

*Л.Л. Богданова, к.т.н., В.В. Ковалева*  
*Институт мясо-молочной промышленности, Минск, Республика Беларусь*

## **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО РЫНКА ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ: ЛАКТАЗЫ**

*L. Bahdanava, V. Kovaleva*  
*Institute for Meat and Dairy Industry, Minsk, Republic of Belarus*

### **ANALYSIS OF THE MODERN MARKET FOR LACTASE DRUGS**

*e-mail: bogdanova\_ll@tut.by, viktoriakovaleva000@gmail.com*

*В статье представлен обзор способов снижения лактозы в молочных продуктах, а также анализ современного рынка препаратов β-галактозидаз, изучен ассортимент и проведена сравнительная характеристика указанных ферментов.*

*The article provides an overview of methods for reducing lactose in dairy products, as well as an analysis of the modern market for β-galactosidase drugs, the range is studied and a comparative description of these enzymes is carried out.*

**Ключевые слова:** безлактозные продукты, лактаза, ферментный гидролиз.

**Keywords:** lactose-free products, lactase, enzymatic hydrolysis.

**Введение.** Анализ развития рынка молочной продукции показал, что одним из самых быстрорастущих сегментов молочной промышленности в настоящее время является рынок безлактозной молочной продукции. Сегодня мировой рынок безлактозного молока оценивается аналитиками в \$12,1 млрд и, согласно прогнозам, к 2025 году предполагается его рост до 18,4 млрд с совокупным темпом прироста в 8,7% ежегодно. Безлактозное молоко и молочные продукты на ключевых рынках мира перестали быть нишевыми продуктами и перешли в категорию повышенного спроса, обогнав на 2,3% по уровню прироста классическую молочную линейку [1].

Одной из причин роста популярности указанных продуктов аналитики называют набирающий обороты тренд на здоровый образ жизни и растущую осведомленность населения о клинических проявлениях непереносимости лактозы. Производители молочной продукции, в свою очередь, готовы в соответствии со спросом предложить потребителям широкую гамму безлактозной молочной продукции, так как априори указанная продукция предполагает более высокую добавленную стоимость.

Следует отметить, что параллельно с ростом производства и потребления безлактозной продукции происходит, даже еще более быстрыми темпами, рост производства и потребления альтернатив молочным продуктам с использованием различных растительных белков (например, сои, гороха, нута и др.). Согласно данным компании Research and Markets, доход этого сегмента к 2024 году достигнет 38 млрд USD, продемонстрировав среднегодовой темп прироста в 14% [2]. Основными предпосылками отказа от коровьего молока в пользу растительного также являются непереносимость лактозы и аллергия на молоко. Согласно исследованию экспертной группы Biology Lactation Lab, до 75% взрослого населения планеты не переносят лактозу, поступающую с пищей, а у 1–3% младенцев и детей наблюдается аллергия на

молочные белки [2]. Мы допускаем, что процент людей, не переносящих лактозу, в приведенной статистике может быть завышен ввиду того, что при диагностике лактазной недостаточности с помощью нагрузочного теста используются достаточно большие количества лактозы (1 г/кг массы тела, но не более 50 г), но тем не менее очевидно, что указанная проблема приобретает массовый характер.

В России безлактозная молочная продукция пока является нишевой категорией и занимает менее одного процента в продажах крупнейших торговых сетей и в структуре потребления населения [1].

В Беларуси активная работа по созданию низко- и безлактозных продуктов началась в 2011 году. РУП «Институт мясо-молочной промышленности» (далее по тексту – Институт) в 2011 году были разработаны технологии изготовления и технические условия на безлактозное молоко, в 2012 году – на продукты низколактозные диетического профилактического питания «Минилакт». ОАО «Савушкин продукт» в 2011 г. начало производство безлактозного молока с массовой долей жира 2,5% [3]. В 2014 г. Солигорский филиал ОАО «Слущкий сыродельный комбинат» произвел серию безлактозного молока с массовой долей жира 1,5% и творога под товарным знаком «Complimilk» [4]. Также в ассортименте продукции ОАО «Минский молочный завод № 1» имелось безлактозное молоко «Минская марка» с массовой долей жира 3,2%. Все указанные технологии созданы на основе ферментного гидролиза препаратами  $\beta$ -галактозидаз.

В настоящее время вследствие расширения географии экспорта молочных продуктов имеется объективная необходимость разработки и освоения технологии изготовления широкого ассортимента безлактозной продукции, в том числе сыров с небольшими сроками созревания. Реализация такой технологии возможна при условии создания биотехнологических способов обработки молочных смесей для сыроделия, гарантирующих снижение содержания лактозы до требуемого уровня.

Целью работы, инициированной Институтом совместно с ОАО «Молочный мир» является разработка и освоение биотехнологических способов обработки молочных смесей для сыроделия, обеспечивающих направленность микробиологических процессов, с целью создания технологии изготовления новой группы сыров для удовлетворения потребностей различных категорий населения, в том числе людей, страдающих лактазной недостаточностью, а также расширения ассортиментного перечня и повышения качества и экспортной ориентированности выпускаемых сыров.

**Материалы и методы исследований.** Проведение научного анализа современного рынка ферментных препаратов  $\beta$ -галактозидаз и их отбор для дальнейшего изучения осуществлялся в лаборатории технологий сыроделия и маслоделия РУП «Институт мясо-молочной промышленности» путем изучения научных публикаций и с учетом имеющихся сегодня на рынке республики коммерческих предложений, при выборе учитывалась заявленная активность ферментных препаратов и требуемые условия проведения процесса гидролиза.

**Результаты и их обсуждение.** Традиционный способ снижения количества лактозы в молочных продуктах – ферментирование: при изготовлении кисломолочных продуктов или при созревании сыра благодаря действию заквасочных микроорганизмов происходит естественный метаболизм лактозы. Поэтому все кисломолочные продукты и созревающие сыры в сравнении с обычным молоком содержат меньшее количество лактозы. Таким образом, при гиполактазии (когда фермент лактаза в организме человека вырабатывается, но в недостаточном количестве, либо он недостаточно активен) допускается употреблять в пищу зрелые сыры и кисломолочные продукты (йогурты, творог, кефир, простоквашу), чтобы сохранить уровень потребления молочной продукции при отказе от обычного молока. При алактазии и выраженной степени гиполактазии даже минимальное содержание

лактозы вызывает реакцию организма, поэтому низколактозные продукты не могут быть альтернативным решением, так как лактозу из рациона необходимо исключить полностью. Для таких случаев рекомендуется выбирать безлактозный продукт, который гарантированно не содержит молочного сахара, о чем свидетельствует соответствующая надпись на упаковке [5].

Безлактозный продукт переработки молока в соответствии с ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» – это *продукт переработки молока, в котором содержание лактозы составляет не более 0,1 г на 1 л готового к употреблению продукта, в котором лактоза гидролизована или удалена* (ч. 5, ст. II), поэтому весь производимый на сегодняшний день молокоперерабатывающими предприятиями республики ассортимент сыров не относится к безлактозным («Голландский», «Российский», «Гауда», «Тильзитер», «Маасдам» и другие), т.к. в их технологии нет специальной стадии удаления или гидролиза лактозы. Специализированным безлактозным молочным продуктом следует считать продукт, изготовленный из безлактозного молока, т.е. из молока, в котором еще до его переработки на другие молочные продукты лактоза была удалена либо путем ферментативного расщепления (гидролиза), либо путем мембранной фильтрации с последующим гидролизом остаточного количества ферментативным способом. Для отнесения молочного продукта к этой категории необходимо подтверждение того, что исходное молоко-сырье было подвергнуто специальной обработке [6].

Для получения указанных продуктов применяются так называемые технологические способы снижения содержания лактозы, когда лактоза подвергается гидролизу в процессе производства продукта.

Гидролиз лактозы в молочном лактозосодержащем сырье может быть осуществлен термическим, химическим (кислотным), безреагентным (с использованием электрохимически активных водных растворов и ионообменных смол) и ферментативным (под действием препаратов лактазы, в том числе иммобилизованных, и биотрансформирующих культур микроорганизмов) способами [7].

Наиболее применимым в пищевой промышленности является ферментный гидролиз, осуществляемый посредством воздействия на лактозосодержащее сырье фермента  $\beta$ -галактозидазы (лактазы). Ферментативный гидролиз лактозы возможен посредством как растворимых форм  $\beta$ -галактозидазы, так и с применением иммобилизованных ферментов, т.е. ферментов, искусственно связанных с нерастворимым в воде носителем и сохранивших свои каталитические свойства [7]. Преимуществом применения в молочной промышленности иммобилизованных ферментов заключается прежде всего в том, что в результате иммобилизации расширяются границы температурного и рН-оптимумов действия многих биокатализаторов, в том числе и  $\beta$ -галактозидазы. Нерастворимые производные ферментов могут многократно использоваться, тем самым открывается возможность перехода в дальнейшем от периодических технологических процессов, связанных с ферментативной переработкой молочного сырья, к непрерывным. Кроме того, ферменты не попадают в продукты, что повышает качество последних [8].

Стоит отметить, что технологии ферментативного гидролиза лактозы посредством систем иммобилизованных ферментных систем сложны в техническом исполнении и для получения безлактозных продуктов питания экономически нецелесообразны. Поэтому зачастую более рациональным является применение  $\beta$ -галактозидазы в растворимой форме, особенно если не стоит вопрос о 100%-ном гидролизе молочного сахара в сырье.

Массовая доля лактозы в сырах зависит от технологических параметров производства (температуры второго нагревания, уровня активной кислотности, количества добавляемой пастеризованной воды и т.п.), используемой заквасочной и

добавочной микрофлоры (микроорганизмы рода *Lastobacillus* обладают более высокой  $\beta$ -галактозидазной активностью, чем лактококки). Многими авторами отмечается значимая зависимость содержания лактозы в сырах от массовой доли поваренной соли в водной фазе сыра [9]. В литературных источниках имеется довольно много информации по этому вопросу для сыра Чеддер, но ее гораздо меньше для других видов сыров. Для сыра Чеддер отмечается, что массовая доля лактозы в сыре из-под пресса составляет 0,8% – 1% [10], после 60 суток созревания – 0,09%, после 120 суток созревания – 0,04% [11]. Сыр «Чеддер» относится к группе сыров с повышенным уровнем молочнокислого брожения, т.е. в процессе его изготовления используются технологические приемы, способствующие максимально быстрому сбраживанию лактозы в течение первых часов выработки. Для других видов полутвердых и твердых сыров в среднем массовая доля лактозы в сыре из-под пресса в различных научных публикациях варьирует от 1,7% до 2,3%. В отношении содержания лактозы в готовых сырах разброс приводимых значений еще больше – от 0% в сырах швейцарского типа (для которых характерно использование бактериальной закваски со сложным составом (мезофильные лактококки, термофильные стрептококки, термофильные молочнокислые палочки, пропионовокислые бактерии), высокая температура второго нагревания (до 58°C), способствующая быстрому обезвоживанию сырного зерна и в середине процесса созревания перевод сыров в бродильную камеру (до 26°C), что также способствует интенсивному сбраживанию лактозы) до 2,2% в полутвердых козьих сырах. В открытом доступе имеется обзорная статья, опубликованная в 2019 г в *Journal of Nutrition & Intermediary Metabolism*, в которой обосновывается целесообразность разработки технологий безлактозных продуктов и представлен диапазон процентного содержания лактозы для некоторых видов сыров. Так, для сыра Чеддер это 0,09% – 0,5%, для Моцареллы – от 0,1 до 1,59%, для козьих сыров 2,2%, для свежих сыров типа Коттедж – от 1% до 3,1% [12].

Из представленных данных следует, что содержание лактозы в различных видах сыров существенно отличается. И, как отмечалось выше, сегодня расширяется география экспортных поставок молочной продукции, в том числе в регионы, где непереносимость лактозы встречается особенно часто – Азию, Африку, Южную Америку. Вышеприведенные факты подтверждают необходимость проведения масштабных научных исследований в направлении разработки новых технологий производства безлактозных молочных продуктов, в том числе сыров.

В традиционной технологии изготовления сыров в процессе их созревания под действием ферментных систем заквасочных микроорганизмов образуется целый спектр новых веществ, формирующих необходимые органолептические характеристики продукта. Лактоза при этом играет важную роль в формировании вкусового букета путем трансформации в лактат (гликолиз) или лактат, этанол и CO<sub>2</sub> (фосфокетотазный путь), которые далее посредством различных биохимических реакций катаболизируются с образованием различных вкусоароматических соединений. При проведении предварительного ферментного гидролиза лактозы направленность и интенсивность протекания указанных метаболических путей изменится. Поэтому важным этапом работы является анализ и отбор ферментных препаратов.

На сегодняшний день главными игроками на рынке ферментных препаратов остаются такие компании, как Novozymes, Danisco, Genzyme, Roche, Allergen, DSM и BASF. Компания Novozymes контролирует 46% рынка ферментных препаратов, из которых, по данным исследовательского агентства Freedonia Group, более 26% приходится на ферменты для пищевой промышленности. Остальная часть (36%) распределена между Danisco, Genzyme, Roche, Allergen, DSM и BASF. Рынок пищевых ферментов отмечает исключительно положительную динамику. Для сравнения: весь рынок ферментных препаратов ежегодно «прирастает» в среднем на 10%, ежегодный рост европейского рынка, обеспеченный инновационными разработками, достиг

уровня 3,5%. Мировой рынок ферментов растет вместе с мировым спросом на эту продукцию. На российском и белорусском рынках присутствует продукция практически всех мировых лидеров. Крупные фирмы предлагают на рынок, как правило, широкий спектр ферментов. Фирмы, специализирующиеся на определенных отраслях пищевой промышленности, выпускают ферменты специального назначения. Крупная датская фирма Chr.Hansen, работающая на рынке молочной продукции, уже более 130 лет производит и реализует универсальный сычужный фермент для производства сыра. Компания по праву считается лидером на рынке сыров, поставляя натуральные молокосвертывающие ферменты производителям сыра во всем мире. Наряду с европейскими лидерами по производству ферментов все чаще на рынке появляются фирмы из Индии, Южной Кореи, Тайваня, Китая, чьи производства, по мнению аналитиков, влияют на повышение спроса. Так, компания «ХимПартнеры» - российское подразделение индийско-китайско-российской группы ProPartners, специализирующейся на международной торговле сырьевыми материалами, поставляет ферменты индийского производства для многих отраслей пищевой промышленности (пивоварения, хлебобулочной, соковой, чайной и др.). Во всем мире сферы применения ферментов расширяются с развитием и внедрением современных инновационных технологий. Что касается инновационных технологий, то Беларусь более консервативна в сравнении с европейскими странами, поэтому по использованию ферментных препаратов мы отстаем от Европы. Но стремление людей к здоровому образу жизни, а значит, и потреблению здоровой и функциональной пищи, вынуждает производителей постепенно наращивать объемы производства ферментных препаратов с использованием инновационных технологий, позволяющих использовать различные пищевые ингредиенты, в том числе и ферменты определенного узконаправленного действия.

Среди ферментов, относящихся к группе гидролаз, действующих на гликозидные соединения, лактаза –  $\beta$ -галактозидаза – по распространенности занимает одно из первых мест. Источники для выделения данного фермента обширны и разнообразны. В растениях  $\beta$ -галактозидаза встречается в эмульсине, в некоторых розовоцветных (миндале, сливе, абрикосах). Также фермент найден в семенах сои и бобов. Широко распространена  $\beta$ -галактозидаза и в животном мире. Высокая активность  $\beta$ -галактозидазы обнаружена в слизистой оболочке тонкого кишечника телят, собак, крыс. Найден фермент в мозговой ткани, в слюне человека, в лейкоцитах, непосредственно в толстом кишечнике, а также в почках. Но особенно много  $\beta$ -галактозидазы образуют микроорганизмы. Различные штаммы *Esherihia coli* служат одним из источников выделению бактериального фермента. Микроорганизмы *Lactococcus lactis*, *Duramanos formicans*, *Aerobacter* и ряд других также проявляют  $\beta$ -галактозидазную активность. У грибов активная лактаза найдена у представителей *Aspergillus orizae*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*. Основными источниками  $\beta$ -галактозидазы являются дрожжи рода *Saccharomyces* [13].

Основным биологическим и природным субстратом для действия  $\beta$ -галактозидазы является лактозосодержащее сырьё – молоко, сыворотка, пахта и другие молочные производные. Впервые на возможность применения  $\beta$ -галактозидазы при производстве молочных продуктов указали Turnow и Grey. Они проводили гидролиз лактозы  $\beta$ -галактозидазой, выделенной из кефирных грибков, для предупреждения образования «песчанистости» в мороженом [14].

Известно, что ферменты, обладающие одинаковой функцией, но выделенные из разных источников, отличаются друг от друга некоторыми свойствами, которые характерны лишь для данного фермента. Так, препараты фермента  $\beta$ -галактозидазы в зависимости от оптимального для их действия рН можно разделить на две группы: кислые и нейтральные. К первым относят с оптимумом рН 3,0-5,0, продуцируемые промышленными штаммами мицелиальных грибов *Aspergillus niger*, *Aspergillus*

*oryzae*. Грибы синтезируют как внутриклеточную, так и внеклеточную форму  $\beta$ -галактозидазы, вторая преобладает, что облегчает выделение ферментных препаратов. Внеклеточная  $\beta$ -галактозидаза грибов – гликопротеин молекулярной массы 115–176 кДа. К промышленно ценным продуцентам нейтральных лактаз (оптимум pH 6,0–8,0) относят дрожжи *Kluveromyces lactis*, *Kluveromyces fragilis*, бактериальные культуры *Escherichia coli*, термофильные виды рода *Lactobacillus*, *Leuconostoc citrovorum*. Дрожжи и бактерии синтезируют внутриклеточный фермент высокой молекулярной массы 200–600 кДа [15].

В настоящее время рынок ферментных препаратов, с помощью которых можно осуществить гидролиз лактозы в молочном сырье, очень широк, наиболее популярными можно назвать такие марки лактаз, как «Maxilakt», «Ha-Lactase», «Галоксил», «Лактоканесцин», «Lactastar», «NOLA™ Fit» «Biolactase», «Astrolact» и другие.

Препараты «Maxilakt» компании DSM Food Specializaties – это очищенные препараты лактазы, выделенные из штаммов дрожжей *Saccharomyces (Kluveromyces) marxianus* var. *lactis*. На данный момент данный производитель представляет варианты с различной активностью и характеристиками [16].

Лактаза «Ha-Lactase» компании Хр. Хансен относится к нейтральным ферментам, выделена из штаммов дрожжей *Kluveromyces fragilis*. Согласно многочисленным научным данным оптимум действия данного фермента находится в пределах 6,0–6,5 ед. pH. Ассортиментный ряд ферментов «Ha-Lactase» компании Хр. Хансен представлен двумя видами препаратов «Ha-Lactase™ 2100» и «Ha-Lactase™ 5200» с активностями 2000 и 5000 NLU (Neutral Lactase Unit)/г соответственно [17].

Лактаза «Biolactase L» компании Kerry выделена из штаммов дрожжей *Kluveromyces lactis* и относится к нейтральным ферментам. Оптимум действия данного фермента составляет около 6,0 ед. pH. Ассортиментный ряд ферментов «Biolactase L» представлен двумя видами препаратов «Biolactase L20» и «Biolactase L40» с активностями 20000 NLU/г и 48000 GU/ml соответственно.

Лактаза «ASTROLACT LX» компании Calza Clemente (Италия) выделена из штаммов дрожжей *Kluveromyces lactis* и также относится к нейтральным ферментам. Оптимум действия данного фермента составляет 6,6–6,8 ед. pH и 35–40 °С. Ассортиментный ряд ферментов «ASTROLACT LX» представлен двумя видами препаратов «ASTROLACT LX2000» и «ASTROLACT LX5000» с активностями 2000 и 5000 NLU/г соответственно. Срок хранения: 24 месяца при температуре 4–20°С.

NOLA™ Fit 5500 – это новая высокоочищенная и стандартизированная жидкая  $\beta$ -галактозидаза (лактаза) *Bifidobacterium bifidum* компании Chr. Hansen (Дания). Донор: *Bifidobacterium bifidum*. Продуцент: *Bacillus licheniformis*. Изготовлена путем глубокой ферментации растительного субстрата с использованием отобранного штамма *Bacillus licheniformis*, который благодаря особенному технологическому процессу отсутствует в конечном продукте. Продукт представляет собой премиум лактазу, которая пригодна для изготовления безлактозного молока, кисломолочных продуктов и сыра. Состав: глицерин (E 422), вода, бета-галактозидаза. Активность: 5500 BLU (Bifidobacterium Lactase Unit)/г. Активность, выраженная в BLU, не пересчитывается и не соотносится с такими единицами, как NLU. Срок хранения: 12 месяцев при температуре 4–8°С.

Лактаза «LACTASTAR 4025» компании Calza Clemente (Италия) донор: *Kluveromyces lactis*, продуцент: *Aspergillus oryzae* относится к кислым ферментам. Оптимум действия данного фермента составляет 3,0–5,5 ед. pH и 45–55 °С. Заявленная активность составляет 4025 NLU/г. Срок хранения: 24 месяца при температуре 4–20°С.

Техническим регламентом ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» перечень

микроорганизмов-продуцентов лактаз, разрешенных для применения при производстве пищевой продукции, ограничен микроорганизмами видов *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Kluyveromyces fragilis*, *Kluyveromyces lactis* и *Saccharomyces sp.* (Приложение 26, стр. 240).

Исходя из изложенного, для сыроделия предпочтительнее использовать внутриклеточные лактазы, продуцентами которых являются дрожжи родов *Kluyveromyces* и *Saccharomyces*, т.к. оптимум их действия находится в диапазоне активной кислотности от 6,6 ед.рН до 7,3 ед.рН.

В результате проделанной работы подобрано четыре ферментных препарата  $\beta$ -галактозидазы разных изготовителей. Три из них относятся к нейтральным лактазам: «ASTROLACT LX» компании Calza Clemente, «Biolactase L» компании Kerry и «Maxilakt» компании DSM Food Specializaties и один – к кислым лактазам: «LACTASTAR 4025» компании Calza Clemente.

**Заключение.** В результате анализа современных требований к качеству и безопасности сыров, а также процессам их производства, определено, что для изготовления безлактозных сыров требуется разработка биотехнологических способов обработки молочных смесей для сыроделия, обеспечивающих получение готового продукта с массовой долей лактозы, не превышающей 0,01%. Проведен научный анализ современного рынка ферментных препаратов  $\beta$ -галактозидазы, изучен ассортимент и проведена сравнительная характеристика указанных ферментов. Установлено, что для сыроделия предпочтительнее использовать внутриклеточные лактазы, продуцентами которых являются дрожжи родов *Kluyveromyces* и *Saccharomyces*, т.к. оптимум их действия находится в диапазоне активной кислотности от 6,6 ед.рН до 7,3 ед.рН. Отобрано для исследований четыре ферментных препарата  $\beta$ -галактозидаз разных изготовителей: «ASTROLACT LX» и «LACTASTAR 4025» компании Calza Clemente, «Biolactase L» компании Kerry и «Maxilakt» компании DSM Food Specializaties.

### Список использованных источников

1. Как развивается рынок безлактозного молока в России и мире [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://milknews.ru/longridy/bezlaktoznoye-moloko.html>. – Дата доступа: 10.10.2023.
2. Обзор рынка молока и молочной продукции Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://bikratings.by/wp-content/uploads/2021/10/obzor\\_rynka\\_moloka\\_i\\_molochnoj\\_produkczii\\_bearusii-1.pdf](https://bikratings.by/wp-content/uploads/2021/10/obzor_rynka_moloka_i_molochnoj_produkczii_bearusii-1.pdf). – Дата доступа: 19.12.2023.
3. Больше, чем молоко [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.savushkin.by/press-center/news/675.html>. – Дата доступа: 19.12.2023.
4. Как это сделано. Фоторепортаж о производстве молочной продукции в Солигорске [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.esoligorsk.by/novosti/v-soligorske/46858-kak-etosdelano-proizvodstvo-molochnoj-produkcсии-v-soligorske>. – Дата доступа: 18.12.2023.
1. Kak razvivaetsja rynek bezlaktoznoho moloka v Rossii i mire [Jelektronnyj resurs] [How the lactose-free milk market is developing in Russia and the world]. – Rezhim dostupa: <https://milknews.ru/longridy/bezlaktoznoye-moloko.html>. – Data dostupa: 10.10.2023.
2. Obzor rynka moloka i molochnoj produkcii Respubliki Belarus' [Jelektronnyj resurs] [Overview of the milk and dairy products market of the Republic of Belarus]. – Rezhim dostupa: [https://bikratings.by/wp-content/uploads/2021/10/obzor\\_rynka\\_moloka\\_i\\_molochnoj\\_produkczii\\_bearusii-1.pdf](https://bikratings.by/wp-content/uploads/2021/10/obzor_rynka_moloka_i_molochnoj_produkczii_bearusii-1.pdf). – Data dostupa: 19.12.2023.
3. Bol'she, chem moloko [Jelektronnyj resurs] [More than milk]. – Rezhim dostupa: <http://www.savushkin.by/press-center/news/675.html>. – Data dostupa: 19.12.2023.
4. Kak jeto sdelano. Fotoreportazh o proizvodstve molochnoj produkcii v Soligorske [Jelektronnyj resurs] [How it's done. Photo report about the production of dairy products in Soligorsk]. – Rezhim dostupa: <http://www.esoligorsk.by/novosti/v-soligorske/46858-kak-etosdelano-proizvodstvo-molochnoj-produkcсии-v-soligorske>. – Data dostupa: 18.12.2023.

5. Арсеньева, Т. П. К чему приводит лактозная недостаточность / Т. П. Арсеньева // Молочная промышленность. – 2010. – №7 – С. 28–30.
6. Безлактозные сыры – миф или реальность? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://moloprom.ru/2017/10/bezlaktozny-e-sy-ry-mif-ili-real-nost-2/f>. – Дата доступа: 19.12.2023.
7. Березин, Й. В. Основы физической химии ферментативного катализа / Й. В. Березин, К. Мартинек // М., Высшая школа, 1997. – 279 с.
8. Лайдсаар, Рейне Бадриковна Поиск способов стабилизации ферментов с целью повышения эффективности технологических биоорганических катализаторов (на примере дрожжевой бета-галактозидазы) / Рейне Бадриковна Лайдсаар / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dissercat.com/content/poisk-sposobov-stabilizatsii-fermentov-s-tselyu-povysheniya-effektivnosti-tehnologicheskikh>. – Дата доступа: 20.10.2015.
9. Biochemistry of cheese ripening [Electronic resource] — Mode of access: <https://www.researchgate.net/publication/313258453>. – Date of access: 10.10.2022.
10. Cheese : Chemistry, Physics and Microbiology / ed.: P. F Fox, P. L. H. McSweeney, T. M. Cogan, T. P Guinee, P. 361.
11. Biochemistry of cheese [Electronic resource]. – Mode of access: <https://docsdrive.com/pdfs/ansinet/pjn/2008/509-512.pdf>. – Date of access: 29.10.2022.
12. Considerations for development of lactose-free food [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352385918300069#bib30>. – 29.10.2022.
13. Хамагаева, И. С. Теоретическое обоснование и разработка технологии кисломолочных продуктов на основе использования  $\beta$ -галактозидазы и бифидобактерий : автореф. дис. д-ра техн. наук. – М., 1989. – 34 с.
14. Soft ice cream and process for production thereof: pat. 4333954 USA A23G9/00; A23G9/32; A23G9/02; A23G9/04. / Trzeczieski, Jan (Naerum, DK). – Publ. date 06.08.1982.
15. Синицын, А. П. Технологические свойства  $\beta$ -галактозидазы / А. П. Синицын // Москва : Молочная промышленность, 2001. – 55 с.
16. «Максилакт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www/maxilact.ru>. – Дата доступа: 13.05.2019.
5. Arsen'eva, T. P. K chemu privodit laktoznaja nedostatochnost' [What does lactose deficiency lead to? ]/ T. P. Arsen'eva // Molochnaja promyshlennost'. – 2010. – №7 – С. 28–30.
6. Bezlaktoznye syry – mif ili real'nost'? [Jelektronnyj resurs] [Lactose-free cheeses – myth or reality?]. – Rezhim dostupa: <http://moloprom.ru/2017/10/bezlaktozny-e-sy-ry-mif-ili-real-nost-2/f>. – Data dostupa: 19.12.2023.
7. Berezin, J. V. Osnovy fizicheskoj himii fermentativnogo kataliza [Fundamentals of physical chemistry of enzymatic catalysis] / J. V. Berezin, K. Martinek // M., Vysshaja shkola, 1997. – 279 s.
8. Lajdsaar, Rejne Badrikovna Poisk sposobov stabilizacii fermentov s cel'ju povysheniya jeffektivnosti tehnologicheskikh bioorganicheskikh katalizatorov (na primere drozhzhevoj beta-galaktozidazy) [Search for ways to stabilize enzymes in order to increase the efficiency of technological bioorganic catalysts (using the example of yeast beta-galactosidase)] / Rejne Badrikovna Lajdsaar / [Jelektronnyj resurs]. — Rezhim dostupa: <http://www.dissercat.com/content/poisk-sposobov-stabilizatsii-fermentov-s-tselyu-povysheniya-effektivnosti-tehnologicheskikh>. – Data dostupa: 20.10.2015.
9. Biochemistry of cheese ripening [Electronic resource] — Mode of access: <https://www.researchgate.net/publication/313258453>. – Date of access: 10.10.2022.
10. Cheese : Chemistry, Physics and Microbiology / ed.: P. F Fox, P. L. H. McSweeney, T. M. Cogan, T. P Guinee, P. 361.
11. Biochemistry of cheese [Electronic resource]. – Mode of access: <https://docsdrive.com/pdfs/ansinet/pjn/2008/509-512.pdf>. – Date of access: 29.10.2022.
12. Considerations for development of lactose-free food [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352385918300069#bib30>. – 29.10.2022.
13. Hamagaeva, I. S. Teoreticheskoe obosnovanie i razrabotka tehnologii kislomolochnyh produktov na osnove ispol'zovanija  $\beta$ -galaktozidazy i bifidobakterij [Theoretical substantiation and development of technology for fermented milk products based on the use of  $\beta$ -galactosidase and bifidobacterial] : avtoref. dis. d-ra tehn. nauk. – M., 1989. – 34 s.
14. Soft ice cream and process for production thereof: pat. 4333954 USA A23G9/00; A23G9/32; A23G9/02; A23G9/04. / Trzeczieski, Jan (Naerum, DK). – Publ. date 06.08.1982.
15. Sinicyн, A. P. Tehnologicheskie svojstva  $\beta$ -galaktozidazy [Technological properties of  $\beta$ -galactosidase] / A. P. Sinicyн // Moskva : Molochnaja promyshlennost', 2001. – 55 s.
16. «Maksilakt» [Jelektronnyj resurs] [Maxilact]. – Rezhim dostupa: <http://www/maxilact.ru>. – Data dostupa: 13.05.2019.

17. Ha-lactase™ – решение, которое отвечает запросам 70% населения планеты! [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chr-hansen.com/ru/food-cultures-and-enzymes/fresh-dairy/cards/product-cards/ha-lactase>. – Дата доступа: 18.09.2019.

17. Ha-lactase™ – reshenie, которое otvechaet zaprosam 70% naselenija planety! [Jelektronnyj resurs] [Ha-lactase™ is a solution that meets the needs of 70% of the world's population!]. – Rezhim dostupa: <https://www.chr-hansen.com/ru/food-cultures-and-enzymes/fresh-dairy/cards/product-cards/ha-lactase>. – Data dostupa: 18.09.2019.