

*А.А. Подрябинкина, Л.Л. Богданова, к.т.н., И.А. Богданов
Институт мясо-молочной промышленности, Минск, Республика Беларусь*

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛООВОГО И КИСЛОТНОГО ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕРМОКИСЛОТНОЙ КОАГУЛЯЦИИ БЕЛКОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МЯГКИХ СЫРОВ

*A. Podryabinkina, L. Bahdanava, I. Bahdanau
Institute for Meat and Dairy Industry, Minsk, Republic of Belarus*

STUDYING THE INFLUENCE OF THERMAL AND ACIDIC FACTORS ON EFFICIENCY OF THERMOACID COAGULATION OF PROTEINS IN THE PRODUCTION OF SOFT CHEESES

e-mail: alina.podryabinkina@mail.ru, bogdanova_ll@tut.by, ibogdanov08@gmail.com

В статье представлены результаты исследований по изучению влияния теплового и кислотного факторов на эффективность термокислотной коагуляции белков при изготовлении мягких сыров. Определено, что наибольшая эффективность коагуляции достигается при использовании коагулянтов с активной кислотностью $(2.37 \pm 0,02)$ ед. рН.

Установлены оптимальные температуры коагуляции для изученных видов коагулянтов. Также в ходе работы была установлена зависимость органолептических характеристик сыра от вида коагулянта.

The article presents the results of research to study the influence of thermal and acidic factors on the efficiency of thermoacid coagulation of proteins in the production of soft cheeses. It was determined that the greatest efficiency of coagulation is achieved when using coagulants with an active acidity of $(2.37 \pm 0,02)$ units. The optimal coagulation temperatures for the studied types of coagulants have been determined. Also, in the course of the work, the dependence of the organoleptic characteristics of the cheese on the type of coagulant was established.

Ключевые слова: термокислотная коагуляция; коагулянт; сыворотка подсырная; сыр; молочная кислота; лимонная кислота.

Keywords: thermoacid coagulation; coagulant; cheese whey; cheese; lactic acid; citric acid.

Введение. На современном этапе развития молочной промышленности все большее внимание уделяется повышению содержания в молочных продуктах белка. Это связано с проблемой дефицита белка в рационе человека [1,2]. В современном ритме жизни люди предпочитают не тратить время на приготовление пищи, часто употребляют высококалорийные продукты, которые быстро восполняют запас энергии. Данные продукты, как правило, содержат в себе большое количество быстрых углеводов и жиров, но обладают низкой биологической ценностью ввиду малого содержания белков. Систематическое употребление таких продуктов является одной из причин появления избыточной массы тела у значительной части населения планеты, что способствует развитию серьезных заболеваний. Одним из путей решения данной проблемы является увеличение доли молочных продуктов в повседневном рационе. Сыры занимают важное место среди продуктов питания, объясняется это как их биологической ценностью, так и хорошими органолептическими характеристиками. Для производства сыров используются различные способы свертывания молока. Наиболее распространенными являются сычужная и кислотно-сычужная коагуляция. Они достаточно хорошо исследованы и описаны в литературе [3].

Термокислотная коагуляция является одним из возможных способов выработки белковых продуктов. По сравнению с сычужным способом коагуляции, термокислотный способ имеет ряд преимуществ, наиболее значимым является то, что данный способ получения молочного сгустка характеризуется высокой степенью извлечения белков из молочного сырья за счёт осаждения не только казеина, но и большого количества сывороточных белков [4, 5]. Сывороточные белки имеют сбалансированный аминокислотный состав, следовательно, продукты, полученные на основе термокислотной коагуляции, обладают высокой биологической ценностью. Данный способ достаточно прост в исполнении, не требует наличия на предприятии дорогостоящего оборудования, молокосвертывающих ферментов, соляных бассейнов, камер созревания и пр. [6]. Кроме того, высокотемпературная тепловая обработка позволяет использовать в производстве сырье более широкого диапазона, чем при выработке сыров по традиционным технологиям. Существующие на сегодняшний день технологии производства сыров на основе термокислотной коагуляции белков молока включают ряд общих операций, однако применяемые в них технологические режимы заметно отличаются друг от друга. В связи с этим возникает необходимость детального анализа процесса, влияния различных температур, а также возможного влияния пищевых кислот на эффективность коагуляции белков.

Цель исследований – изучение влияния теплового и кислотного факторов на эффективность термокислотной коагуляции белков молока в ходе изготовления мягких сыров.

Материалы и методы исследований. Изучение влияния теплового и кислотного факторов на эффективность термокислотной коагуляции белков при изготовлении мягких сыров осуществлялось путем проведения выработок экспериментальных образцов по технологии сыра и дальнейшего анализа физико-химических показателей в лаборатории технологий сыроделия и маслоделия и производственно-испытательной лаборатории РУП «Институт мясо-молочной промышленности» с использованием стандартных методов.

Выход белковых продуктов определяли по формуле 1:

$$V_{\text{пр}} = \frac{M_{\text{гпр}}}{M_{\text{см}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $V_{\text{пр}}$ – выход продукта, %;

$M_{\text{гпр}}$ – масса готового продукта, г;

$M_{\text{см}}$ – масса исходной смеси, г.

Степень использования сухих веществ определяли по формуле 2:

$$SI_{\text{св}} = \frac{M_{\text{гпр}} \cdot СВ_{\text{гпр}}}{M_{\text{см}} \cdot СВ_{\text{см}}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $SI_{\text{св}}$ – степень использования сухих веществ, %;

$СВ_{\text{гпр}}$ – массовая доля сухих веществ в готовом продукте, %;

$СВ_{\text{см}}$ – массовая доля сухих веществ в исходном молоке, %.

Степень использования белка и жира определяли аналогично степени использования сухих веществ по формуле 2.

Результаты и их обсуждение. В ходе работы были проведены выработки экспериментальных образцов термокислотных сыров, при их изготовлении варьировали температуру коагуляции, вид коагулянта и его активную кислотность. В качестве сырья использовали молоко, нормализованное по жиру, в качестве коагулянтов выбраны: предварительно ферментированная путём внесения закваски чистых культур *Lactobacillus helveticus* сыворотка подсырная, лимонная и молочная

кислоты, а также сыворотка, подкисленная лимонной кислотой, и сыворотка, подкисленная молочной кислотой.

Использование пищевых кислот имеет ряд преимуществ перед сывороткой из-за возможности регулировать их концентрацию и добавлять заранее рассчитанное количество, времени на подготовку коагулянта уходит гораздо меньше, а также это позволит избежать проблем с недостаточным нарастанием кислотности сыворотки, позволит ускорить и удешевить технологический процесс.

В первой серии выработок коагулянта использовали с активной кислотностью – $(3,37 \pm 0,02)$ ед. рН, во второй – $(2,37 \pm 0,02)$ ед. рН. Коагуляцию белков молока проводили при 80°C , 86°C , 92°C .

Основные физико-химические показатели используемой молочной смеси для обеих серий выработок соответственно: плотность – $1028,5 \text{ г/м}^3$; $1028,0 \text{ г/м}^3$, массовая доля сухих веществ $11,29\%$; $11,67\%$, массовая доля жира – $2,6\%$; $2,6\%$, массовая доля белка – $3,2\%$; $3,2\%$, титруемая кислотность – 17°T ; 16°T , активная кислотность – $6,73$ ед. рН; $6,77$ ед.рН. При проведении исследований определяли физико-химические показатели полученных сыров, данные представлены в таблице 1.

Анализ полученных данных показал, что при использовании ферментированной молочной сыворотки и раствора лимонной кислоты с активной кислотностью $(3,37 \pm 0,02)$ ед. рН с увеличением температуры коагуляции с 80°C до 86°C повышается её эффективность: массовая доля сухих веществ в продукте увеличивается на $2,64\%$ и $2,42\%$ соответственно. При дальнейшем повышении температуры с 86°C до 92°C наблюдается понижение содержания сухих веществ на $0,19\%$ и $6,18\%$ соответственно. При использовании водного раствора молочной кислоты эффективность коагуляции изменяется незначительно.

Таблица 1 – Физико-химические показатели термокислотных сыров

Вид коагулянта	Активная кислотность коагулянта									
	$(3,37 \pm 0,02)$ ед. рН					$(2,37 \pm 0,02)$ ед. рН				
	Активная кислотность ед. рН	Массовая доля, %				Активная кислотность ед. рН	Массовая доля, %			
		сухих веществ	жира	белка	влаги		сухих веществ	жира	белка	влаги
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Температура коагуляции 80°C										
Молочная сыворотка	5,47	35,41	16,1	14,1	64,59	5,83	43,25	17,60	20,30	56,75
Лимонная кислота	5,83	37,04	15,4	18,9	62,96	5,80	43,74	14,70	22,00	56,26
Сыворотка, подкисленная лимонной кислотой	н/опр					5,00	42,04	18,30	23,50	57,96
Молочная кислота	6,05	34,79	16,9	16,3	65,21	6,14	39,81	13,90	17,80	60,19
Сыворотка, подкисленная молочной кислотой	н/опр					5,83	39,08	15,40	20,00	60,92

Продолжение таблицы 1

1	2					3	4	5	6	7
Температура коагуляции 86°C										
Молочная сыворотка	5,97	38,05	22,0	14,0	61,96	5,84	37,85	15,40	19,90	62,15
Лимонная кислота	5,81	39,46	17,6	15,3	60,54	5,95	40,27	15,40	19,60	59,73
Сыворотка, подкисленная лимонной кислотой	н/опр					5,32	41,08	18,30	17,30	58,92
Молочная кислота	6,18	36,75	16,9	16,0	63,26	6,22	39,15	15,40	17,30	60,85
Сыворотка, подкисленная молочной кислотой	н/опр					5,93	36,14	16,10	18,90	63,86
Температура коагуляции 92°C										
Молочная сыворотка	5,98	37,86	17,6	18,8	62,14	5,79	38,06	16,90	18,90	61,94
Лимонная кислота	5,78	33,28	16,9	11,8	66,73	6,10	36,27	16,10	19,80	63,73
Сыворотка, подкисленная лимонной кислотой	н/опр					5,34	43,48	16,10	20,20	56,52
Молочная кислота	6,07	35,46	17,6	16,1	64,54	6,25	42,76	14,70	19,50	57,24
Сыворотка, подкисленная молочной кислотой	н/опр					5,75	37,76	14,70	20,10	62,24

Источник данных: собственная разработка.

Установлено, что в случае использования коагулянтов с активной кислотностью ($2,37 \pm 0,02$) ед. рН при повышении температуры коагуляции с 80°C до 86°C массовая доля влаги увеличивается во всех образцах независимо от вида коагулянта, наиболее значительный прирост наблюдается в образце, выработанном с использованием ферментированной молочной сыворотки. Видно, что при использовании в качестве коагулянта водного раствора молочной кислоты с повышением температуры коагуляции с 80°C до 86°C массовая доля влаги в сыре увеличивается на 0,66% и составляет 60,85%, что является наиболее приближенным значением среди всех коагулянтов к стандартной для мягких сыров массовой доле влаги. При дальнейшем повышении температуры с 86°C до 92°C наблюдается увеличение содержания белка в готовом продукте на 2,2%.

При использовании в качестве коагулянта водного раствора лимонной кислоты эффективность коагуляции увеличивается с повышением температуры коагуляции с 80°C до 86°C, т.к. массовая доля жира увеличивается на 0,70%, однако, следует отметить, что при этом содержание белка в продукте снижается на 2,4%. При повышении температуры с 86°C до 92°C происходит дальнейшее повышение содержания жира в продукте на 0,70%, а также повышение содержания белка на 0,20%. Кроме того, массовая доля влаги в сырах сыров увеличивается до 63,73%.

При использовании в качестве коагулянта молочной сыворотки, подкисленной лимонной и молочной кислотами, то с повышением температуры коагуляции с 80°C до 86°C массовая доля сухих веществ в продукте уменьшается на 0,96% и 2,94%

соответственно. При дальнейшем повышении температуры с 86°C до 92°C изменение эффективности коагуляции незначительно.

На рисунке 1 представлены зависимости выхода сыров от вида коагулянта и температуры коагуляции.

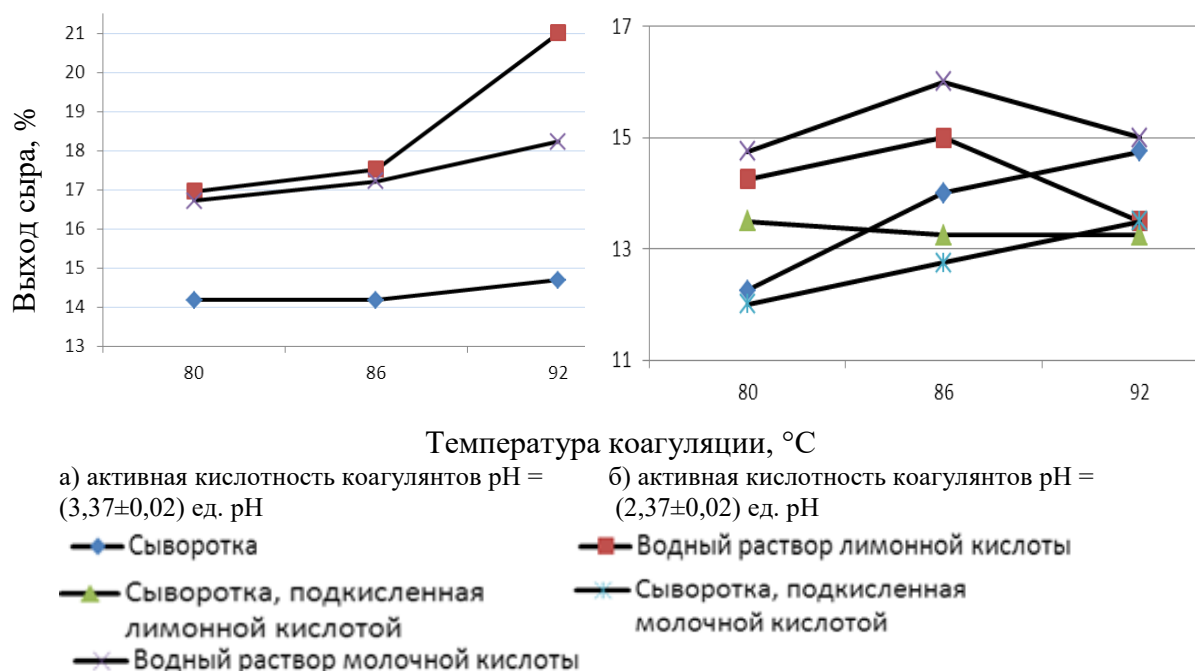


Рисунок 1 – Динамика изменения выхода термокислотного сыра
Источник данных: собственная разработка.

Из рисунка 1а следует, что при использовании коагулянтов с рН = (3,37±0,02) ед. рН максимальный выход продукта достигается при температуре коагуляции равной 92°C. Также следует отметить, что выход сыров больше на 2,53% – 6,24% при использовании в качестве коагулянтов водных растворов лимонной и молочной кислот. Наибольший выход продукта – 21,01% – получен при использовании водного раствора лимонной кислоты и температуры коагуляции 92°C.

Из рисунка 1б видно, что при повышении температуры коагуляции с 80°C до 86°C выход сыра увеличивается независимо от вида коагулянта практически во всех опытных образцах на 0,25% – 1,75%, исключением является образец, выработанный с использованием молочной сыворотки, подкисленной лимонной кислотой, в котором выход уменьшился примерно на 1,85%. При повышении температуры коагуляции с 86°C до 92°C выход сыра увеличился на 0,75% в образцах, выработанных с использованием ферментированной сыворотки и сыворотки, подкисленной молочной кислотой. Наибольший выход продукта – 16% – получен при использовании молочной кислоты и температуры коагуляции 86°C.

С целью объективной оценки параметров коагуляции изучены показатели технологического процесса, характеризующие материальный баланс и степень использования составных частей молока. Данные представлены в таблице 2.

Результаты, представленные в таблице 2, подтверждают сделанные ранее выводы: при использовании в качестве коагулянта ферментированной молочной сыворотки (3,37±0,02) ед. рН степень использования белка и, соответственно, эффективность коагуляции пропорционально повышается с увеличением

температуры. В то же время степень использования жира с повышением температуры коагуляции с 86°C до 92°C снижается на 3,3%.

Таблица 2 – Материальный баланс процесса термокислотной коагуляции

Вид коагулянта	Активная кислотность коагулянта					
	(3,37±0,02) ед. рН			(2,37±0,02) ед. рН		
	Степень использования, %					
	сухих веществ	жира	белка	сухих веществ	жира	белка
Температура коагуляции 80 °С						
1	2	3	4	5	6	7
Молочная сыворотка	44,465	96,755	76,776	45,400	96,703	87,059
Лимонная кислота	55,649	96,782	92,087	53,410	96,812	88,566
Сыворотка, подкисленная лимонной кислотой	н/опр			48,632	96,682	88,456
Молочная кислота	51,488	93,413	94,915	50,317	93,655	86,270
Сыворотка, подкисленная молочной кислотой	н/опр			40,185	93,522	88,464
Температура коагуляции 86 °С						
Молочная сыворотка	47,781	96,593	87,500	45,407	96,782	85,444
Лимонная кислота	61,231	96,703	89,849	51,761	96,782	85,480
Сыворотка, подкисленная лимонной кислотой	н/опр			46,642	96,682	87,156
Молочная кислота	56,037	93,413	97,484	53,676	93,522	88,233
Сыворотка, подкисленная молочной кислотой	н/опр			39,485	93,469	87,215
Температура коагуляции 92 °С						
Молочная сыворотка	49,240	93,369	92,095	48,105	93,413	89,121
Лимонная кислота	61,940	96,726	92,989	41,958	96,755	90,122
Сыворотка, подкисленная лимонной кислотой	н/опр			49,367	96,755	82,898
Молочная кислота	57,251	93,369	94,929	54,961	93,581	84,385
Сыворотка, подкисленная молочной кислотой	н/опр			43,681	93,581	84,586

Источник данных: собственная разработка.

Самая высокая эффективность коагуляции достигается при использовании в качестве коагулянтов водных растворов лимонной и молочной кислот, причем повышение температуры коагуляции до 86°C является достаточным. В первом случае достигается самая высокая степень использования сухих веществ – более 61%, во втором – одного из наиболее важных нутриентов – молочного белка (от 94,9% до 97,5%).

Также исследованы образцы подсырной сыворотки. Из полученных результатов следует, что для всех видов коагулянтов (3,37±0,02) ед. рН при повышении температуры коагуляции до 86°C массовая доля сухих веществ в сыворотке уменьшается практически вдвое – на 2,66% – 3,17%, массовая доля белка – на 0,1% – 0,4%, что также опосредованно свидетельствует о большей эффективности процесса коагуляции за счет снижения потерь питательных веществ с отходящей сывороткой. Максимальное значение титруемой кислотности (20–29°Т) имеет образец, полученный при коагуляции ферментированной молочной сывороткой.

Что касается коагулянтов с активной кислотностью ($2,37 \pm 0,02$) ед. рН, то самая высокая эффективность коагуляции достигается при использовании водных растворов молочной и лимонной кислот, т.к. они позволяют достичь наиболее высоких значений степени использования сухих веществ – более 53%, а также жира (от 93,5% до 96,8%) и белка (от 85,5% до 88,2%). Стоит отметить, что сыворотка, подкисленная лимонной кислотой, и сыворотка, подкисленная молочной кислотой, имели более низкие значения использования сухих веществ, чем водные растворы кислот, за исключением сыворотки, подкисленной лимонной кислотой, при 92°C (степень использования сухих веществ больше на 7,41%, чем при коагуляции водным раствором лимонной кислоты).

При анализе физико-химических показателей сыворотки подсырной прослеживалась та же тенденция, что и в первой серии выработок сыров: независимо от кислотности коагулянта, наименьшие потери сухих веществ с подсырной сывороткой характерны для водного раствора молочной кислоты, в среднем потери при коагуляции молочной сывороткой (при температуре 86°C) на 1,31–3,22% выше. Наибольшее значение титруемой кислотности имеет образец, полученный при коагуляции сывороткой, подкисленной лимонной кислотой, (36°Т–38°Т).

Следующий этап выполнения работ предусматривал проведение органолептической оценки термокислотных сыров

Для проведения анализа разработана условная 5-балльная шкала органолептических характеристик, которая приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Условная балльная оценка органолептических характеристик термокислотных сыров

Наименование показателя	Балл
Вкус и запах (max 3)	
Чистый, в меру соленый, без посторонних привкусов и запахов	3
Слегка кисловатый с выраженным вкусом и запахом пастеризации.	2
Излишне кислый, невыраженный, пресный. Наличие посторонних привкусов (горький, прогорклый, салистый, меловой) не свойственных продукту	1 и менее
Внешний вид и консистенция (max 2)	
Поверхность ровная, увлажненная, без ослизнения. Консистенция нежная, однородная по всей массе, в меру плотная	2
Поверхность неровная. Консистенция излишне плотная, крошливая, чрезмерно влажная	1 и менее

Источник данных: собственная разработка.

По заключению дегустационной комиссии, наиболее высокие баллы получила продукция, выработанная при температуре коагуляции 86°C.

Членами дегустационной комиссии отмечены образцы сыра, выработанные с использованием водного раствора молочной кислоты. Данные сыры получили максимальный оценочный балл (max 5) независимо от температуры коагуляции. Максимальную балльную оценку также получили сыры, изготовленные с использованием водного раствора лимонной кислоты и температуры коагуляции 86°C и 92°C, а также ферментированной молочной сыворотки при температуре 86°C.

Минимальное количество баллов – от 3 до 3,5 – получили образцы, выработанные с использованием сыворотки, подкисленной молочной кислотой, в связи со слабовыраженным пустым вкусом, крошливой консистенцией и меловым привкусом.

Заключение. Таким образом, в ходе исследований выявлено, что использование коагулянтов с активной кислотностью равной ($3,37 \pm 0,02$) ед. рН

нерационально, так как для достижения эффективной коагуляции белков молока требуется внесение слишком большого количества коагулянтов – от 64,1% до 186,3%, и, как следствие, сыры получаются очень влажными (массовая доля влаги от 60,50% до 66,73%) с невыраженным вкусом. Целесообразно использование коагулянтов с активной кислотностью ($2,37 \pm 0,02$) ед. рН. Их количество составляет 5% – 20% от количества перерабатываемого сырья и является приемлемым для получения качественного готового продукта.

Исходя из полученных результатов рекомендуемой температурой при использовании в качестве коагулянта ферментированной молочной сыворотки является 92°C, так как в данном случае обеспечивается максимальная степень использования сухих веществ (48,105%) и белка (89,121%). При использовании в качестве коагулянтов водных растворов лимонной и молочной кислот, а также сыворотки, подкисленной лимонной кислотой, оптимальной является температура 86°C, так как она обеспечивает хороший выход продукта (от 13,25% до 16%), высокую степень использования сухих веществ молока (от 46,642% до 53,676%) и, как следствие, более высокое качество готового продукта.

Также была установлена зависимость органолептических характеристик сыра от вида коагулянта, в качестве коагулянтов лучше всего себя проявили водные растворы молочной и лимонной кислоты, а также предварительно ферментированная молочная сыворотка. Использование сыворотки, подкисленной молочной кислотой, нецелесообразно

Список использованных источников

1. Ленинджер, А. Биохимия / А. Ленинджер – М.: Мир, 1974. – 957с.
2. Пищевая химия / А.П. Нечаев, С.Е.Траубенберг, А.А. Кочеткова [и др.]; под ред. А.П. Нечаева. – 6-е изд., стер. - СПб: ГИОРД, 2015. – 672с.
3. Чеботарев, А. Л. Исследование физико-химических особенностей термокислотной коагуляции молока на основе термографического метода :автореф. дисс. канд. техн. наук : 19.05.2011 / А. Л. Чеботарев. – Кемерово, 2011. – 18 с.
4. Алексеева, Н.Ю. Современная номенклатура белков молока / Н.Ю. Алексеева // Молочная промышленность, 1983. – № 4. – 27–31с.
5. Горбатова, К.К. Химия и физика белков молока / К.К. Горбатова. М.: Колос, 1993. – 192с.
6. Остроумов, Л.А. Исследование процесса термокислотного свертывания молока с использованием различных коагулянтов / Л.А. Остроумов, В.В. Бобылин, И.А. Смирнова, С.Р. Рафалович // Хранение и переработка сельхозсырья, 1998. № 7. – 26–27с.
1. Lendinger, A. Biochemistry / A. Lendinger - M.: Mir, 1974. - 957p.
2. Food chemistry / A.P. Nechaev, S.E. Traubenberg, A.A. Kochetkova [and others]; ed. A.P. Nechaev. - 6th ed., Erased. - SPb: GIORД, 2015 .—672p.
3. Chebotarev, A.L. Investigation of the physicochemical features of thermoacidcoagulation of milk based onthermographic method: author. diss. Cand. tech. Sciences: 05/19/2011 / A. L. Chebotarev. - Kemerovo, 2011 .-- 18 p.
4. Alekseeva, N.Yu. Modern Nomenclature of Milk Proteins /N.Yu. Alekseeva// Dairy Industry, 1983. - - № 4. - 27–31p.
5. Gorbatova, K.K. Chemistry and physics of milk proteins / K.K. Gorbatova. Moscow: Kolos, 1993. – 192 p.
6. Ostroumov, L.A. Investigation of the process of thermoacid coagulation of milk using various coagulants / L.A. Ostroumov, V.V. Bobylin, I.A. Smirnova, S.R. Rafalovich // Storage and processing of agricultural raw materials, 1998. No. 7. – 26–27p.