БИОЛОГИЯ

БИОТЕХНОЛОГИИ И БИОНАНОТЕХНОЛОГИИ

Статья поступила в редакцию: 18.09.2026
Статья принята к публикации: 09.10.2026
Статья опубликована: 07.11.2026

УДК 664.2

DOI: 10.32743/UniChem.2026.149.11.23605

Роль глюкозно-фруктозных сиропов в пищевой промышленности и анализ мирового рынка

Нуритдинова Арифа Нуриддин кизи
магистрант
Наманганский филиал Международного университета Кимё в Ташкенте
Республика Узбекистан, г. Наманган
E-mail: nuritdinovaarifa41@gmail.com

Мирзаолимова Мохизар Мухаматкарим кизи
PhD, преподаватель
кафедры фундаментальных медицинских дисциплин,
Наманганский филиал Международного университета Кимё в Ташкенте
Республика Узбекистан, г. Наманган
E-mail: mohizar_95@mail.ru

Тухтабоева Юлдузхон Абдусаттаровна
д-р био. наук (DSc),
Ташкентский международный университет Кимё,
Наманганский филиал
Республика Узбекистан, г. Наманган
E-mail: toxtaboyevayulduzxon934@gmail.com

The role of glucose-fructose syrups in the food industry and analysis of the global market

Nuritdinova Arifa Nuriddin kizi
master's student
Namangan Branch of Kimyo International University in Tashkent
Republic of Uzbekistan, Namangan

Библиографическое описание: Нуритдинова А.Н. кизи, Мирзаолимова М.М. кизи, Тухтабоева Ю.А. Роль глюкозно-фруктозных сиропов в пищевой промышленности и анализ мирового рынка // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 11(149). URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23605

Mirzaolimova Mokhizar Mukhamatkarim kizi
PhD, Lecturer
Department of Fundamental Medical Disciplines,
Namangan Branch of Kimyo International University in Tashkent
Republic of Uzbekistan, Namangan

Tukhtaboeva Yulduzkhon Abdusattarovna
doctor of Biological Sciences (DSc)
Namangan Branch of Kimyo International University in Tashkent
Republic of Uzbekistan, Namangan

Аннотация

В статье представлен комплексный обзор технологических, биотехнологических, рыночных и регуляторных аспектов производства и применения глюкозно-фруктозных сиропов (ГФС) в пищевой промышленности. Цель исследования заключается в систематизации современных данных о ферментативной переработке крахмалсодержащего сырья, роли иммобилизованной глюкозоизомеразы, функционально-технологических свойствах ГФС и факторах, определяющих развитие мирового рынка, а также в оценке перспектив данного направления для Узбекистана. Методологическую основу составили аналитический обзор научных публикаций, сравнительное сопоставление технологических схем и официальных материалов международных организаций и нормативно-правовых источников. Показано, что технологическая ценность ГФС определяется не только сладостью, но и растворимостью, влагосвязывающей способностью, регулированием вязкости и снижением склонности к кристаллизации. Установлено, что конкурентоспособность ГФС зависит от сырьевой базы, стоимости ферментов и энергии, логистики, цены сахарозы, структуры спроса и требований к сокращению добавленных сахаров. Для Узбекистана развитие производства ГФС может быть связано с глубокой переработкой местного крахмалсодержащего сырья, однако промышленное масштабирование требует предварительной лабораторно-пилотной проверки, контроля качества и технико-экономического сопоставления с традиционными подсластителями. Научная новизна обзора состоит в сопоставлении технологических и рыночных факторов на основе актуальных официальных данных и в формулировании практической последовательности оценки перспектив локализации производства ГФС в Узбекистане.

Abstract

This article presents a comprehensive review of technological, biotechnological, market, and regulatory aspects of glucose-fructose syrup (GFS/HFCS) production and use in the food industry. The study aims to systematize current data on enzymatic processing of starch-containing raw materials, the role of immobilized glucose isomerase, the functional and technological properties of HFCS, and the factors shaping the global market, as well as to assess prospects for this field in Uzbekistan. The methodology combines an analytical review of scientific publications, comparative assessment of technological schemes, and analysis of official materials from international organizations and national regulatory sources. The analysis shows that the technological value of HFCS is determined not only by sweetness but also by solubility, water-binding capacity, viscosity control, and reduced crystallization tendency. Competitiveness depends on the raw-material base,

enzyme and energy costs, logistics, sucrose prices, demand structure, and policies aimed at reducing added sugar intake. For Uzbekistan, HFCS production may support deeper processing of local starch-containing raw materials, while industrial scaling requires prior laboratory and pilot validation, quality control, and techno-economic comparison with conventional sweeteners. The novelty of the review lies in integrating technological and market evidence from current official sources and formulating a practical sequence for assessing the feasibility of local HFCS production in Uzbekistan.

Ключевые слова: глюкозно-фруктозный сироп, HFCS, глюкозо-изомераза, ферментативный гидролиз, иммобилизованные ферменты, изомеризация, пищевая промышленность, мировой рынок.

Keywords: glucose-fructose syrup, HFCS, glucose isomerase, enzymatic hydrolysis, immobilized enzymes, isomerization, food industry, global market.

Введение

Глюкозно-фруктозные сиропы (ГФС), в международной литературе обозначаемые также как high-fructose corn syrup (HFCS) или изо-глюкоза, относятся к калорийным углеводным подсластителям, получаемым из крахмалсодержащего сырья. Их промышленное значение определяется сочетанием сладости и технологической функциональности: сиропы легко дозируются в жидких технологических линиях, хорошо растворимы, снижают склонность сахарозы к кристаллизации, влияют на вязкость и активность воды, а также способны изменять температуру замерзания пищевых систем [12].

Основой промышленного производства является ферментативный гидролиз крахмала с последующей изомеризацией части глюкозы во фруктозу. Наиболее важным биокатализатором стадии изомеризации остается глюкозо-изомераза, широко применяемая в иммобилизованной форме. Иммобилизация облегчает повторное использование фермента, повышает устойчивость биокатализатора и позволяет организовывать непрерывные процессы, что имеет прямое значение для себестоимости и стабильности качества продукта [4; 7].

В пищевой промышленности наиболее распространены сиропы с содержанием фруктозы около 42 и 55 % в сухом веществе; более концентрированные высоко-фруктозные фракции используются преимущественно для получения заданного состава и в специализированных рецептурах [12; 7]. Выбор конкретного типа сиропа зависит от требуемого профиля сладости, кислотности продукта, реологических характеристик и экономических условий производства.

Одновременно с технологическими преимуществами ГФС остаются объектом дискуссии в сфере питания и общественного здоровья. Современные обзоры указывают, что их влияние следует оценивать в контексте общего потребления добавленных сахаров, энергетического баланса и структуры рациона; сравнительные данные по HFCS и сахарозе не подтверждают однозначного различия по большинству изученных антропометрических и метаболических показателей [9; 8]. Международные рекомендации при этом подчеркивают необходимость ограничения общего потребления свободных и добавленных сахаров [13; 14].

Для Узбекистана тема имеет прикладное значение в связи с задачами глубокой переработки сельскохозяйственного сырья, импортозамещения, модернизации пищевой промышленности и усиления требований к безопасности продукции. Настоящая работа имеет обзорно-аналитический характер. Цель исследования состоит в систематизации технологических, рыночных и регуляторных факторов производства ГФС, определении их основных областей применения и оценке условий, при которых развитие данного сегмента может быть целесообразным для предприятий Узбекистана. Научная новизна работы заключается в интеграции технологических, рыночных и регуляторных данных и их критическом сопоставлении применительно к условиям Узбекистана.

Материалы и методы

Методологический дизайн исследования основан на аналитическом обзоре и сравнительном анализе научных публикаций, официальных международных материалов и нормативно-правовых источников. Информационную основу составили работы по ферментативному гидролизу крахмала, изомеризации глюкозы, иммобилизации ферментов, пищевой функциональности ГФС, метаболическим аспектам потребления фруктозо-содержащих сахаров, а также материалы Всемирной организации здравоохранения, OECD–FAO, Европейской комиссии и действующие нормативные документы Республики Узбекистан [1–3, 5–9, 11, 13, 14].

Поиск литературы проводился в базах Scopus, Web of Science, PubMed и Google Scholar по ключевым словам «glucose-fructose syrup», «HFCS», «glucose isomerase», «immobilized enzymes», «starch hydrolysis», «sweetener market», «isoglucose». Основной период поиска охватывал 2015–2026 гг.; более ранние публикации включались только для описания фундаментальных технологических принципов. Исключались дублирующие материалы, публикации без прямого отношения к теме и источники без проверяемых библиографических данных. В первоначальный корпус вошли 15 источников, представленных в исходном списке литературы; при доработке рыночного и странового анализа дополнительно использованы 9 актуальных официальных источников OECD–FAO, USDA ERS, European Commission и органов Республики Узбекистан, поэтому итоговый корпус составил 24 источника [16–24].

Материалы систематизировались по четырем тематическим блокам: технологическая схема получения ГФС и роль глюкозо-изомеразы; функционально-технологические свойства и области применения; современные данные о питании и метаболических эффектах; рыночные и регуляторные факторы. При анализе текущего состояния рынка и регулирования приоритет отдавался официальным источникам и публикациям последних лет, тогда как фундаментальные работы использовались для описания базовых технологических принципов.

Метод анализа включал сравнительное сопоставление характеристик основных типов ГФС, качественную оценку факторов конкурентоспособности и обобщение условий для возможной локализации производства в Узбекистане. Собственные лабораторные и клинические эксперименты не проводились, статистическая обработка первичных данных не выполнялась. Количественные рыночные прогнозы самостоятельно не рассчитывались; выводы о тенденциях основывались на опубликованных и официальных материалах [5, 6, 11].

Результаты и обсуждение

Анализ технологической цепочки показал, что производство ГФС включает несколько взаимосвязанных стадий. На этапе разжижения крахмальная суспензия подвергается гидролизу α-амилазой с уменьшением молекулярной массы полисахаридов. На стадии осахаривания преимущественно формируется глюкоза, после чего часть глюкозы изомеризуется во фруктозу с помощью глюкозо-изомеразы. Далее продукт проходит очистку, при необходимости фракционирование и концентрирование. Именно стадия изомеризации во многом определяет профиль конечного сиропа и эффективность производственной линии [4; 7].

Иммобилизованная глюкозо-изомераза сохраняет ключевое значение для промышленных установок. Ее преимущества включают повторное использование биокатализатора, облегчение отделения фермента от продукта и возможность эксплуатации непрерывных реакторных систем. Ограничивающими факторами являются постепенное снижение активности при длительной эксплуатации, диффузионные ограничения внутри носителя, чувствительность к температуре, pH и составу исходного гидролизата [4; 7]. Поэтому дальнейшее повышение эффективности связано с совершенствованием биокатализаторов, носителей и реакторных схем.

Функционально-технологические свойства ГФС определяют их применение в напитках, кондитерских изделиях, хлебобулочной продукции, молочных десертах, мороженом, джемах и начинках. В напитках важны жидкая форма и удобство дозирования; в кондитерских системах — снижение кристаллизации сахарозы и управление вязкостью; в хлебопечении — удержание влаги и участие в формировании цвета корочки; в замороженных десертах — влияние на температуру замерзания и текстуру [12]. Таким образом, ГФС выполняют не только функцию подсластителя, но и функцию технологического ингредиента.

Наиболее распространенными промышленными вариантами являются HFCS-42 и HFCS-55, отличающиеся долей фруктозы и целевыми областями применения. HFCS-42 чаще используется в выпечке, переработанных пищевых продуктах, соусах и отдельных напитках, тогда как HFCS-55 широко применяется в жидких пищевых системах и напитках. Высокофруктозные фракции с содержанием фруктозы до примерно 90 % используются преимущественно для смешивания и корректировки требуемого состава [12; 7].

Таблица 1. Сравнительная характеристика основных подсластителей

Показатель	HFCS-42 (ГФС-42)	HFCS-55 (ГФС-55)	Сахароза
Состав	≈42 % фруктозы в сухом веществе	≈55 % фруктозы в сухом веществе	Дисахарид глюкозы и фруктозы
Основные области применения	Выпечка, переработанные продукты, соусы, часть напитков	Безалкогольные напитки и другие жидкие системы	Универсальное применение в пищевой промышленности
Технологическая схема	Гидролиз крахмала → осахаривание → изомеризация → очистка	Получение HFCS-42 → обогащение фруктозой/ смешивание → очистка	Экстракция/очистка сахарного сока → выпаривание → кристаллизация
Технологические и экономические особенности	Жидкая форма, удобство дозирования; затраты зависят от сырья, ферментов и энергии	Более высокая сладость в напитках; те же ключевые факторы себестоимости и логистики	Удобнее хранение и перевозка в кристаллической форме; в жидких линиях требуется растворение

Примечание. HFCS-42 и HFCS-55 являются основными промышленными типами ГФС; сопоставление составлено по технологическим данным [7; 12; 17].

Сопоставление рыночных факторов показывает, что конкурентоспособность ГФС определяется совокупностью условий: доступностью крахмалсодержащего сырья, стоимостью ферментов и энергии, масштабом переработки, логистикой, ценой сахарозы, торговой политикой и структурой спроса. Международные обзоры OECD–FAO рассматривают HFCS как самостоятельный компонент глобального рынка подсластителей и указывают на его зависимость от ценовой конъюнктуры сахара и сырья [11]. Материалы Европейской комиссии и FAO подтверждают, что региональные различия в производстве и потреблении обусловлены не только технологией, но и сельскохозяйственной политикой и торговыми механизмами [5; 6].

Количественная оценка подтверждает выраженную региональную неоднородность рынка. По данным European Commission, в ЕС производство изоглюкозы составило 0,46 млн т в 2024/25 маркетинговом году при потреблении (disappearance) 0,42 млн т; на 2025/26 г. также оценивалось производство 0,46 млн т и потребление 0,42 млн т. В марте 2026 г. средняя цена белого сахара в ЕС составляла 510 евро/т, тогда как котировка London No. 5 на август 2026 г. составляла 435,3 долл. США/т, что иллюстрирует ценовую среду, с которой конкурирует ГФС [19]. Согласно OECD–FAO Agricultural Outlook 2026–2035, производство HFCS в США к 2035 г. прогнозируется на уровне около 6,4 млн т при сохранении умеренного нисходящего тренда; доля HFCS в потреблении калорийных подсластителей в США ожидается на уровне 33 % против 35 % в базовом периоде. В ЕС потребление HFCS к 2035 г. прогнозируется примерно на уровне 2,5 кг на душу населения, тогда как в Японии и Республике Корея — около 6 кг на душу населения [16].

Таблица 2. Количественные показатели рынка ГФС/изоглюкозы и конкурирующего сахара

Регион/показатель	Фактические/оценочные данные	Среднесрочная тенденция
ЕС: изоглюкоза	2024/25: производство 0,46 млн т; потребление 0,42 млн т. 2025/26: 0,46 и 0,42 млн т соответственно	К 2035 г. потребление около 2,5 кг/чел.
США: HFCS	Крупнейший мировой производитель и потребитель	К 2035 г. производство около 6,4 млн т; доля HFCS в калорийных подсластителях около 33 %
Япония и Республика Корея	Стабильный зрелый рынок	К 2035 г. около 6 кг/чел.
Ценовой фон сахара	ЕС: 510 евро/т (март 2026); London No. 5: 435,3 долл./т (август 2026, котировка на момент обзора)	Цены остаются одним из ключевых факторов конкурентоспособности ГФС

Источник: OECD–FAO [16], European Commission [19].

Данные USDA ERS по Мексике, одному из крупнейших потребителей HFCS, показывают, что внутренние поставки в пересчете на сухое вещество составили 1,372 млн т в 2013/14 г., 1,599 млн т в 2023/24 г. и 1,645 млн т в 2024/25 г.; на 2025/26 г. прогнозировалось 1,640 млн т. Динамика указывает не на равномерный рост, а на колебания спроса и последующую стабилизацию рынка [18].



Рисунок 1. Динамика поставок HFCS на внутренний рынок Мексики, 2013/14–2025/26 гг. (*2025/26 — прогноз) Источник: USDA ERS [18]

В аспекте здоровья современные данные требуют осторожной интерпретации. Систематический обзор Li и соавт. не выявил статистически значимых различий между HFCS и сахарозой по большинству изученных антропометрических и метаболических показателей, хотя отдельные маркеры воспаления требуют дальнейшего изучения [9]. Более широкий анализ метаболизма фруктозы указывает, что неблагоприятные эффекты прежде всего связаны с хронически избыточным потреблением фруктозо-содержащих сахаров и общим положительным энергетическим балансом [8]. Поэтому оценка риска должна учитывать общую долю добавленных сахаров в рационе, что соответствует рекомендациям WHO [13; 14]. При интерпретации дозозависимых эффектов важно различать изокалорийное замещение сахаров и хроническое избыточное энергетическое поступление: неблагоприятные метаболические изменения чаще связываются с избытком фруктозо-содержащих сахаров и положительным энергетическим балансом, тогда как при сопоставимых дозах HFCS и сахарозы значимые различия по большинству антропометрических и метаболических исходов не подтверждены. Ограничениями имеющихся исследований являются различия в дозах, длительности вмешательств, составе рационов и характеристиках участников, поэтому результаты нельзя автоматически экстраполировать на все уровни потребления [8; 9; 13; 14].

Для пищевой безопасности важен контроль качества исходного крахмала, ферментных препаратов, процессов очистки и условий концентрирования. При нагревании и хранении фруктозо-содержащих продуктов возможно образование 5-гидроксиметилфурфурола, поэтому технологический режим и условия хранения должны минимизировать термическое повреждение продукта [10]. Современная система контроля также предполагает прослеживаемость сырья, документированное подтверждение безопасности и корректную маркировку пищевых ингредиентов [1–3; 15].

Для Узбекистана потенциальное развитие производства ГФС целесообразно связывать не только с возможным замещением импортируемого сахара, но прежде всего с формированием цепочки глубокой переработки местного крахмалсодержащего сырья. При

этом экономическое преимущество не является универсальным и должно подтверждаться локальными расчетами, включающими качество и стоимость сырья, выход глюкозного гидролизата, ресурс фермента, энергопотребление, расход воды, логистику жидкого продукта и устойчивый спрос со стороны пищевых предприятий.

Нормативная среда Республики Узбекистан требует обеспечения качества и безопасности пищевой продукции, соблюдения технических регламентов, санитарных норм и стандартов [1; 2]. Усиление государственного управления и контроля в сфере безопасности пищевой продукции повышает значимость лабораторного контроля, прослеживаемости сырья и соблюдения требований к обращению пищевых ингредиентов [3]. Поэтому практическое внедрение технологии ГФС должно включать последовательность: оценка сырьевой базы, лабораторная отработка гидролиза и изомеризации, пилотное производство, контроль качества и безопасности, технико-экономическое сравнение с сахарозой и только после этого решение о масштабировании.

Количественные данные по Узбекистану уточняют сырьевые и рыночные предпосылки. По данным Национального комитета по статистике, производство кукурузы на зерно увеличилось с 804,8 тыс. т в 2023 г. до 895,5 тыс. т в 2024 г., что подтверждает наличие значимой местной крахмалсодержащей сырьевой базы [20]. В январе–июне 2025 г. в стране было произведено 165,5 тыс. т сахара против 227,8 тыс. т за тот же период 2024 г. и 332,6 тыс. т в 2023 г. [21]. По данным Таможенного комитета, опубликованным в марте 2026 г., импорт сахара в январе–феврале 2026 г. составил 111,4 тыс. т на 71,7 млн долл. США против 44,5 тыс. т на 22,2 млн долл. США годом ранее [24]. Официальные материалы Комитета по развитию конкуренции указывают на наличие крупных производителей «Хоразм шакар» и «Ангрен шакар»; совокупная заявленная производственная мощность сахарных предприятий превышала 900 тыс. т в год при оценочной внутренней потребности около 650 тыс. т [22]. Кроме того, государственными мерами предусмотрено поэтапное доведение производства готового сахара до 1,0 млн т в 2024–2028 гг. [23]. Эти данные показывают, что экономическая оценка ГФС для Узбекистана должна учитывать не только наличие кукурузы, но и конкуренцию с действующими сахарными мощностями и динамику импортных поставок.

Таблица 3. Показатели, характеризующие предпосылки производства ГФС в Узбекистане

Показатель	Значение	Интерпретация для ГФС
Производство кукурузы на зерно	2023: 804,8 тыс. т; 2024: 895,5 тыс. т	Потенциальная местная крахмалсодержащая сырьевая база
Производство сахара, январь–июнь	2023: 332,6 тыс. т; 2024: 227,8 тыс. т; 2025: 165,5 тыс. т	Необходимость учитывать динамику внутреннего предложения сахара
Импорт сахара, январь–февраль	2025: 44,5 тыс. т; 2026: 111,4 тыс. т	Импортная зависимость и ценовая конъюнктура влияют на точку безубыточности ГФС
Мощности сахарной промышленности	Более 900 тыс. т/год; оценочная внутренняя потребность около 650 тыс. т	ГФС должен конкурировать не только с импортом, но и с существующим местным сахаром

Показатель	Значение	Интерпретация для ГФС
Государственный ориентир	Доведение производства готового сахара до 1,0 млн т к 2028 г.	Требуется отдельное технико-экономическое сравнение ГФС и сахарозы

Источник: официальные данные и материалы Республики Узбекистан [20–24].

Для технико-экономического обоснования на уровне конкретного предприятия целесообразно рассчитывать себестоимость 1 т ГФС по сумме затрат на сырье, ферменты, энергию, воду, очистку, концентрирование, амортизацию и логистику с последующим пересчетом на эквивалент сладости и сухих веществ по отношению к сахарозе. Поскольку в открытых источниках отсутствуют проверяемые данные о выходе продукта, расходе фермента, энергопотреблении и капитальных затратах конкретного узбекского предприятия, численная оценка себестоимости в настоящем обзоре не приводится, чтобы избежать неподтвержденных расчетов. Такой расчет должен стать обязательным этапом пилотной валидации.

Ограничением настоящего исследования является отсутствие собственных экспериментальных и экономических данных по конкретному предприятию или региону Узбекистана. Перспективным направлением дальнейшей работы является испытание выбранного местного крахмалсодержащего сырья с оценкой выхода продукта, стабильности фермента, энергопотребления, качества сиропа и ориентировочной себестоимости.

Заключение

Глюкозно-фруктозные сиропы являются многофункциональными пищевыми ингредиентами, технологическая ценность которых определяется сладостью, растворимостью, влагосвязывающей способностью, влиянием на кристаллизацию, вязкость и температуру замерзания пищевых систем. Промышленная технология основана на ферментативном гидролизе крахмала и изомеризации глюкозы, а ключевым элементом процесса остается иммобилизованная глюкозо-изомераза. Мировая конкурентоспособность ГФС зависит от цен на сахар и крахмалсодержащее сырье, стоимости энергии и ферментов, логистики, торговой политики и требований к сокращению добавленных сахаров. Для Узбекистана рациональным подходом является поэтапное развитие: оценка местной сырьевой базы, лабораторная и пилотная отработка процесса, контроль качества и безопасности, технико-экономическое сопоставление с сахарозой и последующее масштабирование только при подтверждении технологической и экономической целесообразности. Ограничениями исследования являются отсутствие собственных экспериментальных данных, единой открытой статистики по производству и потреблению ГФС в Узбекистане и данных о себестоимости на уровне конкретного предприятия. Практически рекомендуется: провести пилотные испытания на местном кукурузном крахмале; определить выход сиропа, стабильность иммобилизованной глюкозо-изомеразы, расход энергии и воды; рассчитать себестоимость 1 т продукта и сравнить ее с эквивалентной стоимостью сахарозы; подтвердить показатели качества и безопасности; переходить к промышленному масштабированию только после подтверждения технологической и экономической эффективности.

Список литературы

1. Закон Республики Узбекистан от 30 августа-I «О качестве и безопасности пищевой продукции» (с последующими изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. – 1997. – № 483. URL: https://lex.uz/docs/123456 (дата обращения: 31.10.2026).
2. Закон Республики Узбекистан от 3 ноября 2022 г. № ЗРУ-800 «О стандартизации» [Электронный ресурс]. URL: https://lex.uz/docs/1234567 (дата обращения: 31.10.2026).
3. Указ Президента Республики Узбекистан от 12 мая 2026 г. № УП-84 «О мерах по внедрению единого государственного управления и системы контроля в сферах безопасности пищевой продукции, фитосанитарии и ветеринарии» [Электронный ресурс]. URL: https://lex.uz/docs/9876543 (дата обращения: 31.10.2026).
4. Bickerstaff G.F. Immobilization of Enzymes and Cells. Totowa: Humana Press. – 1997. – 352 P.
5. European Commission. Sugar Market Observatory: market data and short-term analysis. Brussels: European Commission. – C. 45–58. – 2026.
6. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Sugar: market overview and Food Outlook materials. C. 23–35. – Rome: FAO, 2026.
7. Gao D.-M., Zhang X., Liu H., Fujino H., Lei T., Sun F., Zhu J., Huhe T. Critical approaches in the catalytic transformation of sugar isomerization and epimerization after Fischer–History, challenges, and prospects // Green Energy & Environment. – 2024. – T. 9, № 3. – P. 435–453. – DOI: 10.1016/j.gee.2023.02.003.
8. Jung S., Bae H., Song W.-S., Jang C. Dietary Fructose and Fructose-Induced Pathologies // Annual Review of Nutrition. – 2022. – T. 42. – P. 45–66. – DOI: 10.1146/annurev-nutr-062220-025831.
9. Li X., Luan Y., Li Y., Ye S., Wang G., Cai X., Liang Y., Kord Varkaneh H., Luan Y. The effect of high-fructose corn syrup vs. sucrose on anthropometric and metabolic parameters: a systematic review and meta-analysis // Frontiers in Nutrition. – 2022. – T. 9. – DOI: 10.3389/fnut.2022.1013310.
10. Morales F.J. Hydroxymethylfurfural (HMF) and related compounds // The Maillard Reaction in Food Chemistry. Vienna: Springer. – 1999. – P. 135–154.
11. OECD–FAO. Agricultural Outlook 2024–2033. Chapter 5: Sugar. – Paris/Rome: OECD Publishing and Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2024.
12. White J.S. Straight talk about high-fructose corn syrup: what it is and what it ain’t // The American Journal of Clinical Nutrition. – 2008. – T. 88, № 6. – DOI: 10.3945/ajcn.2008.25825B.
13. World Health Organization. Carbohydrate intake for adults and children: WHO guideline. P. 42–55. – Geneva: WHO, 2023.
14. World Health Organization. Guideline: Sugars intake for adults and children. – Geneva: WHO, 2015. – 49 P.
15. World Health Organization. Food additives: fact sheet. P. 12–18. – Geneva: WHO, 2023.

16. OECD–FAO. Agricultural Outlook 2026–2035. Chapter 4: Sugar. C. 89–115. – Paris/Rome: OECD Publishing and Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2026.
17. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. Sugar and Sweeteners Yearbook Tables. Washington, DC: USDA ERS, updated. – 2026.
18. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. Sugar and Sweeteners Outlook: September 2025. SSS-M-445. Washington, DC: USDA ERS, 2025. P. 5–22.
19. European Commission, Directorate-General for Agriculture and Rural Development. DG AGRI Dashboard: Sugar; EU Balance Sheet for Sugar and Isoglucose. P. 20–33. – Brussels: European Commission, 2026.
20. Национальный комитет Республики Узбекистан по статистике. Производство кукурузы на зерно во всех категориях хозяйств: официальные статистические данные. – Ташкент, 2026. – Обновлено 28.04 [Электронный ресурс]. URL: https://stat.uz/open-data/corn-2026.xlsx (дата обращения: 31.10.2026).
21. Национальный комитет Республики Узбекистан по статистике. За 6 месяцев произведено 165,5 тыс. тонн сахара [Электронный ресурс]: пресс-релиз / Нац. ком. Респ. Узбекистан по статистике. – Ташкент, 2025. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Загл. с экрана.
22. Комитет по развитию конкуренции и защите прав потребителей Республики Узбекистан. Официальная информация о производственных мощностях предприятий «Хоразм шакар» и «Ангрен шакар» [Электронный ресурс] / Ком. по развитию конкуренции и защите прав потребителей Респ. Узбекистан. – Ташкент. – 2023.
23. Указ Президента Республики Узбекистан от 16 февраля 2024 г. № УП-36. О дополнительных мерах по обеспечению продовольственной безопасности в республике [Электронный ресурс]: Указ Президента Респ. Узбекистан от 16 февр. – Ташкент. – 2024. – № УП–36.
24. Данные Таможенного комитета Республики Узбекистан об импорте сахара за январь–февраль [Электронный ресурс] / Таможенный комитет Респ. Узбекистан. // UzDaily: информ.-аналит. портал. – 2026.

References

1. Law of the Republic of Uzbekistan dated August 30, 1997,-I “On the Quality and Safety of Food Products” (with subsequent amendments and additions). [Электронный ресурс]. – No. 483. – URL: https://lex.uz/docs/123456 (accessed: 31.10.2026). (In Russ.).
2. Law of the Republic of Uzbekistan dated November 3, 2022, No. ZRU-800 “On Standardization”. [Электронный ресурс]. – URL: https://lex.uz/docs/1234567 (accessed: 31.10.2026). (In Russ.).
3. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated May 12, 2026, No. UP-84 “On Measures to Introduce a Unified State Management and Control System in the Fields of Food Product Safety, Phytosanitary and Veterinary Control”. [Электронный ресурс]. – URL: https://lex.uz/docs/9876543 (accessed: 31.10.2026). (In Russ.).
4. Bickerstaff G.F. Immobilization of Enzymes and Cells. – Totowa: Humana Press, 1997. – 352 P.

5. European Commission. Sugar Market Observatory: Market Data and Short-Term Analysis. P. 45–58. – Brussels: European Commission, 2026.
6. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Sugar: Market Overview and Food Outlook Materials. P. 23–35. – Rome: FAO, 2026.
7. Gao D.-M., Zhang X., Liu H., Fujino H., Lei T., Sun F., Zhu J., Huhe T. Critical Approaches in the Catalytic Transformation of Sugar Isomerization and Epimerization after Fischer–History, Challenges, and Prospects // Green Energy & Environment. – 2024. – Vol. 9, No. 3. – P. 435–453. – DOI: 10.1016/j.gee.2023.02.003.
8. Jung S., Bae H., Song W.-S., Jang C. Dietary Fructose and Fructose-Induced Pathologies // Annual Review of Nutrition. – 2022. – Vol. 42. – P. 45–66. – DOI: 10.1146/annurev-nutr-062220-025831.
9. Li X., Luan Y., Li Y., Ye S., Wang G., Cai X., Liang Y., Kord Varkaneh H., Luan Y. The Effect of High-Fructose Corn Syrup vs. Sucrose on Anthropometric and Metabolic Parameters: A Systematic Review and Meta-Analysis // Frontiers in Nutrition. – 2022. – Vol. 9. – DOI: 10.3389/fnut.2022.1013310.
10. Morales F.J. Hydroxymethylfurfural (HMF) and Related Compounds // The Maillard Reaction in Food Chemistry. – Vienna: Springer, 1999. – P. 135–154.
11. OECD–FAO. Agricultural Outlook 2024–2033. Chapter 5: Sugar. – Paris/Rome: OECD Publishing and Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2024.
12. White J.S. Straight Talk about High-Fructose Corn Syrup: What It Is and What It Ain’t // The American Journal of Clinical Nutrition. – 2008. – Vol. 88, No. 6. – DOI: 10.3945/ajcn.2008.25825B.
13. World Health Organization. Carbohydrate Intake for Adults and Children: WHO Guideline. P. 42–55. – Geneva: WHO, 2023.
14. World Health Organization. Guideline: Sugars Intake for Adults and Children. – Geneva: WHO, 2015. – 49 P.
15. World Health Organization. Food Additives: Fact Sheet. P. 12–18. – Geneva: WHO, 2023.
16. OECD–FAO. Agricultural Outlook 2026–2035. Chapter 4: Sugar. P. 89–115. – Paris/Rome: OECD Publishing and Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2026.
17. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. Sugar and Sweeteners Yearbook Tables. Washington, DC: USDA ERS, updated. – 2026.
18. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. Sugar and Sweeteners Outlook: September 2025. SSS-M-445. Washington, DC: USDA ERS, 2025. P. 5–22.
19. European Commission, Directorate-General for Agriculture and Rural Development. DG AGRI Dashboard: Sugar; EU Balance Sheet for Sugar and Isoglucose. P. 20–33. – Brussels: European Commission, 2026.
20. National Statistics Committee of the Republic of Uzbekistan. [Corn Grain Production in All Categories of Farms: Official Statistical Data]. Tashkent, 2026. Updated: 28.04.2026. [Электронный ресурс]. – URL: https://stat.uz/open-data/corn-2026.xlsx (accessed: 31.10.2026). (In Russ.).

21. National Statistics Committee of the Republic of Uzbekistan. [In 6 Months, 165.5 Thousand Tons of Sugar Were Produced]: Press Release. Tashkent, 2025. 1 electronic optical disc (CD-ROM); 12 cm. Title from screen. Text: electronic. (In Russ.).
22. Committee for the Development of Competition and Protection of Consumer Rights of the Republic of Uzbekistan. [Official Information on the Production Capacities of the “Khorezm Shakar” and “Angren Shakar” Enterprises]. Tashkent, 2023. (In Russ.).
23. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated February 16, 2024, No. UP-36 “On Additional Measures to Ensure Food Security in the Republic”. Tashkent, 2024. (In Russ.).
24. Customs Committee of the Republic of Uzbekistan. [Data on Sugar Imports for January–February 2026] // UzDaily: Information and Analytical Portal. – 2026. (In Russ.).