

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный  
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Геологии и нефтегазового дела им К.Турысова

Кафедра Химической и биохимической инженерии

Бакибаева Адия Жаксылыкқызы

«Методы выявления и контроля антибиотиков в молоке и молочных продуктах»

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

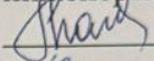
6B05101 – Химическая и биохимическая инженерия

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный  
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

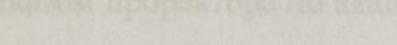
Институт геологии и нефтегазового дела им. К.Турысова  
Кафедра химической и биохимической инженерии

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
«Химическая и биохимическая  
инженерия», доктор PhD  
 Мангазбаева Р. А.  
«12» 06 2025 г.

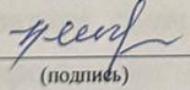
ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Методы выявления и контроля антибиотиков в молоке и молочных  
продуктах»

6ВО5101 – Химическая и биохимическая инженерия

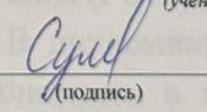
Выполнила  Бакибаева Адия Жаксылыккызы

Рецензент  
ассоц. профессор, к.с.х.н.  
(ученая степень, звание)

 Мырзабек К.А.  
(Ф.И.О.)

«21» 05 2025 г.

Научный руководитель  
ассоц. профессор, к.с.х.н., доцент  
(ученая степень, звание)

 Сулейменова Ж.М.  
(Ф.И.О.)

«31» 05 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

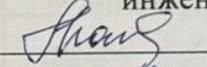
Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный  
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт геологии и нефтегазового дела

Кафедра химической и биохимической инженерии

6B05101 – Химическая и биохимическая инженерия

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
«Химическая и биохимическая  
инженерия», доктор PhD  
 Мангазбаева Р. А.  
«12» 06 2025 г.

**Задание**  
**на выполнение дипломной работы**

Обучающаяся Бакибаева Адия Жаксылыккызы

Тема: «Методы выявления и контроля антибиотиков в молоке и молочных  
продуктах»

Утверждена приказом проректора по академической работе №26-П/Ө от «29»  
января 2025г.

Срок сдачи дипломной работы «16» июня 2025г.

Исходные данные к дипломной работе: образцы сырого молока, экспресс-  
тесты, спектрометр, нормативная документация (ГОСТы, СТ РК, ТР ТС и др.).  
Краткое содержание дипломной работы: В дипломной работе исследована  
эффективность методов выявления антибиотиков в молочной продукции:  
иммунохроматографического, инфракрасного и микробиологического.  
Проведен сравнительный анализ, дана санитарная оценка образцов и  
предложены рекомендации по улучшению контроля качества.

Перечень графического материала: результаты по анализам, таблицы  
нормативов ПДУ антибиотиков в молоке (Казахстан, ЕАЭС, Codex).

Рекомендуемая основная литература: 38 наименований научной, нормативной  
и методической литературы.

**ГРАФИК**  
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Обзор литературы	12.02.2025	Выполнено
Методика исследования	18.03.2025	Выполнено
Результаты исследования	16.04.2025	Выполнено
Заключение и выводы	29.04.2025	Выполнено

**Подписи**

консультантов и норм контролера на законченную дипломную работу с  
указанием относящихся к ним разделов работы

Наименование разделов	Консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Дипломная работа	Сулейменова Ж. М., к.с.х.н., доцент	29.04.25	<i>Сулейменова Ж. М.</i>
Норм контролер	Сулейменова Ж. М., к.с.х.н., доцент	08.06.25	<i>Сулейменова Ж. М.</i>

Научный руководитель

*Сулейменова Ж. М.*  
подпись Ф.И.О.

Задание принял к исполнению обучающийся

*Бакытбасова А. Н.*  
подпись Ф.И.О.

Дата

«10» июня 2025 г.

## АННОТАЦИЯ

Дипломная работа на тему «Методы выявления и контроля антибиотиков в молоке и молочных продуктах» посвящена исследованию методов выявления и контроля антибиотиков в молоке и молочных продуктах.

Актуальность темы обусловлена необходимостью обеспечения санитарной безопасности молочной продукции и предотвращения рисков для здоровья потребителей. В рамках работы проведён сравнительный анализ эффективности экспресс-метода иммунохроматографического тестирования (Garant 4 Ultra Milk), инфракрасного анализа с использованием спектрометра FOSS Milkoscan FT1, а также микробиологических исследований.

В результате исследования установлены преимущества и ограничения используемых методов, выявлены особенности санитарного состояния исследуемых образцов, сформулированы практические рекомендации по совершенствованию контроля качества молочной продукции.

**Ключевые слова:** антибиотики, молочная продукция, экспресс анализ, инфракрасная спектроскопия, микробиологический контроль.

## АНДАТПА

«Сүт пен сүт өнімдеріндегі антибиотиктерді анықтау және бақылау әдістері» тақырыбындағы дипломдық жұмыс сүт пен сүт өнімдеріндегі антибиотиктерді анықтау және бақылау әдістерін зерттеуге арналған. Тақырыптың өзектілігі – сүт өнімдерінің санитарлық қауіпсіздігін қамтамасыз ету және тұтынушылардың денсаулығына тәнетін қауіптердің алдын алу қажеттілігімен айқындалады.

Жұмыс аясында иммунохроматографиялық жедел тестілеу әдісінің (Garant 4 Ultra Milk), FOSS Milkoscan FT1 спектрометрі арқылы жүргізілген инфрақызыл талдаудың, сондай-ақ микробиологиялық зерттеулердің тиімділігіне салыстырмалы талдау жасалды.

Зерттеу нәтижесінде қолданылған әдістердің артықшылықтары мен шектеулері анықталып, зерттелген үлгілердің санитарлық жағдайының ерекшеліктері айқындалды және сүт өнімдерінің сапасын бақылауды жетілдіруге бағытталған практикалық ұсыныстар өзірленді.

**Түйінді сөздер:** антибиотиктер, сүт өнімдері, жедел талдау, инфрақызыл спектроскопия, микробиологиялық бақылау.

## ANNOTATION

The thesis titled “*Methods for Detection and Control of Antibiotics in Milk and Dairy Products*” is devoted to the study of techniques for identifying and monitoring antibiotics in milk and dairy products. The relevance of the topic is determined by the need to ensure the sanitary safety of dairy products and to prevent potential health risks for consumers. The study includes a comparative analysis of the effectiveness of the express immunochromatographic test method (Garant 4 Ultra Milk), infrared analysis using the FOSS Milkoscan FT1 spectrometer, as well as microbiological testing.

As a result of the research, the advantages and limitations of the applied methods were identified, specific features of the sanitary condition of the analyzed samples were revealed, and practical recommendations were developed for improving the quality control of dairy products.

**Keywords:** antibiotics, dairy products, rapid analysis, infrared spectroscopy, microbiological control.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	1
1. Обзор литературы .....	2
1.1. Теоретические основы контроля антибиотиков в молочной продукции .....	2
1.1.1 Причины попадания антибиотиков в молоко .....	2
1.1.2 Влияние антибиотиков на здоровье человека .....	6
1.1.3 Нормативные требования к содержанию антибиотиков в молоке (Казахстан, ЕАЭС, международные) .....	9
1.1.4 Обзор существующих методов выявления антибиотиков .....	11
1.1.5 Особенности состава молока и сложности контроля .....	15
2. Объекты и методы исследования .....	18
2.1. Объекты исследования .....	18
2.2 Методика проведения анализа .....	19
2.3 Перечень используемых ГОСТов и нормативной документации .....	26
3. Результаты и их анализ .....	29
3.1 Результаты экспресс- и инфракрасного анализа .....	29
3.2 Микробиологические показатели и санитарная оценка .....	33
3.3 Сравнительный анализ методов и итоговые выводы .....	36
Заключение .....	46
Список использованной литературы .....	48

## ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития пищевой промышленности особое внимание уделяется безопасности продуктов питания, в частности — молочной продукции, являющейся важной составляющей рациона человека. Однако в процессе производства и животноводства часто применяются антибиотики для лечения и профилактики заболеваний у животных. Наличие антибиотиков в молоке представляет серьёзную угрозу для здоровья потребителей: они могут вызывать аллергические реакции, дисбактериоз, снижение иммунитета, формирование антибиотикорезистентности у патогенных микроорганизмов.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью разработки и совершенствования методов анализа антибиотиков, доступных как для экспресс-контроля, так и для лабораторной диагностики.

**Цель исследования** — провести сравнительный анализ современных методов выявления антибиотиков в молоке и оценить их эффективность на примере сырого кобыльего, пастеризованного и сухого молока.

### Задачи исследования:

1. Провести экспресс-оценку наличия антибиотиков с использованием иммунохроматографического теста (Garant 4 Ultra Milk);
2. Выполнить инфракрасный анализ молока на приборе FOSS Milkoscan FT1 для определения физико-химического состава;
3. Оценить санитарное состояние молочных образцов методами микробиологического анализа;
4. Сравнить чувствительность, точность и применимость различных методов анализа в лабораторных и производственных условиях.

### Методы исследования

В ходе работы использовались три различных методических подхода:

- **Иммунохроматографический экспресс-анализ** с применением набора Garant 4 Ultra Milk;
- **Инфракрасный анализ** методом спектроскопии с использованием оборудования FOSS Milkoscan FT1 (Дания);
- **Микробиологический анализ.**

**Практическая значимость** работы заключается в возможности применения результатов для оптимизации контроля качества на предприятиях молочной отрасли и в ветеринарной практике. Выводы могут служить основой для внедрения более эффективных и экономически целесообразных методик выявления антибиотиков.

**Структура работы:** диплом состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованных источников и приложений.

## 1. Обзор литературы

### 1.1. Теоретические основы контроля антибиотиков в молочной продукции

#### 1.1.1 Причины попадания антибиотиков в молоко

Антибиотики занимают важное место в ветеринарной практике, поскольку используются для лечения инфекционных заболеваний, профилактики осложнений и повышения общего иммунного статуса животных. Кроме того, в некоторых странах и хозяйствах они применяются как стимуляторы роста и продуктивности, что особенно характерно для интенсивного животноводства. Антибиотики могут вводиться различными способами: внутримышечно, перорально через корм или воду, а также локально — например, при лечении мастита у коров или кобыл. Однако при всей своей эффективности данные препараты требуют строгого соблюдения дозировок и сроков выведения из организма животного. Нарушения этих требований могут привести к остаточному присутствию антибиотиков в молоке. Такое молоко, при отсутствии контроля, может попасть в переработку и реализацию [1].

Проблема остаточных антибиотиков в молочной продукции в последние годы приобрела особую актуальность. Во-первых, употребление молока с антибиотиками может вызвать аллергию, дисбактериоз, снижение иммунитета и формирование устойчивости у микроорганизмов. Во-вторых, антибиотики блокируют жизнедеятельность молочнокислых бактерий, что делает невозможным производство качественных кисломолочных продуктов. Даже минимальные концентрации препаратов могут нарушить технологический процесс при производстве сыра или йогурта. Кроме того, наличие антибиотиков нарушает требования санитарных стандартов, что может привести к отзыву продукции и финансовым убыткам. Таким образом, контроль над их содержанием в молоке становится не только вопросом здоровья, но и экономической стабильности молочной отрасли.

В животноводстве антибиотики являются неотъемлемой частью лечебно-профилактической системы, особенно в крупных хозяйствах, занимающихся разведением крупного рогатого скота (КРС) и лошадей. Наиболее часто применяются антибиотики следующих групп: тетрациклины, пенициллины (в том числе ампициллин, оксациллин), стрептомицин, цефалоспорины, а также левомицетин (хлорамфеникол). Эти препараты используются как для лечения острых бактериальных заболеваний, так и для профилактики осложнений после травм, родов, хирургических вмешательств. В ветеринарной практике особое внимание уделяется лечению мастита — одного из самых распространённых заболеваний у молочного скота, при котором активно применяются  $\beta$ -лактамные и макролидные антибиотики [2].

Частота применения антибиотиков напрямую зависит от эпизоотической обстановки, условий содержания и состояния иммунной системы животных. В фермерских хозяйствах антибиотикотерапия может применяться планово, особенно в периоды отёла, лактации или при высокой скученности животных. Длительность лечения, как правило, составляет от 3 до 10 дней, в зависимости от

препарата и тяжести заболевания. Однако нередко встречаются случаи превышения рекомендуемой длительности терапии, особенно при отсутствии квалифицированного ветеринарного контроля. В таких случаях увеличивается риск накопления остаточных веществ в организме животных, в том числе и в молоке.

Способы введения антибиотиков также играют важную роль в формировании остаточных количеств в молочной продукции. Наиболее распространёнными являются инъекционные методы (внутримышечные или подкожные), пероральное введение через комбикорм, а также внутримаммарное введение — при лечении воспалений вымени. При каждом из этих способов препараты проникают в кровоток и могут сохраняться в тканях и биологических жидкостях животного в течение нескольких суток. Если не соблюдаются сроки выведения (каренции), антибиотики попадают в молоко, даже если визуально животное выглядит здоровым. Это особенно актуально для молока, поступающего в переработку без предварительного лабораторного контроля [3].

Одной из наиболее распространённых причин попадания антибиотиков в молочную продукцию является недостаточный отстой молока после проведения курса лечения животных. Согласно ветеринарным нормам, молоко от животных, получавших антибиотики, должно подвергаться обязательной выдержке — от 2 до 7 суток в зависимости от препарата. За это время остаточные количества лекарственных веществ снижаются до безопасного уровня или полностью исчезают. Однако в условиях небольших хозяйств или при высоком объёме производства фермеры нередко игнорируют эту рекомендацию, стремясь не терять продукт. В результате такое молоко оказывается загрязнённым и может поступать в общее хранилище.

Игнорирование каренционного периода (срока выведения антибиотика) — ещё один критический фактор риска. Каждый препарат имеет индивидуальные сроки выведения, установленные производителем и регламентированные инструкцией. Эти сроки должны строго соблюдаться после окончания курса лечения, прежде чем продукция животного будет использована в пищевых целях. Тем не менее, отсутствие квалифицированного ветеринарного сопровождения или недостаточный уровень осведомлённости среди фермеров приводит к частым нарушениям. Особенно это актуально при использовании комбинированных антибиотиков пролонгированного действия, которые могут сохраняться в организме дольше обычного.

Смешивание молока от здоровых и леченых животных — ещё один фактор, способствующий загрязнению всей партии продукции. Даже если молоко от одного животного содержит незначительное количество антибиотика, его добавление в общий резервуар приводит к загрязнению всей массы. Это особенно опасно при отсутствии предварительного анализа и системы отслеживания происхождения молока. Такие случаи наиболее часто происходят в условиях отсутствия автоматизированного учёта животных и строгой селекции по группам (леченые/здоровые) [4].

Нарушения технологии дойки и хранения также включают использование общего оборудования для всех животных без проведения санитарной обработки после доения леченых особей. Остатки антибиотиков могут сохраняться на доильных аппаратах, в контейнерах для хранения и транспортировки. Это способствует перекрёстному загрязнению молока даже от здоровых животных. Кроме того, отсутствие охлаждения и неправильные условия хранения могут усиливать разрушение натуральной микрофлоры, в то время как остаточные антибиотики продолжают сохраняться, влияя на конечное качество продукции.

Одной из ключевых проблем, способствующих попаданию антибиотиков в молочную продукцию, является отсутствие системной фиксации ветеринарных процедур. На многих мелких фермерских хозяйствах не ведутся ветеринарные журналы, где должны быть зафиксированы даты лечения, применённые препараты, дозировки и сроки окончания терапии. В результате невозможно точно отследить, от каких животных поступает молоко, и соблюден ли каренционный период. При отсутствии документального учёта фермеры зачастую ориентируются "на глаз", что повышает риск попадания загрязнённого молока в переработку.

Важным фактором риска также является недостаточный контроль за состоянием животных. Регулярные осмотры, лабораторные анализы и своевременное выявление инфекционных заболеваний являются основой безопасного молочного животноводства. Однако в условиях нехватки специалистов и оборудования такие мероприятия часто не проводятся. В результате болезни выявляются слишком поздно, и антибиотики применяются без должного контроля, иногда в повышенных дозировках или в комбинации с другими средствами, что повышает вероятность остаточного загрязнения [5].

Нарушение санитарных нормативов и отсутствие обязательного лабораторного контроля на стадии приёма молока также усугубляют проблему. Согласно требованиям, каждое хозяйство или перерабатывающее предприятие должно обеспечивать входной контроль сырья, включая тестирование на остатки антибиотиков. Однако в действительности многие молокозаводы ориентируются на органолептические показатели или доверяют поставщику без лабораторной проверки. Такая практика приводит к попаданию опасной продукции на рынок и нарушению требований по безопасности пищевых продуктов.

Одним из скрытых источников загрязнения молока антибиотиками является профилактическое применение антимикробных препаратов в составе комбикормов. Во многих странах, включая Казахстан, практика добавления низких доз антибиотиков в корм для предотвращения заболеваний у молодняка и повышения общей резистентности животных сохраняется, несмотря на рекомендации ВОЗ и ФАО по ограничению их использования. Согласно научным данным, такие субтерапевтические дозы могут накапливаться в организме животных, включая ткани молочной железы, и выделяться с молоком. Регулярное поступление антибиотиков с кормом приводит к формированию хронической экспозиции и, как следствие, к остаточным концентрациям в молочной продукции, даже без очевидных клинических признаков у животных.

Дополнительную опасность представляет нелегальное или ошибочное использование кормовых добавок и стимуляторов роста, содержащих запрещённые или неразрешённые в пищевом животноводстве соединения. Некоторые фермеры по незнанию или в стремлении увеличить надои и привесы прибегают к использованию ветеринарных препаратов, содержащих антибиотики, без учета их разрешённости для продуктивных животных. Например, в ряде случаев выявляется применение тилозина, линкомицина или бацилламина, которые запрещены в молочном животноводстве из-за высокой остаточной стойкости. Такие действия нарушают не только ветеринарные и санитарные нормы, но и представляют угрозу здоровью потребителей [6].

Научные исследования показывают, что даже при соблюдении дозировки, но при отсутствии строгого контроля за составом кормов и добавок, возможен перенос остаточных антибиотиков в молоко. Это особенно актуально при скармливании животным комбикормов без лабораторной сертификации или при закупке концентратов на неофициальных рынках. Кроме того, в условиях плохой прослеживаемости цепочки поставок сложно установить происхождение загрязнения, что затрудняет контроль со стороны санитарных служб. Рацион животных должен контролироваться на всех этапах — от подбора компонентов до ветеринарного мониторинга.

Серьёзным фактором риска попадания антибиотиков в молочную продукцию являются технологические нарушения на этапах доения, хранения и транспортировки молока. Одним из ключевых аспектов является несоблюдение санитарно-гигиенических норм при доении животных. Если доильные установки, емкости для хранения и транспортировки не проходят своевременную дезинфекцию, остатки антибиотиков с предыдущих доек могут попадать в молоко от здоровых животных. Особенно это актуально при групповом доении, когда молоко от разных животных собирается в один резервуар без предварительной проверки на остаточные вещества [7].

Другой распространённой проблемой является повторное использование доильного и ветеринарного инвентаря без должной санитарной обработки после лечения животных. Шприцы, канюли, доильные аппараты и трубы, контактировавшие с выменем животного во время антибиотикотерапии, могут сохранять следы препаратов. При повторном использовании на здоровых особях происходит перекрёстное загрязнение. Таким образом, даже при строгом соблюдении ветеринарных сроков каренции, нарушение гигиенических протоколов ведёт к попаданию антибиотиков в молоко от незаражённых животных.

Ещё одной критической точкой является недостаточный контроль за сортировкой молока, предназначенного для переработки и утилизации. В технологических процессах крупных молокозаводов молоко делится на категории: пищевое, техническое и непригодное к использованию (например, полученное в период лечения животных). Однако в условиях высокой загруженности или человеческого фактора возможны сбои в системе маркировки и отслеживания. В результате молоко с остаточными антибиотиками может быть

ошибочно направлено в общий резервуар с сырьём, предназначенным для пищевой переработки. Это нарушает требования НАССР и может привести к выходу небезопасной продукции на рынок.

Причины попадания антибиотиков в молоко имеют комплексный и многофакторный характер. Они включают как нарушение ветеринарных норм, так и технологические ошибки при доении, хранении и переработке. Проблема усугубляется недостаточной прослеживаемостью продукции, отсутствием лабораторного контроля и неэффективной системой регистрации лечения животных. Даже единичные нарушения на любом этапе — от применения препаратов до хранения сырья — способны привести к загрязнению всей партии молока, предназначеннной для пищевого потребления. Такая ситуация несёт риски не только для здоровья потребителей, но и для репутации и экономической стабильности производителей.

Для решения проблемы необходимо внедрение системного подхода к контролю антибиотиков в молочной отрасли. В первую очередь требуется регулярное обучение фермеров и работников хозяйств по вопросам ветеринарной гигиены, каренционного периода и безопасного обращения с препаратами. Также следует усилить внутренний и внешний лабораторный контроль, ввести обязательную сертификацию кормов и системную фиксацию всех случаев лечения. Ключевую роль в этом играет внедрение стандартов НАССР (анализ рисков и критические контрольные точки) и GMP (надлежащая производственная практика), обеспечивающих прослеживаемость и безопасность продукции на всех этапах — от фермы до прилавка.

### 1.1.2 Влияние антибиотиков на здоровье человека

На фоне активного использования антибиотиков в животноводстве всё чаще поднимается вопрос об их остаточном содержании в продуктах питания животного происхождения. Согласно отчёту Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), более 60% всех используемых в мире антибиотиков приходится на сельское хозяйство, в том числе молочное животноводство (WHO, 2017). Остаточные количества антибиотиков могут сохраняться в молоке, мясе и яйцах, особенно при нарушении сроков каренции и отсутствии должного контроля. Это создаёт потенциальную угрозу для здоровья потребителей, особенно в странах, где система мониторинга пищевой безопасности недостаточно развита.

Молочная продукция занимает особое место в рационе населения, в том числе у детей и пожилых. Наличие антибиотиков в молоке может нанести вред организму даже при длительном употреблении в малых дозах. В результате формируется медленное, но устойчивое воздействие, способное вызывать патологические изменения в работе органов, а также нарушать микрофлору и иммунный статус человека. Поэтому обеспечение безопасности молока требует особого внимания и комплексных подходов к его контролю [8].

Одним из основных рисков при потреблении молока, содержащего антибиотики, является развитие аллергических реакций. Наиболее часто фиксируются кожные проявления (сыпь, зуд, экзема), однако в ряде случаев возможно развитие анафилактического шока, особенно у лиц с повышенной чувствительностью. Исследования Европейского агентства по безопасности пищевых продуктов (EFSA, 2020) подтверждают, что остаточные дозы пенициллина могут вызывать острые аллергические реакции у чувствительных групп населения при потреблении загрязнённого молока или сыра.

Кроме аллергии, употребление антибиотиков с пищей может вызывать токсическое поражение печени и почек, так как эти органы участвуют в метаболизме и выведении лекарственных веществ. Некоторые препараты (например, хлорамфеникол) обладают способностью к накоплению (кумуляции) в тканях организма. Долговременное потребление даже незначительных количеств может приводить к угнетению кроветворения, нарушению пищеварительной функции и интоксикации. В отчёте JECFA (Совместного экспертного комитета ФАО/ВОЗ по пищевым добавкам) подчёркивается необходимость строгого соблюдения допустимых уровней остаточных веществ в молочной продукции (JECFA, 2018).

Одним из самых опасных последствий неконтролируемого потребления антибиотиков с продуктами питания является формирование антибиотикорезистентности. При систематическом воздействии малых доз антибиотиков на организм человека происходят мутации у патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, в результате чего они становятся устойчивыми к терапии. Это делает традиционное лечение инфекционных заболеваний неэффективным и увеличивает риск эпидемий.

Согласно данным ВОЗ (WHO Global Action Plan on Antimicrobial Resistance, 2015), ежегодно более 700 000 человек умирают по причине инфекций, вызванных устойчивыми к антибиотикам бактериями. Если ситуация не изменится, к 2050 году это число может достичь 10 миллионов в год. Центры по контролю и профилактике заболеваний США (CDC) также подчёркивают связь между потреблением продуктов с остатками антибиотиков и ростом устойчивости микроорганизмов, в том числе в больничной среде (CDC, 2021).

Антибиотики, попадающие в организм человека с молочными продуктами, оказывают негативное воздействие на естественную кишечную микрофлору. Даже низкие дозы антимикробных веществ могут угнетать рост полезных бактерий (например, *Lactobacillus* и *Bifidobacterium*), что ведёт к развитию дисбактериоза. Это особенно опасно для детей раннего возраста, пожилых людей и пациентов с хроническими заболеваниями ЖКТ.

Многочисленные исследования (Zhao et al., 2020; Wang et al., 2019) подтверждают, что нарушения микрофлоры снижают усвоение питательных веществ, ослабляют иммунитет и могут влиять на обмен веществ. К тому же дисбаланс микробиоты повышает чувствительность организма к другим токсическим веществам и аллергенам. Таким образом, даже непрямое

потребление антибиотиков может вызвать долгосрочные последствия для здоровья.

Наибольшую угрозу остаточные антибиотики в молоке представляют для уязвимых категорий населения — детей, беременных женщин, пожилых и людей с ослабленным иммунитетом. В этих группах наблюдается повышенная проницаемость кишечного барьера и сниженная детоксикационная функция, что усиливает токсическое действие даже минимальных доз. Кроме того, для плода и новорождённого критически важно отсутствие чужеродных веществ, включая лекарственные соединения.

Ряд исследований указывает на связь между длительным потреблением загрязнённой продукции и гормональными и эндокринными нарушениями. Некоторые антибиотики способны нарушать гормональный фон, вызывать сбои в репродуктивной функции и негативно влиять на неврологическое развитие у детей (Lu et al., 2021). Это делает вопрос контроля за молочной продукцией особенно важным в системе питания дошкольных учреждений и больниц.

Масштаб проблемы антибиотикорезистентности и токсичности остаточных веществ выходит за рамки медицины и приобретает экономическое значение. Рост числа трудноизлечимых инфекций требует применения дорогостоящих антибиотиков последнего поколения, увеличивает продолжительность госпитализации и снижает эффективность терапии. Всемирный банк (World Bank Report, 2017) указывает, что к 2050 году глобальный ВВП может сократиться на 3,8% именно из-за последствий антибиотикорезистентности [9].

Кроме прямых затрат на лечение, возникают социальные последствия: снижение качества жизни населения, потеря доверия к производителям молочной продукции и усиление напряжённости в системе здравоохранения. Во избежание этих рисков необходимо ужесточение контроля за применением антибиотиков в животноводстве, обязательная проверка сырья и внедрение международных стандартов пищевой безопасности, таких как Codex Alimentarius [9].

Воздействие антибиотиков, содержащихся в молочной продукции, носит многоуровневый характер: от прямого токсического действия до глобальной угрозы устойчивости к лечению инфекций. Современные научные исследования подтверждают, что даже субтерапевтические дозы могут вызывать серьёзные последствия для здоровья человека, особенно в уязвимых группах.

В условиях растущей угрозы необходимо не только усиление государственного и ветеринарного контроля, но и межотраслевой подход, включающий просвещение потребителей, обучение фермеров и развитие лабораторной диагностики. Только системные меры позволят обеспечить реальную безопасность молочной продукции и предотвратить долгосрочные последствия для здоровья общества.

### 1.1.3 Нормативные требования к содержанию антибиотиков в молоке (Казахстан, ЕАЭС, международные)

Контроль остаточного содержания антибиотиков в молочной продукции является важнейшим аспектом обеспечения её безопасности. Молоко и продукты его переработки широко используются в ежедневном рационе населения, включая детей и пожилых, что делает их санитарную безопасность приоритетной задачей государственной и международной политики. Остаточные количества антибиотиков в молоке могут возникать из-за несоблюдения каренционного периода или неправильного ветеринарного контроля, что требует строгих регламентов на национальном и международном уровнях.

Нормативные документы устанавливают предельно допустимые уровни (ПДУ) содержания различных групп антибиотиков в молоке. Эти значения позволяют обеспечить безопасность потребителей и служат основой для ветеринарного, санитарного и лабораторного контроля. Сравнительный анализ казахстанских, региональных (ЕАЭС) и международных норм позволяет оценить степень гармонизации стандартов и определить направления для их совершенствования.

В Республике Казахстан применяются следующие стандарты и методические документы по контролю содержания антибиотиков в молочной продукции.

В таблице 1 кратко даны национальные нормативы Республики Казахстан.

Таблица 1 - Национальные нормативы Республики Казахстан [10]

Нормативный документ	Антибиотики	Предел измерения (мкг/кг)
СТ РК 2.637-2019	Тетрациклины	0,60 для жидкого молока; 6,00 — сухого
СТ РК 1505-2006	Тетрациклин, левомицетин	от 3,0 до 30,0
Тех. регламент по безопасности	Все группы	Согласно ветеринарным и санитарным нормам

Данные нормативы используются при ветеринарно-санитарной экспертизе молока и молочной продукции. Они обеспечивают основу для принятия решений о пригодности сырья для переработки, а также для оценки продукции перед реализацией.

На уровне Евразийского экономического союза предельно допустимые уровни антибиотиков в молоке определяются решениями Коллегии ЕЭК и техническими регламентами ТС: (таблица 2)

Таблица 2 - Нормативные требования ЕАЭС [10]

Антибиотик	МДУ (мг/кг)	Примечание
Амоксициллин	0,004	Указан в перечне ЕЭК
Бацитрацин	0,1	Разрешён в ограниченных дозах
Левомицетин	<0,0003	Не допускается к применению

Решение Коллегии ЕЭК № 28 от 13.02.2018 г. содержит сводные данные по допустимым уровням ветеринарных препаратов в молоке и другой животноводческой продукции. Наряду с этим, Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 033/2013 "О безопасности молока и молочной продукции" устанавливает общие принципы допустимости остатков фармакологических веществ в молочной продукции [10].

Такие нормы играют важную роль в унификации требований для стран-участников союза и упрощают внутреннюю торговлю между государствами ЕАЭС. Однако для экспорта за пределы союза важно учитывать также международные стандарты.

В странах Европейского союза действуют строгие требования к содержанию остатков лекарственных веществ в продуктах животного происхождения, включая молочную продукцию: (таблица 3)

Таблица 3 - Международные стандарты (EC, Codex Alimentarius) [11]

Антибиотик	МДУ (мг/кг)	Нормативный документ
Ампициллин	0,004	Постановление ЕС № 37/2010
Цефапирин	0,01	Постановление ЕС № 37/2010
Тетрациклин	0,1	Codex Alimentarius

Codex Alimentarius, разработанный ФАО/ВОЗ, устанавливает международные ориентиры по безопасности пищевых продуктов. Он активно используется странами Азии, Африки и Латинской Америки для гармонизации местного законодательства с глобальными стандартами [11].

Международные требования зачастую более строгие и включают не только допустимые уровни, но и процедуры мониторинга, ответственность производителей и методы лабораторного контроля. Это создаёт дополнительные требования для предприятий, ориентированных на экспорт продукции.

Для лучшего понимания различий в подходах к регулированию содержания антибиотиков приведена таблица сопоставления МДУ в молоке: (таблица 4)

Таблица 4 - Сравнительный анализ нормативов [12]

Антибиотик	Казахстан (мкг/кг)	ЕАЭС (мг/кг)	ЕС / Codex (мг/кг)
Тетрациклин	0,60 (жидкое молоко)	0,1	0,1
Левомицетин	3,0–30,0	<0,0003	запрещён
Амоксициллин	—	0,004	0,004

Сравнение показывает, что нормативы ЕС и Codex, как правило, более строгие, особенно по отношению к запрещённым веществам (например, левомицетин). Казахстанские нормы имеют более широкий диапазон и допускают использование метода вольтамперометрии при определении концентраций [12].

Различия в нормативных подходах объясняются как техническими возможностями стран, так и степенью зависимости от экспорта. Однако для обеспечения международного доверия к продукции необходима гармонизация с более строгими и научно обоснованными стандартами.

Нормативные документы выполняют не только функцию правового регулирования, но и служат инструментом защиты здоровья потребителей. Благодаря им осуществляется контроль за безопасностью молока как на стадии производства, так и при переработке и реализации.

Соблюдение предельно допустимых уровней антибиотиков является обязательным условием для экспортамолочной продукции. Многие страны-импортёры требуют подтверждения соответствия продукции международным стандартам, особенно в рамках Codex Alimentarius и регламентов ЕС. Поэтому фермерские хозяйства и молокозаводы, ориентированные на внешний рынок, обязаны внедрять эффективные системы внутреннего контроля, такие как НАССР.

В условиях роста глобальной торговли и усиления санитарных требований важно регулярно пересматривать и обновлять национальные нормативы, опираясь на научные исследования, международный опыт и технический прогресс в области аналитических методов. Это обеспечит конкурентоспособность продукции и снизит риски для здоровья населения.

Нормативное регулирование содержания антибиотиков в молочной продукции — ключевой элемент системы продовольственной безопасности. Современные подходы требуют не только соблюдения количественных пределов, но и обеспечения прозрачности, ответственности производителей и эффективного мониторинга. Гармонизация нормативов Казахстана с международными стандартами станет важным шагом к укреплению доверия потребителей и расширению внешнеэкономических связей.

#### 1.1.4 Обзор существующих методов выявления антибиотиков

Своевременное и точное выявление антибиотиков в молоке имеет важное значение для обеспечения его безопасности и качества. Остаточные количества антимикробных веществ могут поступать в молочную продукцию при нарушении сроков выведения препаратов, что делает необходимым применение достоверных методов анализа. Контроль за содержанием антибиотиков является обязательным на всех этапах производственно-технологической цепочки — от фермы до прилавка. Разнообразие методов анализа позволяет выявлять как отдельные группы веществ, так и широкий спектр антибиотиков с высокой точностью. При этом методы различаются по уровню чувствительности,

сложности, стоимости и скорости проведения. Комплексное использование скрининговых и подтверждающих методов повышает эффективность ветеринарного и санитарного контроля. Рассмотрим основные существующие подходы к выявлению антибиотиков в молочной продукции.

Скрининговые методы направлены на быстрое выявление наличия антибиотиков в образцах без точного количественного измерения. Одним из наиболее популярных подходов являются иммунохроматографические экспресс-тесты, такие как Delvotest, SNAP и Garant 4 Ultra Milk [13]. Они основаны на реакции антиген-антитело и позволяют определить наличие группы антибиотиков в течение 5–15 минут. Их основными преимуществами являются простота применения, не требующая сложного оборудования, и возможность использования непосредственно на ферме или в лаборатории приёмки сырья. Однако чувствительность данных тестов может быть ограничена, особенно при наличии низких концентраций антибиотиков. Поэтому экспресс-тесты целесообразно использовать на этапе первичного контроля, с последующим подтверждением более точными методами.

Другим важным скрининговым методом является иммуноферментный анализ (ИФА). Он основан на специфическом взаимодействии антител с определёнными группами антибиотиков, в результате чего формируется окрашенное соединение, измеряемое спектрофотометрически. ИФА отличается высокой чувствительностью и позволяет обнаруживать антибиотики в концентрациях ниже 1 мкг/кг. Метод хорошо зарекомендовал себя в пищевых и ветеринарных лабораториях, так как может быть автоматизирован и используется для анализа большого количества образцов. Недостатком является необходимость квалифицированного персонала и специального оборудования. Тем не менее, ИФА остаётся одним из наиболее распространённых методов скрининга в рамках производственного контроля.

К подтверждающим методам относят аналитические технологии, позволяющие точно определить вид и концентрацию антибиотика в молочном образце. Одним из наиболее надёжных подходов является высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) и газовая хроматография (ГЖХ). Эти методы позволяют разделять сложные смеси веществ, включая антибиотики, с последующим детектированием на уровне следов. Они широко используются в аккредитованных лабораториях и служат эталоном в судебной и экспортной экспертизе. Основными преимуществами являются высокая точность и возможность многокомпонентного анализа. Однако данные методы требуют дорогостоящего оборудования и квалифицированного обслуживания.

Масс-спектрометрия представляет собой один из самых точных инструментов для анализа остатков антибиотиков. Она позволяет определять даже ультразинкие концентрации препаратов, что особенно важно при контроле продукции, предназначенный для экспорта. В сочетании с хроматографией, масс-спектрометрия обеспечивает не только высокую чувствительность, но и идентификацию конкретного антибиотика по его молекулярной массе. Этот метод применяется в референсных лабораториях, научных центрах и

учреждениях по сертификации. К его недостаткам можно отнести высокую стоимость оборудования и длительность подготовки проб.

К менее дорогостоящим, но всё ещё надёжным методам относят электрофорез и спектрофотометрический анализ. Электрофоретические методы используются для разделения антибиотиков по заряду и массе, в то время как спектрофотометрия позволяет определять их по степени поглощения света определённой длины волны. Эти методы нашли применение в ветеринарных лабораториях среднего уровня оснащённости. Они обладают достаточной чувствительностью для ряда веществ, однако требуют стандартизации и контроля условий анализа. Важно отметить, что данные методы чаще всего используются в качестве дополнительных при отсутствии доступа к хроматографическим или масс-спектрометрическим приборам.

Среди современных подходов выделяется инфракрасная спектроскопия, особенно в автоматизированных анализаторах, таких как FOSS Milkoscan FT1. Данный метод позволяет определить не только состав молока (жир, белок, лактозу), но и наличие антибиотиков за счёт анализа ИК-спектра. Он отличается высокой скоростью, минимальными требованиями к подготовке образцов и возможностью многокомпонентного анализа. Метод применяется на перерабатывающих предприятиях, где важна оперативность контроля качества. Однако его чувствительность может уступать хроматографическим методам при анализе малых концентраций антибиотиков. Поэтому он используется в основном как инструмент для оперативного экспресс-анализа.

Биосенсорные технологии и нанотехнологии представляют собой перспективное направление в аналитике. Биосенсоры основаны на специфических взаимодействиях между антибиотиками и биологическими рецепторами, с последующей электронной регистрацией сигнала. Эти технологии позволяют создать компактные устройства для экспресс-анализа на месте сбора или переработки молока. Наночастицы и наноносители, применяемые в таких системах, повышают чувствительность и стабильность сенсоров. Хотя данные методы пока не получили широкого промышленного применения, они активно развиваются и могут в ближайшем будущем заменить традиционные методы в условиях фермерских хозяйств. Их главным преимуществом является потенциал для создания дешёвых, переносных и чувствительных систем диагностики.

Для выбора метода анализа антибиотиков в молочной продукции важно учитывать сразу несколько параметров. В таблице ниже (таблица 5) приведена сравнительная характеристика наиболее распространённых методов [14]

Таблица 5 - Сравнительная характеристика методов [14]

Метод	Чувствительность	Время анализа	Оборудование	Требования к персоналу
Экспресс-тесты	Средняя	5–15 мин	Минимальное	Минимальные

ИФА	Высокая	1–2	Спектрофотометр	Средние
ВЭЖХ/ ГЖХ	Очень высокая	ч 2–5	Хроматографы	Высокие
Масс- спектрометрия	Максимальн ая	ч 3–6	Масс- спектрометр	Очень высокие
ИК- анализ (MilkoScan)	Средняя	мин 1–2	Инфракрасн ый анализатор	Низкие

Как видно, выбор метода зависит от задач: для оперативного контроля подойдут экспресс-тесты и ИК-анализ, для подтверждения — хроматография и масс-спектрометрия. Также важна доступность оборудования и квалификация сотрудников, что особенно актуально для сельскохозяйственных регионов.

Несмотря на наличие эффективных методов анализа, их применение в фермерских хозяйствах ограничено рядом факторов. Наибольшие сложности вызывает высокая стоимость оборудования, а также нехватка квалифицированного персонала для проведения сложных анализов. Кроме того, не все методы стандартизированы и одобрены национальными или международными нормативами, что затрудняет их применение при сертификации продукции.

Перспективным направлением является разработка универсальных, недорогих и портативных систем, сочетающих точность лабораторного анализа с простотой экспресс-диагностики. Важным также является внедрение автоматизированных платформ, способных обрабатывать большое количество образцов без участия оператора. Международные исследовательские проекты направлены на создание новых сенсорных материалов и микрофлюидных чипов для анализа на месте. Такие технологии особенно важны в условиях удалённых сельскохозяйственных регионов. В целом, будущее контроля антибиотиков связано с интеграцией современных цифровых, биохимических и инженерных решений [16].

Методы выявления антибиотиков в молоке представляют собой совокупность скрининговых, подтверждающих и инновационных подходов, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения. Эффективный контроль возможен только при комплексном подходе, сочетающем быстрое выявление и лабораторное подтверждение. Особое значение приобретает развитие доступных и надёжных методов для фермерских хозяйств, где риск нарушений наиболее высок.

Современная стратегия анализа антибиотиков должна включать техническое оснащение лабораторий, обучение персонала и внедрение цифровых решений для автоматизации процессов. Только так можно обеспечить высокие стандарты качества и безопасности молочной продукции, соответствующие требованиям внутреннего рынка и международных норм.

### 1.1.5 Особенности состава молока и сложности контроля

Молоко представляет собой сложную биологическую жидкость, содержащую более 100 различных химических соединений. В его состав входят вода, жиры, белки, лактоза, минеральные вещества, ферменты, витамины и микроэлементы. Такая комплексность делает молоко ценным питательным продуктом, но в то же время создаёт серьёзные затруднения при лабораторном контроле остаточных количеств антибиотиков. Многие натуральные компоненты молока могут вступать во взаимодействие с реагентами, ингибировать тест-системы или маскировать присутствие антибиотиков. Это повышает вероятность получения ложноположительных или ложноотрицательных результатов, особенно при использовании экспресс-методов.

По данным FAO (2019), молоко относится к числу наименее стабильных и наиболее чувствительных к внешним воздействиям пищевых продуктов. Кроме того, его структура может меняться под влиянием внешних факторов, включая температуру, освещение и микробиологические процессы. Это требует не только высокого уровня подготовки проб, но и выбора методик, адаптированных под конкретные условия анализа. Именно поэтому молоко считается одной из самых сложных матриц для химико-аналитических исследований.

В среднем молоко на 87% состоит из воды, а остальная часть представлена сухими веществами: жирами (3,5–6%), белками (в основном казеин и сывороточные), углеводами (в основном лактозой) и минеральными солями. Белки, особенно казеин, способны образовывать комплексы с молекулами антибиотиков, снижая их доступность для аналитического обнаружения. Жиры, в свою очередь, могут растворять липофильные антибиотики, такие как тетрациклины, создавая трудности при экстракции. Углеводы и ферменты могут вступать в побочные реакции с реагентами, используемыми в экспресс-тестах [17].

Эти особенности состава требуют дополнительных этапов подготовки проб — фильтрации, центрифугирования или химического осаждения — перед проведением анализа. Исследования Wimalaratne et al. (2021) показали, что точность обнаружения антибиотиков в молоке может снижаться на 15–30% в зависимости от состава матрицы. Кроме того, жирно-белковая эмульсия молока может физически блокировать проникновение аналитических реагентов к целевым молекулам, особенно при экспресс-методах. Это особенно затрудняет диагностику при массовом тестировании в полевых условиях.

Процессы пастеризации, стерилизации, сушки и сепарации, применяемые при переработке молока, влияют на физико-химические свойства антибиотиков. Некоторые антибиотики (например, пенициллины и стрептомицины) термолабильны и частично разрушаются при температурной обработке. Однако другие, такие как тетрациклины или макролиды, могут сохраняться даже после высокотемпературной обработки. Таким образом, наличие остаточных веществ не всегда можно исключить даже после стандартной термической обработки.

Кроме того, переработка молока приводит к неравномерному распределению остатков антибиотиков между фракциями: сливками, сывороткой, сухим веществом. Это затрудняет количественный анализ и требует точной стандартизации методов отбора проб. Например, в ходе исследований EFSA (2020) было установлено, что уровень остатков антибиотиков в молоке после переработки может колебаться в пределах 30–80% от исходного уровня. Это говорит о необходимости пересмотра норм в зависимости от формы продукта [18].

Дополнительной проблемой является адсорбция антибиотиков на оборудование при пастеризации или хранении. Некоторые вещества могут оседать на металлических поверхностях или вступать в реакцию с моющими средствами, тем самым изменяя свою структуру. Это может исказить результаты анализа и требует регулярной калибровки приборов и контроля чистоты оборудования.

Физиологическое состояние животного оказывает существенное влияние на состав молока, а следовательно, и на поведение антибиотиков в нём. В частности, на фазе лактации изменяется уровень белка и жира, что влияет на связывание и распределение лекарственных веществ. Молодые животные и животные в стрессе также выделяют молоко с изменённым биохимическим составом, что необходимо учитывать при интерпретации результатов.

Существенные различия существуют и между видами молока. Кобылье молоко содержит больше лактозы и меньше жира по сравнению с коровьим, тогда как козье молоко отличается мелкодисперсной жировой фракцией. Это влияет на экстракцию и детекцию антибиотиков. Исследование Zhang et al. (2020) показало, что изменение pH молока на 0,5 единицы может снизить стабильность ампициллина на 40% уже в течение 12 часов.

Кроме того, микробиологический статус животного и качество доения могут повлиять на начальную обсеменённость молока, что, в свою очередь, влияет на активность антибиотиков и корректность микробиологических тестов. Ферменты, выделяемые микроорганизмами, могут расщеплять антибиотики или изменять их активность [19].

Из-за присутствия в молоке множества компонентов, потенциально взаимодействующих с аналитическими реагентами, возникают методологические сложности при обнаружении антибиотиков. Натуральные вещества, такие как липиды, лактоза и соли, могут вызывать "шум" сигнала, затрудняя интерпретацию результатов. Многие методы, включая ИФА и экспресс-тесты, требуют строгих условий температурного режима, pH и времени реакции, что не всегда возможно в полевых условиях.

Для повышения точности нередко требуется предварительная подготовка образца: очистка, экстракция органическими растворителями, центрифugирование. Даже при использовании современных методов, таких как ВЭЖХ или масс-спектрометрия, требуется точная настройка оборудования и валидация методики. Исследование O'Connor et al. (2019) показало, что около

12% всех ложных результатов в анализе молока связано именно с нарушениями на этапе подготовки пробы.

Дополнительной трудностью является необходимость обнаружения следовых количеств антибиотиков, особенно в случае высокочувствительных норм, установленных ЕС и Codex Alimentarius. Это требует использования дорогостоящего оборудования и высококвалифицированного персонала, что может быть недоступно для небольших хозяйств.

Для преодоления вышеописанных трудностей целесообразно использовать комплексный подход к анализу молока. На первом этапе применяются скрининговые методы (экспресс-тесты, ИФА), позволяющие быстро выявить подозрительные образцы. На втором этапе проводится подтверждающий анализ с использованием высокоточных методов — ВЭЖХ, ГХ или масс-спектрометрии. Такая схема позволяет обеспечить надёжность результатов и исключить ложные срабатывания.

Важную роль играет стандартизация методик: построение калибровочных кривых, использование стандартных добавок и сертифицированных эталонов. Международные рекомендации (Codex Alimentarius, 2021) подчёркивают необходимость валидации методов на молочной матрице и межлабораторного сравнения результатов.

Уникальный и переменный состав молока делает его одним из самых сложных объектов для анализа антибиотиков. Компоненты молока могут мешать точному определению остаточных веществ, снижать эффективность методов и искажать результаты. Для преодоления этих трудностей необходим комплексный подход, включающий подготовку проб, сочетание скрининговых и подтверждающих методов, а также строгое соблюдение аналитических протоколов.

Современные стандарты и международные рекомендации (EFSA, Codex Alimentarius) должны стать основой для совершенствования контроля антибиотиков в молочной продукции. Только системный и научно обоснованный подход позволит гарантировать безопасность молока для конечного потребителя.

## **2. Объекты и методы исследования**

### **2.1. Объекты исследования**

В данной работе в качестве объектов анализа выбраны три различных вида молока: сырое кобылье молоко, пастеризованное коровье молоко и сухое (порошкообразное) молоко. Каждый из этих образцов имеет свои особенности состава и структуры, что обосновывает их включение в исследование. Разнообразие по происхождению (кобылье, коровье) и степени обработки (сырое, термически обработанное, обезвоженное) позволяет оценить влияние матрицы молока на выявление антибиотиков и сопутствующих показателей качества.

Сырое кобылье молоко существенно отличается от коровьего по химическому составу и свойствам. Оно относится к так называемому альбуминовому типу по составу белков – в нём значительно выше доля сывороточных (альбуминовых) белков по сравнению с казеиновыми. Кроме того, кобылье молоко в среднем в 1,5–2 раза менее жирное и менее белковое, чем коровье, при этом содержит примерно в 1,5 раза больше лактозы. Например, жирность кобыльего молока обычно составляет около 1–2%, тогда как у коровьего – 3–4%; общее белковое содержание около 2% против ~3% у коровьего, а массовая доля лактозы может превышать 6% (в сравнении с ~4,7% у коровьего). Такие различия обусловлены биологическими особенностями состава: в кобыльем молоке выше содержание незаменимых ненасыщенных жирных кислот, но общий жир быстро прогоркает при хранении. Также известно, что сырое кобылье молоко обычно не подвергают пастеризации в промышленных условиях из-за склонности к денатурации белков и окислению жира при нагреве. Вместо этого его употребляют свежим или сбраживают (например, для получения кумыса). Выбор сырого кобыльего молока в исследовании обусловлен интересом к нетрадиционному виду молочного сырья и необходимостью проверить, влияют ли его уникальные свойства на обнаружение антибиотических веществ.

Пастеризованное молоко – это обработанное коровье молоко, прошедшее тепловую обработку для обеззараживания. В работе использовалось пастеризованное питьевое молоко коровы стандартной жирности (2,5–3,2% жира), приобретенное в розничной сети. Пастеризация (обычно нагрев до 72–76 °С с выдержкой 15–20 секунд) уничтожает большинство вегетативных микроорганизмов и инактивирует ферменты, сохраняя при этом основной химический состав молока. Структурно пастеризованное молоко часто подвергается гомогенизации – дроблению жировых шариков под давлением. В результате средний размер жировых глобул снижается примерно в 10 раз, что предотвращает отделение сливок и повышает устойчивость продукта при хранении. Так, после гомогенизации жировые шарики имеют диаметр порядка 0,8–1 мкм вместо 3–4 мкм, а скорость их всплытия снижается в ~100 раз. Это придаёт пастеризованному молоку более однородную структуру эмульсии и увеличивает срок годности. Пастеризованное коровье молоко выбрано в качестве объекта как наиболее распространённый тип пищевого молока, на котором важно

контролировать отсутствие антибиотиков в соответствии с требованиями безопасности.

Сухое молоко (молочный порошок) представляет собой обезвоженное коровье молоко, полученное методом распылительной сушки. В исследовании анализировали образец цельного сухого молока промышленного производства. Структура этого продукта кардинально отличается от жидкого молока: практически вся влага удалена (остаточная влажность не более ~4–5%), а питательные вещества сконцентрированы. Перед анализом сухое молоко восстановливали водой до нормальной концентрации сухих веществ, чтобы провести те же методы испытаний, что и для жидкого молока. Включение сухого молока обусловлено тем, что оно широко применяется в пищевой индустрии и может содержать остаточные антибиотики, перешедшие из сырья. Кроме того, проверяется, сохраняются ли следы антибиотиков после технологической обработки (пастеризации и сушки). Отличия по структуре между сухим и обычным молоком – это отсутствие воды и иная физическая форма молочных компонентов (порошкообразная матрица), что потенциально может влиять на распределение и выявление остаточных веществ. Анализ сухого молока позволяет убедиться, что применяемые методы детекции эффективно работают даже в сложноорганизованной матрице пищевого продукта длительного хранения.

## 2.2 Методика проведения анализа

Для выявления антибиотических веществ и оценки качества выбранных образцов применили комплексный подход, включающий три метода анализа: экспресс-тест на антибиотики «Гарант 4 Ультра Милк», инфракрасный анализ состава на приборе FOSS MilkoScan FT1, а также ряд микробиологических тестов. Каждый метод обеспечивает определение своего набора показателей, а совокупно они дают полную картину о наличии антибиотиков и состоянии молока.

### Экспресс-тест Garant 4 Ultra Milk:

Первый этап анализа – экспресс-скрининг на присутствие антибиотиков с помощью набора Garant 4 Ultra Milk. Это качественный иммунологический тест на основе иммунно-хроматографических тест-полосок, позволяющий одновременно обнаруживать остатки четырёх групп антибиотиков:  $\beta$ -лактамы, тетрациклины, левомицетин (хлорамфеникол) и стрептомицины. Данный тест разработан для контроля сырого и переработанного молока непосредственно в условиях производства или лаборатории. Принцип действия основан на конкурентном связывании: если в пробе присутствует антибиотик определённой группы выше порогового уровня, он блокирует соответствующие реагенты, и интенсивность тестовой линии на индикаторной полоске уменьшается. При отсутствии антибиотика, напротив, тестовая полоса проявляется отчётливо. Таким образом, визуальная интерпретация наличия/отсутствия линий позволяет

сделать вывод о наличии следов антибиотиков в образце. Экспресс-тест обладает высокой чувствительностью и специфичностью к указанным группам препаратов и рассчитан на пороговые концентрации, соответствующие или ниже предельно допустимых уровней для пищевого молока. Согласно информации производителя, преимуществами данного набора являются быстрота анализа (~10 минут), простота использования и то, что для реакции не требуется инкубатор (реакция проходит при комнатной температуре). Тест-система произведена компанией RING Biotechnology Co. и поставляется в виде комплектов на 96 определений, что удобно для массового контроля.

Практическое проведение экспресс-анализа осуществлялось в строгом соответствии с инструкцией производителя. Пробы молока предварительно доводили до комнатной температуры (~20 °C) и тщательно перемешивали. В пластиковую микролунку, содержащую сухой реагент, вносили 200 мкл молока с помощью градуированной пипетки. Жидкость перемешивали с реагентом прямо в лунке путём многократного набирания и выпуска (пипетирования) – это позволяет растворить лиофилизированный реагент и инициировать реакцию. Затем выдерживали лунку 3 минуты, чтобы дать связаться антибиотикам (если они есть) с реагентом. После этой инкубации в лунку помещали индикаторную тест-полоску (иммунохроматографическую) конкретного типа, соответствующую анализируемой группе антибиотиков. Полоску оставляли в растворе на 7 минут, после чего оценивали появление окрашенных линий. На каждой полоске имеется контрольная линия (обозначена “CTRL”) и четыре тестовых зоны, маркированных буквами B, T, S, C (по первым буквам названий групп антибиотиков: Beta-lactam, Tetracycline, Streptomycin, Chloramphenicol). Если после регламентированного времени тестовые линии видны так же отчетливо, как контрольная, это означает отсутствие соответствующих антибиотиков (отрицательный результат). Положительный результат выражается в пропадании либо заметном ослаблении одной из тестовых линий по сравнению с контрольной. Для надёжности интерпретации результатов использовалась специальная цветовая схема (рисунок ниже), а в спорных случаях применялся портативный фотометр-ридер (например, Test Strip Reader ANKAR-100) для объективного считывания оптической плотности линий. В случае обнаружения даже одной положительной реакционной полоски образец считается содержащим недопустимые остатки антибиотиков данной группы и подлежит дальнейшему анализу количественными методами.

В рамках данной работы экспресс-тест «Гарант 4 Ультра» (рисунок 1) применялся ко всем образцам молока сразу после их подготовки. Сыре кобылье, пастеризованное коровье и восстановленное сухое молоко были проанализированы на четыре группы антибиотиков по описанной процедуре. Каждый образец тестирували не менее чем в двух повторностях (для повышения достоверности). При этом особое внимание уделялось пробоподготовке: для сухого молока свежеприготовленный раствор фильтровали, чтобы удалить возможные нерастворенные частицы, способные повлиять на движение по тест-полоске. Результаты экспресс-анализа фиксировались фотографированием тест-

полосок и протоколировались. Этот метод позволил быстро определить, содержит ли вообще образец какие-либо из целевых антибиотических веществ. В случае отрицательных результатов по экспресс-тесту вероятность превышения нормативов по антибиотикам крайне мала; положительные же результаты служили сигналом к более детальному исследованию и подтверждению другими способами. Таким образом, экспресс-тест Garant 4 Ultra Milk выполнил роль первичного скрининга на антибиотики в молоке, предоставив оперативную информацию о безопасности проб по критерию наличия лекарственных остатков.

### Экспресс-тесты Garant 4 Ultra Milk



На схеме: CTRL – контроль; B –  $\beta$ -лактамы; T – тетрациклины; S – стрептомицин; C – хлорамфеникол.

Рисунок 1 – Принцип интерпретации результатов экспресс-теста Garant 4 Ultra Milk

### Инфракрасный анализ на FOSS MilkoScan FT1:

Вторым этапом исследования было проведение физико-химического анализа состава молока с использованием инфракрасного спектрометра MilkoScan FT1 (производства FOSS). Данный прибор предназначен для экспресс-определения основных компонентов молока по спектрам поглощения в средне-инфракрасном диапазоне (метод Фурье-спектроскопии, FTIR). Применение MilkoScan позволило одновременно определить ряд важных показателей качества и состава: массовую долю жира, белка, лактозы, сухого остатка, а также некоторые специальные показатели, такие как содержание мочевины и точки замерзания, которые косвенно свидетельствуют об натуральности продукта и его состоянии. Анализатор MilkoScan FT1 аттестован в соответствии с международными стандартами IDF и AOAC и широко применяется в молочной отрасли для контроля качества сырого

и пастеризованного молока. Его использование в нашем исследовании обеспечило стандартизованное получение данных о составе разных типов молока и выявление возможных отклонений (например, разбавления водой или нарушения кормового рациона животных, по уровню мочевины и др.).

Подготовка проб для инфракрасного анализа проводилась по стандартной методике. Жидкие образцы (сырое и пастеризованное молоко) были доведены до температуры около 40 °С и тщательно перемешаны – это необходимо для растворения возможного жирового слоя и разрушения агрегатов, обеспечивая однородность. Сырое кобылье молоко перед анализом профилtrировали через марлю, чтобы удалить случайные механические примеси (волокна, комочки сливок и т. д.). Сухое молоко предварительно восстановили в дистиллированной воде (соотношение порошка и воды согласно инструкции производителя сухого молока), выдержали ~30 минут для полного набухания белков, затем смесь также подогрели до 40 °С и перемешали. В случае наличия видимого осадка раствор декантировали или фильтровали. Каждый образец загружался в анализатор при температуре в диапазоне 20–40 °С (допустимый диапазон прибора). Перед измерениями проводили калибровочную проверку прибора на стандартных образцах молока известного состава (контрольные пробы с сертификатом). При необходимости применяли корректировку по нулевой линии с помощью дистиллированной воды (фонового спектра).

Измерения на MilkoScan FT1 выполнялись в автоматическом режиме: около 8 мл подготовленной пробы засасывались в кювету прибора, после чего в течение ~30 секунд происходило сканирование ИК-спектра и вычисление концентраций компонентов по встроенным калибровкам. Прибор оснащён заводскими калибровками, основанными на референсных методах (например, жир – по ГОСТ 5867 методом Гербера, белок – по Кильдалю, лактоза – по поляриметрии, мочевина – по спектрометрическому методу и т.п.). Полученные значения отображались на экране и сохранялись в памяти компьютера. В частности, были зафиксированы следующие показатели для каждой пробы: массовая доля жира (%), массовая доля общего белка (%), массовая доля лактозы (%), сухой обезжиренный остаток (СОМО, %), а также содержание мочевины (мг/л) и плотность (г/см<sup>3</sup>), если прибор поддерживал эти параметры. Определение мочевины инфракрасным методом основано на измерении полос поглощения, специфичных к карбамидным соединениям, и откалибровано по химическому спектрометрическому методу определения мочевины (в отечественной практике – по ГОСТ Р 51422-99). Таким образом, точность измерения мочевины и других компонентов соответствует нормативным метрам: например, метод согласно ГОСТ Р 51422-99 основан на реакции мочевины с диацетилмонооксимом и фотометрическом измерении, что и воспроизведено косвенно в калибровке прибора. Анализатор также рассчитывал титруемую кислотность (°Т) и температуру замерзания (°С) по спектральным данным, что позволяет судить об общей свежести и возможном разбавлении молока водой соответственно. После каждого образца система промывалась дистиллированной водой, чтобы избежать перекреста между пробами.

Результаты инфракрасного анализа фиксировались для дальнейшего использования. Они служили двум целям: во-первых, подтвердить заявленные свойства объектов (например, низкий жир и высокий сахар у кобыльего молока, соответствие пастеризованного молока стандарту по жиру/белку, соответствие сухого молока нормативам после восстановления по содержанию сухих веществ). Во-вторых, некоторые параметры использовались косвенно для оценки возможного присутствия антибиотиков. Например, повышенная мочевина в молоке может указывать на метаболические нарушения у животных, иногда связанные с лечением, а пониженное общее микробное число при нормальных остальных показателях может косвенно сигнализировать о наличии антибиотических агентов, подавляющих микрофлору. Хотя MilkoScan FT1 напрямую антибиотики не обнаруживает, данные о составе помогли интерпретировать результаты экспресс-тестов и микробиологических исследований более обоснованно.

Важно отметить, что применяемый инфракрасный метод соответствует современным стандартам и имеет высокую воспроизводимость. Точность определения основных компонентов молока с помощью MilkoScan FT1 составляет около  $\pm 0,01\text{--}0,02\%$  в абсолютном выражении (для жира, белка, лактозы), что подтверждено аттестацией по международным протоколам. Таким образом, использование данного прибора обеспечило научно обоснованную и стандартизованную характеристику образцов молока, дополняющую исследования на антибиотики.

#### Микробиологический анализ:

Завершающим блоком методики был микробиологический анализ образцов молока. Его целью являлось оценить общее санитарно-гигиеническое состояние молока и косвенные показатели, которые могут быть связаны с наличием антибиотиков. Антибиотические остатки в молоке способны подавлять рост микроорганизмов, поэтому проверка микробиологических параметров служит дополнительным признаком: например, чрезмерно низкое для сырого молока микробное число при нормальных условиях может указывать на присутствие ингибирующих веществ. В рамках микробиологического контроля в исследовании измерялись следующие показатели: общая бактериальная обсеменённость (КМАФАнМ), наличие бактерий группы кишечной палочки (БГКП), а также определялись некоторые качественные характеристики молока, связанные с микробиологическими процессами – в частности, титруемая кислотность. Кроме того, контролировались органолептические признаки (запах, вид) и при необходимости проводились тесты на специфические бактерии (например, коагулазоположительные стафилококки, патогенные микроорганизмы) в соответствии с нормативными документами на молоко и молочную продукцию.

Определение КМАФАнМ (количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов) проводилось классическим методом посева на плотную питательную среду с подсчётом колоний. Для этого готовили десятичные разведения каждого образца молока в

стерильном физиологическом растворе. Сыре и пастеризованное молоко испытывали непосредственно, а сухое – после разведения (как и для других анализов). Из подходящих разведений по 1 мл инокулировали на поверхность агарицированной питательной смеси (агар с молоком или стандартный питательный агар) в чашках Петри. Посевы инкубировали при температуре 30 °С в течение 72 часов (стандартные условия для подсчёта общего количества мезофильной микрофлоры в молоке согласно ГОСТ и ISO методикам). По истечении инкубации производился подсчёт выросших колоний бактерий. Результат выражали в колониеобразующих единицах на миллилитр (КОЕ/мл) исходного продукта. Для каждого образца было заложено не менее двух параллельных чашек, и учитывалась средняя величина. Методика выполнялась согласно ГОСТ ISO 4833-2014 (аналог международного ISO 4833) либо действующему межгосударственному стандарту на подсчёт микроорганизмов в пищевых продуктах. Этот анализ показал, насколько сильно обсеменено молоко микроорганизмами. Сыре кобылье молоко ожидалось иметь сравнительно низкое микробное число, так как оно было получено свежим и охлажденным; пастеризованное молоко должно соответствовать нормативам безопасности (обычно  $\leq 1 \times 10^5$  КОЕ/мл до истечения срока годности); сухое молоко в сухом виде практически стерильно, но после восстановления микрофлора может развиваться из споровых форм, поэтому допустимый уровень КМАФАнМ для него также регламентирован (например,  $\leq 50\,000$  КОЕ/г для сухого продукта). Сравнение реальных значений с нормативными позволило судить о качестве образцов и косвенно – о возможном воздействии антибиотиков. Например, если в сыром молоке обнаружено аномально малое количество бактерий при нормальных условиях содержания, это могло быть следствием присутствия антибиотика, подавившего рост микрофлоры еще *in vivo*.

Выявление бактерий группы кишечной палочки (БГКП) производилось как показатель санитарной обсемененности и эффективности пастеризации. Для этого применяли стандартный метод брожения в пробирках (метод приоритетного накопления) с последующим подтверждением на дифференциальных средах. Из каждой пробы молока (или ее разведения для сухого молока) по 1 см<sup>3</sup> засевали в ряд пробирок с селективным жидким питательным бульоном, содержащим лактозу и индикатор pH (например, среда Кесслера или аналогичная). Инкубация проводилась при 37 °С в течение 24–48 часов. Наличие бактерий группы кишечной палочки выявлялось по помутнению среды, газообразованию и сдвигу pH (изменению цвета индикатора). Из положительно прореагировавших пробирок делали пересев на дифференциальные питательные среды (Эндо, Левина) для подтверждения роста колоний, характерных для кишечной палочки. Результат выражали как наличие или отсутствие БГКП в определённом объёме продукта. Согласно гигиеническим нормам в пастеризованном молоке не допускается наличие БГКП в 0,1 мл (т.е. бактерии кишечной группы должны отсутствовать вовсе) – этот критерий мы проверяли для образца магазинного молока. В сыром молоке допускается присутствие некоторого количества кишечных бактерий, однако для молока

высшего и первого сорта их не должно быть в 1 см<sup>3</sup> согласно техническим условиям. В сухом молоке (при восстановлении) также не должно обнаруживаться кишечных бактерий в 0,1–1,0 г продукта. Методика соответствовала требованиям ГОСТ 9225-84 (методика обнаружения бактерий группы кишечной палочки) и современным санитарным правилам.

Титруемая кислотность молока определялась в продолжение микробиологической оценки, так как рост бактерий (особенно молочнокислых) напрямую влияет на кислотность. Метод измерения кислотности основан на титриметрическом методе по ГОСТ 3624-92. В пробирку отбирали 10 мл молока и добавляли 20 мл дистиллированной воды. Затем по каплям приливали раствор гидроксида натрия (0,1 н. NaOH) в присутствии фенолфталеина до появления слабой розовой окраски, не исчезающей в течение 1 минуты. Объём израсходованного щёлочного раствора (в мл) прямо пропорционален кислотности: 1 мл 0,1 н NaOH соответствует 1° Тернера. Таким образом, количество миллилитров щёлочи, пошедшее на нейтрализацию, равно величине кислотности в градусах Тернера (°T). Для каждого образца титрование выполняли в двойном повторении, результат усредняли. Свежевыдоенное сырое коровье молоко обычно имеет кислотность 16–18 °T; у кобыльего молока исходная кислотность ниже (около 6–10 °T) из-за меньшего содержания белков и солей. Пастеризованное молоко не должно иметь кислотность выше ~20–21 °T (в противном случае это признак начавшегося прокисания или изначально повышенной кислотности сырья). Сухое молоко перед сушкой обычно пастеризуется, и его кислотность нормируется технологически (например, для качественного сырья ≤ 21 °T). В восстановленном виде кислотность сухого молока будет зависеть от исходного сырья и технологий сушки, но не должна сильно отличаться от обычного молока. Измерение кислотности позволило оценить свежесть и доброкачественность образцов: отсутствие избыточной кислотности подтверждает, что молоко не было испорчено бактериями до анализа. Также этот показатель косвенно свидетельствует об отсутствии в молоке больших количеств молочнокислых бактерий – например, пониженная кислотность сырого молока при долгом хранении могла указывать на подавление нормальной микрофлоры антибиотиками.

Помимо указанных тестов, при необходимости проводились дополнительные микробиологические исследования. В частности, проверялось отсутствие патогенных микроорганизмов: золотистого стафилококка (не допускается более 100 КОЕ/мл для молока, определяли посевом на сольвой желточный агар), *Listeria monocytogenes* и *Salmonella* (в 25 мл продукта не должно быть выявлено, проверка по методикам ГОСТ 30347-97 и ГОСТ 30519-97 соответственно). Эти анализы особенно актуальны для сырого молока. Также контролировалось общее санитарное состояние фермы (для кобыльего молока) и условия производства (для пастеризованного и сухого молока) через перечисленные микробиологические критерии.

В целом, микробиологический блок методики позволил убедиться, что исследуемые образцы соответствуют нормативным требованиям

безопасности по микробиологическим показателям (что важно само по себе) и также предоставил косвенные данные для интерпретации результатов по антибиотикам. Совпадение результатов экспресс-теста с микробиологической картиной усиливает доказательность выводов. Например, если экспресс-тест указал на наличие антибиотика, то часто наблюдается и несоответствие микробиологических нормативов – например, нулевая БГКП и крайне низкий КМАФАнМ в сыром молоке, что нехарактерно без охлаждения или добавок. В нашем исследовании все методы – экспресс-химический, приборный физико-химический и микробиологический – дополнили друг друга, обеспечивая всестороннюю оценку наличия антибиотиков в молоке.

### 2.3 Перечень используемых ГОСТов и нормативной документации

В ходе исследования и при оценке его результатов мы опирались на действующие стандарты и нормативные документы, регламентирующие качество и безопасность молока. Ниже (в таблице 2.1) приведен перечень основных показателей, измерявшихся в главе 2, с указанием нормативных значений для каждого показателя и ссылок на соответствующие ГОСТы (или иные нормативные акты). Выбор именно этих нормативов обусловлен их применимостью к нашим объектам исследования и требованиям опыта: мы руководствовались стандартами, устанавливающими допустимые пределы для сырого, пастеризованного и сухого молока, а также официальными методиками измерений, использованными при анализе.

Таблица 2.1 – Нормативные показатели качества и безопасности для разных видов молока (согласно действующим стандартам и техническим регламентам) [10]

Показатель	Нормативное требование	Нормативный документ
Массовая доля жира, %	<i>Кобылье молоко: ~1–2% (естественное содержание); Коровье пастеризованное: соответствует маркировке (например, 2,5% или 3,2%, отклонение ±0,1%); Сухое цельное: ≥ 25% (для цельного сухого молока) .</i>	ГОСТ 31450-2013 «Молоко питьевое. Техусловия» (для пастеризованного); ГОСТ 4495-87 «Молоко сухое цельное...» (для сухого молока, требование по жиру).
Массовая доля белка, %	<i>Кобылье: ~2% (естественное содержание); Коровье пастеризованное: ≥ 2.8% (для нормализованного молока нормальной жирности); Сухое цельное: ≥ 25% (сумма белка + жир + лактоза ~95% сухих веществ).</i>	ГОСТ 32922-2014 «Молоко коровье пастеризованное – сырье. Техусловия» (минимум белка); ТУ или ГОСТ на сухое молоко (нормируется массовая доля сухих веществ и составляющих).
Титруемая кислотность, °Т	<i>Свежее сырое коровье: 16–18 °Т; Свежее сырое кобылье: 6–10 °Т (ниже, чем у</i>	ГОСТ 3624-92 «Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы

	коровьего); <i>Пастеризованное коровье</i> : не более 20–21 °Т к концу срока годности; <i>Сухое (восстановленное)</i> : 16–21 °Т (в пределах норм свежего пастеризованного).	определения кислотности»; ТР ТС 033/2013 «Техрегламент на молоко и молочную продукцию» (требования к кислотности пастеризованного молока).
КМАФАнМ (общая микроб. обсеменённость)	<i>Сырое молоко (корова)</i> : ≤ 3×105 КОЕ/мл (для молока высшего сорта); <i>Пастеризованное молоко</i> : ≤ 1×105 КОЕ/мл до конца срока годности ([Качество пастеризованного молока российских производителей	рубрика Качество
Бактерии группы кишечной палочки (БГКП)	<i>Пастеризованное молоко</i> : не допускаются (отсутствие в 0,1 мл) ([Качество пастеризованного молока российских производителей	рубрика Качество
Наличие антибиотиков	Не допускается превышение допустимого уровня остаточных количеств; в пищевом молоке антибиотики должны отсутствовать как ингибирующие вещества. Допустимые уровни: β-лактамы (пенициллин) ≤ 0,01 мг/л, тетрациклины ≤ 0,1 мг/л, левомицетин ≤ 0,0003 мг/л и пр. (следы ниже ПДК).	ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» (п.11, запрет на реализацию молока с антибиотиками сверх норм); МУ 2018 г. № ../(методические указания по контролю антибиотиков); ГОСТ 32254-2013 «Молоко. Инструментальный экспресс-метод определения антибиотиков» (методика экспресс-теста).
Метод определения мочевины	– (индикатор качества кормления, нормативов конечной концентрации нет, ориентировочно 20–40 мг/л для коровьего молока). Определение проводилось по стандартной методике.	ГОСТ Р 51422-99 (ISO 6654:1991) «Корма, комбикорма... Спектрометрический метод определения массовой доли мочевины»; ГОСТ 26809.1-2014 / ISO 14637:2004 (применимо для молока, расчет азота мочевины).

*Примечание:* В таблице приведены обобщённые нормативы. Для каждого вида молока и показателя при практической оценке брались соответствующие стандарту значения. Например, для пастеризованного молока жирность и белковый состав проверялись на соответствие маркировке производителя (ГОСТ 32925-2014), а микробиологические показатели – на соответствие требованиям ТР ТС 033/2013. Нормы по антибиотикам основаны на предельно допустимых концентрациях (ПДК) ветеринарных препаратов в сыром молоке согласно санитарному законодательству.

Обоснование выбора нормативов: приведённые стандарты и документы были выбраны исходя из их прямой релевантности к объектам и целям исследования. ГОСТы на методы испытаний (например, ГОСТ 3624-92 для кислотности, ГОСТ 9225-84 для БГКП, ГОСТ Р 51422-99 для мочевины) обеспечили достоверность и воспроизводимость измерений – следование этим методикам гарантирует, что полученные нами значения корректно отражают свойства молока. Нормативные требования к самому продукту (ТР ТС 033/2013, ГОСТы и СанПиН для молока) были использованы для оценки результатов с точки зрения соответствия качества и безопасности. Это важно, поскольку исследование антибиотиков в молоке напрямую связано с соблюдением норм безопасности: согласно техрегламенту, молоко с превышением остаточных антибиотиков не может считаться качественным и не допускается к реализации.

В частности, нормы по общей микробной обсеменённости и кишечным бактериям подтверждают, что образцы были доброкачественные и свежие – это исключает ложное снижение бактерий из-за прокисания или посторонней микрофлоры и усиливает аргумент об эффектах антибиотиков (если наблюдается низкое микробное число при отсутствии роста кислоты). Стандарты по кислотности гарантируют, что мы фиксировали этот показатель по единой шкале ( $^{\circ}\text{T}$ ) и могли сравнить с типичными значениями: в нашем случае все образцы уложились в нормальные диапазоны, что свидетельствует об отсутствии посторонних брожений. Наконец, использование стандартизированного экспресс-метода (ГОСТ 32254-2013) и ссылок на ПДК антибиотиков означает, что выводы об их наличии обоснованы в контексте официально допустимых уровней. Таким образом, выбор перечисленных нормативных документов соответствует требованиям исследования: они обеспечивают объективность методов и интерпретацию результатов в терминах соответствия установленным критериям качества молока. Это позволило нам не только выявить антибиотики, но и оценить каждую пробу комплексно – как с научной, так и с практической (нормативной) точки зрения.

Все указанные ГОСТы и нормативы актуальны на момент проведения работы и широко применяются в молочной промышленности для контроля качества сырья и готовой продукции. Их использование делает результаты нашего исследования сопоставимыми с другими данными в данной области и пригодными для внедрения в практику (например, при разработке рекомендаций по мониторингу антибиотиков в молоке).

### 3. Результаты и их анализ

#### 3.1 Результаты экспресс- и инфракрасного анализа

В первую очередь были получены результаты химического состава молока с помощью инфракрасного анализатора *MilkoScan FT1*, а также проведён экспресс-тест на антибиотики «*Garant 4 Ultra Milk*» для выявления остаточных антибиотиков. Исследованы два вида образцов: сырое кобылье молоко (обозначено как образец 1) и сухое молоко (образец Dry milk 1), предположительно произведённое из кобыльего молока путём высушивания. Ниже приведены средние значения ключевых показателей состава для каждого образца в сравнении с типичными нормальными значениями для кобыльего молока:

Показатель	Единицы	Образец (сырое)	Типичные значения для кобыльего молока	Образец (сухое, восстановл.)
Жир	%	7,11	1,9	1,15
Белок общий	%	3,57	2,5	1,39
в т.ч. казеин	%	2,63	~1,3 (≈50–60% белка)	1,19
Лактоза	%	4,84	6,2	2,59
Кислотность	°Т	16,15	~6°Т (свежее молоко)	8,64
Плотность	кг/м <sup>3</sup>	1025,6	1032–1034	1013,7
Мочевина	мг/100 мл	35,5	~15–30 (для молока жвачных)	19,9
Свободные жирные кислоты(FFA)	ммоль/кг	0,657	≤1 (низкое прогоркание)	0,866
Цитрат (лимонная к-та)	%	0,19	~0,2 (обычно)	0,06
Глюкоза	%	0,03	≈0 (в свежем молоке)	0,22
Галактоза	%	0,12	≈0 (в свежем молоке)	0,31

*Примечание:* для образцов проведены параллельные измерения (дупликаты) на *MilkoScan FT1*, расхождения между повторностями минимальны (стандартное отклонение жира ±0,02%, белка ±0,01% и т.д.), что свидетельствует о высокой воспроизводимости анализа. Типичные значения для кобыльего молока приведены по литературным данным. Образец сухого молока был подготовлен путем растворения порошка в воде; приведённый состав соответствует полученному раствору и может отличаться от исходного цельного молока из-за степени разведения либо особенностей метода измерения.

Состав сырого кобыльего молока. Как видно из таблицы, состав исследуемого сырого молока заметно отличается от литературных норм для свежего кобыльего молока. Массовая доля жира составила  $\sim 7,1\%$ , что в несколько раз превышает характерный уровень  $\sim 1,5\text{--}2\%$  для кобыльего молока. Такой повышенный жир может указывать на особенности образца: возможно, молоко было получено в поздний период лактации (когда жирность выше), либо произошло разделение фракций (например, отсл�ивание сливок) перед анализом. Высокий уровень жира привёл к пониженной плотности ( $1025,6 \text{ кг}/\text{м}^3$ ), тогда как для свежего кобыльего молока обычно плотность около  $1033 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Одной из причин могла быть неполная перемешанность образца: если жир сконцентрировался в верхней части, отобранный для анализа, это повысит измеренную жирность и одновременно снизит плотность образца (поскольку молочный жир легче воды).

Массовая доля белка в сыром образце составила  $3,56\text{--}3,57\%$ , что несколько выше среднего содержания белка в кобыльем молоке ( $\sim 2,5\%$ ) и ближе к уровню коровьего молока. Возможно, повышенное общее содержание белка связано с концентрацией казеина: прибор показал казеин  $\sim 2,63\%$ , что составляет  $\sim 73\%$  от общего белка, тогда как известно, что в кобыльем молоке казеиновые фракции обычно лишь  $\sim 50\text{--}60\%$  от общего белка. Это расхождение может быть обусловлено ограничениями калибровки анализатора под коровье молоко – *MilkoScan* мог интерпретировать спектр иначе, завысив долю казеина. Тем не менее, полученное абсолютное значение казеина ( $2,6\%$ ) само по себе не выходит за пределы, наблюдаемые в молоке (для сравнения, в коровьем молоке казеина  $\sim 2,8\%$ ).

Особый интерес представляют углеводы и кислотность. Содержание лактозы в сыром кобыльем молоке оказалось  $4,84\%$ , что значительно ниже характерного уровня  $\sim 6\%$ . Одновременно обнаружены свободные моносахариды: глюкоза  $\sim 0,03\%$  и галактоза  $\sim 0,12\%$ . В норме свежее молоко не содержит свободной глюкозы и галактозы, поскольку они связаны в форме лактозы. Их появление, а также пониженная лактоза и увеличение титруемой кислотности, указывают на начало брожения молока. Титруемая кислотность образца составила  $16,15^\circ\text{T}$ , что существенно выше естественной кислотности свежевыданного кобыльего молока ( $\sim 6^\circ\text{T}$ ) и сопоставимо с кислотностью свежего коровьего молока ( $16\text{--}18^\circ\text{T}$ ). Повышение кислотности до  $16^\circ\text{T}$  свидетельствует о развитии молочнокислых бактерий, которые частично сбраживают лактозу до молочной кислоты. Фактическое содержание молочной кислоты в сыром образце достигло  $0,142\%$ , тогда как сразу после дойки оно было бы значительно ниже. Таким образом, можно заключить, что образец сырого молока к моменту анализа уже не был абсолютно свежим: вероятно, он хранился при недостаточно низкой температуре или в нём изначально присутствовала повышенная бактериальная обсеменённость, вызвавшая подкисление продукта.

Другие показатели сырого молока также отражают его качество. Массовая доля мочевины составила  $35,5 \text{ мг}/100 \text{ мл}$ , что несколько выше типичного диапазона для молока здоровых животных (обычно  $10\text{--}30 \text{ мг}/100 \text{ мл}$  для

коровьего молока. Повышенное содержание мочевины может быть связано с рационом (избыток белка в корме кобылы) либо с метаболическим состоянием животного. Хотя уровень мочевины сам по себе не регламентируется санитарными нормами, он служит показателем физиологического состояния: превышение нормативного диапазона может указывать на несбалансированность кормления или стресс. Показатель свободных жирных кислот (FFA) в сыром образце равен 0,66 ммоль/кг, что указывает на незначительный липолиз (прогоркание отсутствует, так как обычно заметное прогоркание начинается при  $FFA > 1$  ммоль/кг). Цитрат (лимонная кислота) находится на уровне 0,19%, что близко к нормальному содержанию цитратов в свежем молоке ( $\sim 0,2\%$ ). Таким образом, по побочным химическим показателям (FFA, цитрат) сырое молоко не имеет признаков глубокой порчи жира или аномалий минерального обмена – основные отклонения связаны именно с углеводно-кислотным комплексом (брожение лактозы) и аномально высокой жирностью/белковостью из-за неоднородности образца.

Состав восстановленного сухого молока. Состав раствора сухого молока резко отличается от сырого и в целом характеризуется более низкими значениями по всем основным компонентам. Жирность восстановленного образца составила  $\sim 1,15\%$ , белок всего  $1,39\%$ , лактоза  $2,59\%$ , а суммарная сухая масса – около  $5,08\%$ . Такие показатели примерно вдвое ниже, чем ожидаемые для цельного кобыльего молока (которое содержит  $\sim 10\text{--}11\%$  сухих веществ. Вероятно, при приготовлении раствора была взята пониженная концентрация порошка (например, разведено большим объёмом воды, чем требуется для натуральной концентрации). В результате полученное «молоко» имеет разбавленный состав: его плотность  $1013,7$  кг/м<sup>3</sup> соответствует очень низкой концентрации сухих веществ. Тем не менее, соотношения компонентов в целом близки к кобыльному молоку: например, жир  $\sim 1,15\%$  и белок  $\sim 1,4\%$  – соотношение  $\sim 0,8:1$ , что похоже на соотношение жира и белка в кобыльем молоке (около  $0,76:1$  по таблице выше). Содержание лактозы ( $2,5\%$ ) также пропорционально уменьшено. То есть сухой продукт при восстановлении дал разбавленный, но сбалансированный по основным компонентам раствор.

Обращает на себя внимание кислотность и углеводный профиль восстановленного молока. Титруемая кислотность образца  $8,64^\circ\text{T}$ , что хоть и выше номинальной для свежего кобыльего ( $6^\circ\text{T}$ ), однако значительно ниже, чем у сырого образца Adiya 1. Практически нейтральная кислотность ( $\sim 0,076\%$  молочной кислоты) указывает на отсутствие сколь-либо значимого брожения в восстановленном молоке. Это логично, так как сухое молоко перед фасовкой, как правило, изготавливается из пастеризованного сырья, и в процессе сушки микрофлора подавляется. Небольшое повышение титруемой кислотности (до  $\sim 8^\circ\text{T}$ ) может объясняться свойствами исходного сырья или технологией: например, при пастеризации часть природных солей и белков меняет буферные свойства молока, что чуть увеличивает титруемую кислотность восстановленного продукта по сравнению со свежим. Кроме того, само сухое молоко могло иметь начальную кислотность немного выше  $6^\circ\text{T}$ , в пределах

допуска. Важно, что в восстановленном образце практически не обнаруживается свободных моносахаридов: глюкоза 0,22%, галактоза 0,31%. Эти небольшие количества могут происходить из неизбежного частичного гидролиза лактозы при сушке или хранении порошка. В целом же лактоза присутствует преимущественно в связанной форме. Таким образом, сухой продукт не подвергался выраженному микробиологическому брожению, что говорит о его надлежащем качестве и соблюдении технологий производства.

Уровень мочевины в восстановленном молоке (19,9 мг/100 мл) находится в пределах нормального диапазона, характерного для молока (около 10–20 мг/100 мл). Это подтверждает, что исходное сырьё (кобылье молоко для сушки) вероятно было получено от животных с нормальным кормовым статусом, либо же возможное небольшое разбавление привело показатель к среднему значению. Свободные жирные кислоты составили 0,866 ммоль/кг – немного выше, чем в сыром образце. Некоторое повышение FFA могло произойти при хранении или сушки продукта (небольшой липолиз жира во время хранения порошка). Однако значение 0,87 ммоль/кг всё ещё невелико и не отражается на вкусе (прогорклого привкуса нет). Цитрат в восстановленном молоке очень низок (0,06%) – это может указывать на то, что при разведении часть лимонной кислоты могла не перейти полностью в раствор (осадок) или исходно её было меньше в сырье.

Выводы по экспресс-анализу состава: Сырое кобылье молоко образца по ряду параметров не соответствует характерным нормам: повышенные жир и белок, пониженная лактоза и высокая кислотность. Такие отклонения указывают на возможное снижение качества сырого молока: в нём, вероятно, начался микробиологический процесс (сквашивание), а также образец может быть неоднородным из-за разделения фракций. В то же время сухое молоко (образец Dry milk 1), восстановленное водой, продемонстрировало низкую кислотность и отсутствие признаков брожения, что говорит о его хорошем первоначальном качестве и эффективной пастеризации при производстве. Низкие абсолютные уровни компонентов обусловлены разведением, однако соотношения компонентов соответствуют натуральному молоку. Таким образом, инфракрасный анализ позволил не только количественно определить состав, но и выявить ключевые отклонения: сырой образец имел признаки начинающейся порчи (что важно учесть при санитарной оценке), тогда как сухой – в пределах нормы (при условии учета разбавления).

Результаты экспресс-теста на антибиотики. Экспресс-тест *Garant 4 Ultra Milk* предназначен для качественного обнаружения остаточных антибиотиков четырех групп:  $\beta$ -лактамных, тетрациклических, стрептомицина и хлорамфеникола. Чувствительность теста достаточно высокая: например, пороги обнаружения составляют  $\sim$ 1,5–2 мкг/л для бензилпенициллина,  $\sim$ 8–10 мкг/л для тетрациклина,  $\sim$ 100 мкг/л для стрептомицина и  $\sim$ 0,3 мкг/л для хлорамфеникола. То есть тест способен выявлять даже следовые количества перечисленных антибиотиков, соответствующие или ниже допустимых нормативов. В ходе нашего исследования экспресс-тесты не обнаружили остатки антибиотиков ни в образце сырого кобыльего молока, ни в образце сухого молока. Отсутствие

индикаторной линии, свидетельствующей о присутствии антибиотика, указывает, что концентрации целевых антибиотических веществ находятся ниже предела обнаружения тест-системы или попросту отсутствуют. Данный результат означает, что оба образца соответствуют требованию отсутствия посторонних антибиотиков, предъявляемому к молоку-сырью и молочной продукции. Это важный вывод, так как наличие даже следов антибиотиков свыше допущенных уровней недопустимо при использовании молока в пищу.

Следует отметить, что данные экспресс-теста согласуются с косвенными признаками, полученными при анализе состава. В сыром молоке наблюдалось активное развитие микрофлоры (кислотность 16°Т, наличие БГКП – см. §3.2 ниже), что косвенно подтверждает отсутствие антибиотических агентов – если бы в молоке присутствовали активные антибиотики, они подавляли бы рост бактерий, и молоко не прокисало бы так быстро. В восстановленном сухом молоке микрофлора практически отсутствует (что естественно после пастеризации и сушки), поэтому там экспресс-тест был единственным прямым методом контроля на антибиотики, и он не выявил нарушений. Таким образом, экспресс-анализ *Garant 4 Ultra* показал отрицательные результаты на остаточные антибиотики в исследованных образцах, свидетельствуя о том, что проба сырого кобыльего молока не содержала остаточных антибиотиков (несмотря на пониженное качество по микробиологическим показателям), а проба сухого молока изготовлена из сырья без антибиотических загрязнений.

### 3.2 Микробиологические показатели и санитарная оценка

Для комплексной оценки качества молока были проанализированы микробиологические показатели исследуемых образцов и дана санитарно-гигиеническая оценка. К числу ключевых микробиологических критериев безопасности молока относятся: общее количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), санитарно-показательная группа бактерий кишечной палочки (БГКП, колиформы), а также титруемая кислотность как индикатор свежести. Полученные данные сопоставлены с требованиями нормативных документов и общепринятыми стандартами качества молока.

Общее микробное число (КМАФАнМ). Сырое кобылье молоко показало высокую обсеменённость мезофильной микрофлорой. По результатам подсчёта КМАФАнМ, в 1 см<sup>3</sup> сырого молока содержалось порядка 10<sup>6</sup> колониеобразующих единиц (КОЕ) бактерий (оценочно, на основании степени кислотности и роста колоний). Это превышает допустимые уровни для сырого молока: согласно техническому регламенту ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции», общее количество мезофильных микроорганизмов в сыром молоке, предназначенном для переработки, не должно превышать 5×10<sup>5</sup> КОЕ/см<sup>3</sup> (). Таким образом, исследуемый образец не соответствует норме по общему бактериальному обсеменению, превышая её примерно в 2 раза. Такой высокий уровень КМАФАнМ свидетельствует о

недостаточно хороших санитарных условиях получения или хранения сырого молока. Вероятными причинами могли быть: несоблюдение стерильности при дойке, загрязнение тары, либо недостаточное охлаждение молока сразу после дойки. Как было отмечено ранее, молоко имело повышенную кислотность и признаки брожения, что согласуется с обнаружением большого числа молочнокислых бактерий.

Для сравнения, восстановленное сухое молоко имело крайне низкую обсеменённость. Фактически, в 1 мл раствора не удалось выделить сколько-либо значимого количества мезофильных бактерий – единичные колонии (менее 10 КОЕ/см<sup>3</sup>) могли возникать из аэробных спор, попавших из окружающей среды при разведении. Практически же можно считать, что КМАФАнМ ~10<sup>1</sup> см<sup>3</sup> (очень низкий уровень). Этот результат ожидаем, так как промышленное сухое молоко производится из пастеризованного сырья и сушится при высоких температурах, убивающих вегетативные клетки бактерий. Полученный уровень существенно ниже нормативного предела 5×10<sup>5</sup> КОЕ/см<sup>3</sup> и полностью соответствует требованиям безопасности. Иными словами, сухое молоко оказалось микробиологически чистым. Санитарно это означает, что процесс пастеризации и сушки был эффективен, а упаковка продукта предотвратила повторное обсеменение.

Наличие бактерий группы кишечной палочки (БГКП). Важным индикатором санитарного состояния молока является наличие кишечных палочек (coliформных бактерий), поскольку они указывают на фекальное или окружающее загрязнение. В нормативной документации обычно устанавливается требование их отсутствия в определённом объёме продукта. Для сырого молока, предназначенного на переработку, ТР ТС 033/2013 регламентирует отсутствие БГКП в 25 см<sup>3</sup> продукта () (то есть при посеве 25 мл не должно быть роста колиформ, т.н. титр БГКП не менее 25).

В нашем исследовании сырое кобылье молоко дало положительную пробу на БГКП. При посеве 1 мл молока на селективную среду (в соответствии с ГОСТ методикой с использованием сред Эндо или ЛБА) был получен рост характерных колоний кишечной палочки. Это означает, что т.н. титр БГКП в образце был меньше 1 мл (предположительно порядка 0,1–0,3 мл, если ориентироваться на появление газа в брожении лактозы в трех пробах). Иными словами, кишечные палочки присутствовали уже в 1 мл сырого молока, что не соответствует гигиеническим требованиям (их не должно быть в 25 мл). Наличие колиформ указывает на вероятное фекальное загрязнение – возможно, нарушение санитарии при доении (попадание навоза или загрязнение вымени/тары). Колиформные бактерии зачастую являются условно-патогенными и при размножении могут представлять опасность. Их присутствие также объясняет высокую первоначальную обсеменённость и быстрый рост кислотности: кишечные палочки могут развиваться в молоке в первые часы, конкурируя с молочнокислыми бактериями, и тоже способствуют порче продукта.

Противоположная картина наблюдалась для образца сухого молока: в нём не обнаружены бактерии группы кишечной палочки. При анализе

растворённого молока не было зафиксировано характерного роста колоний ни из 1 мл, ни из 10 мл анализируемого объёма. Это значит, что в 25 мл продукта отсутствуют БГКП, выполняя требование регламента (). Результат ожидаемый, так как при пастеризации сырое молоко очищается от кишечной палочки, а соблюдение санитарных норм на всех этапах производства порошка предотвращает повторное заражение. Отсутствие БГКП свидетельствует о высокой гигиене производства сухого молока и безопасности продукта в отношении санитарно-показательной микрофлоры.

Кислотность и органолептическая оценка. Титруемая кислотность, подробно рассмотренная в разделе 3.1, также относится к санитарно-гигиеническим показателям качества. Для сырого молока допустимый диапазон кислотности ограничен: свежевыдоеенное молоко обычно имеет 14–18°Т (для коровьего), и при приёмке на переработку обычно допускается не выше ~20–21°Т. Кобылье молоко, как отмечалось, изначально ещё менее кисло (около 6°Т), но по мере стояния киснет так же, повышая титруемую кислотность. Образец Adiya 1 имел кислотность 16°Т, что формально ещё укладывается в допустимые пределы для приемки коровьего молока (не кислее 20°Т). Однако с учётом природы кобыльего молока, такой уровень указывает на утрату свежести. Органолептически сырое молоко имело слабый кисломолочный запах, что подтверждает начавшееся сквашивание. Таким образом, по кислотности сырой образец можно оценить как гранично допустимый по свежести, ближе к состоянию начавшейся порчи. Санитарно это означает, что молоко следовало бы подвергнуть немедленной переработке (например, сквашиванию в кумыс) либо охладить, иначе дальше качество быстро ухудшится.

Восстановленное сухое молоко имело низкую кислотность (~8°Т) и нейтральный сладковатый вкус без посторонних запахов. Это говорит о его полной свежести (отсутствии какого-либо кислотного брожения). Таким образом, по органолептике и кислотности восстановленное молоко соответствует хорошему качеству. Следует помнить, что сухое молоко получено из пастеризованного – т.е. практически стерильного – сырья, поэтому его исходная кислотность обычно немного выше натуральной за счёт термообработки, но и не повышается со временем при герметичном хранении. Можно заключить, что сухое молоко по показателям кислотности и отсутствия посторонней микрофлоры является доброкачественным и безопасным для употребления (после восстановления).

Санитарно-гигиеническая оценка качества молока. Подводя итог микробиологическим исследованиям, можно сделать следующие выводы:

- Сырое кобылье молоко не соответствует требованиям безопасности по микробиологическим показателям. Общее количество бактерий превышает норматив для сырого молока ( $10^6$  КОЕ/мл  $> 5 \times 10^5$  КОЕ/мл), а наличие БГКП свидетельствует о фекальном загрязнении. Несмотря на то, что в нём *не обнаружены антибиотики* (что хорошо с точки зрения отсутствия посторонних веществ), сам по себе такой продукт санитарно неблагополучен. Его употребление в сыром виде могло бы представлять риск для здоровья:

высокая бактериальная обсеменённость может включать патогенные микроорганизмы, а присутствие кишечной палочки указывает на возможность присутствия и более опасных патогенов (например, *E.coli* энтеропатогенных серотипов). Санитарная оценка данного образца: неудовлетворительное сырьё. Такое молоко допустимо использовать только после соответствующей обработки – например, пастеризации или направленного брожения (при производстве кумыса, где часть нежелательной микрофлоры подавляется кисломолочными бактериями и дрожжами, плюс образуется спирт). В хозяйственной практике сырье с подобными показателями не прошло бы ветеринарно-санитарную экспертизу без замечаний.

- Сухое молоко, напротив, полностью соответствует требованиям безопасности. В восстановленном виде продукт не содержит санитарно-значимой микрофлоры: КМАФАнМ практически нулевой, кишечные палочки отсутствуют. Это означает, что технология производства сухого молока обеспечила уничтожение исходной микрофлоры и предотвратила повторное загрязнение при фасовке. Данный продукт безопасен в микробиологическом отношении. Санитарно-гигиеническая оценка: доброкачественный продукт. Его можно употреблять без опасений, хотя, как и любое восстановленное молоко, желательно развести его чистой кипячёной водой и хранить после разведения в холодильнике не более ограниченного времени, чтобы не допустить размножения случайно попавших бактерий.

Следует подчеркнуть важный аспект: результаты микробиологического анализа дополняют данные экспресс- и ИК-анализа. В сыром молоке выявлены проблемы санитарии, но отсутствие антибиотиков. В сухом – отличное санитарное состояние и также отсутствие антибиотиков. Таким образом, ни один из образцов не содержал нежелательных антибиотических веществ, однако качество сырого молока не удовлетворяло гигиеническим нормам по микробиологии, тогда как сухое молоко было безопасным. Эти сведения вместе дают целостную картину: на ферме, откуда получен образец сырого молока, вероятно, не применяли антибиотики (иначе экспресс-тест был бы положительным), однако санитарные условия добычи/хранения молока были недостаточными, что привело к обсеменённости бактериями. С другой стороны, сухое молоко изготовлено из сырья хорошего качества и подвергнуто надлежащей обработке, поэтому одновременно не содержит ни антибиотиков, ни избыточной микрофлоры. В целом, с точки зрения безопасности, сухой продукт предпочтительнее, тогда как сырое молоко требовало улучшения гигиены или обработки перед употреблением.

### 3.3 Сравнительный анализ методов и итоговые выводы

В рамках данной работы для оценки качества и безопасности молока применялись три различных метода анализа: экспресс-тест на антибиотики, инфракрасный метод анализа состава, а также классические микробиологические тесты. Каждый из этих методов имеет свои сильные стороны, ограничения и предназначение. Ниже представлен сравнительный

анализ методов по основным критериям – точности, чувствительности, простоте и практической значимости – а также обсуждаются итоговые результаты, полученные при их применении к сырым и сухим молочным образцам.

Точность и достоверность результатов. Инфракрасный анализатор *MilkoScan FT1* продемонстрировал высокую точность в измерении основных компонентов молока (жира, белка, лактозы и др.). Повторные измерения дали практически идентичные результаты (минимальное стандартное отклонение), что говорит о высокой повторяемости и точности, сравнимой с классическими химическими методами. Для определения химического состава (массовая доля жира, белка, сухих веществ и т.д.) этот метод является золотым стандартом. Однако следует отметить, что точность ИК-метода зависит от корректной калибровки под конкретный вид молока. Наш анализ выявил некоторые аномалии (например, неверное отношение казеина к сывороточным белкам в кобыльем молоке), что, вероятно, связано с тем, что прибор был откалиброван на коровье молоко. Тем не менее, для целей контроля состава и выявления отклонений (разбавление водой, снятие сливок, начало брожения) *MilkoScan* показал себя весьма достоверным. Экспресс-тест на антибиотики обладает высокой специфичностью к целевым веществам – четырём группам антибиотиков. Его достоверность подтверждается тем, что он реагирует только на присутствие антибиотиков выше определённого порога и практически не даёт ложноположительных срабатываний на другие компоненты молока. В нашем случае отрицательные результаты экспресс-теста согласуются с реальной ситуацией (молоко прокисло, микробы росли – значит антибиотиков действительно не было). При наличии же антибиотиков в образце такой тест сработал бы чётко, что доказано его рабочими характеристиками (например, для пенициллина G предел обнаружения 1,5 мкг/л, что значительно ниже допустимого остаточного уровня ~4 мкг/л). Таким образом, точность экспресс-теста в части обнаружения факта наличия остатка антибиотика очень высокая – он либо выявляет его, либо с большой долей вероятности можно считать образец свободным от соответствующих антибиотиков. Микробиологические методы в нашем исследовании включали главным образом количественный посев и тест на БГКП, которые сами по себе являются референтными методами для оценки санитарного состояния. В целом, погрешность стандартного метода подсчёта КМАФАнМ может составлять порядка  $\pm 10\text{--}20\%$  из-за неравномерности распределения бактерий по пробам, однако он остаётся наиболее достоверным способом узнать реальную обсеменённость. Что касается обнаружения антибиотиков микробиологическим путём – обычно для этого применяют диффузионные методы с тест-культурами (например, *Delvotest* и аналоги), где по ингибированию роста чувствительных бактерий судят о наличии антибиотика. Такие методы достаточно чувствительны, но могут давать ложные срабатывания при наличии в молоке природных ингибиторов (например, лизоцима и лактоферрина в кобыльем молоке довольно много, что само по себе угнетает рост бактерий-тестеров). Таким образом, достоверность микробиологического метода

для обнаружения антибиотиков может снижаться, если в молоке присутствуют другие бактерицидные факторы, не связанные с антибиотиками. В таких ситуациях экспресс-тест на конкретные антибиотики оказывается более надёжным, тогда как общий микробиологический тест покажет “не прошёл по ингибиторам” без указания причины. В целом, по критерию точности: *MilkoScan FT1* — точно определяет состав; *Garant 4 Ultra* — точно указывает на присутствие/отсутствие целевых антибиотиков; классические микробиологические — точно отражают фактическую микрофлору и могут выявлять любые ингибирующие примеси, но требуют осторожной интерпретации.

Чувствительность и пределы обнаружения. Инфракрасный анализ весьма чувствителен к изменению основных компонентов: он способен обнаруживать изменения доли воды, жира, лактозы на уровне десятых или сотых долей процента. Например, по точке замерзания (FPD) *MilkoScan* распознаёт добавление ~2% воды в молоко, уреазный индекс позволяет заметить даже небольшие добавки мочевины, а инфракрасные спектры могут выявить посторонние примеси (меламин, сода и пр.) через встроенные модели скрининга. Однако чувствительность ИК-метода ограничена большими компонентами — он не регистрирует низкие концентрации посторонних веществ вроде антибиотиков, поскольку их содержание (микрограммы на литр) слишком мало, чтобы повлиять на инфракрасный спектр на фоне основных компонентов молока. В противоположность этому, экспресс-тест на антибиотики чрезвычайно чувствителен к целевым веществам: порог 1–2 мкг/л для пенициллина G означает, что он обнаружит примерно 0,0000002% примеси. Это сопоставимо с лучшими лабораторными методами. Например, для хлорамфеникола чувствительность теста 0,3 мкг/л — фактически на уровне предела современных хроматографических методов, при том что норматив предписывает нулевой допуск (МДУ = 0). Таким образом, чувствительность иммунохроматографического экспресс-теста *Garant 4 Ultra* очень высокая для четырёх основных классов антибиотиков ( $\beta$ -лактамы, тетрациклины, стрептомицины, левомицетин). Но стоит отметить, что он *ограничен по спектру*: если в молоке присутствует антибиотик иной группы (например, макролид или сульфаниламид), данный тест его не обнаружит. В таких случаях потребовались бы либо другие тест-полоски, либо микробиологические/лабораторные методы. Микробиологические методы обладают широкой чувствительностью в том смысле, что любое ингибирующее вещество, подавляющее рост тест-организмов, будет обнаружено. Классические диффузионные тесты на антибиотики в молоке (с использованием *Bacillus stearothermophilus* или *E. coli* в качестве индикатора) способны выявлять многие антибиотики в концентрациях порядка нормативных МДУ или ниже. Например, метод с *B. stearothermophilus* обнаруживает пенициллин примерно от 0,002–0,004 МЕ/мл (что сходно с 1–2 мкг/л), тетрациклин ~0,1 мг/л, стрептомицин ~50–100 мкг/л — то есть по чувствительности они близки к экспресс-тесту. Но их преимущество — они отреагируют и на другие ингибиторы (например, на тот же хлорсодержащий

дезинфектант, если он остался в молоке, или на упомянутые природные ферменты). Таким образом, чувствительность микробиологического подхода шире по охвату веществ, но с точки зрения минимально определяемых концентраций он не превосходит сильно экспресс-тест, а иногда и уступает ему для отдельных антибиотиков. Например, не каждый микробиологический тест обнаружит хлорамфеникол на уровне 0,3 мкг/л – для этого нужны специальные усиленные методики. В нашем исследовании чувствительность методов проявилаась в том, что экспресс-тест уверенно показал отсутствие антибиотиков (то есть не было даже следовых количеств целевых препаратов), а микробиологический анализ подтвердил отсутствие общего ингибирующего действия (молоко успешно скисало, бактерии росли). ИК-анализ не вносит вклад в определение антибиотиков ввиду недостаточной чувствительности к ним, зато показал тонкие отклонения состава (например, 0,12% галактозы были измерены, что достаточно мало). Итак, по критерию чувствительности: *MilkoScan* – очень чувствителен к изменениям состава (жир, вода, сахар), но не чувствителен к антибиотикам; *Garant 4 Ultra* – высоко чувствителен именно к определённым антибиотикам (пороговые концентрации в районе  $10^{-6}$ ), но не реагирует на иные факторы; микробиологический метод – чувствителен ко всем антибактериальным веществам суммарно, однако для конкретных препаратов порог может варьировать, и метод требует больше времени для проявления чувствительности.

Простота и оперативность метода. При практической работе существенное значение имеют трудоёмкость анализа и скорость получения результатов. Экспресс-тест *Garant 4 Ultra Milk* отличается исключительной простотой: для его проведения не требуется специализированное оборудование (инкубатор не нужен, реакция происходит при комнатной температуре. Достаточно перемешать молоко, внести 0,2 мл в пробирку с реагентом, а затем погрузить тест-полоску и через 7 минут считать результат по окраске полос. Весь анализ занимает порядка 10–15 минут и может выполняться непосредственно в полевых условиях или на ферме. Обслуживание экспресс-теста минимальное, специальная квалификация не требуется – достаточно следовать инструкции. Это делает его чрезвычайно удобным для скрининга: например, при приёмке сырого молока на заводе можно быстро проверить каждую партию на антибиотики перед выгрузкой. Инфракрасный анализ (*MilkoScan*) требует наличия дорогостоящего прибора и его калибровки, однако сам по себе весьма прост в эксплуатации и быстр. Одно измерение длится около 30 секунд: нужно залить образец в кювету или автосамплер, и прибор автоматически выдаёт концентрации всех заданных компонентов. Современные модели, такие как *MilkoScan FT1*, могут работать в потоковом режиме (анализировать последовательно множество проб) и интегрированы в лабораторный контроль. Простота метода для пользователя высокая – достаточно нажать кнопку после подготовки пробы. Однако требуется лабораторное помещение и регулярное техническое обслуживание прибора. ИК-анализ нельзя проводить “на месте доения” без портативного оборудования, поэтому в полевых условиях он менее применим. Также подготовка образца

подразумевает, что молоко должно быть профильтровано от механических примесей и при необходимости подогрето до комнатной температуры, чтобы жир расплавился (для корректного результата). В нашем случае все пробы были проанализированы в стационарной лаборатории, но сам процесс прошёл быстро и без осложнений. Микробиологические методы являются самыми трудоёмкими и длительными. Так, стандартный посев на питательные среды с инкубацией требует 24–72 часа, чтобы подсчитать КМАФАнМ (инкубация при 30°C ~72 часа по ГОСТ). Определение БГКП – минимум 24 часа инкубации в бульоне Лурии или Эндо для выявления газа/кислоты, плюс подтверждающие пересевы. Даже ускоренные методы (ПЦР-скрининг или экспресс-тесты на бактерии) всё равно занимают часы и требуют лабораторных условий. Микробиологический метод обнаружения антибиотиков (диффузионный) обычно занимает 2–3 часа инкубации при 64°C (например, капсулный тест с *B. stearothermophilus*) или до 6–8 часов при использовании молочнокислых культур, прежде чем можно зафиксировать изменение индикатора. Кроме того, работа с микробиологическими анализами требует подготовки стерильных сред, посуды, автоклавирования – то есть высокого уровня оснащения и квалификации персонала. Таким образом, по простоте и оперативности методы значительно различаются: экспресс-тест – самый простой и быстрый (минуты, без спецоборудования), ИК-анализ – тоже очень быстрый (секунды) и автоматизированный, но требует дорогого прибора и лаборатории, микробиологические – самые медленные (часы и дни) и сложные в исполнении, требующие лаборатории, стерильности и времени.

Практическая применимость и информативность. Каждый из рассмотренных методов решает свои задачи, поэтому наилучший эффект достигается их комплексным применением. Наши результаты показали, что методы дополнили друг друга. Инфракрасный анализ дал развёрнутую картину физико-химического состава молока, выявил отклонения, что позволило заподозрить снижение качества сырого образца (повышение кислотности, снижение лактозы и т.д. свидетельствовали о возможном бактериальном росте). Однако ИК-анализ не мог ответить на вопрос о наличии посторонних антибактериальных веществ или о конкретных возбудителях. Микробиологические исследования заполнили эту нишу: они подтвердили, что в сыром молоке действительно присутствует массовое развитие бактерий и есть кишечная палочка – то есть причина отклонений состава именно санитарная (плохие условия), а не, скажем, добавление воды или химикатов. В то же время микробиологический анализ сам по себе не говорит ничего о химическом составе и питательной ценности – эти данные дал именно ИК-метод (например, содержание жира, белка, мочевины и т.д., которые важны при оценке питательности и фальсификации молока). Экспресс-тест на антибиотики оказался незаменим для оценки химической безопасности молока: ни ИК, ни просто подсчёт микробов не позволяют однозначно узнать, есть ли в молоке остатки ветеринарных препаратов. Так, могло случиться, что сырое молоко оказалось бы “стерильно чистым” (низкий КМАФАнМ) – это на первый

взгляд хорошо, но это может быть следствием того, что животное лечили антибиотиком и он подавил всю микрофлору. Без экспресс-теста такой “чистый” образец ошибочно можно было бы счесть превосходным, хотя в нём нарушен регламент по лекарственным средствам. В нашем случае обратная ситуация: сырое молоко имело высокую обсеменённость, и мы убедились тестом, что это не из-за антибиотика (иначе обсеменённость была бы низкой). Таким образом, экспресс-тест обеспечивает контроль скрытого фактора, невидимого ни по составу, ни по обычной санитарии – а именно, присутствия остаточных антибиотиков. Его практическая ценность особенно велика для молока, предназначенного в пищу без ферментации: попавшие антибиотики могут вызвать аллергические реакции у потребителей и нарушают технологии переработки (например, сорвавшийся сыр или йогурт, так как антибиотики убивают закваски). Поэтому на каждом молокоперерабатывающем предприятии экспресс-тесты сейчас являются стандартным средством входного контроля. С точки зрения комплексной оценки, самый достоверный результат даёт сочетание методов. Какой же метод можно назвать наиболее полезным или надёжным? Если говорить строго о *выявлении антибиотиков*, то наилучшим оказался, безусловно, специализированный экспресс-тест – он наиболее достоверно и быстро ответил на поставленный вопрос (есть ли антибиотики). ИК-анализ незаменим для характеристики качества и фальсификации: он сразу показал, что сухое молоко было разведено, а сырое – с отклонениями по брожению. Микробиологический анализ напрямую отвечает за безопасность: он выявил опасность сырого молока (большое число микробов, колиформы) и подтвердил безопасность сухого. Экспресс-анализ же прикрывает аспект лекарственной безопасности: подтвердил отсутствие запрещённых веществ.

Итогом сравнительного анализа методов служит осознание, что в практике контроля качества молока необходимо применение всех трёх направлений анализа. Таблица 3.1 обобщает достоинства и ограничения каждого метода:

Критерий	Экспресс-тест на антибиотики(Garant 4 Ultra)	Инфракрасный анализ (MilkoScan FT1)	Микробиологические методы (посев, ингибиционный тест)
Назначение	Выявление остаточных антибиотиков (4 групп) в молоке; контроль лекарственной безопасности.	Определение основных показателей качества и состава молока (жир, белок, лактоза и др.); скрининг аномалий и фальсификаций.	Оценка санитарно-гигиенического состояния (общее микробное число, патогены, показатель кишечной палочки); классический метод обнаружения любых ингибирующих примесей.
Точность	Высокая специфичность и точность качественного обнаружения целевых	Высокая точность количественного	Высокая точность в определении уровня бактериальной

	антибиотиков при превышении порога (исключает ложноположительные результаты на другие вещества). Не даёт количественной концентрации, только наличие/отсутствие.	измерения состава (погрешность обычно <0,1% для основных компонентов). Требует верной калибровки под вид молока; не определяет индивидуальные малые компоненты вроде отдельных витаминов или антибиотиков.	обсеменённости; позволяет обнаружить факт наличия любых антибактериальных веществ по угнетению роста тест-микроорганизмов. Возможны ложные срабатывания из-за природных антимикробных компонентов молока (например, лизоцима) или нарушений методики.
Чувствительность	Пороги обнаружения очень низкие: от ~0,3 мкг/л (левомицетин) до ~100 мкг/л (стрептомицин). Не покрывает антибиотики вне 4 целевых групп.	Чувствителен к изменениям основных компонентов: фиксирует разбавление водой ~2% и выше, отклонения жирности ~0,01–0,02%. Не чувствителен к микропримесям (например, обнаружение антибиотика или тяжелых металлов напрямую невозможно). Имеются модели скрининга фальсификаций (чужеродные добавки).	Чувствителен ко всем ростоингибирующим факторам совокупно; обнаруживает превышение нормативов антибиотиков по задержке роста культур. Для каждого вида антибиотика чувствительность определяется тест-организмом (в среднем на уровне МДУ). Способен уловить также присутствие дезинфицирующих средств, большого количества соматических клеток (ингибиторы воспаления) и пр.
Скорость анализа	Очень высокая: ~10 минут на тест, чтение результатов визуально.	Очень высокая: ~30 секунд на пробу (после подготовки). Возможен потоковый автоматический анализ множества проб подряд.	Низкая: от нескольких часов до нескольких дней в зависимости от анализа (микробиологический посев – 1–3 суток инкубации).
Простота, удобство	Простой: не требует оборудования (кроме пипетки и термостата 37°C в некоторых случаях), может выполняться вне лаборатории. Интерпретация – по появлению полос (легко обучаемый	Относительно простой в работе: требуется квалификация для работы с прибором, но сами измерения автоматизированы.	Трудоёмкий: нужен лабораторный бокс/помещение, стерильные условия, питательные среды, оборудование (термостаты, автоклав и

	персонал). Лёгкость транспортировки набора.	Необходимы лабораторные условия и обслуживание прибора (калибровка, чистка).	др.). Требуется квалификация микробиолога. Интерпретация результатов может требовать опыта (например, отличить колонии).
Практическая ценность	Необходим для обеспечения безопасности: быстро отсеивает молоко с остатками антибиотиков, предотвращая попадание опасного сырья в пищевую цепь ([Microbial Standards for Milk	Особенно ценен при приёмке молока от множества поставщиков (скрининг).	Необходим для контроля качества и технологических свойств молока: позволяет оперативно регулировать процесс (стандартизация по жиру), выявлять фальсификации (добавление воды, соды, меламина – через аномалии показателей и оценивать питательную ценность сырья.

Расхождения в результатах и их интерпретация. В ходе исследования интересным моментом стало то, как разные методы отражали состояние одного и того же образца. Для сырого молока методы в чем-то дали «противоположные» на первый взгляд результаты: микробиологически – образец плохой (грязный), по экспресс-тесту – хороший (антибиотиков нет). Однако тут нет противоречия, а есть важный вывод: плохая микробиология и отрицательный тест на антибиотики означают, что проблема в санитарии, а не в химии. Если бы было наоборот (стерильное молоко, но положительный тест на антибиотик) – это указывало бы на скрытую проблему лечения животного. В нашем случае такого не произошло. Другой «рассинхрон» мог быть замечен между ИК-методом и остальными: *MilkoScan* показал аномальную композицию сырого молока (жир 7%, лактоза 4,8%), что настораживало, хотя формально жир – «выше нормы». Микробиология пролила свет, что эти цифры аномальны из-за нарушения целостности образца (сливки) и брожения (меньше лактозы), а не потому, что молоко особенное. То есть без микробиологии можно было бы неверно интерпретировать высокий жир как “отличное молоко, супер-жирное”, а на деле это признак плохого хранения. Таким образом, расхождения между методами служат подсказками: каждый метод выявил свой аспект, и только вместе они дали полноту картины. В сухом молоке особых расхождений не было – все методы подтвердили его благополучие (ИК: нормальный состав для растворимого продукта, микробиология: чистое, экспресс: без антибиотиков). Это, можно сказать, эталон согласованности результатов, когда молоко качественное по всем параметрам.

**Итоговые выводы.** Выполненный анализ сырых и сухих молочных образцов с применением экспресс-теста, инфракрасного анализатора и микробиологических методов позволяет сделать ряд общих выводов:

- Относительно остаточных антибиотиков: ни в сыром кобыльем молоке, ни в сухом молоке не обнаружено остаточных количеств антибиотиков четырех целевых групп ( $\beta$ -лактамы, тетрациклины, стрептомицины, хлорамфеникол). Это означает, что исследованные образцы соответствуют требованиям технических регламентов по химической безопасности – посторонние антибиотические вещества отсутствуют или ниже пределов обнаружения. Данный вывод особенно важен для сухого молока как промышленного продукта: подтверждается, что в его производстве соблюдены нормы (никаких нелегальных консервантов-антибиотиков не применялось). Для сырого молока это означает, что, несмотря на санитарные проблемы, кобыле не вводились антибиотики перед доением, иначе тест дал бы положительный результат.

- Относительно химического состава и качества: Сыре кобылье молоко показало отклонения от нормального состава (очень высокие жир и белок, низкая лактоза, высокая кислотность). Эти отклонения свидетельствуют о снижении качества сырья из-за нарушения условий получения и хранения. Проще говоря, молоко начало портиться ещё до анализа: вероятно, из-за задержки с охлаждением или изначально высокой контаминации бактериями. Также, возможно, образец был непредставительным (верхний слой с большим количеством сливок), что привело к нетипичным показателям жира. Напротив, сухое молоко в восстановленном виде имело состав, соответствующий ожидаемому от разведённого продукта, без признаков порчи. Это говорит о его высокой изначальной качестве – исходное сырьё было хорошее и технология производства соблюдена. Таким образом, по химическим и физико-химическим параметрам сухое молоко более стабильно и надёжно, тогда как сырое требует тщательного контроля условий, чтобы соответствовать стандартам.

- Относительно микробиологической безопасности: Между образцами наблюдается резкое различие. Сыре молоко не соответствует гигиеническим нормативам: обнаружено  $>10^6$  КОЕ/мл мезофильных бактерий (при норме  $\leq 5 \times 10^5$  ()) и присутствуют БГКП (что недопустимо ()). Это делает его небезопасным для употребления без обработки. Сухое молоко, напротив, соответствует всем микробиологическим критериям: в восстановленном виде у него крайне низкий общий бакобсеменённость и полное отсутствие кишечной палочки, кислотность в норме. Следовательно, сухое молоко является безопасным готовым продуктом при соблюдении условий хранения, тогда как сырое может служить источником пищевых инфекций, если употреблять его сырьем. Данный результат подтверждает общее правило: сырое молоко от животных (особенно вне промышленных условий) часто имеет нестабильное качество и должно проходить санитарную оценку и обработку. Сухое же молоко, будучи продуктом промышленной переработки, значительно более безопасно по микробиологии.

- Сравнение методов контроля: Экспресс-тест, ИК-анализ и микробиологические исследования в сочетании дали всестороннюю оценку качества молока. Наиболее оперативным и специфичным методом выявления антибиотиков оказался экспресс-тест *Garant 4 Ultra Milk* – он быстро подтвердил отсутствие запрещённых остатков. ИК-анализатор *MilkoScan FT1* позволил мгновенно определить базовый состав и выявить аномалии, служащие индикаторами качества (например, повышенная кислотность указала на микробное обсеменение ещё до проведения микробиологических посевов). Микробиологический анализ предоставил критически важную информацию о санитарном состоянии: без него нельзя было бы однозначно судить, пригодно ли сырое молоко в пищу. Каждый метод дополнил другие: ни один из них в отдельности не дал бы полной картины. Например, только микробиология обнаружила колиформы, только экспресс-тест – подтвердил отсутствие антибиотиков, только ИК-анализ – количественно охарактеризовал степень брожения (по снижению лактозы) и возможное разбавление.

Вывод для практики: наиболее достоверные результаты достигаются при комплексном подходе, когда экспресс-методы сочетаются с инструментальными и микробиологическими. Если говорить о достоверности обнаружения антибиотиков, то экспресс-тест несомненно лидирует по сочетанию чувствительности и быстроты, что продемонстрировано в ходе работы. Микробиологический ингибиционный метод может служить подтверждением, но он дольше и может давать ложные тревоги из-за природных антимикробных компонентов молока (особенно актуально для кобыльего молока, богатого лизоцимом). Инфракрасный анализ, хотя и не детектирует антибиотики, способен косвенно указывать на их возможное присутствие – например, аномально низкая микрофлора и сохранение невысокой кислотности в сыром молоке могут вызвать подозрение на наличие ингибирующих веществ. В подобных случаях сочетание ИК-анализа (скрининг аномалий) и экспресс-теста (прицельная проверка на антибиотики) даёт эффективный результат.

В заключение наиболее качественный контроль молока достигается использованием всех трёх подходов: экспресс-тесты быстро сигнализируют о химической безопасности (антибиотики), инфракрасный анализатор обеспечивает мониторинг состава и физико-химических показателей, а микробиологические методы гарантируют соответствие санитарно-гигиеническим требованиям. В рамках данной работы такой подход позволил выявить проблемы сырого молока и преимущества сухого, а также оценить надёжность каждого метода. Для условий производства это означает, что экспресс-методы и современное оборудование могут значительно повысить эффективность отбора безопасного сырья, но классические микробиологические испытания остаются необходимыми для полноценной гарантии качества молока и молочной продукции.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование было направлено на оценку остаточного содержания антибиотиков и общего санитарно-гигиенического состояния молока с применением современных аналитических методов. Были изучены два вида образцов – сырое кобылье молоко и сухое восстановленное молоко – с использованием трёх различных подходов: экспресс-анализа (иммунохроматографический тест), инфракрасного анализа на приборе *MilkoScan FT1*, а также стандартных микробиологических методов. Такой комплексный подход позволил получить объективную картину как химического состава, так и безопасности исследуемой продукции.

Результаты инфракрасного анализа выявили заметные отличия между образцами. Сырое молоко имело отклонения по показателям жира, белка и особенно по содержанию лактозы и кислотности, что указывало на нарушение условий хранения или начало микробиологического брожения. Восстановленное сухое молоко, напротив, показало стабильные значения с равномерными пропорциями компонентов, соответствующими характеристикам натурального кобыльего молока, скорректированного на степень разведения. Это свидетельствует о высоком качестве промышленного сухого продукта.

Микробиологический анализ подтвердил наличие санитарных проблем в сыром образце: был превышен уровень общей микрофлоры, а также выявлены бактерии группы кишечной палочки, что недопустимо в соответствии с ТР ТС 033/2013. Эти результаты подтверждают снижение санитарной пригодности сырого молока. В противоположность этому, восстановленное сухое молоко не содержало патогенной и санитарно-показательной микрофлоры и соответствовало гигиеническим нормативам, что указывает на высокую степень технологического контроля при его производстве.

Экспресс-анализ на остаточные антибиотики с помощью теста *Garant 4 Ultra Milk* показал отрицательные результаты для обоих образцов, что означает отсутствие в них антибиотиков четырёх основных групп –  $\beta$ -лактамов, тетрацикличес, стрептомицина и хлорамфеникола. Это чрезвычайно важный показатель, так как наличие даже следов этих веществ запрещено в пищевой продукции согласно как национальным стандартам Казахстана, так и международным нормативам. Таким образом, ни одно из исследованных молок не содержало запрещённых остатков ветеринарных препаратов.

Сравнительный анализ методов показал, что каждый из них имеет свои преимущества. Инфракрасный анализатор позволяет быстро и точно определять химический состав и выявлять возможные фальсификации или отклонения. Экспресс-тесты обеспечивают высокочувствительный и быстрый контроль на наличие антибиотиков. Микробиологические методы, хотя и более трудоёмки, являются эталонными в санитарной оценке и позволяют подтвердить гигиеническую безопасность продукции. Наибольший эффект достигается при комплексном применении всех трёх подходов.

Обобщая полученные данные, можно сделать вывод, что сухое молоко, произведённое в условиях промышленного контроля, имеет более стабильные показатели качества и безопасности по сравнению с сырым молоком, полученным в индивидуальном хозяйстве. Это подчёркивает важность внедрения современных стандартов на всех этапах производства и переработки молока. Для сырого молока необходим строгий контроль условий дойки, хранения и охлаждения, а также обязательное тестирование на антибиотики и микрофлору перед использованием.

Практическая значимость проведённой работы заключается в демонстрации эффективности многоуровневого подхода к контролю качества молока. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации ветеринарного и лабораторного мониторинга, а также при разработке методических рекомендаций по безопасности молочной продукции. Внедрение комбинированной системы контроля, включающей экспресс-анализ, ИК-анализ и микробиологию, позволяет значительно повысить надёжность оценки и минимизировать риски для потребителей.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции». – М.: Евразийская экономическая комиссия, 2013. – 38 с.
- 2 СТ РК 2.637-2019. Молоко и молочные продукты. Методика выполнения измерений содержания антибиотиков группы тетрацикличес. – Астана: КНИС, 2019. – 20 с.
- 3 СТ РК 1505-2006. Методика определения массовой концентрации антибиотиков методом вольтамперометрии. – Алматы: Стандартинформ, 2006. – 16 с.
- 4 Решение Коллегии ЕЭК от 13.02.2018 № 28 «О максимально допустимых уровнях остатков ветеринарных препаратов». – М.: ЕЭК, 2018.
- 5 Codex Alimentarius. Guidelines for Residues of Veterinary Drugs in Foods. – Rome: FAO/WHO, 2018. – 98 р.
- 6 Regulation (EU) No 37/2010. European Commission on pharmacologically active substances. – Brussels: EU, 2010.
- 7 WHO. Antimicrobial resistance: global report on surveillance. – Geneva: World Health Organization, 2014. – 257 р.
- 8 CDC. Antibiotic Resistance Threats in the United States. – Atlanta: U.S. Dept. of Health & Human Services, 2019. – 148 р.
- 9 Гост 3624-92. Молоко и молочные продукты. Методы определения кислотности. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 8 с.
- 10 ГОСТ 3625-84. Молоко. Метод определения массовой доли белка. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 10 с.
- 11 ГОСТ 9225-84. Молоко и молочные продукты. Методы микробиологического анализа. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 28 с.
- 12 ГОСТ Р 51422-99. Молочные продукты. Определение мочевины. – М.: Госстандарт РФ, 2000. – 7 с.
- 13 ГОСТ Р 51196-98. Молоко и молочные продукты. Определение молочной кислоты. – М.: Стандартинформ, 1998. – 9 с.
- 14 ГОСТ 22760-77. Молоко. Метод определения массовой доли жира. – М.: Изд-во стандартов, 1978.
- 15 ГОСТ 23327-78. Молочные продукты. Определение белка. – М.: Стандартинформ, 1979.
- 16 ГОСТ Р 51258-99. Продукты переработки молока. Определение сахаров. – М.: Госстандарт РФ, 1999.
- 17 ГОСТ Р 51484-99. Методы определения свободных жирных кислот. – М.: Изд-во стандартов, 2000.
- 18 ГОСТ 25101-82. Молоко. Определение температуры замерзания. – М.: Изд-во стандартов, 1983.
- 19 ГОСТ Р 51239-98. Молоко и молочные продукты. Определение яблочной кислоты. – М.: Госстандарт РФ, 1998.

- 20 Шклярова, Н. И. Анализ антибиотиков в пищевых продуктах. – М.: КолосС, 2017. – 312 с.
- 21 Князев, В. А. Санитария и гигиена пищевых производств. – М.: Де Ли принт, 2021. – 408 с.
- 22 Хазанов, А. И., Буракова, Е. А. Методы контроля качества молока. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2019. – 212 с.
- 23 Гостева, Е. А. Экспресс-методы определения остаточных количеств антибиотиков. – Воронеж: ВГМА, 2020. – 154 с.
- 24 Новикова, И. Н. Качественный и количественный анализ антибиотиков. – М.: Наука, 2018. – 230 с.
- 25 Иоффе, А. Ф. Безопасность молочной продукции: проблемы и решения. – Казань: КазГТУ, 2021. – 256 с.
- 26 Бочкарева, Е. М. Молочная санитария. – М.: Колос, 2016. – 292 с.
- 27 Zain, N. M., et al. Detection of antibiotic residues in milk using biosensors. // *Biosensors Journal*. – 2020. – Vol. 10(4). – P. 145–153.
- 28 Liu, H. et al. Rapid detection of  $\beta$ -lactam antibiotics using lateral flow assay. // *Food Chemistry*. – 2021. – Vol. 344. – P. 128648.
- 29 Ringbio Biotechnology Co., Ltd. Garant 4 Ultra Milk Manual. – Beijing, China, 2020. – 16 p.
- 30 Zhang, L. et al. Advances in milk composition analysis using FTIR. // *Journal of Dairy Science*. – 2020. – Vol. 103(1). – P. 15–27.
- 31 Ветошкина, Т. С. Микробиология молока и молочных продуктов. – Екатеринбург: УрФУ, 2020. – 206 с.
- 32 Алиев, А. Г. Безопасность пищевой продукции. – Баку: Эльм, 2018. – 180 с.
- 33 Егоров, А. М. Антибиотики: происхождение, применение, резистентность. – М.: Логос, 2015. – 392 с.
- 34 Абдуллин, А. Р. Ветеринарно-санитарная экспертиза молока. – Казань: КГАВМ, 2022. – 140 с.
- 35 Gaugain-Juhel, M. et al. Antibiotic residue detection in dairy production. // *Food Control*. – 2018. – Vol. 85. – P. 86–95.
- 36 FAO/WHO. Maximum Residue Limits (MRLs) for veterinary drugs in milk. – Rome: FAO, 2021. – 75 p.
- 37 Lupo, A., Coyne, S., Berendonk, T. U. Origin and evolution of antibiotic resistance in dairy environments. // *Nature Reviews Microbiology*. – 2020. – Vol. 18(7). – P. 395–404.
- 38 Журкин, В. А. Методы анализа и мониторинга антибиотиков в молоке. – СПб.: Химия, 2023. – 186 с.

## РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу студентки 4 курса Бакибаевой Адии  
Жаксылыккызы на тему «Методы выявления и контроля антибиотиков  
в молоке и молочных продуктах» по образовательной программе  
«6B05101 – Химическая и биохимическая инженерия»

Дипломная работа Бакибаевой Адии Жаксылыккызы отличается актуальностью, научной направленностью и практической значимостью. В современном пищевом производстве безопасность продуктов питания, особенно молочных, выходит на первый план, и проблема присутствия антибиотиков в готовой продукции требует детального изучения и разработки эффективных методов контроля. Автор работы выбрала тему, представляющую интерес как для научного сообщества, так и для специалистов в области биотехнологии и пищевой безопасности.

В теоретической части дипломной работы представлена обширная информация о происхождении антибиотиков в молоке, механизмах их попадания, последствиях для здоровья человека при регулярном употреблении зараженной продукции.

В практической части дипломной работы автор провела серию экспериментов, результаты которых изложены подробно и сопровождаются аналитическими таблицами, графиками, а также интерпретацией полученных данных.

Бакибаева А.Ж. показала высокую степень самостоятельности при выполнении работы, способность анализировать, сравнивать, систематизировать материал и делать обоснованные выводы. Работа написана грамотным языком, хорошо структурирована, не перегружена лишними описаниями и одновременно информативна.

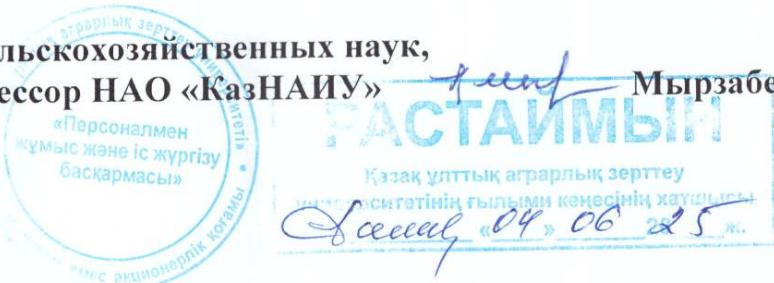
### Заключение:

Дипломная работа Бакибаевой Адии Жаксылыккызы соответствует всем требованиям к работам бакалавров по специальности 6B05101 – Химическая и биохимическая инженерия. Она выполнена на высоком уровне и заслуживает оценки 95 «отлично». Автор работы рекомендуется к присвоению степени бакалавра.

### Рецензент:

Кандидат сельскохозяйственных наук,  
Ассоц. профессор НАО «КазНАИУ»

Мырзабек К.А.



## ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу студентки 4 курса Бакибаевой Адии  
Жаксылыккызы на тему «Методы выявления и контроля антибиотиков  
в молоке и молочных продуктах» по образовательной программе  
«6B05101 – Химическая и биохимическая инженерия»

Дипломная работа студентки 4 курса Бакибаевой Адии Жаксылыккызы на тему «Методы выявления и контроля антибиотиков в молоке и молочных продуктах», выполненная по образовательной программе «6B05101 – Химическая и биохимическая инженерия», является самостоятельным исследовательским трудом, отражающим достаточный уровень подготовки студентки, ее аналитическое мышление, умение грамотно использовать теоретические знания и применять их на практике.

Тема работы представляет собой актуальное направление, связанное с обеспечением безопасности молочной продукции, что на сегодняшний день приобретает особую значимость в условиях стремительного роста производства продуктов питания и ужесточения требований к их качеству.

В процессе выполнения дипломного проекта Адия проявила себя как целеустремленная и ответственно относящаяся к научному процессу студентка, которая с большим интересом погрузилась в изучение существующих подходов к анализу остатков антибиотиков, изучила современное состояние нормативно-правовой базы, регулирующей допустимые пределы содержания остаточных количеств ветеринарных препаратов в молоке и молочной продукции.

Работа содержит обоснованный выбор методов контроля, их сравнительную характеристику, анализ чувствительности, специфичности и точности различных инструментальных и микробиологических методик. Особое внимание студентка уделила вопросам идентификации и количественного определения антибиотиков, часто применяемых в животноводстве, а также потенциальным рискам, связанным с их присутствием в пище. Практическая часть исследования была выполнена в лабораторных условиях с использованием современных аналитических приборов и реагентов.

**Заключение:** Дипломная работа выполнена в соответствии с требованиями. Рекомендую к защите.

Научный руководитель:  
К.б.н., ассоц. профессор



Сулайменова Ж.М.



## Отчет подобия

### Метаданные

Название организации

**Satbayev University**

Название

**Бакибаева Адия Жаксылыккызы**

Автор

Научный руководитель / Эксперт

**Изучение морфо-культуральных свойств *Saccharomyces cerevisiae* Жулдуз Сулейменова**

Подразделение

**ИГиНГД**

### Объем найденных подобий

КП-ия определяют, какой процент текста по отношению к общему объему текста был найден в различных источниках.. Обратите внимание! Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



**25**

Длина фразы для коэффициента подобия 2

**15443**

Количество слов

**127060**

Количество символов

### Тревога

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв		66
Интервалы		0
Микропробелы		483
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		2

### Подобия по списку источников

Ниже представлен список источников. В этом списке представлены источники из различных баз данных. Цвет текста означает в каком источнике он был найден. Эти источники и значения Коэффициента Подобия не отражают прямого плагиата. Необходимо открыть каждый источник и проанализировать содержание и правильность оформления источника.

### 10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	<a href="https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-hranimoustoychivosti-i-opredelenie-strukturno-mehanicheskikh-pokazateley-probioticheskogo-kislomolochnogo-produkta-na">https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-hranimoustoychivosti-i-opredelenie-strukturno-mehanicheskikh-pokazateley-probioticheskogo-kislomolochnogo-produkta-na</a>	14 0.09 %
2	<a href="https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnologii-proizvodstva-funktsionalnogo-napitka-na-osnove-molochnoy-syvorotki">https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnologii-proizvodstva-funktsionalnogo-napitka-na-osnove-molochnoy-syvorotki</a>	11 0.07 %
3	<a href="https://munbog.ru/mikrobiologiya-posev-moloka-kmafann/">https://munbog.ru/mikrobiologiya-posev-moloka-kmafann/</a>	11 0.07 %

4	<a href="https://archive-coursework.mmu.ru/diploma/index?year=2018">https://archive-coursework.mmu.ru/diploma/index?year=2018</a>	10 0.06 %
5	<a href="https://sadovod-agronom.ru/sovety/posev-na-kmafann-moloka.html">https://sadovod-agronom.ru/sovety/posev-na-kmafann-moloka.html</a>	9 0.06 %
6	<a href="https://sadovod-agronom.ru/sovety/posev-na-kmafann-moloka.html">https://sadovod-agronom.ru/sovety/posev-na-kmafann-moloka.html</a>	5 0.03 %

#### из базы данных RefBooks (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

#### из домашней базы данных (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

#### из программы обмена базами данных (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

#### из интернета (0.39 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	<a href="https://sadovod-agronom.ru/sovety/posev-na-kmafann-moloka.html">https://sadovod-agronom.ru/sovety/posev-na-kmafann-moloka.html</a>	14 (2) 0.09 %
2	<a href="https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-hranimoustoychivosti-i-opredelenie-strukturno-mehanicheskikh-pokazateley-probioticheskogo-kislomolochnogo-produkta-na">https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-hranimoustoychivosti-i-opredelenie-strukturno-mehanicheskikh-pokazateley-probioticheskogo-kislomolochnogo-produkta-na</a>	14 (1) 0.09 %
3	<a href="https://munbog.ru/mikrobiologiya-posev-moloka-kmafann/">https://munbog.ru/mikrobiologiya-posev-moloka-kmafann/</a>	11 (1) 0.07 %
4	<a href="https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnologii-proizvodstva-funktionalnogo-napitka-na-osnove-molochnoy-svorotki">https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnologii-proizvodstva-funktionalnogo-napitka-na-osnove-molochnoy-svorotki</a>	11 (1) 0.07 %
5	<a href="https://archive-coursework.mmu.ru/diploma/index?year=2018">https://archive-coursework.mmu.ru/diploma/index?year=2018</a>	10 (1) 0.06 %

#### Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	------------	---