

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БИОБЕЗОПАСНОСТИ СЫРОПРИГОДНОГО МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ

**И.Ю. Потороко**, *potorokoi@susu.ru*

**А.А. Руськина**, *ruskinaaa@susu.ru*

**В.Е. Ваганов**, *vsevolod.vaganov.96@mail.ru*

*Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия*

**Аннотация.** Одной из проблем животноводства является достаточность и биобезопасность кормовой базы, а также высокий уровень цен на кормовые концентраты, специально приготовленные и наиболее физиологически приемлемые продукты, главным образом растительного и животного происхождения, содержащие в доступной форме необходимые животному питательные вещества, не оказывающие вредного влияния на здоровье животных и качество получаемой от них продукции. Последствия глобального потепления климата определяют комплекс неблагоприятных факторов для сельскохозяйственных культур, снижая урожайность на фоне засухи и экстремальных дождей, достаточность продовольственного сырья для пищевых и фуражных целей, биобезопасность кормов. Одним из наиболее важных рисков, обусловленных изменением климата, особенно значимых для зерновых культур стало загрязнение микотоксинами. Данные продуценты являются вторичными метаболитами мицелиальной микрофлоры, проявляющими токсичное действие на человека и животных. В связи с представленной выше проблемой является актуальным поиск и разработка инновационных технологических решений обеззараживания, что возможно при детальном глубинном изучении микотоксинов с применением квантово-химических вычислений. Целью данного исследования стало изучение геометрических параметров, стабильности, реактивности молекул двух микотоксинов дезоксиниваленола (ДОН) и зеараленона (ЗЕН), определяющих риски снижения качества и безопасности кормового сырья для лактирующих животных, и их влияние на показатели сырьевой пригодности производимого молочного сырья. В ходе квантово-химических вычислений был сформирован массив данных, который будет полезен для дальнейшего изучения взаимодействия микотоксинов с белками зерна пшеницы, что открывает новые возможности для исследования микотоксинов и их свойств в составе сельскохозяйственных культур с целью минимизации возможных рисков в трофических цепях.

**Ключевые слова:** кормовые смеси, микотоксины, квантово-химические расчеты, молочное сырье, сыропригодность

**Благодарности.** Статья выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) в рамках проекта 24-16-20028.

**Для цитирования:** Потороко И.Ю., Руськина А.А., Ваганов В.Е. Технологические подходы обеспечения биобезопасности сыропригодного молочного сырья // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2025. Т. 13, № 3. С. 47–56. DOI: 10.14529/food250305

Original article  
DOI: 10.14529/food250305

## TECHNOLOGICAL APPROACHES TO ENSURING THE BIOSAFETY OF CHEESE-FITTING DAIRY RAW MATERIALS

*I.Yu. Potoroko*, [potorokoi@susu.ru](mailto:potorokoi@susu.ru)  
*A.A. Ruskina*, [ruskinaaa@susu.ru](mailto:ruskinaaa@susu.ru)  
*V.E. Vaganov*, [vsevolod.vaganov.96@mail.ru](mailto:vsevolod.vaganov.96@mail.ru)  
South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

**Abstract.** One of the problems of animal husbandry is the sufficiency and biosafety of the feed base, as well as the high price level of feed concentrates, specially prepared and the most physiologically acceptable products, mainly of plant and animal origin, containing in an accessible form the nutrients necessary for the animal, which do not have a harmful effect on the health of animals and the quality of the products obtained from them. The consequences of global warming determine a set of unfavorable factors for agricultural crops, reducing yields against the background of drought and extreme rains, the sufficiency of food raw materials for food and forage purposes, and the biosafety of feed. One of the most important risks caused by climate change, especially significant for grain crops, has become mycotoxin contamination. These producers are secondary metabolites of mycelial microflora, exhibiting a toxic effect on humans and animals. In connection with the above problem, the search for and development of innovative technological solutions for disinfection is relevant, which is possible with a detailed in-depth study of mycotoxins using quantum chemical calculations. The aim of this study was to investigate the geometric parameters, stability, and reactivity of molecules of two mycotoxins, deoxynivalenol (DON) and zearalenone (ZEN), which determine the risks of reducing the quality and safety of feed raw materials for lactating animals, and their impact on the raw material suitability indicators of the produced dairy raw materials. In the course of quantum chemical calculations, a data array was formed that will be useful for further study of the interaction of mycotoxins with wheat grain proteins, which opens up new opportunities for studying mycotoxins and their properties in agricultural crops in order to minimize possible risks in trophic chains.

**Keywords:** feed mixtures, mycotoxins, quantum chemical calculations, dairy raw materials, cheese suitability

**Acknowledgments.** The article was financially supported by a grant from the Russian Science Foundation (RSF) within the framework of project 24-16-20028.

**For citation:** Potoroko I.Yu., Ruskina A.A., Vaganov V.E. Technological approaches to ensuring the biosafety of cheese-fitting dairy raw materials. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2025, vol. 13, no. 3, pp. 47–56. (In Russ.) DOI: 10.14529/food250305

### Введение

В молочной отрасли в условиях необходимости сохранения привычного для потребителя ассортимента молочных продуктов производство сыров является весьма трудоёмким технологическим процессом, требующим критически важных показателей качества в отношении исходного сырья. В текущий момент объем внутреннего производства сыров и сырных продуктов увеличился почти в 2 раза при высоких перспективах развития данного сегмента в рамках реализации нацпроект-

та импортозамещения. По прогнозу Россельхозбанка, производство сыра (не учитывая сырные продукты) к 2030 году вырастет до 1,1 млн тонн, а доля отечественной продукции составит 80 %.

Производство сыров в России в основном сконцентрировано в регионах, где имеется собственное сырье, а именно в Центральном, Приволжском и Сибирском федеральных округах Российской Федерации (рис. 1).

Современное сыроделие проявляет интерес к развитию небольших фермерских сыро-

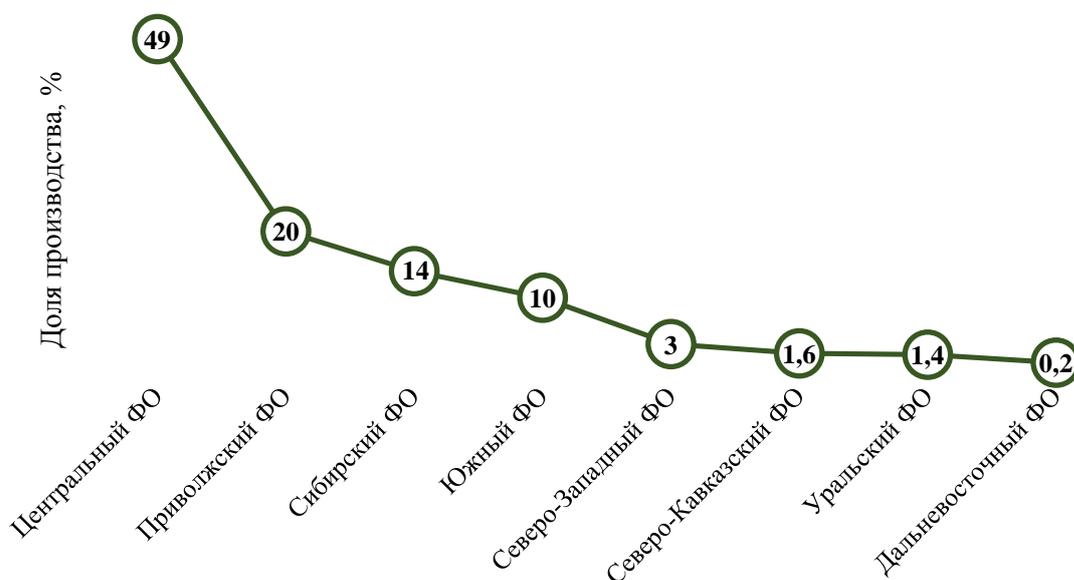


Рис. 1. Структура производства сыров и сырных продуктов по федеральным округам РФ (состояние 2024 г.)

дельных предприятий, в настоящее время наблюдается рост выпуска не только массовых, но и уникальных фермерских сыров. Повышение спроса также отмечается на элитные сорта, что связано с увеличением покупательной способности населения [1].

Основной причиной низкой доли Уральского региона в общем объеме производства сыров является недостаточность сыропригодного молочного сырья, отсутствие адаптированных технологий и условий для обеспечения процессов созревания готового продукта, что определяет потребительские достоинства готового продукта.

На сыропригодность молока, особенно в стойловом периоде содержания животных, существенное влияние оказывает состав кормов и рацион кормления. Одним из решений для получения качественного молока-сырья представляется составление биологически полноценных рационов кормления для лактирующих животных, обеспеченность сбалансированным белковым питанием, уменьшения доли концентратов [3].

Поток питательных веществ корма в физиологии лактации и продуктах глубокой переработки молока является важным фактором для качества продуктов глубокой переработки (рис. 2). Основополагающую роль здесь должен играть аминокислотный состав белков

корма, в особенности содержание таких незаменимых аминокислот, как метионин и лизин, которые оказывают значительное влияние на здоровье и молочную продуктивность коров [8, 10, 13].

Соблюдение данных условий позволит получить молоко, пригодное для производства сыров, но при этом серьезной проблемой являются потенциальные риски биобезопасности молочных продуктов, в частности загрязнение микотоксинами [4], вторичными метаболитами мицелиальных плесеней, опасных для человека и животных. Наиболее критичными являются микотоксигенные виды родов *Fusarium*, *Aspergillus* и *Penicillium*.

Виды рода *Fusarium* заражают сельскохозяйственные культуры непосредственно в поле, живут эндофитно, в то время как виды рода *Aspergillus* и *Penicillium* обычно распространяются на зерновых и других культурах при нарушении условий сушки и хранения. Некоторые из этих патогенных плесеней проявляют огромную физиологическую адаптивность и, таким образом, колонизируют широкий спектр биологических объектов, в том числе фуражное сырье [7, 8]. Фактически злаки являются основным источником загрязнения микотоксинами в пищевой цепочке человека либо напрямую через использование пищевых продуктов из зараженного сырья, либо

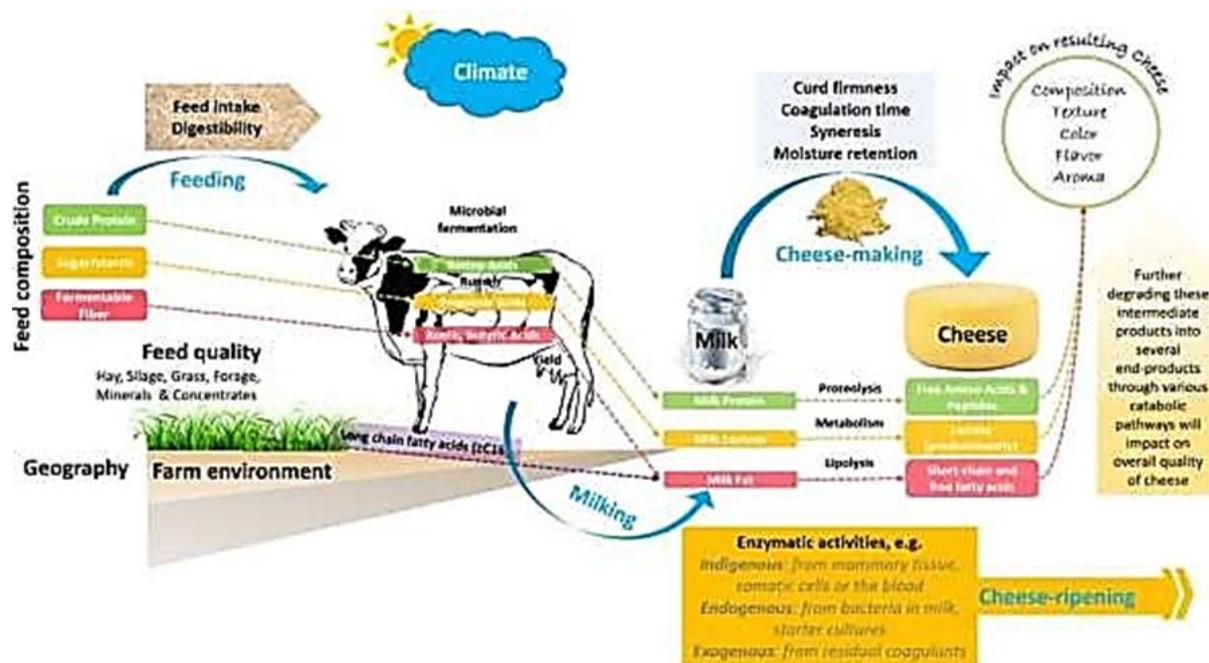


Рис. 2. Поток питательных веществ корма в физиологии лактации и продуктах глубокой переработки молока [9]

косвенно, через потребление молока и других продуктов животного происхождения, полученных от скота, употребляющих зараженные корма [6].

Особую опасность представляют маскированные и модифицированные микотоксины, которые являются продуктами биохимических реакций связывания с гликозидами, глюкуронидами, сложными эфирами жирных кислот и белками. Хелатирование микотоксинов токсигенных плесеней протеинами молока может не только изменить безопасность конечного молочного продукта, но и качественно повлиять на технологическую пригодность молочного сырья.

Благодаря таким модификациям маскированные микотоксины не обнаруживаются с помощью обычных методов, а в организме человека и животных расщепляются с высвобождением микотоксинов. Проблема поиска новых эффективных и в то же время экологически безопасных способов снижения загрязненности сельскохозяйственной продукции токсигенными плеснями и продуктами их метаболизма остается чрезвычайно актуальной [5]. В связи с этим возникает необходимость разработки инновационных методов обеззараживания зерновых масс, обоснование возможности трансформации токсигенных

микровицетов и продуцируемых микотоксинов требует детализированного изучения на молекулярном уровне. Квантово-химические методы позволяют на основе законов квантовой механики изучить объект (молекулу, систему), а также поведение электронов и ядер внутри атомов и молекул, определять электронную структуру, прогнозировать свойства и моделировать химические реакции. В квантовой химии существует множество методов, которые можно разделить на несколько групп (неэмпирические, полуэмпирические, методы теории функционала плотности (DFT) [14], гибридные методы) [2, 9].

**Целью исследования** является глубокое изучение факторов биобезопасности кормовых смесей, влияние токсигенов на технологическую пригодность молочного сырья для глубокой переработки.

#### Объекты и методы исследования

Исследования в соответствии с поставленной целью проводились в условиях реального предприятия АПК:

*на первом этапе* проводилось исследование биобезопасности (на присутствие токсигенных микровицетов) кормовых рационов лактирующего КРС;

*на втором этапе* оценка сыропригодности молочного сырья. В качестве объектов

исследований использовали выборки молочного сырья от трех партий дойки, полученных от животных в разное время суток (утренняя, обеденная и вечерняя дойки).

Для изучения геометрических параметров, стабильности, реактивности, а также приближённого описания связывания в молекулах, численного моделирования конфигурации молекул комплекса казеина и микотоксинов (дезоксиниваленола/ зеараленона) проводились квантово-химические расчеты с использованием программного пакета Gaussian 16. В исследованиях использовался метод Ground state Hartree-Fock с применением базисного набора 3-21G/ RB3LYP. Исходные данные о казеине и дезоксиниваленоле и зеараленоне для квантово-химических расчетов были получены при помощи баз данных PubChem и PDB [11].

В рамках исследования учитывались такие показатели, как локализация молекулярных орбиталей НОМО и LUMO, размер энергетического зазора НОМО-LUMO (далее, Номо-LUMO gap). Затем осуществлялась статистическая обработка полученных данных квантово-химических расчётов молекулярных комплексов.

Номенклатура оцениваемых показателей молочного сырья включала: органолептические

показатели (консистенция, запах, вкус); физико-химические показатели (массовая доля жира, %; массовая доля белка, %; массовая доля лактозы, %; титруемая кислотность, °Т; активная кислотность, рН; СОМО, %; плотность, кг/м<sup>3</sup>; сычужная свертываемость).

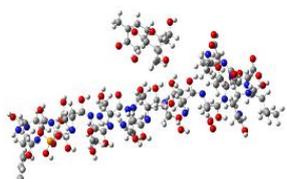
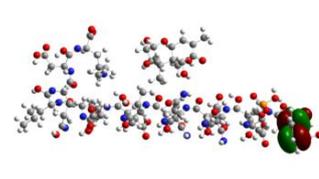
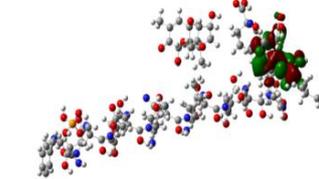
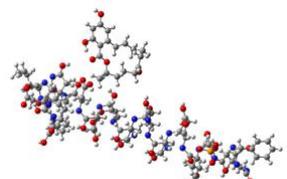
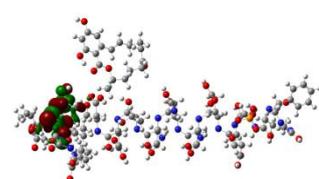
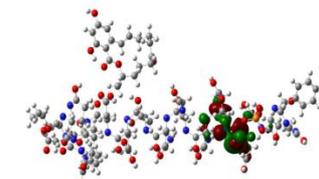
#### Результаты и их обсуждение

Прогностические исследования присутствия микотоксинов (далее МТ) в фуражном зерне как потенциального блокатора активных фракций основного молочного белка-казеина оценивали с использованием программного пакета Gaussian 16, который позволяет прогнозировать свойства белково-лигандного комплекса. Графическое представление локализации молекулярных орбиталей молекул и их комплексов представлено в табл. 1. Молекулярная орбиталь – это математическая функция, которая описывает местоположение и волновое поведение электрона в молекуле.

На первом этапе исследования оценивались молекулярные орбитали НОМО и LUMO белково-лигандного комплекса, состоящего из казеина (главного белка, содержащегося в молоке) / микотоксинов (дезоксиниваленол/зеараленон), наблюдаются как связывающие, так и разрыхляющие орбитали [12]. Далее оценивался показатель размера энергетического зазора (НОМО-LUMO gap) для ком-

Таблица 1

Локализация молекулярных орбиталей НОМО и LUMO белково-лигандного комплекса между казеином и микотоксинами (дезоксиниваленол/ зеараленон) зерна пшеницы фуражной

Объект исследования	Химическая структура	Молекулярные орбитали	
		НОМО	LUMO
Белково-лигандный комплекс			
Казеин/ дезоксиниваленол			
Казеин/ зеараленон			

плекса казеин / дезоксиниваленол, который составил 0,238 eV, в то время как для комплекса казеин / зеараленон этот показатель 0,253 eV.

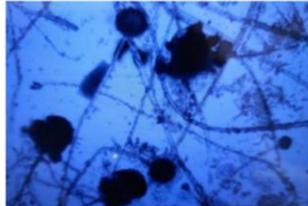
Таким образом, сила взаимодействия доноров и акцепторов и скорость циклоприсоединения обратно пропорциональны разнице в энергии между взаимодействующими НОМО и LUMO. Если зазор небольшой, то взаимодействие сильное, реакция быстрая. Если зазор большой, то взаимодействие слабое, реакция медленная.

Полученные результаты исследования применимы для дальнейшего изучения и прогнозирования свойств белково-лигандного комплекса казеина / микотоксинов с целью оценки их стабильности и формирования рис-

ков в трофических цепях. Результаты исследований визуальной идентификации представлены ниже (табл. 2).

В процессе активации мицелиальной микрофлоры в кормовой продукции установлено присутствие споровой микрофлоры, которая проявляет активности в условиях повышения влажности среды. Фуражное зерно пшеницы не токсично, а комбикормовая смесь требует тщательного изучения и определения режимов обеззараживания в отношении рисков развития вида *Aspergillus flavus*, в то же время сенаж в присутствии *Bacillus subtilis* не токсичен за счет блокирования развития токсигенов, что может стать потенциальным ресурсом для обеспечения безопасности кормов.

**Таблица 2**  
**Результаты оценки присутствия токсигенных микромицетов в кормовых продуктах**

Кормовой продукт	Состояние кормов до и после термостатирования в условиях повышенной влажности		
	Исходный вид/ закладка	По истечении 3-х суток	Идентификация мицелия
Комбикорм			 <i>Aspergillus flavus</i>
Зерно пшеницы фуражное			Не визуализируется
Сенаж			 <i>Bacillus subtilis</i>

На втором этапе результаты проведенных исследований были систематизированы в сводную таблицу (табл. 3).

Представленные данные указывают на стабильность состава молочного сырья при высоких значениях показателей, характеризующих качество и технологическую пригодность для сыроделия.

Отмечены диапазоны колебаний во времени получения молока по титруемой кислотности в диапазоне 18–19 °Т, что связано с физиологическими ритмами лактирующего животного и особенностями метаболизма в течение дня. Значение показателя рН в диапазоне 6,33–6,44 указывает на свежесть и нормальное состояние молока. Эти значения находятся в пределах нормы для свежего молока и указывают на отсутствие значительного развития микрофлоры или других неблагоприятных изменений, которые могли бы привести к закислению.

Содержание жира в молоке демонстрирует значительные колебания в течение дня, что является типичным для молочного скота и может зависеть от множества факторов, таких как генетика, рацион питания, стадия лактации и стресс. По периодам дойки высокая жирность наблюдается в обеденном образце (4,92 %), значительно превышая утренний (3,31 %) и вечерний (3,80 %) показатели, что может быть связано с циклом пищеварения и периодом между дойками. Значение СОМО включает содержание белков, лактозы, минеральных веществ и витаминов, в образцах

стабильно, находится в диапазоне 9,45–9,75 % и коррелирует с массовой долей жира, показатель характеризует пригодность для производства широкого спектра молочных продуктов. Плотность молока колеблется в течение дня, наименьшее значение установлено в обеденном образце (32,28), тогда как утренний (34,71) и вечерний (34,34) образцы демонстрируют более высокие и близкие значения.

Массовая доля протеинов в молоке относительно стабильна при незначительных колебаниях в течение дня на уровне от 3,59 до 3,68 % и безусловно определена динамикой секреции молока (например, увеличение доли жира может приводить к незначительному снижению белка в общем объеме). Высокое содержание белка, особенно в образце вечерней дойки, свидетельствует о пищевой ценности молока и технологической пригодности для производства молочных продуктов, в том числе сыров, где белок является ключевым компонентом.

Пробы на сычужную свертываемость проб молока разной времени дойки (рис. 3) согласно принятой классификации показали принадлежность ко второй группе: продолжительность свёртывания – от 16 до 40 минут. Причем стабильность показателей качества товарного молока позволит обеспечить стабильность потребительских свойств готового продукта.

Продолжительность времени свертывания молока определяет прочность молочного сгустка и, как следствие, состояние сырного зер-

Таблица 3  
Результаты исследования физико-химических исследований образцов молока

Показатель	Образец 1 (утро)	Образец 2 (обед)	Образец 3 (вечер)
Титруемая кислотность (°Т)	19	19	18
Сычужная свертываемость	+	+	+
Плотность кг/м <sup>3</sup> (+1000)	34,71	32,28	34,34
Жирность, %	3,31	4,92	3,8
Наличие антибиотиков (Да/Нет)	Нет	Нет	Нет
СОМО, %	9,74	9,45	9,75
Содержание доб. воды, %	0	0	0
Содержание белка, %	3,65	3,59	3,68
рН	6,44	6,33	6,43

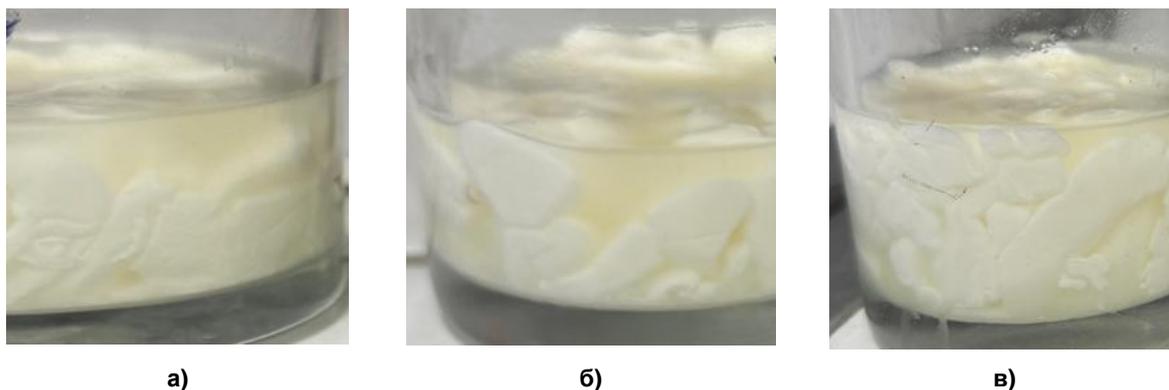


Рис. 3. Внешний вид сычужного сгустка ферментации молока разного периода доения:  
а – утреннее; б – дневная; в – вечерняя

на, в том числе содержание влаги в сыре, степень преобразования капа-казеина, выход сыра и другие показатели, характеризующие качество сыра. Для всех образцов молока зафиксировано оптимальное содержание казеина и кальция, что является критически важным для сыроделия и производства других кисломолочных продуктов.

#### Заключение

Результаты квантово-химических расчетов взаимодействия молекул казеина с микотоксинами кормов подтвердили высокую вероятность формирования устойчивых хелатных комплексов. Это означает, что риск присутствия в кормах микотоксинов формирует однозначный риск снижения качества молока и его сыропригодности, что требует дополни-

тельных исследований и поиска технологических подходов.

Вместе с тем результаты исследований демонстрируют, что состав молока достаточно стабилен в течение дня при некоторых изменениях в содержании жира, плотности и СОМО, которые являются естественными и обусловлены физиологическими процессами в организме животного. Понимание суточных колебаний компонентов молока имеет важное значение для оптимизации производства продуктов со стабильными показателями по жирности (сливки, масло). Для применения в производстве сыров молоко может показать хорошие результаты, с точки зрения качества и биобезопасности высокобелковых молочных продуктов.

#### Список литературы

1. Горбунова Ю.А., Оверченко А.С. «Сыропригодность молока и методы её повышения» // Аграрное образование и наука. 2014. № 3. С. 4–8.
2. Игнатов С.К. Квантовохимическое моделирование атомно-молекулярных процессов. Н. Новгород: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского. 2019. С. 79.
3. Кашаева А.Р., Ахметзянова Ф.К. Влияние типа кормления на белковый состав и сыропригодность молока коров в период завершения лактации // «Учёные записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана». 2014. Т. 217. С. 112–117.
4. Потороко И.Ю., Руськина А.А., Аньум В. Прогнозирование рисков присутствия микотоксинов в пищевых системах, полученных на основе зернового сырья // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2024. Т. 12, № 2. С. 38–47. DOI: 10.14529/food240205.
5. Потороко И.Ю., Руськина А.А., Малинин А.В., Ботвинников Н.А. Нетепловые способы обеззараживания зернового сырья в холодноплазменном поле для обеспечения биобезопасности // Пищевая промышленность. 2025. № 6. С. 34–37. DOI: 10.52653/PPI.2025.6.6.007.
6. Alshannaq A., Yu J-H. Occurrence, toxicity, and analysis of major mycotoxins in food // Int J Environ Res Public Health. 2017. V. 14. P. E632. DOI: 10.3390/ijerph14060632.
7. Atoui A., Khoury A.I., Kallassy M., Lebrihi A. Quantification of *Fusarium graminearum* and *Fusarium culmorum* by real-time PCR system and zearalenone assessment in maize. Int J Food Microbiology, 2012. V. 154(1–2). P. 59–65. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.12.022.

8. Bittante G. et al. Effect of dairy farming system, herd, season, parity, and days in milk on modeling of the coagulation, curd firming, and syneresis of bovine milk / G. Bittante, C. Cipolat-Gotet, F. Malchiodi et al. // *J. Dairy Sci.* 2015. Vol. 98. P. 2759–2774.
9. Feride Akman. Spectroscopic investigation, HOMO–LUMO energies, natural bond orbital (NBO) analysis and thermodynamic properties of two-armed macroinitiator containing coumarin with DFT quantum chemical calculations // *Canadian Journal of Physics*. 2016. 94(6). P. 583–593. DOI: 10.1139/cjp-2016-0041.
10. Hasitha Priyashantha, Ase Lundh, Graduate Student Literature Review: Current understanding of the influence of on-farm factors on bovine raw milk and its suitability for cheesemaking // *Journal of Dairy Science*. 2021. Vol. 104, Issue 11. P. 12173–12183.
11. John A. Agwupuye et al. Investigation on electronic structure, vibrational spectra, NBO analysis, and molecular docking studies of aflatoxins and selected emerging mycotoxins against wild-type androgen receptor / John A. Agwupuye, Peter A. Neji, Hitler Louis et al. // *Heliyon*. 2021.
12. Jundi Liu, Todd Applegate, Zearalenone (ZEN) in Livestock and Poultry: Dose, Toxicokinetics, Toxicity and Estrogenicity // *Toxins*, 2020. V. 12(6). P. 377. DOI: 10.3390/toxins12060377.
13. Larsen M.K. et al. Milk quality as affected by feeding regimens in a country with climatic variation / M.K. Larsen, J.H. Nielsen, G. Butler et al. // *J. Dairy Sci.* 2010. Vol. 93. P. 2863–2873.
14. Markus Bursch. Best Practice DFT Protocols for Basic Molecular Computational Chemistry / Markus Bursch, Jan-Michael Mewes, Andreas Hansen, Stefan Grimme // *Angewandte Chemie International Edition*. 2022. Vol. 61(42). DOI: 10.1002/anie.202205735.

#### References

1. Gorbunova Yu.A., Overchenko A.S. Milk's Suitability for Cheese Production and Methods of Improving It. *Agrarian Education and Science*, 2014, no. 3, pp. 4–8. (In Russ.)
2. Ignatov S.K. *Kvantovokhimicheskoe modelirovanie atomno-molekulyarnykh protsessov* [Quantum-chemical modeling of atomic-molecular processes]. Nizhny Novgorod, 2019, p. 79.
3. Kashayeva A.R., Akhmetzyanova F.K. The Influence of Feeding Type on the Protein Composition and Cheesiness of Cow's Milk at the End of Lactation. *Scientific Notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman*, 2014, vol. 217, pp. 112–117. (In Russ.)
4. Potoroko I.Yu., Ruskina A.A., Anjum V. Predicting the risks of the presence of mycotoxins in food systems of grain raw materials. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 38–47. (In Russ.) DOI: 10.14529/food240205.
5. Potoroko I.Yu., Ruskina A.A., Malinin A.V., Botvinnikov N.A. Non-thermal methods of grain raw material disinfection in a cold plasma field to ensure biosecurity. *Food Industry*, 2025, no. 6, pp. 34–37. (In Russ.) DOI: 10.52653/PPI.2025.6.6.007.
6. Alshannaq A., Yu J-H. Occurrence, toxicity, and analysis of major mycotoxins in food. *Int J Environ Res Public Health*, 2017, vol. 14, pp. E632. DOI: 10.3390/ijerph14060632.
7. Atoui A., Khoury A.I., Kallassy M., Lebrihi A. Quantification of *Fusarium graminearum* and *Fusarium culmorum* by real-time PCR system and zearalenone assessment in maize. *Int J Food Microbiology*, 2012, vol. 154(1–2), pp. 59–65. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.12.022.
8. Bittante G., Cipolat-Gotet C., Malchiodi F., Sturaro E., Tagliapietra F., Schiavon S., and A. Cecchinato. Effect of dairy farming system, herd, season, parity, and days in milk on modeling of the coagulation, curd firming, and syneresis of bovine milk. *J. Dairy Sci.*, 2015, vol. 98, pp. 2759–2774.
9. Feride Akman. Spectroscopic investigation, HOMO–LUMO energies, natural bond orbital (NBO) analysis and thermodynamic properties of two-armed macroinitiator containing coumarin with DFT quantum chemical calculations. *Canadian Journal of Physics*, 2016, vol. 94(6), pp. 583–593. DOI: 10.1139/cjp-2016-0041.
10. Hasitha Priyashantha, Ase Lundh, Graduate Student Literature Review: Current understanding of the influence of on-farm factors on bovine raw milk and its suitability for cheesemaking. *Journal of Dairy Science*, 2021, vol. 104, iss. 11, pp. 12173–12183.

11. John A. Agwupuye, Peter A. Neji, Hitler Louis, Joseph O. Odey, Tomsmith O. Unimuke, Emmanuel A. Bisong, Ededet A. Eno, Patrick M. Utsu, Tabe N. Ntui. Investigation on electronic structure, vibrational spectra, NBO analysis, and molecular docking studies of aflatoxins and selected emerging mycotoxins against wild-type androgen receptor. *Heliyon*, 2021.

12. Jundi Liu, Todd Applegate, Zearalenone (ZEN) in Livestock and Poultry: Dose, Toxicokinetics, Toxicity and Estrogenicity. *Toxins*, 2020.vol. 12(6), pp. 377. DOI: 10.3390/toxins12060377.

13. Larsen M.K., Nielsen J.H., Butler G., Leifert C., Slots T., Kristiansen G.H., and Gustafsson A.H. Milk quality as affected by feeding regimens in a country with climatic variation. *J. Dairy Sci.*, 2010, vol. 93, pp. 2863–2873.

14. Markus Bursch, Jan-Michael Mewes, Andreas Hansen, Stefan Grimme Best Practice DFT Protocols for Basic Molecular Computational Chemistry. *Angewandte Chemie International Edition*, 2022, vol. 61(42). DOI: 10.1002/anie.202205735.

#### ***Информация об авторах***

**Потороко Ирина Юрьевна**, доктор технических наук, директор высшей медико-биологической школы, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; potorokoi@susu.ru

**Руськина Алена Александровна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; ruskinaaa@susu.ru

**Ваганов Всеволод Евгеньевич**, магистр кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; vsevolod.vaganov.96@mail.ru

#### ***Information about the authors***

**Irina Yu. Potoroko**, Doctor of Sciences (Engineering), Director of the Higher Medical and Biological School, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; potorokoi@susu.ru

**Alena A. Ruskina**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; ruskinaaa@susu.ru

**Vsevolod E. Vaganov**, Master of the Department of Food and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; vsevolod.vaganov.96@mail.ru

***Статья поступила в редакцию 01.07.2025***

***The article was submitted 01.07.2025***