

# Оценка технологических возможностей расширения ассортимента кристаллического сахара<sup>S</sup>

**С.М. ПЕТРОВ**, д-р техн. наук, профессор (e-mail: petrovsm@mail.ru)

**Н.М. ПОДГОРНОВА**, д-р техн. наук, профессор

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ)»

**В.И. ТУЖИЛКИН**, член-корреспондент РАН, д-р техн. наук, профессор

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

## Введение

Недостаток питательных веществ в рационе человека в последнее время привёл к тенденции обогащения пищевых продуктов. Сахар, который широко потребляется во всём мире и используется в производстве самых разных продуктов, оказался подходящим для этого средством. Предлагаются различные питательные вещества, фортификанты (fortificant – обогатитель) и методы, которые применяются или могут быть применены для обогащения сахара.

Как известно из специальной литературы [3, 4, 7], в Российской Федерации возрастают объёмы продаж и расширяется ассортимент композиционных продуктов на основе белого сахара с добавлением фортификантов в виде искусственных подсластителей, вкусоароматических или красящих добавок, а также экстрактов растений. Эти композиционные продукты недостаточно обоснованно позиционируются изготовителями как «диет-сахар», обладающие эффектами, связанными с диетическим лечебным и диетическим профилактическим питанием, о чём свидетельствует маркировка на потребительской упаковке. Экстракты растений с лечебным эффектом (мяты, шалфея, имбиря и др.) добавляются в кристаллический сахар в микроколичествах (как правило, менее 1 %), поэтому суточное потребление их с сахаром не может оказывать контролируемого и действенного фармакологического эффекта, заявляемого производителями.

Недостатки способов создания указанных композиционных сахаросодержащих продуктов заключаются преимущественно в применении процессов и технологий смешения систем кристаллического сахара и фортификанта. Как правило, малое количество добавки распределяется в кристаллическом сахаре

и смешивается с ним неравномерно, и эта неравномерность не устраняется при последующем интенсивном перемешивании компонентов. В результате создаются неоднородные вкусовые свойства сахаросодержащего продукта и ухудшается его потребительское качество – истираются и повреждаются кристаллы сахара. Кроме того, не образуется адгезивное покрытие кристаллов, что приводит к отслоению добавок при фасовке, транспортировке и хранении.

В свете сказанного практический интерес представляют исследования и разработки, которые позволяют повысить эффективность технологии фортификации кристаллического сахара.

## Технологические способы фортификации сахара

Разработки в области производства обогащённого сахара как продукта с функциональными свойствами, имеющие научно обоснованную интерпретацию и возможность практической реализации, подтверждаются следующими продуктами [1, 2, 4–6]:

- а) сокристаллизация сахарозы с фортификантами:
  - сокристаллизованный сахар с волокнами,
  - сокристаллизация сахарозы при высокой концентрации в присутствии глюкозы и фруктозы,
  - сокристаллизованный мёд с сахарозой,
  - инкапсуляция биоактивных компонентов пищевых продуктов;
- б) витаминизированный сахар;
- в) послойно-минерализованный сахар;
- г) функциональные продукты на основе аффинированного жёлтого сахара с добавлением БАВ;
- д) сахар с натуральными подсластителями и инулином;
- е) агломерированный сахар;
- ж) желирующий сахар;

- з) цветной ароматизированный сахар;
- и) коричневый сахар, получаемый из белого сахара.

*Сокристаллизованный сахар с волокнами* [2]. Наблюдается растущий потребительский спрос на продукты, обогащённые пищевыми волокнами, которые имеют дополнительные диетические преимущества для здоровья, выходящие за рамки базового питания. Хотя пищевые волокна имеют долгую историю научных исследований их физиологических свойств, они в недостаточной степени используются в продуктах питания большинства стран мира.

*Сокристаллизация сахарозы* — это процесс, в котором пищевые ингредиенты или их смеси включаются в кристаллический агрегат сахарозы при спонтанной кристаллизации сахара. При сокристаллизации твёрдая, плотная, идеальная кристаллическая структура сахарозы изменяется на неправильные агрегированные кристаллы губчатого вида с увеличенным объёмом пустот между ними и площадью поверхности, обеспечивая тем самым пористую матрицу, в которую могут быть включены другие компоненты.

Во многих исследованиях сообщалось об использовании сокристаллизации для управления процессом инкапсуляции, в результате чего такие свойства, как растворимость, смачиваемость, гидратация, однородность, диспергируемость, антислеживание и стабильность инкапсулированных материалов, могут быть улучшены. Предложен приём сокристаллизации для создания смешанной матрицы «сахароза/эритрит/волокна» твёрдых частиц в виде кристаллического наполнителя для введения в пищевые составы с частичным понижением содержания сахара и обогащением клетчаткой.

Агрегация отдельных компонентов, образующих кристаллическое твёрдое вещество, открывает возможности для изменения их технологических функциональных свойств, таких как сыпучесть, сжимаемость, слипание, диспергируемость и растворимость в получаемой дисперсной системе, а также для доставки клетчатки в качестве здорового питательного

вещества в сахаросодержащую матрицу с возможностью улучшения текстурных свойств конечных продуктов. В ходе исследований изучена физико-химическая и детальная структурная характеристика сокристаллизованной матрицы для выяснения возможных причинно-следственных связей её применения в пищевых системах.

Сокристаллизованная матрица (рис. 1) была подготовлена следующим образом: сахарозу (45 г/100 г), эритрит (5 г/100 г) и дистиллированную воду (23 г/100 г) предварительно кратковременно нагревали в ёмкости из нержавеющей стали в атмосферных условиях до 119 °С. Затем температуру сиропа доводили до конечной температуры 123 °С со скоростью в диапазоне от 0,5 до 1,0 °С/мин и охлаждали с помощью вертикальной мешалки (150 об/мин,  $\tau = 3$  мин в атмосферных условиях) до незначительной мутности сиропа сахарозы — эритритола, что указывало на начало процесса кристаллизации. На следующем этапе клетчатку (27 г/100 г) добавляли при перемешивании (150 об/мин,  $\tau = 2$  мин и 400 об/мин,  $\tau = 1$  мин). Сокристаллизованную матрицу высушивали при 45 °С в течение 24 ч в конвективной сушилке с принудительным обдувом воздухом. Полученную агрегацию измельчали до порошкообразного состояния с применением ножевой шлифовальной машины. Порошок просеивали и использовали фракцию 1,41–0,6 мм. В результате образования сокристаллизованного матрикса получился порошок с содержанием 29,8 г/100 г общей пищевой клетчатки, включающей 11,9 г/100 г высокомолекулярных пищевых волокон и 17,9 г/100 г низкомолекулярных пищевых волокон, а также 5,33 % влаги и 64,9 % сахарозы.

Хотя добавление волокон вызывало значительные изменения физических и физико-химических свойств, таких как содержание влаги, активность воды, объёмная плотность и растворимость, структурные характеристики, присущие кристаллам сахарозы не изменились в процессе сокристаллизации.

Сравнение структуры отдельных веществ и их сокристаллизованной матрицы подтверждает механизм



Рис. 1. Получение смешанной матричной основы сахарозы — растворимого волокна путём процесса сокристаллизации

захвата аморфного волокна в кристаллическую структуру сахарозы в соответствии с гипотезой вероятностного формирования смешанной матрицы [8], состоящей из сахарозы, эритрита и растворимого волокна. Поэтому разработанный сокристаллизованный продукт является отличной альтернативой пищевым ингредиентам, где желательно обогащение клетчаткой и снижение содержания сахара с перспективным применением в кондитерских изделиях (конфеты, железные начинки, таблетки), пекарнях (порошковые премиксы), а также в горячих и холодных порошкообразных напитках.

*Сокристаллизованный мёд с сахарозой* [1]. Мёд является коммерческим продуктом, который создаёт трудности применения в пищевой промышленности, связанные с кристаллизацией внутри упаковок. За рубежом известно применение в пищевой промышленности мёда, смешанного с сахарозой в виде сухого продукта. Проведены исследования выработки мёда, сокристаллизованного с сахарозой и его характеристик. Процесс сокристаллизации мёда (влажность 15 %) с сахарозой характеризуется продуктами с активностью воды от 0,38 до 0,51, значениями влажности от 1,25 до 2,04 %, хорошей текучестью (углы покая от 23,4 до 40,5°), насыпной плотностью от 0,42 до 0,55 г/см<sup>3</sup> и гигроскопичностью от 5,33 до 7,95 %. В продуктах установлена морфологическая структура, характерная для продуктов сокристаллизации. Конечные продукты показали хорошую общую сенсорную приемлемость, что открывает возможность применения сокристаллизованного мёда в пищевой промышленности.

*Способ получения послонно-минерализованного сахара* [6]. Одним из способов обогащения сахара может быть разработка технологии, основанной на исполь-

зовании микроэлементов, находящихся в составе оттоков, особенно в мелассе. Как известно, меласса богата разнообразными микроэлементами, что делает её привлекательной в качестве добавки для обогащения сахара. Сущность технологии состоит в том, что она реализуется в три этапа (рис. 2).

На первом этапе уваривания готовый утфель III ступени кристаллизации, изготовленный по традиционной технологии, в количестве 2/3 полезного объёма вакуум-аппарата спускают и направляют на кристаллизацию охлаждением. После этого центрифугируют с отделением мелассы и сахара III, который подают на клерование. На оставшейся в вакуум-аппарате 1/3 массы утфеля III продолжают наращивание кристаллов до готовности к спуску, подкачивая первый отток утфеля II.

На втором этапе уваривания, после достижения утфелем готовности к спуску, его вновь отбирают в количестве 2/3 полезного объёма вакуум-аппарата, спускают в приёмную мешалку, центрифугируют с отделением двух оттоков, а сахар II направляют на клерование. На оставшейся в вакуум-аппарате 1/3 массы утфеля продолжают наращивание кристаллов до готовности к спуску, подкачивая первый отток утфеля I.

На третьем этапе уваривания, после достижения утфелем готовности к спуску, его вновь отбирают в количестве 2/3 полезного объёма вакуум-аппарата, спускают в приёмную мешалку, центрифугируют с отделением двух оттоков, а сахар направляют на клерование. На оставшейся в вакуум-аппарате 1/3 массы утфеля продолжают наращивание кристаллов до готовности к спуску, подкачивая сироп с выпарной установки. Готовый к спуску утфель центрифугируют с отделением двух оттоков. Полученный

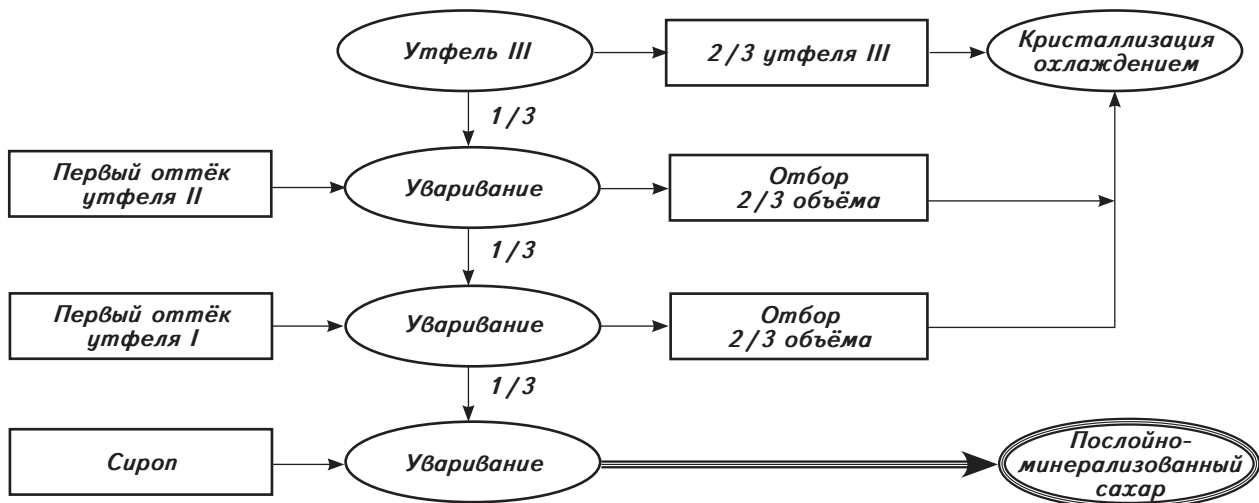


Рис. 2. Способ изготовления послонно-минерализованного сахара

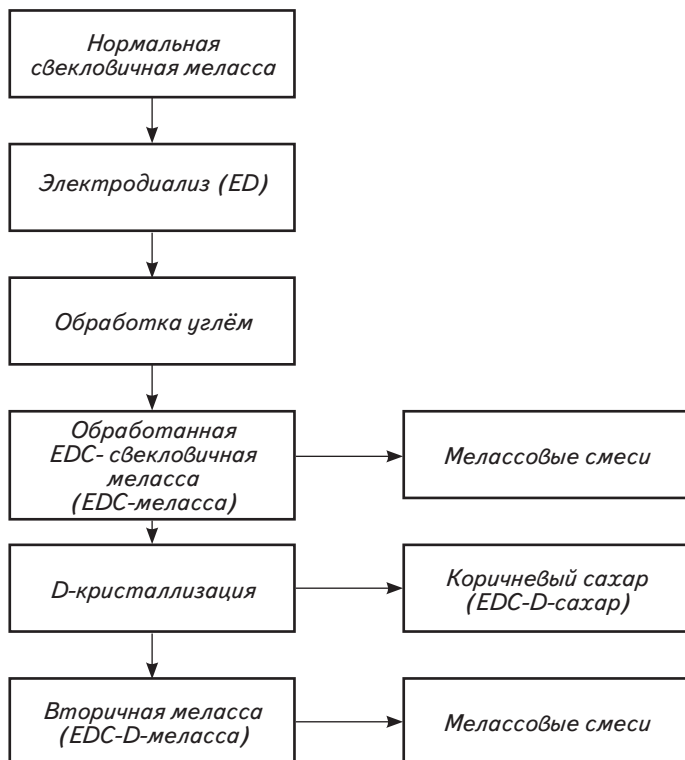


Рис. 3. Получение коричневого сахара из раствора свекловичной мелассы

после третьего этапа готовый продукт представляет собой послойно-минерализованный обогащённый сахар, который направляют на высушивание, хранение и упаковку.

*Коричневый сахар, изготавливаемый из белого сахара* [5]. Согласно предложенному способу в результате одного или более приёмов очистки получают раствор свекловичного сахара, который содержит мелассу и летучие вещества с неприятным запахом, содержащие пирозины. Раствор подвергают электродиализу, в результате которого по меньшей мере частично удалены летучие вещества с неприятным запахом. Из электродиализованной жидкости выделяют продукт, состоящий из жидких и твёрдых пищевых коричневых сахарных продуктов и их комбинаций. Этот приём позволяет создать пищевые продукты, способные заменить коричневый сахар, произведённый из сахарного тростника.

Реализация способа проиллюстрирована на рис. 3, из которого следует, что раствор мелассы сахарной свёклы подвергают электродиализу (ED) с получением электродиализованной жидкости, из которой частично удалены летучие неприятно пахнущие вещества. Данный электродиализован-

ный раствор может быть обработан углём, EDC-раствор направляют на D-кристаллизацию для образования коричневого сахара (EDC-D-сахар) и отделения вторичной мелассы (EDC-D-мелассы), которая электродиализована и обработана углём. Эта EDC-D-меласса представляет собой пищевую свекловичную мелассу, которую можно использовать непосредственно в качестве ингредиента, подсластителя, ароматизатора и (или) красителя в пищевом, нутрицевтическом или фармацевтическом продукте.

Таким образом полученный коричневый сахар имеет цвет, варьирующийся от 3000 до 11000 единиц ICUMSA (единицы цветности и оптической плотности), и содержит менее 0,01 млн<sup>-1</sup> (ppm) летучих пирозиннов.

Согласно данной технологии создают пищевые продукты и ингредиенты, которые могут быть использованы в производстве десертов, мороженого, кондитерских, хлебобулочных изделий и напитков.

#### Выводы

Широко признанным фактом является то, что обогащение основных продуктов питания, к которым относится и белый сахар, безопасно, эффективно и доступно.

Анализ литературы показывает интенсивный рост исследований в области научного обоснования и разработки различных технологий обогащения сахара функциональными фортификантами, что позволяет осуществить их выбор и практическую реализацию в промышленном масштабе. Это даёт возможность диверсифицировать (при необходимости) сахарное производство для повышения конкурентоспособности и эффективности свеклосахарной отрасли.

Обогащение сахара йодом, железом и тиаминном отработано либо в лабораторных масштабах, либо на заводских пилотных этапах. Другие питательные вещества, такие как кальций и цинк, а также витамины В, С, D, фолиевая кислота также успешно могут быть использованы для обогащения сахара.

При необходимости свести к минимуму потери фортификантов в мелассе следует обратить внимание на технологию получения сокристаллизованного и послойно-минерализованного сахара.

#### Список литературы

1. Quast, L.B. Co-crystallized honey with sucrose: Evaluation of process and product characterization / L.B. Quast [et al.] // Journal of Food Processing and Preservation. – 2020. – V. 44. – № 11. – P. e14876.
2. Queiroz, M.B. Co-crystallized sucrose-soluble fiber matrix: Physicochemical and structural characterization /

# MARIBO®

your partner in sugar beet...

## HILLESHÖG®

## ГИБРИДЫ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

[www.mariboseed.com/russia](http://www.mariboseed.com/russia)

[www.hilleshog.com/ru](http://www.hilleshog.com/ru)

Тел.: +7 918 637 35 53



М.В. Queiroz [et al.] // LWT. – 2022. – V. 154. – P. 112685.

3. Егорова, М.И. Разработка ассортимента сахара / М.И. Егорова, Л.И. Беляева, Л.С. Чугунова // Пищевая промышленность. – 2005. – № 4. – С. 30–31.

4. Использование жёлтого сахара при производстве продуктов с функциональными свойствами / Н.Г. Кульнева, Н.А. Матвиенко, П.Ю. Сурин, А.В. Лазаренко // Сахар. – 2021. – № 8. – С. 28–33.

5. Патент RU 2421524, МПК С13В 20/14 (2011.01). Способ выделения пищевого коричневого сахара из раствора свекловичного сахара : № 2008126800/13 : заявл. 20.12.2006 : опубл. 20.06.2011 / Картер Мелвин П., Йенсен Йон Пребен. – 27 с.

6. Патент RU 2687591, МПК С13В 25/00 (2011.01). Способ получения послойно-минерализованного сахара : № 2018113162 : заявл. 11.04.2018 : опубл. 15.05.2019 / Тужилкин В.И., Агупова Ж.А., Клемешов Д.А., Лукин Н.Д., Ковалёнок В.А., Чудинов А.П. – 7 с.

7. Петров, С.М. О качестве продукции на основе белого сахара с добавками / С.М. Петров, Н.М. Подгорнова, К.И. Эллер // Сахар. – 2016. – № 10. – С. 30–35.

8. Петров, С.М. Вероятностная модель включения несахаров в растущие кристаллы сахара / С.М. Пет-

ров, Д.В. Арапов, В.А. Курицын // Сахар. – 2011. – № 8. – С. 34–38.

**Аннотация.** Недостатки способов получения композиционных сахаросодержащих продуктов заключаются в использовании преимущественно процессов и технологий смешения дисперсных систем кристаллического сахара и фортификанта. Приведены технологические разработки в области расширения ассортимента фортифицированного кристаллического сахара как продукта с функциональными свойствами, имеющие научно обоснованную интерпретацию и промышленную применимость. Рассмотрены следующие приёмы фортификации: сокристаллизация сахарозы с волокнами, мёдом; получение послойно-минерализованного сахара; коричневый сахар, получаемый из белого сахара.

**Ключевые слова:** сокристаллизация сахарозы с фортификантами; получение послойно-минерализованного сахара; коричневый сахар, получаемый из белого сахара.

**Summary.** The disadvantages of methods for obtaining composite sugar-containing products are the use of predominantly processes and technologies for mixing dispersed systems of crystalline sugar and fortificant. Technological developments are presented in the field of expanding the range of fortified crystalline sugar as a product with functional properties that have a scientifically based interpretation and industrial applicability. The following methods of fortification are considered: co-crystallization of sucrose with fibers, honey; obtaining layer-mineralized sugar; brown sugar derived from white sugar.

**Keywords:** cocrystallization of sucrose with fortificants, obtaining layer-mineralized sugar, brown sugar derived from white sugar.