентированы на разработку методик синтеза новых коллоидных форм биологически функциональных продуктов из биологических макромолекул для целей пищевой промышленности, медицины и сельского хозяйства.*

Каждое столетие в развитии общества характеризуется величайшими научными открытиями, являющимися своего рода вершинами человеческой мысли. Так, XX в. прошел под эгидой фундаментальных и прикладных исследований атомного ядра. Конец XX в. и начало XXI в. ознаменованы величайшим прогрессом в развитии биологических наук [1]. Сейчас можно смело утверждать, что первое столетие нового тысячелетия будет связано с доминированием биологии и биотехнологий.

Помимо проявления сугубо научного интереса к законам существования биологических форм жизни в настоящее время во всех странах идет интенсивная работа над созданием прикладных, во многом инновационных биотехнологических систем (биокомпьютеры, функциональные биоматериалы и др.). Развитие биологической науки позволит выработать эффективные подходы к решению ряда важнейших прикладных задач в ключевых областях, таких как обеспечение продовольствием, эффективное лечение болезней, производство энергии, защита окружающей среды. В Республике Беларусь огромное внимание уделяется разработке новых технологий переработки биоматериалов, что является гарантом продовольственной, энергетической и экологической безопасности страны [2].

В настоящее время тенденцией развития биологической науки является ее дифференциация, заключающаяся в возникновении новых направлений на стыках естественно научных знаний. Так, научный интерес к изучению живых систем с позиции установления физико-химических механизмов их функционирования оформился в самостоятельную науку — биофизику [3]. Взгляд на медицину с позиции биофизики стал родоначальником медицинской биофизики [4, 5]. Поиск и дальнейшая разработка новых научных направлений нами видится и на стыке биофизики и производственно-хозяйственной деятельности.

Проанализируем различные производственные процессы воздействия на материалы биологического происхождения с целью установления роли общих биофизических закономерностей в переработке биологических соединений в конечную продукцию. Общие (универсальные) закономерности в различных технологических процессах при переработке материалов являются своего рода инвариантами, которые могут стать мето-

логической основой создания принципиально новых, инновационных эффективных технологий переработки биологического сырья.

В ходе рассмотрения природных объектов с позиции биофизики можно выделить молекулярный, клеточный, организменный и последующие суборганизменные уровни организации живой материи [3], что может быть положено в основу формирования методических подходов к переработке сырья.

Следует отметить, что исходное биологическое сырье крайне редко находится в одном определенном фазовом состоянии (жидком, твердом) и, как правило, представляет собой молекулярные и (или) клеточные многокомпонентные дисперсные системы [6]. Данный факт не всегда учитывается при разработке новых биотехнологий. На наш взгляд, новые технологические процессы переработки биологического сырья должны быть основаны на законах молекулярной и клеточной биофизики.

Целенаправленное изменение физических характеристик как дисперсной фазы, так и дисперсной среды биологических систем позволяет задать (спроектировать) требуемые оригинальные потребительские свойства конечного продукта, что, несомненно, будет способствовать его продвижению на рынке. Например, современные покупатели обращают внимание на консистенцию продукта, визуальную вызывающую ассоциацию с его качеством, на его физическую структуру, зачастую пренебрегая внешними маркетинговыми параметрами (например, марочным наименованием, упаковкой). В этой связи установление универсальных физических механизмов воздействия на дисперсные материалы биологического происхождения в различных производственных процессах позволит заложить принципиально новые методологические подходы к созданию научных основ технологий получения продуктов с высокой потребительной ценностью.

Ряд технологий переработки сырья основан на применении различных биофизических процессов, изменяющих параметры дисперсной среды. Издавна всем известно использование солей, например хлорида натрия для консервирования продуктов. Однако грамотное использование солей при переработке сырья требует применения определенных знаний из биофизики растворов. Разработка технологических процессов с учетом коллигативных свойств солевых растворов позволит получать наперед заданные характеристики (скорость седиментации дисперсных частиц и др.) коллоидной основы новых продуктов.

Для изменения качества сырья широко используются различные соединения для удержания воды, так называемые влагоудерживающие агенты [8]. В основе механизма удержания воды в продуктах лежат физико-химические процессы взаимодействия молекул воды с органическими молекулами, имеющими гидрофильные группы (соли полимеров ортофосфорной кислоты (полифосфаты), производные углеводов и др.), называемыми в технологиях гигроскопичными веществами. Так, обработка сырья полифосфатом аммония приводит к предотвращению его усыхания, например для минимизации потери веса мясных изделий. Однако полифосфаты негативно влияют на органолептические характеристики продукции. Следовательно, необходим строго научный подход при применении влагоудерживающих субстанций в производственных процессах.

Введение определенных солей и их смесей в клеточные системы изменяет осмотические показатели внеклеточного пространства и влияет тем самым на качество клеточного сырья. Изменение структуры клеточных мембран вплоть до разрушения (цитоллиз) клеток достигается при уменьшении концентрации солей ниже физиологического значения (гипотонический шок) [9]. Так, гемолиз эритроцитов протекает при концентрации хлорида натрия ниже значения 0,15 моль/л.

При переработке биологических материалов на молекулярном уровне следует учитывать особенности физического «поведения» определенного класса биологических макромолекул. Например, при подготовке древесины для ее дальнейшей биохимиче-

ской переработки (получение этанола и др.) необходимо знать и применять закономерности превращения целлюлозы, относящейся к классу углеводов.

Рассмотрим основные биофизические процессы в системах из важнейших биологических макромолекул.

Многие виды сырья животного и растительного происхождения содержат или полностью состоят из липидов — производных высших жирных кислот и спиртов, а также некоторых производных углеводов. Различают жиры (триглицериды), воски, фосфолипиды, гликолипиды, стерины, убихиноны, некоторые терпены [10]. Отличительным свойством липидов является их низкая растворимость в полярных средах. Для получения липидов из растительного сырья (подсолнечник, рапс и др.) в однофазном состоянии до сих пор используют технологии механической обработки сырья, характеризующиеся низким выходом липидной фракции. Использование неполярных растворителей для экстракции соединений (биофизика растворов) позволяет разработать новые эффективные технологии получения липидов.

Готовые продукты из липидов представляют собой сложные дисперсные системы. Амфифильные фосфолипиды в водной (полярной) среде образуют липидные везикулы (липосомы) [11]. Униламеллярные фосфолипидные дисперсные структуры имеют диаметр от 20 до 200 нм. К ним относят двухслойные (бислойные) липосомы, являющиеся моделями мембран клеток. Мультиламеллярные липосомы образованы несколькими десятками липидных слоев (диаметр 5—10 мкм). В этой связи технологии создания продуктов из липидов на водной основе (спреды, майонезы, соусы и др.) должны быть основаны на биофизических принципах образования липидных структур.

Физические параметры дисперсных структур из липидов (размеры, геометрия и др.) в значительной степени зависят от температуры дисперсной среды. По данным работы [12] бислой везикул из фосфолипидов в зависимости от температуры и химической структуры липида способны находиться в структурном состоянии геля либо жидкого кристалла, что может быть положено в основу синтеза коллоидов масло-жировых продуктов с заданными потребительскими свойствами, например низкой скоростью агрегации липидной фазы при комнатной температуре [7].

Липидоподобные высокомолекулярные соединения — протекторы, например воск, широко используются для консервирования материалов, их защиты от воды, атмосферного кислорода и бактерий. Знание физических закономерностей превращения веществ-протекторов позволит выработать универсальные методические подходы к их использованию.

На кафедре технологии важнейших отраслей промышленности проводятся исследования механизмов образования дисперсных материалов из липидов и других биологических макромолекул, а также изучение их пространственно-временной динамики [13, 14]. Для обозначения области исследований, связанных с разработкой новых биотехнологий получения продуктов из липидов, целесообразно использовать термин «липидомика» [6].

Авторами данной статьи разработаны общие подходы к синтезу многокомпонентных коллоидов из глицеридов и их смесей со свободными жирными кислотами — относительно дешевого липидного сырья (подсолнечного, рапсового масел и др.). Обнаружено, что многокомпонентные глицеридные коллоиды характеризуются термодинамически устойчивой коагуляционной структурой. Процесс формирования коагуляционной структуры глицеридного коллоида характеризуется быстрой и медленной стадиями. Предполагается, что быстрая стадия кинетики коагуляции коллоида (константа скорости —  $(3—5) \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ ) отражает процесс достижения термодинамического равновесия отдельных дисперсных структур и среды с формированием пространственной коагуляционной структуры.

Медленная стадия кинетики коагуляции, по-видимому, отражает пространственно-временную динамику коагуляционной структуры. Скорость данного процесса на порядок ниже по сравнению с аналогичным показателем для быстрой стадии. Константа скорости медленной стадии составляет  $(7-9) \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ . Данная стадия отражает также процесс деструкции коагуляционной структуры с течением времени. Результаты показали, что структура синтезированного коллоида при комнатной температуре 18–20 °С сохраняется не менее 5 суток.

Разработанные технологии получения глицеридных коллоидов могут быть использованы для решения широкого круга производственных задач, в частности изготовления пищевых продуктов, препаратов для ветеринарии и сельского хозяйства и т.д.

Огромное количество биологических продуктов изготовлено из углеводного сырья. Обширнейшую группу углеводов делят на полисахариды, олигосахариды и моносахариды, различающиеся растворимостью в полярных растворителях (водной среде и др.) [10]. При разработке технологий получения продуктов на основе полисахаридов следует принимать во внимание высокую гидрофильность их молекул, вследствие которой они образуют вязкие растворы. В этом плане полисахариды являются структурообразующими соединениями, позволяющими конструировать материалы с заданными свойствами (вязкость, мутность и др.) [15].

Полисахариды в полярных средах характеризуются сложной пространственно-временной динамикой, главным образом зависящей от длины и разветвленности полимерных цепей. Вероятно, что в слабополярных водных средах полисахариды образуют дисперсные структуры.

В промышленности широко используются химически модифицированный крахмал, каррагинаны для придания требуемой консистенции пищевых продуктов (соусы, спреды и др.) [16]. Некоторые полисахариды из группы фруктанов, например инулин, не используются как структурообразующие соединения, а являются физиологически ценными биодобавками и находятся в продуктах в ограниченных количествах [17].

Олигосахариды (сахароза, лактоза, трегалоза и др.) хорошо растворимы в полярной среде, однако при определенных условиях способны к кристаллизации, что следует учитывать при разработке технологий производства продуктов на их основе.

Моносахариды (глюкоза, манноза, галактоза и др.) образуют истинные водные растворы и не вызывают технологических проблем. Способные к таутомерии моносахариды не проявляют тенденции к кристаллизации в продуктах.

Для переработки белкового сырья целесообразно разрабатывать технологии на основе биофизических знаний. Так, белки в сырье природного происхождения можно разделить на глобулярные и фибриллярные структуры. Спирализация пептидной цепи, упаковка многих ее белков близка к шарообразной (глобулярной). Данный тип белков хорошо растворим в водной среде, что является ценной информацией для разработчиков технологий их переработки. Так, введение солей в растворы глобулярных белков, например введение хлорида кальция в водный раствор молочных белков, приводит к их коагуляции [18], что свидетельствует о возникновении дисперсных структур. В свою очередь физические параметры дисперсных белковых структур определяют потребительские свойства продуктов.

Нахождение полипептидных цепей белков относительно одной оси в виде длинных волокон (фибрилл) делает их нерастворимыми в воде и весьма устойчивыми к природным ферментам. Знание физических особенностей фибриллярных белков (кератины волос, фиброин шелка и др.) позволяет создавать эффективные методики их превращения в товарную продукцию.

Биофизика производственных процессов связана с медицинской биофизикой. Некоторые соединения, применяемые для создания продуктов, способны негативно влиять на

функционирование организма, так называемые ксенобиотики. Например, потребление бромированного растительного масла является причиной ряда дисфункций организма, например чрезмерного накопления в тканях [19]. Широко используемые для консервирования продуктов нитрит и нитрат натрия способны трансформироваться в нитрозамины, которые являются причиной онкологических заболеваний. Так, при метаболизме углеводов ферментами, кодируемыми генами семейства цитохрома P450, образуются злокачественные опухоли [20], следовательно, углеводородные растворители, даже в следовых количествах, находящиеся в продуктах, например после экстракции липидов, могут вызвать различного рода дисплазии. В этой связи при промышленной переработке биологических материалов необходимо также руководствоваться знаниями о механизмах их воздействия на функционирование организма.

Таким образом, знание общих (универсальных) биофизических закономерностей пространственно-временной динамики субмолекулярных биологических систем позволит разработать новые инновационные, усовершенствовать существующие технологии производства материалов биологического происхождения.

### Литература

1. Мажуль, В.М. Протеомика — новая наука XXI века (краткий обзор) / В.М. Мажуль // Экология и животный мир. — 2007. — № 2. — С. 63—68.
2. Резолюция Первого съезда ученых Республики Беларусь // Первый Съезд ученых Республики Беларусь [Электронный ресурс]. — 2007. — Режим доступа: <http://congress.basnet.by/solutions.html>.
3. Волькенштейн, М.В. Биофизика / М.В. Волькенштейн. — М.: Наука, 1981.
4. Черницкий, Е.А. Спектральный люминесцентный анализ в медицине / Е.А. Черницкий, Е.И. Слобожанина. — Минск: Наука и техника, 1989.
5. Лаборатория медицинской биофизики // Институт биофизики и клеточной инженерии Национальной академии наук Беларуси [Электронный ресурс]. — 2010. — Режим доступа: [http://www.ibp.org.by/ru/?page\\_id=40](http://www.ibp.org.by/ru/?page_id=40).
6. Михаловский, И.С. Биология и биотехнология: возможные направления инновационной деятельности / И.С. Михаловский, М.В. Самойлов // Весн. Беларус. дзярж. экан. ун-та. — 2008. — № 2. — С. 87—91.
7. Михаловский, И.С. Липидные наноструктуры — ключ к созданию новых масложировых продуктов / И.С. Михаловский, М.В. Самойлов, Е.В. Перминов // Весн. Беларус. дзярж. экан. ун-та. — 2007. — № 6. — С. 39—41.
8. Влагодерживающие агенты // О вкусном и здоровом питании [Электронный ресурс]. — 2010. — Режим доступа: [http://www.e-pitanie.ru/pishchevie\\_dobavki/vlagoudergivayushchie\\_agenti/index.php](http://www.e-pitanie.ru/pishchevie_dobavki/vlagoudergivayushchie_agenti/index.php).
9. Альбертсон, Пер-Оке. Разделение клеточных частиц и макромолекул / Пер-Оке Альбертсон. — М.: Мир, 1974.
10. Малер, Г. Основы биологической химии / Г. Малер, Ю. Кордес. — М.: Мир, 1970.
11. Липосомы в биологических системах / под ред. Г. Грегориадиса, А. Аллисона. — М.: Медицина, 1983.
12. Ивков, В.Г. Динамическая структура липидного бислоя / В.Г. Ивков, Г.Н. Берестовский. — М.: Наука, 1981.
13. Научная деятельность: кафедра технологии важнейших отраслей промышленности Белорусского государственного экономического университета // Пищевая и перерабатывающая промышленность / под ред. А.С. Лещинской. — Минск: Инфофорум, 2008. — С. 16—17.
14. Михаловский, И.С. Определение трансизомеров углеводородных остатков молекул липидов по ИК поглощению / И.С. Михаловский, М.В. Самойлов, Н.П. Вилейшикова // Журн. прикладной спектроскопии. — 2009. — Т. 76, № 1. — С. 138—142.
15. Textural innovation // National Starch Food Innovation [Electronic resource]. — 2010. — Mode of access: <http://www.foodinnovation.com/FoodInnovation/en-GB/Innovation/Textural+Innovation/>.

16. Ингредиенты // Пищевые добавки и ингредиенты [Электронный ресурс]. — 2010. — Режим доступа: <http://www.nordspb.ru/additions1>.

17. Михаловский, И.С. Определение биологически активных добавок на основе углеводов в пищевых продуктах методом спектроскопии / И.С. Михаловский, М.В. Самойлов, Д.А. Хоняк // Молекулярные, мембранные и клеточные основы функционирования биосистем: сб. науч. ст. / под ред. И.Д. Вологовского. — Минск: БГУ. — 2008. — Т. 2. — С. 322—324.

18. Пепель, А. Химия и физика молока / А. Пепель. — М.: Пищевая пром-сть, 1979.

19. Подробные характеристики некоторых пищевых добавок // Общенациональная Ассоциация генетической безопасности [Электронный ресурс]. — 2005. — Режим доступа: [http://www.oagb.ru/lib.php?txt\\_id=3479](http://www.oagb.ru/lib.php?txt_id=3479).

20. Системная концепция канцерогенной ситуации и методология ее исследования // Новое в профилактике рака — системный подход [Электронный ресурс]. — 2010. — Режим доступа: [http://www.all-about-cancer-prevention.com/nas\\_2.html](http://www.all-about-cancer-prevention.com/nas_2.html).

**А.В. Мозоль,**

кандидат экономических наук, доцент;

**М.Н. Пузыревская**

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКОВ ДИВЕРСИФИКАЦИИ АССОРТИМЕНТА ПРОДУКЦИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ МОЛОКА

*Особенностью развития современной экономики является постоянное увеличение скорости изменений в рыночной среде при росте степени сложности проблем, которые обостряют конкуренцию, повышают требования к основным компетенциям организации, уровню менеджмента, скорости и качеству принятия решений. Для принятия адекватных управленческих решений необходимо использование мощных современных аналитических и статистических методов, одним из которых является имитационное моделирование. В статье имитационное моделирование использовано для проведения экспериментов и обоснования экономической целесообразности производства и реализации нового вида товара с применением известного бренда на молокоперерабатывающем предприятии. Результаты исследования позволяют определить уровень риска проекта, экономический эффект, сумму возможных убытков и доходов по каждому варианту имитации.*

### Введение

Организационно-экономическое обоснование вывода на рынок нового продукта в современной экономической науке и практике производится при помощи достаточно широкого спектра аналитических методов, таких как сценарный анализ, анализ чувствительности, дерево решений и т.д. [1—3]. Однако универсального, удовлетворяющего всем требованиям и не обладающего недостатками метода не существует. Вместе с тем одним из современнейших и мощнейших методов анализа экономических систем и процессов является имитационное моделирование (метод Монте-Карло) [4]. В общем случае под имитацией понимают процесс проведения на ЭВМ экспериментов с математическими моделями сложных систем. Цели проведения подобных экспериментов могут быть самыми различными — от выявления свойств и закономерностей исследуемой системы до решения конкретных практических задач. С развитием средств вычислительной техники и программного обеспечения спектр применения имитации в сфере экономики существенно расширился. В настоящее время ее используют как для решения за-