

УДК: 636.2.034+637.07

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.397

ВЗАИМОСВЯЗИ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ И ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОЛОКА КОРОВ ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ ПРИ ЕГО ПАСТЕРИЗАЦИИ

Савина А.А. – науч. сотр. гр. аналитической биохимии (ORCID 0000-0003-0257-1643); Зайцев С.Ю.* – д-р хим. наук, д-р биол. наук, вед. науч. сотр., рук. гр. аналитической биохимии (ORCID 0000-0003-1533-8680); Воронина О.А. – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. гр. аналитической биохимии (ORCID 0000-0002-6774-4288)

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства - ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

* s.y.zaitsev@mail.ru

Ключевые слова: молоко коров, пастеризация молока, компонентный состав, антиоксидантная активность.

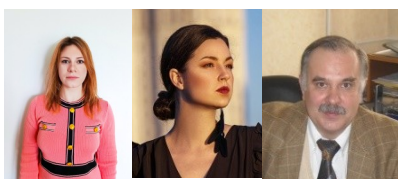
Key words: cow's milk, milk pasteurization, component composition, antioxidant activity.

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках выполнения государственного задания (регистрационный номер ЕГИСУ темы НИР FGGN-2024-0016).

Поступила: 15.05.2025

Принята к публикации: 26.08.2025

Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Молоко является исключительно важным продуктом питания человека и молодняка ряда сельскохозяйственных животных. Цель работы заключается в сравнительном исследовании такого интегрального показателя как суммарное количество водорастворимых антиоксидантов (СКВА) до и после пастеризации молока коров голштинской породы с анализом деталей этих изменений и сопоставлением с биохимическим профилем. Исследования по пастеризации были проведены по промышленному технологическому регламенту (при 72°C за 15 секунд) с образцами молока коров племенного хозяйства «Ладожское». В каждую из 6 сформированных групп вошло по 22-е головы коров, что достаточно для статистического анализа. Обнаружено значительное увеличение значений СКВА в пастеризованных образцах молока до средних значений 24,3 мг/л в группе 1 (удой 16,6 л) и 25,4 мг/л в группе 2 (удой 30,2 л); до 25,9 мг/л в группе 3 (МДЖ 3,50%) и 24,0 мг/л в группе 4 (МДЖ 4,62%); до 26,0 мг/л в группе 5 (МДБи и МДБо 3,09% и 3,24%) и 23,7 мг/л в группе 6 (МДБи и МДБо 4,31% и 4,34%) по сравнению с контролем до пастеризации. Эти существенные отличия связаны (как по-нашему мнению, так и по литературным данным) с некоторой степенью денатурации белков и окисления липидов молока, что делает ряд функциональных групп этих компонентов молока более доступными для процессов окисления-восстановления, регистрируемых

амперометрическим методом как СКВА. Диапазон средних значений СКВА молока после пастеризации (от 22 до 26 мг/л) может служить «референсным» интервалом для практического использования. Таким образом, анализ изменений СКВА при пастеризации молока коров свидетельствует, что антиоксидантная активность молока значительно увеличивается после пастеризации. Это является положительной тенденцией для практики с точки зрения высокого качества молока после его традиционной переработки.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Молоко является ценным продуктом питания, благодаря своему богатому составу, включающему белки, витамины, минералы и другие полезные вещества. Оно играет важную роль в поддержании здоровья человека, особенно в отношении костей, зубов, нервной системы и пищеварения [1,2] и молодняка ряда значимых сельскохозяйственных животных [3,4]. О важности этого продукта говорит постоянный рост производства общего объема сырого молока в мире до 978,5 млн. тонн (включая 673.29 млн. тонн коровьего молока) в 2024 г., в том числе – в РФ до 32,5 млн. тонн в 2024 г. [5].

Известно, что супрамолекулярная организация биологически-активных веществ (БАВ) молока [2,5] способствует «высокой пищевой ценности этого продукта» [6-8]. Многие БАВ молока являются антиоксидантами (белки, пептиды, витамины, гормоны и др.) т.е. веществами, которые «предотвращают окисление компонентов биологических структур и/или разрушают образующиеся активные радикалы» [8-10]. Трудно переоценить значение этих БАВ, включая их роль в предотвращении преждевременной порче вкусовых качеств молока [5-8]. В литературе описываются методы измерения как антиоксидантной активности отдельных БАВ [8-11], так и суммарного количества водорастворимых антиоксидантов (СКВА) [5, 12-14]. Авторы данной работы считают наиболее предпочтительным из методов определения интегральной антиоксидантной активности молока - амперометрию. Однако определение таких параметров как антиоксидантная активность отдельных БАВ или даже СКВА пока не включены в ГОСТы типа: ГОСТ 31449-2013 «Молоко коровье сырое. Технические условия»; ГОСТ Р 52054-2003 «Молоко натуральное коровье - сырье. Технические условия» (дата введения в действие

01.01.2004 г. Дата завершения срока действия 01.01.2025) и ГОСТ Р 52054-2023 ГОСТ «Молоко коровье сырое. Технические условия» (дата введения в действие 01.01.2025 г.). Это во многом связано с тем, что перечисленные параметры недостаточно изучены в плане дальнейшей переработки молока [6-8, 15-17].

Пастеризация, как форма переработки молока путем термической обработки, необходима для его безопасности, но при этом изменяет супрамолекулярную организацию БАВ молока. Термообработка может снижать уровень некоторых индивидуальных термолабильных водорастворимых антиоксидантов [18] и может влиять на активность ферментов и белков, отвечающих за антиоксидантную активность [11-14]. Данное исследование позволяет выявить, насколько и в каком направлении изменяется антиоксидантная активность молока после пастеризации, что важно для обеспечения его пищевой и технологической ценности.

В настоящий момент существует несколько методов тепловой обработки молока. Наиболее старым методом является длительная низкотемпературная пастеризация (ДНТП) молока коров или пастеризация по Холдеру (особенно для донорского грудного молока), которая характеризуется достаточно длительным (в течение 30 минут) выдерживанием молока при нагреве до 62,5-63°C [3,5]. При ДНТП белки молока не денатурируют, но образуется «чёткая линия сливок», что позволяет оценить качество молока визуально [3,5]. Хотя ДНТП используется до сих пор, этот метод был признан неидеальным из-за следующих проблем: долгая «выдержка молока в пастеризационных ваннах», что существенно замедляла производство; требование больших энергозатрат; некоторые «термофильные штаммы микроорганизмов» при ДНТП не погиба-

ли, т.е. продукция не была достаточно безопасной [5]. Более современным методом явилась «высокотемпературная пастеризация» (ВТП). Хотя ВТП характеризуется немного более сильным нагревом (до $+72^{\circ}\text{C}$), но время выдерживания очень кратко (всего 15-20 секунд) [5]. Хотя сам метод был предложен во второй половине 1940-х во Франции, но он стал быстро набирать популярность в США, где получил название «высокотемпературная кратковременная пастеризация». Достоинствами метода являлось: возможность «пастеризовать молоко в потоке»; увеличение скорости процесса; увеличение «безопасности» молока, за счёт уничтожения гораздо большего числа бактерий» [3, 15-17]. Мелкие недостатки ВПТ связаны с небольшими изменениями вкусовых характеристик и запаха, что не является существенным и может быть связано с «частичной коагуляцией альбуминов и глобулинов» [3, 15-17]. Таким образом, «высокотемпературная пастеризация» является оптимальным методом среди всех способов тепловой переработки молока, в том числе - и для наших исследований.

Однако, термическая обработка молока хоть и обеспечивает микробиологическую и вирусологическую безопасность продукта, оставляет открытым вопрос химического преобразования БАВ в процессе хранения. Образование альдегидов, кетонов, перекисей и других соединений может неблагоприятно сказываться на качественных характеристиках конечного продукта. Контроль и коррекция антиоксидантного статуса молока для лучшей сохранности и улучшения качественных характеристик является актуальным и значимым направлением в молочной промышленности, особенно в линейках, предназначенных для детского возраста.

Главное, что определение и изучение именно таких «интегральных параметров молока» как СКВА перспективно для оценки качества полученной молочной продукции, чтобы повысить ее востребованность и конкурентоспособность [5]. В

последнее время регулярно выходят работы, связанные с изучением изменений в антиоксидантной активности отдельных БАВ или цельного молока при его тепловой обработке [15-17]. Как многообразие, так и полифункциональность антиоксидантов молока, делает сложным их раздельное определение и преимущество получает знание интегрального параметра типа СКВА молока. Одним из уже изученных методов-аналогов СКВА является определение интегральной антиоксидантной активности молока «кулонометрическим методом с помощью электрогенерированного брома» (КМЭГБ), способного вступать как «в радикальные и окислительно-восстановительные реакции», так и «в реакции электрофильного замещения и присоединения по кратным связям» [19,20]. Этот метод позволяет охватить большие «группы соединений, проявляющих антиоксидантные свойства» [Будников и др., 2004-2010; Абдуллин и др., 2002]. В работах Балакиревой Ю.В. и других [15-17,19,20] проведено определение антиоксидантной емкости (АОЕ) молока, которое осуществляли методом. Авторами [19,20] были установлены изменения АОЕ в широком интервале значений: «6,51 – 17,00 кКл/л и 5,12 – 12,84 кКл/л, соответственно для козьего и коровьего молока». Авторами [19,20] было выявлено влияние возраста и физиологического состояния животного на КМЭГБ биологических жидкостей (крови и молока), а также - получены «адекватные корреляционные зависимости» [19,20]. Одновременно авторы [19,20] оценили влияние ряда промышленных режимов пастеризации коровьего и козьего молока на изменение их полипептидного состава, что позволило сделать вывод о «наименьшем разрушении нативных полипептидов молока при режиме пастеризации 76°C , 5 мин.» [19,20]. Однако, метод амперометрического детектирования более дешёв и прост в применении, и представляется более перспективным для массового использования, предоставляя новые возможности анализа в области животноводства. Все эти данные свидетель-

ствуют об актуальности исследований в области изучения «интегральной активности антиокислительной системы коровьего молока» и развития инструментально-аналитической базы для таких работ. В том числе значимым и новым результатом будет выявление взаимосвязи СКВА с главными экономическими показателями – продуктивность, количество жира и белка. Ранее нами были получены отдельные результаты по увеличению СКВА после пастеризации, но мы не разбирали этот феномен системно, тем более – с точки зрения изменения продуктивности животных, количества жира и белка в молоке, что явилось основанием для данной работы.

Таким образом, цель нашей работы заключается в исследовании общего количества водорастворимых антиоксидантов и деталей их изменений при пастеризации молока коров, исследование взаимосвязи показателя СКВА с суточным удоем, содержанием жира и белка в молоке.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Среди всех способов термической обработки молока, авторы выделили и использовали «высокотемпературную пастеризацию» (при 72°C за 15 секунд, как описано в ГОСТ 32922-2014) как признанный технологический метод, что оптимально для наших исследований. После пастеризации пробам давали остыть до комнатной температуры в течение получаса, одинаковые по температуре опытные и контрольные образцы анализировали попарно.

Исследования были проведены с образцами молока клинически здоровых коров голштинской породы 1 и 2 лактации из племенного хозяйства «Ладожское» (Краснодарский край) и в лабораториях ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста (в течении 2024-2025 гг.). Содержание соматических клеток молока находилось в пределах допустимых значений молока второго сорта (ГОСТ Р 52054—2023).

Из 44 коров, составивших генеральную совокупность по результатам кон-

трольной дойки, последовательно формировались следующие группы: по величине суточного удоя (группы 1 и 2), по содержанию жира (группы 3 и 4), по содержанию белка (группы 5 и 6). Во время контрольной дойки отбирали среднюю пробу молока согласно ГОСТ 26809.1-2014, проводили учет суточного удоя. Анализировали СКВА молока методом амперометрического детектирования на приборе «ЦветЯуза-01-АА» [5, 12-14]. Оценка изменений СКВА проводилась после принятия пастеризованными пробами температуры соответствующего сырого молока. Измерения для каждого образца выполнялись последовательно: сначала определялись показатели сырого молока, затем — пастеризованного варианта этого же образца, после чего переходили к следующему образцу. Определение компонентного состава молока проводили с помощью системы «Combi Foss 7» (Дания); изучаемые показатели: массовая доля жира (МДЖ), массовая доля белка истинного (МДБи), массовая доля белка общего (МДБо). Статистическая обработка полученных данных и корреляционный анализ в программе «Microsoft Excel» с помощью надстройки «Анализ данных».

Кормление коров осуществлялось согласно общепринятым нормам и по утвержденному в хозяйстве рациону из расчета на голову: концентрированных кормов 12,0 кг, сенаж 14,0 кг, силос 8,0 кг, сено 3,0 кг. От начала лактации и к её завершению в структуре рациона менялась пропорция и соотношение («%» от питательности), что приходится на долю каждого вида кормов. Таким образом доля концентратов постепенно снижалась с 45% в начале до 24% к концу лактации, вместе с параллельным повышением доли силоса, сенажа и сена в рационе.

Все полученные в опыте результаты обработаны биометрически с вычислением следующих величин: среднеарифметическая ошибка ($M \pm m$), среднеквадратическая ошибка (MES) и уровень значимости (p). Результаты исследований будем считать: высокодостоверными при $p < 0,001$ и

достоверными при $p < 0,01$ и $p < 0,05$; при $0,05 < p < 0,1$ – тенденция к достоверности полученных данных; при $p > 0,1$ разницу будем считать недостоверной. Достоверность оценивалась тестами Стьюдента и Манна-Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Основным результатом наших исследований является оценка величин СКВА молока коров и их изменений после пастеризации с учётом удоя, жирности и содержания белка, тогда как другие показатели (влияющие на величину СКВА) в

рамках данной работы не рассматривались. Величины СКВА до и после пастеризации молока обозначены как СКВА-1 и СКВА-2, соответственно. Как известно, тепловая обработка молока является одной из обязательных процедур при производстве коммерческого молока и продуктов на его основе [5, 15-20].

В таблицах 1 и 2 приведены статистические данные по измерениям СКВА и основных параметров молока коров в группах 1 и 2 с низким (16,6 л) и высоким (30,2 л) суточным удоём, соответственно.

Таблица 1 - Сравнение статистических данных по измерениям СКВА и основных параметров молока коров группе 1 (низкий удой), $n=22$

| Параметры, ед.измерений | СКВА-1*, мг/л | СКВА-2*, мг/л | сут. удой, литры | МДЖ, % | МДБи, % | МДБо, % |
|-------------------------|---------------|---------------|------------------|--------|---------|---------|
| Среднее | 13,41 | 24,32 | 16,64 | 4,57 | 4,17 | 4,23 |
| Стандартная ошибка | 0,96 | 0,74 | 1,08 | 0,13 | 0,19 | 0,18 |
| Медиана | 12,43 | 23,81 | 16,00 | 4,57 | 4,26 | 4,32 |
| Стандартное отклонение | 3,19 | 2,45 | 3,59 | 0,42 | 0,64 | 0,58 |
| Дисперсия выборки | 10,16 | 6,01 | 12,85 | 0,17 | 0,41 | 0,34 |
| Экссесс | 9,40 | 0,07 | -0,51 | -0,54 | 2,80 | 2,94 |
| Асимметричность | 3,00 | 0,63 | 0,38 | -0,36 | 0,95 | 0,97 |
| Интервал | 11,04 | 8,30 | 12,00 | 1,30 | 2,47 | 2,27 |
| Минимум | 11,71 | 20,81 | 11,00 | 3,92 | 3,21 | 3,34 |
| Максимум | 22,76 | 29,12 | 23,00 | 5,22 | 5,68 | 5,61 |

*Примечания: *СКВА-1 и СКВА-2 – это величины СКВА до и после пастеризации молока; МДЖ - содержание жира; МДБи и МДБо – содержание белка истинного и общего, соответственно. СКВА1/СКВА2 различия не достоверные, но с тенденция к достоверности полученных данных, при $0,05 < p < 0,1$*

Сравнение этих статистических данных (табл. 1 и 2) показало, что значения СКВА до и после пастеризации увеличиваются от 13,41 мг/л до 24,32 мг/л в молоке коров группы 1 (низкий удой, минимальное значение 11 л, максимальное 23 л, среднее 16,6 л) или от 21,29 мг/л до 25,39 мг/л в молоке коров группы 2 с высоким удоём от 24 до 37 л, среднее значение 30,2 л. Таким образом, относительное увеличение СКВА при пастеризации в молоке коров группы 1 составило 81,36%,

а в группе 2 – 19,26%, что отличается практически в 4 раза. Это может быть связано: 1) с существенными отличия в первоначальных величинах СКВА (до пастеризации) наряду с близкими величинами СКВА после пастеризации; 2) с относительным сужением интервала минимальных и максимальных значений для СКВА в молоке коров группы 1 до и после пастеризации 11,04 мг/л и 8,30 мг/л, тогда как в молоке коров группы 2 - до и после пастеризации 15,78 мг/л и 12,42 мг/л

л. Рассматривая эти данные с другой стороны, становится ясно, что наряду с сужением интервала минимальных и максимальных значений наблюдается увеличением интервала этих значений СКВА группы 2 по сравнению с группой 1.

При этом среднее содержание МДЖ и МДБ в молоке коров стало ниже при увеличении суточного удоя от группы 1 до группы 2: от 4,57% до 3,65% (МДЖ) и от 4,17% до 3,22% (МДБ). Это свидетель-

ствует о том, что организм коровы не в состоянии продуцировать существенно больше жира и белка при увеличении общего (суточного) удоя. Тем не менее общее достоверное увеличение значений СКВА (наряду с уменьшением процентного содержания МДЖ и МДБ) в группе 2 по сравнению с группой 1 объясняется увеличением общего количества БАВ (как жира, так и белка) в группе 2 по сравнению с группой 1.

Таблица 2 - Сравнение статистических данных по измерениям СКВА и основных параметров молока коров группы 2 (высокий удой), n=22

| Параметры, ед.измерений | СКВА-1*, мг/л | СКВА-2*, мг/л | сут. удой, литры | МДЖ, % | МДБи, % | МДБо, % |
|-------------------------|---------------|---------------|------------------|--------|---------|---------|
| Среднее | 21,29 | 25,39 | 30,18 | 3,65 | 3,22 | 3,35 |
| Стандартная ошибка | 1,83 | 1,10 | 1,17 | 0,15 | 0,13 | 0,11 |
| Медиана | 22,94 | 25,57 | 30,59 | 3,56 | 3,22 | 3,35 |
| Стандартное отклонение | 6,34 | 3,83 | 4,06 | 0,53 | 0,44 | 0,39 |
| Дисперсия выборки | 40,14 | 14,64 | 16,51 | 0,28 | 0,20 | 0,15 |
| Экссесс | -1,65 | -0,71 | -0,48 | -0,41 | 0,14 | 0,06 |
| Асимметричность | -0,46 | -0,11 | -0,10 | -0,30 | 0,96 | 0,91 |
| Интервал | 15,78 | 12,42 | 13,00 | 1,72 | 1,32 | 1,19 |
| Минимум | 12,53 | 18,61 | 24,00 | 2,63 | 2,72 | 2,88 |
| Максимум | 28,31 | 31,03 | 37,00 | 4,35 | 4,04 | 4,07 |

Примечания: как в таблице 1. Отличия по удою, МДЖ и МДБ и СКВА 1 (гр1 / гр2) достоверны, $p < 0,01$, СКВА 2 (гр1 / гр2) не достоверны.

Для более краткого и наглядного представления результатов рационально оценить отношение СКВА-1 и СКВА-2 к величине удоя в виде следующих коэффициентов (К): для группы 1) 0,81 (K10) и 1,46 (K11) до и после пастеризации, тогда как для группы 2) 0,71 (K20) и 0,84 (K21), соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается после пастеризации на 80,2% и на 19,3% для групп 1 и 2, соответственно.

Для отношения СКВА к величине МДЖ определили следующие коэффициенты: для группы 1) 2,93 (K12) и 5,32 (K13) до и после пастеризации, тогда как для группы 2) 5,83 (K22) и 6,95 (K23), соответственно. Таким образом, этот ко-

эффициент увеличивается после пастеризации на 81,6% и на 19,4% для групп 1 и 2, соответственно.

Для отношения СКВА к величине МДБи определили следующие коэффициенты: для группы 1) 3,22 (K14) и 5,83 (K15) до и после пастеризации, тогда как для группы 2) 6,61 (K24) и 7,89 (K25), соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается после пастеризации на 81,1% и на 19,3% для групп 1 и 2, соответственно. Для отношения СКВА к величине МДБо определили следующие коэффициенты: для группы 1) 3,17 (K16) и 5,75 (K17) до и после пастеризации, тогда как для группы 2) 6,36 (K26) и 7,58 (K27), соответственно. Таким образом,

этот коэффициент увеличивается после пастеризации на 81,4% и на 19,2% для групп 1 и 2, соответственно.

Это позволяет увидеть реальную динамику изменения К, которая во всех случаях выглядит как увеличение К на 80,2-81,6% и на 19,2-19,4% для групп 1 и 2, соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается в 4 раз больше после пастеризации молока от группы коров с низким удоем (группа 1), чем с

высоким удоем (группа 2), что отражает положительную динамику процессов.

Для более глубокого понимания взаимосвязи СКВА как с величиной удоя, так и с основными компонентами молока (МДЖ и МДБ), нами было проведено формирование еще ряда групп коров. В первую очередь это были группы 3 и 4 с низкой и высокой жирностью молока (табл. 3 и 4).

Таблица 3 – Сравнение статистических данных по измерениям СКВА и основных параметров молока коров группы 3 (низкий МДЖ), n=22

| Параметры, ед.измерений | СКВА-1*, мг/л | СКВА-2*, мг/л | сут. удой, литры | МДЖ, % | МДБи, % | МДБо, % |
|-------------------------|---------------|---------------|------------------|--------|---------|---------|
| Среднее | 19,16 | 25,88 | 27 | 3,50 | 3,33 | 3,45 |
| Стандартная ошибка | 2,08 | 1,16 | 1,89 | 0,14 | 0,19 | 0,17 |
| Медиана | 18,38 | 25,99 | 29,50 | 3,47 | 3,14 | 3,29 |
| Стандартное отклонение | 6,59 | 3,68 | 5,99 | 0,44 | 0,62 | 0,55 |
| Дисперсия выборки | 43,44 | 13,57 | 35,78 | 0,19 | 0,38 | 0,30 |
| Экссесс | -2,12 | -1,58 | -0,15 | 0,15 | -0,65 | -0,67 |
| Асимметричность | 0,17 | 0,09 | -0,99 | -0,80 | 0,82 | 0,79 |
| Интервал | 16,22 | 9,57 | 18 | 1,35 | 1,76 | 1,59 |
| Минимум | 12,08 | 21,46 | 16 | 2,63 | 2,72 | 2,88 |
| Максимум | 28,31 | 31,03 | 34 | 3,98 | 4,48 | 4,47 |

Примечания: как в таблице 1. Достоверность различий СКВА1/СКВА2 3-ей группы находится в зоне неопределённости.

Сравнение этих статистических данных (табл. 3 и 4) показало, что значения СКВА до и после пастеризации увеличиваются от 19,16 мг/л до 25,88 мг/л в молоке коров группы 3 (низкая жирность 3,50%) или от 15,9 мг/л до 24,00 мг/л в молоке коров группы 4 (высокая жирность 4,62%). Таким образом, относительное увеличение СКВА в молоке коров группы 3 составило 35,07%, а в группе 4 – 50,94%, что является достоверным и значимым отличием. Это связано с относительным изменением активности всех БАВ молока (а не только жиров) при

пастеризации. Рассматривая эти данные, с другой стороны, становится ясно сужением интервала минимальных и максимальных значений как по МДЖ, так и по значениям СКВА, в группе 4 по сравнению с группой 3. При этом среднее содержание МДБи и МДБо в молоке коров было выше в группе 4 (4,0% и 4,1%) по сравнению с группой 3 (3,33% и 3,45%), соответственно. Все эти данные хорошо объясняют общее достоверное увеличение значений СКВА в группе 4 по сравнению с группой 3.

Таблица 4 – Сравнение статистических данных по измерениям СКВА и основных параметров молока коров группы 4 (высокий МДЖ), n=22

| Параметры, ед.измерений | СКВА-1*, мг/л | СКВА-2*, мг/л | сут. удой, литры | МДЖ, % | МДБи, % | МДБо, % |
|-------------------------|---------------|---------------|------------------|--------|---------|---------|
| Среднее | 15,85 | 24,00 | 20,42 | 4,62 | 4,00 | 4,07 |
| Стандартная ошибка | 1,81 | 0,81 | 2,40 | 0,09 | 0,20 | 0,19 |
| Медиана | 12,70 | 24,08 | 18,50 | 4,56 | 4,11 | 4,15 |
| Стандартное отклонение | 6,28 | 2,80 | 8,32 | 0,31 | 0,70 | 0,64 |
| Дисперсия выборки | 39,43 | 7,82 | 69,17 | 0,10 | 0,49 | 0,42 |
| Эксцесс | 0,26 | 0,57 | 0,41 | -0,65 | 1,98 | 1,97 |
| Асимметричность | 1,41 | -0,06 | 1,12 | 0,57 | 0,99 | 0,99 |
| Интервал | 16,02 | 10,51 | 26,00 | 0,96 | 2,47 | 2,27 |
| Минимум | 11,71 | 18,61 | 11,00 | 4,26 | 3,21 | 3,34 |
| Максимум | 27,74 | 29,12 | 37,00 | 5,22 | 5,68 | 5,61 |

Примечания: как в таблице 1. Отличия по МДЖ достоверны $p<0,01$; по удою и МДБ 4-ой группы находится в зоне неопределённости; и СКВА 1 (гр3 / гр4) достоверны, $p<0,01$, СКВА 2 (гр3 / гр4) не достоверны.

Таблица 5 – Сравнение статистических данных по измерениям СКВА и основных параметров молока коров в группе 5 (низкий МДБ), n=22

| Параметры, ед.измерений | СКВА-1*, мг/л | СКВА-2*, мг/л | сут. удой, литры | МДЖ, % | МДБи, % | МДБо, % |
|-------------------------|---------------|---------------|------------------|--------|---------|---------|
| Среднее | 22,36 | 26,00 | 29,09 | 3,71 | 3,09 | 3,24 |
| Стандартная ошибка | 1,73 | 0,98 | 1,84 | 0,19 | 0,08 | 0,07 |
| Медиана | 23,40 | 25,75 | 31,00 | 3,48 | 3,21 | 3,34 |
| Стандартное отклонение | 5,74 | 3,26 | 6,09 | 0,64 | 0,26 | 0,24 |
| Дисперсия выборки | 32,96 | 10,63 | 37,09 | 0,41 | 0,07 | 0,06 |
| Эксцесс | -1,10 | -1,19 | 0,11 | -0,75 | -1,85 | -1,70 |
| Асимметричность | -0,76 | 0,31 | -0,86 | 0,01 | -0,11 | -0,11 |
| Интервал | 14,84 | 9,57 | 20,00 | 2,12 | 0,68 | 0,65 |
| Минимум | 13,47 | 21,46 | 17,00 | 2,63 | 2,72 | 2,88 |
| Максимум | 28,31 | 31,03 | 37,00 | 4,75 | 3,40 | 3,53 |

Примечания: как в таблице 1. Достоверность различий СКВА1/СКВА2 5-ой различия не достоверные, но с тенденция к достоверности полученных данных, при $0,05<p<0,1$.

Таблица 6 – Сравнение статистических данных по измерениям СКВА и основных параметров молока коров в группе 6 (высокий МДБ), n=22

| Параметры, ед.измерений | СКВА-1*, мг/л | СКВА-2*, мг/л | сут. удой, литры | МДЖ, % | МДБи, % | МДБо, % |
|-------------------------|---------------|---------------|------------------|--------|---------|---------|
| Среднее | 12,34 | 23,72 | 17,73 | 4,51 | 4,31 | 4,34 |
| Стандартная ошибка | 0,16 | 0,92 | 1,47 | 0,13 | 0,15 | 0,14 |
| Медиана | 12,43 | 23,78 | 16,00 | 4,54 | 4,26 | 4,32 |
| Стандартное отклонение | 0,51 | 3,04 | 4,88 | 0,44 | 0,49 | 0,45 |
| Дисперсия выборки | 0,27 | 9,25 | 23,82 | 0,20 | 0,24 | 0,20 |
| Эксцесс | -1,46 | -0,21 | -1,02 | -1,10 | 7,29 | 7,33 |
| Асимметричность | 0,17 | 0,20 | 0,51 | -0,03 | 2,51 | 2,51 |
| Интервал | 1,44 | 10,51 | 15,00 | 1,30 | 1,78 | 1,65 |
| Минимум | 11,71 | 18,61 | 11,00 | 3,92 | 3,90 | 3,96 |
| Максимум | 13,15 | 29,12 | 26,00 | 5,22 | 5,68 | 5,61 |

Примечания: как в таблице 1. Отличия по удою, МДЖ, МДБ и СКВА 1 (гр 5 / гр 6) достоверны $p < 0,01$; неопределённости; и СКВА 1 (гр5 / гр6) достоверны, $p < 0,01$, СКВА 2 (гр 5 / гр 6) не достоверны.

Теперь оценим отношения СКВА-1 и СКВА-2 к величине удоя в виде следующих коэффициентов (К): группы 3) 0,71 (K30) и 0,96 (K31) до и после пастеризации, тогда как для группы 4) 0,78 (K40) и 1,18 (K41), соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается после пастеризации 35,2% и на 51,3% для групп 3 и 4, соответственно.

Для отношения СКВА к величине МДЖ определили следующие коэффициенты: для группы 3) 5,47 (K32) и 7,39 (K33) до и после пастеризации, тогда как для группы 4) 3,43 (K42) и 5,19 (K43), соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается после пастеризации на 35,1% и на 51,3% для групп 3 и 4, соответственно.

Для отношения СКВА к величине МДБи определили следующие коэффициенты: для группы 3) 5,75 (K34) и 7,77 (K35) до и после пастеризации, тогда как для группы 4) 3,96 (K44) и 6,00 (K45), соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается после пастеризации на 35,1% и на 51,5% для групп 3 и 4, соответственно.

Для отношения СКВА к величине МДБо определили следующие коэффициенты: для группы 1) 5,55 (K44) и 7,50 (K45) до и после пастеризации, тогда как для группы 2) 3,89 (K44) и 5,90 (K45), соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается после пастеризации на 35,1% и на 51,7% для групп 3 и 4, соответственно.

Это позволяет увидеть реальную динамику изменения К, которая во всех случаях выглядит как увеличение К на 35,1-35,2% и на 51,3-51,7% для групп 3 и 4, соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается почти в 1,5 раза больше после пастеризации молока от группы коров с низким МДЖ (группа 3), чем с высоким МДЖ (группа 4), что отражает положительную динамику процессов.

Для более понимания взаимосвязи СКВА не только с величинами МДБо и МДБи, нами было проведено формирование групп 5 и 6 с низкой и высокой белкостью молока (табл. 5 и 6).

Сравнение этих статистических данных (табл. 5 и 6) показало, что значения СКВА до и после пастеризации изменяются мало от 22,36 мг/л до 26,00 мг/л в молоке коров группы 5 (3,09% и 3,24%) или значительно от 12,34 мг/л до 23,72 мг/л в молоке коров группы 6 (4,31% или 4,34%), МДБи и МДБо, соответственно. Таким образом, относительное увеличение СКВА в молоке коров группы 5 составило 16,28%, а в группе 6 – 92,22%, что почти в 5,7 раза больше. Это может быть связано с относительным увеличением интервала минимальных и максимальных значений для СКВА в молоке коров группы 6 до и после пастеризации по сравнению с группой 5 (до и после пастеризации).

При оценке отношения СКВА к величине удоя получены следующие коэффициенты (K): для группы 5) 0,77 (K50) и 0,90 (K51) до и после пастеризации, тогда как для группы 6) 0,70 (K60) и 1,34 (K61), соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается после пастеризации на 16,9% и на 91,4% для групп 5 и 6, соответственно.

Для отношения СКВА к величине МДЖ определили следующие коэффициенты: для группы 5) 6,03 (K52) и 7,01 (K53) до и после пастеризации, тогда как для группы 6) 2,74 (K62) и 5,26 (K63), соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается после пастеризации на 16,3% и на 92,0% для групп 5 и 6, соответственно.

Для отношения СКВА к величине МДБи определили следующие коэффициенты: для группы 5) 7,24 (K54) и 8,41 (K55) до и после пастеризации, тогда как для группы 6) 2,86 (K64) и 5,50 (K65), соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается после пастеризации на 16,2% и на 92,2% для групп 5 и 6, соответственно. Для отношения СКВА к величине МДБо определили следующие коэффициенты: для группы 5) 6,90 (K56) и 8,02 (K57) до и после пастеризации, тогда как для группы 6) 2,84 (K66) и 5,47 (K67), соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается после

пастеризации на 14,0% и на 92,4% для групп 5 и 6, соответственно.

Это позволяет увидеть реальную динамику изменения K, которая во всех случаях выглядит как увеличение K на 14,0-16,9% и на 91,4-92,4% для групп 5 и 6, соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается в 6 раз после пастеризации молока от группы коров с высоким содержанием белка (как истинного, так и общего) (группа 6), чем с низким (группа 5), что отражает положительную динамику процессов.

Отличия значений СКВА в пастеризованных образцах молока по сравнению с контролем связаны, по нашему мнению, с определённой денатурацией части белков и окисления части жиров молока, что делает ряд функциональных групп белков и липидов молока более доступными для фиксации методом СКВА.

Стоит отметить то факт, что при определении общего белка в молоке методом инфракрасной спектроскопии учитывается весь белок, который присутствует в пробе, включая белок из разрушенных соматических клеток. Анализ молока с помощью системы «Combi Foss 7» (Дания) основан на измерении спектров поглощения инфракрасного излучения, который зависит от общего содержания белков в образце молока, не зависимо от их происхождения. Учитывая этот факт при интерпретации полученных нами результатов, можно предположить, что увеличение содержания соматических клеток повысит показатель общего белка, который становится более доступным после термической обработки молока и вносит свой вклад в антиоксидантную ёмкость молока.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Таким образом, увеличение значений СКВА в пастеризованных образцах молока по сравнению с контролем является значительным и достоверным во всех группах. Причем, после пастеризации молока показатель СКВА имеет небольшой предел колебания (при сравнении всех шести групп) и составляет всего 9,6% между наименьшими и наибольшими

ми значениями СКВА по всем исследуемым группам. Тогда как в образцах молока до пастеризации этот исходный показатель проявляет вариабельность до 81,2%. Таким образом, высокотемпературная пастеризация молока приводит не только к возрастанию показателей СКВА (вне зависимости от исходных показателей СКВА молока), но и стабилизирует эти значения, что важно для практического использования этого подхода наряду со всеми другими факторами (качество, увеличение срока годности молока и т.п.). При распределении проб молока по принципу продуктивности выявлена тенденция к большему количеству жира и белка в группе с меньшим удоем (11-23 л), что сопоставимо к классической биохимической картиной молока многих пород коров. При этом СКВА молока у коров с высоким удоем (24-37 л) в среднем больше на 37%. При распределении проб молока по принципу жирности выявлена тенденция к большему количеству удоя при меньшем количестве жира (2,6-4%) и белка, при этом СКВА молока коров с низкой жирностью в среднем больше на 17%, чем у группы с высокой (4,2-5,3%). При распределении проб молока по количеству белка выявлена тенденция к большему количеству удоя и жира при меньшем количестве белка (2,8-3,5%), при этом СКВА молока коров с меньшим содержанием белка в среднем больше на 45%, чем у группы с большим количеством белка (4,0-5,6 %). Полученные данные по увеличению значений СКВА хорошо совпадают с повышенными органолептическими свойствами молока и увеличением длительности хранения образцов. Таким образом, можно рекомендовать диапазон средних значений СКВА молока после пастеризации (от 22 до 26 мг/л) как «референсный» для практического использования.

RELATIONSHIPS BETWEEN ANTIOXIDANT ACTIVITY AND THE MAJOR PARAMETERS OF HOLSTEIN COW MILK DURING ITS PASTEURIZATION

Savina A.A. – Researcher of the Analytical Biochemistry Group (ORCID 0000-0257-1643); **Zaitsev S. Yu.** * – Doctor of Chemical Sciences, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Head of the Analytical Biochemistry Group (ORCID 0000-0003-1533-8680); **Voronina O.A.** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Analytical Biochemistry Group (ORCID 0000-0002-6774-4288)

Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst

* s.y.zaitsev@mail.ru

Financing: *The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of the state assignment (EGISU registration number of the research topic FGGN-2024-0016).*

ABSTRACT

Milk is a very important food product for humans and young animals of some farm animals. The aim of the work is to comparatively study such an integral indicator as the total amount of water-soluble antioxidants (TAWSA) before and after pasteurization of milk of Holstein cows with the analysis of details of these changes and comparison with the biochemical profile. The pasteurization studies were carried out according to industrial technological regulations (at 72°C for 15 seconds) with milk samples of cows of the Ladozhskoye breeding farm. Each of the 6 formed groups included 22 heads of cows, which is enough for statistical analysis. A significant increase in TAWSA values was found in pasteurized milk samples to the maximum values of 24.3 mg/l in group 1 (avg. milk yield 16.6 l) and 25.4 mg/l in group 2 (avg. milk yield 30.2 l); up to 25.9 mg/l in group 3 (MDF 3.50%) and 24.0 mg/l in group 4 (MDF 4.62%); up to 26.0 mg/l in group 5 (MDPt and MDPg 3.09% and 3.24%) and 23.7 mg/l in group 6 (MDPt and MDPg 4.31% and 4.34%) compared to the control before pasteurization. These significant differences are associated (both in our

opinion and according to literature data) with a certain degree of protein denaturation and oxidation of milk lipids, which makes a number of functional groups of these milk components more accessible to oxidation-reduction processes recorded by the amperometric method as TAWSA. The range of average SCWA values of milk after pasteurization (from 22 to 26 mg/l) can serve as a "reference" interval for practical use. Thus, the analysis of TAWSA changes during pasteurization of cow's milk indicates that the antioxidant activity of milk increases significantly after pasteurization. This is a positive trend for practice in terms of high milk quality after its traditional processing.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зайцев С.Ю., Воронина О.А., Колесник Н.С., Сивкина О.Н., Сермягин А.А., Осадчая О.Ю. Биохимические и физико-химические методы исследования молока коров. Монография. — Дубровицы: ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2024. — 396 с.
2. Зайцев, С.Ю. Биологическая химия: от биологически активных веществ до органов и тканей животных: монография. / С.Ю. Зайцев — Москва: ЗАО «Капитал Принт», 2017. — 517 с.
3. Богатова О. В., Догарева Н. Г. Химия и физика молока // Оренбург: ГОУ ОГУ. 2004. — 137 с.
4. Харитонов Е.Л. Физиология и биохимия питания молочного скота / Е. Харитонов // Боровск: Оптима Пресс. — 2011. — 372 с.
5. Зайцев, С.Ю. Антиоксидантная активность молока: методич. пособие / С.Ю. Зайцев. — Дубровицы: ФГБНУ ФНЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста. 2022. — 56 с.
6. Горбатова, К.К. Биохимия молока и молочных продуктов / К.К. Горбатова, П.И. Гунькова. 4-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Гиорд, 2010. — 330 с.
7. Твердохлеб, Г.В. Химия и физика молока и молочных продуктов / Г.В. Твердохлеб, Р.И. Раманаскас. — М.: ДеЛипринт, 2006. — 260 с.
8. Stobiecka, M. Antioxidant activity of milk and dairy products/ M. Stobiecka, J. Król, A. Brodziak // *Animals*. — 2022. — V. 12. — №. 3. — P. 245.
9. Malaka, R. Evaluation of the potential of matoa (*Pometia pinnata*) leaf extract as an antioxidant activity in pasteurized milk / Malaka R. et al. // *Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, and Culinary Journal*. — 2023. — P. 100-118.
10. Zhou, X. Evaluating the total antioxidant capacity of processed milk: utilising applicable antioxidant assays and key antioxidant components / Zhou X. et al. // *International Journal of Food Science & Technology*. — 2024. — V. 59. — №. 3. — P. 1351-1362.
11. Савина А.А. Активность каталазы в молоке и ее корреляции с молочной продуктивностью коров в зависимости от срока лактации / Савина А.А., Воронина О.А., Зайцев С.Ю. // *Аграрная наука*. — 2024. — Т. 1. — №. 8. — С. 118-123. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-118-123>
12. Савина, А.А. Изменение количества водорастворимых антиоксидантов в молоке коров утренней и вечерней дойки / Савина А.А., Воронина О.А., Зайцев С.Ю. // *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. — 2024. — №9, — С. 116-122. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202409012>
13. Voronina, O.A. Seasonal changes in the antioxidant activity and biochemical parameters of goat milk / Voronina O.A., Zaitsev S.Y., Savina A.A., Rykov R.A., Kolesnik N.S. // *Animals*. — 2023. — Т. 13. — №. 10. — С. 1706. <https://doi.org/10.3390/ani13101706>
14. Zaitsev, S.Yu. Comparative Study of the Water-Soluble Antioxidants in Fodder Additives and Sheep Blood Serum by Amperometric and Biochemical Methods / Zaitsev S.Yu., Savina A.A., Volnin A.A., Voronina O.A., Bogolyubova N.V. // *Animals*, 2020, v.10, N.7, 1186. <https://doi.org/10.3390/ani10071186>
15. Молоко: состояние и проблемы производства / В.И. Трухачев и др. — СПб.: Издательство «Лань», 2018. — 300 с.
16. Deeth, H.C. Heat-induced inactivation of enzymes in milk and dairy products. A review / Deeth H.C. // *International Dairy*

Journal. – 2021. – V. 121. – P. 105104.

17. Van den Oever S.P. Analytical assessment of the intensity of heat treatment of milk and dairy products / van den Oever S.P., Mayer H.K. // *International Dairy Journal*. – 2021. – V. 121. – P. 105097.

18. Донская Г. А., Дрожжин В. М. Влияние теплового воздействия на антиокислительные свойства молока // *Сыроделие и маслоделие*. – 2021. – №. 4. – С. 53-54.

19. Балакирева, Ю.В. Изменение антиоксидантной активности молока при пастеризации. / Балакирева, Ю.В., Ахмадуллина, Ф.Ю., Лапин, А.А., Каримова Ф.Г. // *Молочная промышленность*. – 2010. – №. 9. – С. 74-74.

20. Балакирева, Ю.В. Изучение антиоксидантной ёмкости коровьего и козьего молока. / Балакирева, Ю.В., Ахмадуллина, Ф.Ю., Лапин, А.А. // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2009. – №. 1. – С. 56-59.

REFERENCES

1. Zaitsev S.Yu., Voronina O.A., Kolesnik N.S., Sivkina O.N., Sermyagin A.A., Osadchaya O.Yu. Biochemical and physicochemical methods for studying cow's milk. Monograph. - Dubrovitsy: FGBNU FRC VIZh named after L.K. Ernst, 2024. - 396 p.

2. Zaitsev, S.Yu. Biological chemistry: from biologically active substances to animal organs and tissues: monograph. / S.Yu. Zaitsev - Moscow: ZAO "Capital Print", 2017. - 517 p.

3. Bogatova O.V., Dogareva N.G. Chemistry and physics of milk // Orenburg: State Educational Institution OSU. 2004. - 137 p.

4. Kharitonov E.L. Physiology and biochemistry of dairy cattle nutrition / E. Kharitonov // Borovsk: Optima Press. - 2011. - 372 p.

5. Zaitsev, S.Yu. Antioxidant activity of milk: methodological manual / S.Yu. Zaitsev. - Dubrovitsy: FGBNU FNTs VIZh im. L.K. Ernst. 2022. - 56 p.

6. Gorbatoва, K.K. Biochemistry of milk and dairy products / K.K. Gorbatoва, P.I. Gunkova. 4th ed., revised. and additional - St. Petersburg: Giord, 2010. - 330 p.

7. Tverdokhleб, G.V. Chemistry and physics

of milk and dairy products / G.V. Tverdokhleб, R.I. Ramanaskas. – M.: DeLiprint, 2006. – 260 p.

8. Stobiecka, M. Antioxidant activity of milk and dairy products/ M. Stobiecka, J. Król, A. Brodziak // *Animals*. – 2022. – V. 12. – No. 3. – P. 245.

9. Malaka, R. Evaluation of the potential of matoa (*Pometia pinnata*) leaf extract as an antioxidant activity in pasteurized milk / Malaka R. et al. // *Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, and Culinary Journal*. – 2023. – P. 100-118.

10. Zhou, X. Evaluating the total antioxidant capacity of processed milk: utilizing applicable antioxidant assays and key antioxidant components / Zhou X. et al. // *International Journal of Food Science & Technology*. – 2024. – V. 59. – No. 3. – P. 1351-1362.

11. Savina A.A. Catalase activity in milk and its correlation with milk productivity of cows depending on the lactation period / Savina A.A., Voronina O.A., Zaitsev S.Yu. // *Agrarian science*. – 2024. – V. 1. – No. 8. – P. 118-123. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-118-123>

12. Savina, A.A. Changes in the amount of water-soluble antioxidants in the milk of cows milked in the morning and evening / Savina A.A., Voronina O.A., Zaitsev S.Yu. // *Veterinary science, zootechnics and biotechnology*. - 2024. - No. 9, - P. 116-122. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202409012>.

13. Voronina, O.A. Seasonal changes in the antioxidant activity and biochemical parameters of goat milk / Voronina O.A., Zaitsev S.Y., Savina A.A., Rykov R.A., Kolesnik N.S. // *Animals*. - 2023. - T. 13. - No. 10. - P. 1706. <https://doi.org/10.3390/ani13101706>

14. Zaitsev, S.Yu. Comparative Study of the Water-Soluble Antioxidants in Fodder Additives and Sheep Blood Serum by Amperometric and Biochemical Methods / Zaitsev S.Yu., Savina A.A., Volnin A.A., Voronina O.A., Bogolyubova N.V. // *Animals*, 2020, v.10, N.7, 1186. <https://doi.org/10.3390/ani10071186>

15. Milk: state and production issues / V.I. Trukhachev et al. - St. Petersburg: Lan Publishing House, 2018. - 300 p.

16. Deeth, H.C. Heat-induced inactivation of

enzymes in milk and dairy products. A review / Deeth H.C. // *International Dairy Journal*. – 2021. – V. 121. – P. 105104.

17. Van den Oever S.P. Analytical assessment of the intensity of heat treatment of milk and dairy products / van den Oever S.P., Mayer H.K. // *International Dairy Journal*. – 2021. – V. 121. – P. 105097.

18. Donskaya G. A., Drozhzhin V. M. Influence of heat exposure on the antioxidant properties of milk // *Cheese and butter making*. – 2021. – No. 4. – P. 53-54.

19. Balakireva, Yu.V. Changes in the antioxidant activity of milk during pasteurization. / Balakireva, Yu.V., Akhmadullina, F.Yu., Lapin, A.A., Karimova F.G. // *Dairy industry*. – 2010. – No. 9. – P. 74-74.

20. Balakireva, Yu.V. Study of antioxidant capacity of cow and goat milk. / Balakireva, Yu.V., Akhmadullina, F.Yu., Lapin, A.A. // *Bulletin of Kazan Technological University*. – 2009. – No. 1. – P. 56-59.