

## КИНЕТИКА ВЫМЕРЗАНИЯ ВОДЫ ПРИ ЗАМОРАЖИВАНИИ СЫРОВ

О.Н. Буянов, И.В. Буянова\*

ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт  
пищевой промышленности (университет)»,  
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47

\*e-mail: milk@kemtipp.ru

Дата поступления в редакцию: 20.08.2015

Дата принятия в печать: 28.09.2015

В работе рассматриваются закономерности и физико-химическая сущность фазового перехода воды в лед и состояние связанной воды при замораживании полутвердых сыров в интервале ультранизких температур от минус 20 °С до минус 50 °С, а также факторы стойкости сыров к замораживанию и низкотемпературному хранению, обусловленные изменением состояния прочносвязанной воды белкового комплекса. Авторами исследованы три основных подкласса полутвердых сыров с высокой, низкой температурой второго нагревания, относящиеся по массовой доле жира в сухом веществе к жирным и полужирным видам. С целью получения основных закономерностей быстрого замораживания мелко расфасованных сыров при различных режимах воздушной среды исследования проводились на экспериментальном стенде. Интенсивность теплоотвода определялась скоростью движения воздуха в зоне охлаждения, которая регулировалась до 10 м/с. Образцы массой 0,2 кг помещали на стеллажи морозильной камеры и замораживали до заданной среднеобъемной температуры минус 20 °С и минус 12 °С. Получены результаты поэтапного фазового превращения воды в лед в зависимости от значений низких температур. Анализ кинетики процесса показал постепенный переход в лед разнородно связанной воды в соответствии с ее энергией связи в порядке убывания. На основании анализа экспериментальных данных построены фазовые диаграммы состояния воды в зависимости от конечной среднеобъемной температуры замороженных сыров и получены данные по степени гидратации белкового комплекса в диапазоне температур от минус 20 °С до минус 70 °С.

Замораживание, прочносвязанная влага, низкие температуры, сыры, казеин, гидрофильность, вымороженная вода

### Введение

Государственная политика в области развития технологий предполагает инновационный путь становления агропромышленного комплекса, связанного с проблемой снижения потерь, сохранения качества и безопасности пищевых продуктов при хранении. В связи с тем, что на перспективу до 2020 года прогнозируется рост потребления продовольствия, разработка технологических процессов сохранения продовольственного сырья и пищевых продуктов будет оставаться актуальным направлением.

Такую проблему необходимо рассматривать с позиций перспективных направлений развития современной холодильной технологии. В отечественной и зарубежной практике накоплен опыт и имеются средства для сохранения совокупности потребительских свойств, высоких органолептических свойств, пищевой и биологической ценности продуктов длительного хранения [1, 2]. Одним из доступных факторов сохранения качества является использование холода.

Особенностью российского сыроделия является то, что большинство предприятий вырабатывают полутвердые сычужные сыры с низкой температурой второго нагревания, преимущественно в рамках «недорогого» сегмента рынка. Одним из факторов, ограничивающих их потребление, являются непродолжительные сроки годности в течение 3–4 месяцев. Использование замораживания нашло распространение в решении задачи совершенствования длительного хранения полутвердых сыров. Хранение в охлажденном виде при низких положительных температурах не обеспечивает сохранение

качества на длительное время, поскольку не задерживаются в достаточной степени скорости микробиологических процессов порчи при сохранении условий для развития микроорганизмов.

На современном этапе развития замораживание можно отнести к наилучшим по многим показателям и перспективным способам продления сроков годности пищевых продуктов. Ультранизкие температуры позволяют существенно тормозить скорость протекания микробиологических и биохимических процессов, способных привести к изменению качества продукта. Замораживание имеет целый ряд преимуществ по сохранению первоначальных, натуральных свойств объекта, а также по экономичности и удельному расходу энергии. Низкотемпературная обработка и хранение обеспечивают большую стойкость продукта в течение года и более.

В ранних сообщениях отечественных ученых (40-50-е годы) изучалось действие низких температур на качество твердых сыров. Однако они не послужили основанием к разработке способов их сохранения. Ряд современных отечественных ученых замораживали твердые сычужные сыры, и по результатам исследования ими были сделаны выводы о рациональных режимных параметрах замораживания и оттаивания продукта [5]. В ряде зарубежных стран южного региона (Греция, Турция, Италия, Испания) проводились исследования и получены положительные результаты по разработке технологии глубокого замораживания и хранения традиционных для этих стран сыров и сырной массы, изготовленных из коровьего, козьего и овечьего молока [2, 3].

Проведенный аналитический анализ вопроса быстрого замораживания и хранения в замороженном состоянии молочных продуктов показал, что наименее изученным являлся вопрос о возможности длительного хранения полутвердых сыров в замороженном виде.

В ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)» в течение последних 25 лет проводятся исследования по низкотемпературному хранению молочных продуктов, в частности сыров различных видовых групп.

Целью настоящего исследования являлась разработка теоретических основ физико-химической сущности процесса быстрого замораживания полутвердых сыров для максимального сохранения натуральных свойств с обоснованием рациональных режимов холодильной обработки.

### Объекты и методы исследований

Изучали три основных подкласса объекта исследований – полутвердые сыры с высокой, низкой температурой второго нагревания, относящиеся по массовой доле жира в сухом веществе к жирным и полужирным видам. Для получения мелко расфасованного продукта перед испытаниями бруски и головки зрелых сыров разрезали на порции массой 0,1–0,2 кг.

Для исследования процесса замораживания был создан экспериментальный стенд, конструкция которого позволяла изменять и поддерживать температуру воздуха в камере до минус 100 °С и скорость потока до 10 м/с. В качестве чувствительного элемента использовали хромель-копелевые термодатчики с диаметром спая  $0,3 \cdot 10^{-3}$  м.

Упаковку сыров осуществляли в полимерную пленку и пакеты нового поколения типа Кривак ВВЗУ.

Проводили замораживание при различных режимах воздушной среды в диапазоне температур от минус 20 до минус 50 °С. Скорость воздуха в зоне охлаждения измерялась термоанемометром testo 405-v1 с диапазоном измерения 0...15 м/с, цена деления 0,1 м/с. Исследуемый продукт помещали на стеллажи морозильной камеры, моделирующей промышленный вариант морозильного аппарата. Образцы замораживали в соответствии с требованиями дальнейшего холодильного хранения до среднеобъемной температуры минус 20 °С и минус 12 °С.

Основным экспериментальным материалом служили термограммы замораживания. С помощью их определяли основные показатели процесса – продолжительность и средняя скорость замораживания.

Исследования показателей качества опытных образцов проводили перед замораживанием и в процессе холодильного хранения в течение 18 месяцев с периодичностью отбора проб через каждые 3 месяца. Перед исследованиями образцы размораживали при комнатной температуре в воздушной среде до температуры 0...3 °С. При этом использовали общепринятые и оригинальные методы исследований, в том числе физико-химические, микробиологические, биохимические и другие.

### Результаты и их обсуждение

Основным критерием при выборе условий проведения цикла замораживание – хранение – оттаивание является максимальное восстановление свойств продукта, сохранение его натуральных пищевых и вкусовых достоинств. Мера обратимости действия низких температур применительно к сырам важна и относительна. Льдообразование причиняет повреждения продукту, глубина которых зависит от его свойств и технологии замораживания.

К основным факторам, обуславливающим качество замороженного продукта и степень его пригодности к низкотемпературной технологии, относятся следующие: органолептические свойства (особенно консистенция), состояние и свойства воды, уровень гидратации молекул белка, величина активной кислотности, концентрация растворенных веществ и другие.

При рассмотрении факторов стойкости продукта при хранении в замороженном виде необходимо выделить содержание и свойства белковой фракции сыров как наиболее значимого компонента. Высокая доля молочного белка в их составе (от 23 до 29 %) обуславливает высокие водопоглощительные и водосвязывающие свойства сырной массы [6].

От гидрофильных свойств казеина зависит устойчивость частиц белка к действию замораживания. Нежелательная потеря воды после замораживания и хранения может привести к агрегации белка в условиях низких температур.

Водопоглощительные свойства влияют на структурно-механические характеристики консистенции продукта, в связи с этим степень гидратации белкового комплекса относится к одному из важнейших физико-химических свойств при оценке влияния действия холода на замороженный объект. Слабая гидратация белка является одной из причин появления пороков консистенции: недостаточно упругая, крошливая, мучнистая [6]. Для замороженных продуктов сохранение степени гидратации сырной массы и, следовательно, удовлетворительной консистенции – вопрос первостепенной важности.

Критерием изменения белкового комплекса сыра служит количество связанной воды. Эта прочно-связанная часть воды сильно сжата у поверхности белка, и поэтому удалить ее очень сложно. Действие холода выражается в разрушении адсорбированных слоев воды, особенно тех, которые находятся на большем расстоянии от поверхности молекулы.

Таким образом, стабильность мицелл казеина в замороженных сырах будет определяться прочностью гидратной оболочки. Адсорбционный слой поляризованных молекул позволит оставить без изменений коллоидное состояние белка. Наличие прочно-связанной воды определит высокую обратимость структуры белка и сохранит качества сыра.

В связи с этим в данной статье проводится анализ влияния низких температур на характер вымерзания воды из сыров с учетом состояния влаги по видам и формам связи и распределения ее в продукте.

При определении гидратационной характеристики параказеинового комплекса использовали

классификационную схему П.А. Ребиндера, методики и рекомендации Р.И. Раманаускаса, а также метод графического дифференцирования термограмм сушки.

В своих исследованиях устанавливали равновесную энергию связи ( $E$ ) в зависимости от температуры замороженного сыра, определяя удельное тепло превращения воды в лед ( $L$ ). Для вычислений использовали формулу Д.Г. Рютова. Известно, что кинетика процесса замораживания представляет постепенный переход в лед разнородно связанной воды в соответствии с ее энергией связи в порядке убывания.

Анализ расчетных данных показал, что вследствие понижения температуры сыров в замороженной системе остается незамерзшей часть воды, которая имеет большую энергию связи с сухими веществами (табл. 1).

Таблица 1

Энергия связи воды в замораживаемой системе сыра

Температура продукта, минус °С	Расчетные характеристики	
	$L$ , кДж/кг	$E$ , кДж/кг
-5	323,5	5,92
-10	313,4	11,40
-20	300,5	21,80
-30	271,0	29,76
-40	256,1	37,13
-50	229,2	41,95
-60	222,3	48,80
-70	206,4	55,00
-80	191,5	58,60
-90	177,4	68,30
-10	163,2	76,00

Механизм вымораживания воды осуществляется в направлении от малоэнергетических к высокоэнергетическим формам связи воды. Низкие температуры не нарушают химической связи влаги с продуктом, и поэтому полностью удалить эту влагу трудно. При температурах ниже минус 70–80 °С в объекте исследований присутствует наиболее прочно химически связанная белками влага, которая практически уже не переходит в лед. Фазовый переход воды заканчивается в точке эвтектики. Слабовыраженное эвтектическое состояние твердых сыров находится в интервале на уровне минус 60...минус 70 °С. Теоретически полагается полное вымерзание влаги в самой низкотемпературной точке – эвтектической точке. В этот момент наступает равновесная концентрация между растворенными веществами и твердой фазой льда.

Динамика изменения соотношения между полным содержанием воды и количеством вымороженной является главным показателем физико-химического процесса замораживания и стойкости продукта в хранении.

Водная фаза сыра в процессе заморзания выглядит как область совместного существования твердой и жидкой фаз с распределением растворенных

веществ в еще не замерзшей части. Результаты исследований по изменению состояния воды в сырах при низких температурах были использованы для построения фазовых диаграмм водных растворов сыров (рис. 1).

Проведенный анализ диаграмм показал, что массовая доля незамерзаемой влаги зависит от начального влагосодержания сыров. Максимальное ее количество всегда наблюдалось в Советском сыре при любой температуре замораживания в диапазоне от минус 10 до минус 70 °С.

В этих же температурных условиях количество незамерзаемой воды было меньше в Российском и Голландском сырах. Констатируем, что в сырах с высокой температурой второго нагревания присутствует больше незамерзаемой воды как следствие высокой энергии связи воды с молекулами белкового комплекса.

Кинетика изменения фазового состояния воды в сырах имела следующую закономерность. За время снижения температуры до минус 10 °С в водной фазе Советского сыра в лед перешло 4,46 % воды, в Голландском брусковом – 10,3 %, в Российском сыре – 13,04 %. При этой температуре водная фаза сыров представляет собой гетерогенную систему «вода – лед». Массовая доля жидкой фазы составляла в Советском сыре 32,74 % (начальная 37,2 %), в Голландском брусковом – 30,2 % (начальная 40,5 %) и в Российском сыре – 26,46 % (начальная 37,2 %).

Следует отметить тот факт, что при температуре заморзания минус 10 °С во всех экспериментальных сырах незамерзаемая вода представляет собой растворитель. В этом случае свое физическое состояние (переход в лед) видоизменяет вода в относительно свободной форме (макрокапилляров и грубых пор сыра) с малой энергией связи с сухим веществом сыра ( $E = 11,4$  кДж/кг).

На этапе замораживания до температуры минус 20 °С отмечалось снижение массовой доли незамерзаемой воды. Указанная тенденция сохранилась по всем сырам. В кристаллическую форму переходит влага различных форм связи, кроме прочносвязанной влаги моно- и полимолекулярной адсорбции. При этих условиях замораживания энергия связи воды с полярными группами белков выше энергии, высвобождающейся при переходе в кристаллическую структуру льда.

Данные по рис. 1 показывают, что количество незамерзаемой воды в Советском сыре тождественно количеству связанной воды (ВМА – 21,45 %) и ее дальнейшее незначительное снижение до значения 18,2 %.

Следовательно, замораживание до минус 20 °С является граничной температурой максимальной гидратации белкового комплекса. Последующие этапы замораживания до температуры минус 30 °С и ниже связаны с переходом в лед связанной воды.

В связи с этим для сохранения прочносвязанной воды незамерзающей рекомендуется температура замораживания Советского сыра от минус 18 до минус 20 °С.

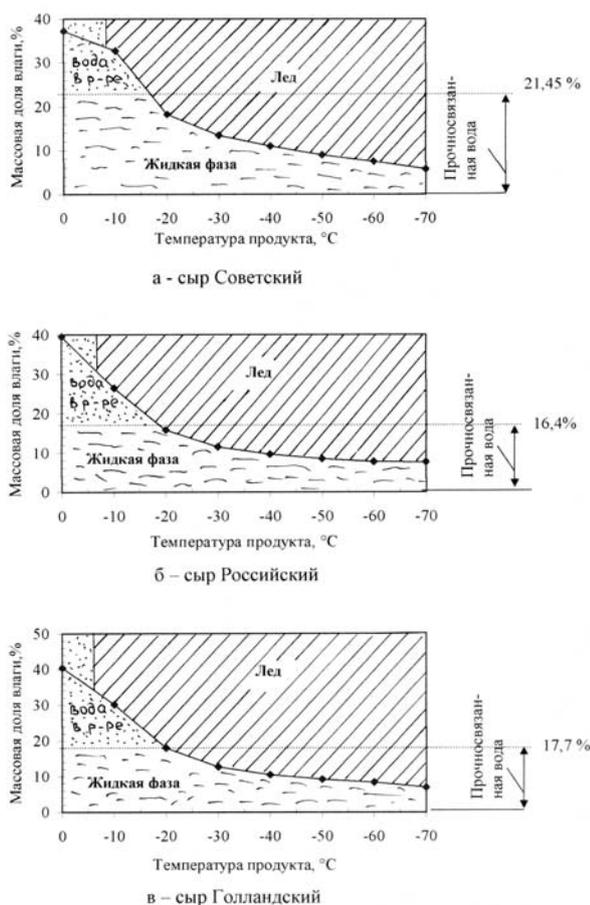


Рис. 1. Кинетика изменения фазового состояния воды в сырах в зависимости от температуры

Замораживание Российского сыра до температуры минус 20 °С оставляет незамерзшей 15,7 % водной фазы, которая в основном прочно связана белками (12,76 %) и не является растворителем. На следующих этапах снижения температуры (минус 30 °С и ниже) в лед постепенно превращается прочносвязанная вода. Ее медленное вымораживание показывает плавную динамику снижения количества незамерзаемой воды, особенно в интервале температур от минус 30 до минус 70 °С. На конечном этапе замораживания Российского сыра в точке эвтектики (температура минус 70 °С) массовая доля незамерзаемой воды равнялась 7,6–7,8 %.

Замораживание Голландского сыра до температуры минус 20 °С оставляет незамерзшей 18 % воды, которая относится к прочносвязанной (17,7 %). В точке эвтектики осталось незамерзшей около 7,0 %.

По количеству незамерзаемой воды в направлении ее снижения замороженные сыры расположили в такой последовательности: Советский, Российский, Голландский. Незамерзаемая фаза фактически обладает значительной подвижностью и не имеет упорядоченной структуры, как лед.

На последующих этапах замораживания с понижением температуры продукта ниже минус 30 °С (минус 40 °С, минус 50 °С и т.д.) постепенно вымораживается прочносвязанная белками вода в форме ВМА (влага мономолекулярной адсорбции), переходя в лед и обезвоживая белковый комплекс сыров. Такая закономерность характерна особенно в отношении полутвердых сыров с низкой температурой второго нагревания.

В этих случаях макромолекулы белка теряли удерживаемую ими воду и были готовы для участия в новых межмолекулярных связях. В таком состоянии возможна межмолекулярная агрегация белка. Видимо, подобное произошло в наших экспериментах, когда в условиях низких температур (ниже минус 40 °С) наблюдали структурные изменения консистенции сыра.

Таким образом, замораживание до среднеобъемной температуры продукта на уровне минус 18÷20 °С максимально сохраняло гидратацию параказеинового комплекса. Значения конечной температуры продукта при замораживании достаточны на уровне минус (20±2) °С, чтобы сохранить, не затрагивая, структуру белка. Проводя замораживание до более низких температур, появлялись структурные изменения, выражающиеся в появлении излишне упругой и крошливой консистенции в результате нежелательного перехода мицеллярно-связанной воды в лед. По совокупности проведенных исследований можно констатировать, что степень кристаллизации воды регулирует ход изменений в продукте.

Проведенный анализ показателей свойств незамерзающей воды в отношении ее воздействия на качество сыра показал, что наиболее устойчивыми во время хранения проявили себя сыры высокой влажности (I группа Голландский, Российский), замороженные до минус 20 °С. В остальных вариантах замораживания незамерзающая вода проявляла действие «осмотического шока» на компоненты продукта.

В процессе хранения возможны изменения структуры белков под воздействием высоких концентраций незамерзших водных растворов. В соответствии с этим в табл. 2 приведены свойства незамерзаемой воды в сырах I групп, классифицированных по массовой доле воды.

Таблица 2

Физико-химические свойства незамерзаемой воды в замороженных сырах I группы

Экспериментальная температура продукта, °С	Массовая доля незамерзшей воды, %	Концентрация незамороженной водной фазы, %	Осмотическое давление в водной фазе, МПа	Активность воды $A_w$	Количество мицеллярно-связанной воды, %	pH
Перед замораживанием	41,0±1,0	17,0±0,1	7,32	0,95	25,5±1,0	5,40±0,2
После замораживания до температур:						
- 10	28,7±1,5	22,6±1,0	21,30	0,83	26,5±1,0	5,37±0,1
- 20	16,4±1,5	33,8±1,0	36,60	0,70	17,0±1,0	5,30±0,1
- 30	12,3±0,4	40,3±0,7	52,00	0,56	12,4±0,7	5,22±0,1
- 40	10,2±0,2	45,0±0,8	67,23	0,43	9,7±0,5	5,18±0,1

Анализ результатов исследований показал, что концентрация водной фазы повысилась практически до равных значений во всех замороженных сырах в диапазоне режимов замораживания от минус 30 до минус 50 °С. Различия по видам сыра составляли лишь 1,2–1,5 %.

Известно, что константа скорости химических реакций  $K = f(C)$  обратно пропорциональна изменению вязкости. Видимо, поэтому уже на стадии массовой кристаллизации воды при температуре минус 10 °С с ростом концентрации незамороженной жидкой фазы снижается скорость химических реакций.

Скорость химических реакций значительно снижается при температуре замораживания минус 20 °С вследствие отсутствия для их прохождения двух важных факторов: содержания свободной воды и высокой ее активности. Все это указывает на прогноз длительного хранения и устойчивости сыров в глубокомороженном состоянии.

Поэтому для организации технологического процесса быстрого замораживания полутвердых сыров следует учитывать установленные закономерности фазового перехода воды в лед.

#### Список литературы

1. Буянова, И.В. Новые технологии замораживания молочных продуктов // Техника и технология пищевых производств, 2012. – № 1. – С. 14–17.
2. Производство сыра: технология и качество / пер. с фр. Б.Ф. Богомолова; под ред. и с предисл. Г.Г. Шилера. – М.: Агропромиздат, 1989. – 496 с.
3. Буянова, И.В. К вопросу разработки технологии длительного хранения сыров // Переработка молока. – 2009. – № 8. – С. 4–5.
4. Буянова, И.В. Моделирование замораживания продуктов в условиях многозонной комбинированной системы холодоснабжения / И.В. Буянова, О.Н. Буянов // Техника и технология пищевых производств, 2012. – № 4. – С. 88–94.
5. Захарова, Н.П. Консервирование сычужных сыров – сырья для производства плавленых / Н.П. Захарова, Н.Ю. Соколова, С.В. Кучеренко // Молочная промышленность, 2003. – № 3. – С. 57.
6. Гудков А.В. Сыроделие: технологические, биологические и физико-химические аспекты / Под ред. С.А.Гудкова. – М.: ДеЛи принт. – 2003. – 800 с.
7. Раманаускас, Р.И. Методика определения энергетической характеристики гидратации параказеинового комплекса сыра // Вестник МАХ. – 2000. – № 3. – С. 45–47.
8. Рютов, Д.Г. Влияние связанной воды на образование льда в пищевых продуктах при их замораживании / Д.Г. Рютов // Холодильная техника. – 1976. – № 5. – С. 32–37.
9. Буянова, И.В. Современные технологии замораживания и хранения молочных продуктов / И.В. Буянова, О.Н. Буянов // Переработка молока, 2010. – № 4. – С. 36–38.
10. Крашенинин, П.Ф. Энергия связи влаги с сухим веществом сыра / П.Ф. Крашенинин, Н.И. Гамаюнов, В.П. Табачников // Весовые потери пищевых продуктов при охлаждении, замораживании и хранении: сб. науч. тр.– Л., 1970. – С. 1–10.
11. Голубева, Л.В. Хранимоспособность молочных консервов / Л.В. Голубева, Л.В. Чекулаева, К.К. Полянский. – М.: ДеЛи принт, 2001. – 115 с.

## PHYSICO-CHEMICAL CHANGES OF WATER AND HYDRATION OF PROTEIN COMPLEX WHEN FREEZING CHEESES

O.N. Buaynov, I.V. Buaynova\*

Kemerovo Institute of Food Science  
and Technology (University),  
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia

\*e-mail: milk@kemtipp.ru

Received: 20.08.2015

Accepted: 28.09.2015

The work deals with regularities and physical and chemical nature of the phase transition of water to ice and the condition of bound water when freezing semi-hard cheeses in the range of ultra-low temperatures from –20 deg. C to –50° deg. C, as well as the factors of cheese resistance to freezing and low temperature storage. The authors investigated three main subclasses of semi-hard cheeses with high and low temperatures of the second heating, which belong to high-fat or semi-fat cheeses in terms of the mass fraction of fat in total solids. Studies on the experimental stand to obtain the basic laws of quick freezing at different modes of the air environment were conducted. The intensity of heat removing was determined by airflow rate in the cooling zone that was regulated up to 10 m/s. Samples of finely packaged cheese with the weight of 0.2 kg were frozen up to the specified temperature of –20 deg. C and –12 deg. C. The results of stage-by-stage phase turning of water to ice, depending on the values of low temperatures have been obtained. Analysis of the kinetics of the process showed a gradual transition of differently bound water into ice in accordance with its binding energy in descending order. Based on the analysis of the experimental data, phase diagrams of water condition depending on the final average temperature of frozen cheeses have been drawn and the data on the degree of hydration of the protein complex in the temperature range from –20 deg. C to –70 deg. C have been obtained.

Freezing, strongly bound moisture, low temperatures, cheeses, casein, hydrophilicity, frozen-out water

## References

1. Buyanova I.V. Novye tekhnologii zamorazhivaniya molochnykh produktov [New dairy products freezing technolog]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology], 2012, vol. 24, no. 1, pp. 14–17.
2. Bogomolov B.F., Shiler G.G. (ed.) *Proizvodstvo syra: tekhnologiya i kachestvo* [Production of cheese: technology and quality]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1989. 496 p.
3. Buyanova I.V. K voprosu razrabotki tekhnologii dlitel'nogo khraneniya syrov [To a question of development of technology of long storage of cheeses]. *Pererabotka moloka* [Milk Processing], 2009, no. 8, pp. 4–5.
4. Buyanova I.V., Buyanov O.N. Modelirovanie zamorazhivaniya produktov v usloviyakh mnogozonnoy kombinirovannoy sistemy kholodosnabzheniya [Modeling of food products freezing in the multizoned combined refrigeration supply system]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology], 2012, vol. 27, no. 4, pp. 88–94.
5. Zakharova N.P., Sokolova N.Yu., Kucherenko S.V. Konservirovanie sychuzhnykh syrov– syr'ya dlya proizvodstva plavlennykh [Conservation of abomasal cheeses – raw materials for production fused]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry], 2003, no. 3, pp. 57.
6. Gudkov A.V. *Syrodellie: tekhnologicheskie, biologicheskie i fiziko–khimicheskie aspekty* [Cheese making: technological, biological and physical and chemical aspects]. Moscow, DeLi print Publ., 2003. 800 p.
7. Ramanauskas R.I. Metodika opredeleniya energeticheskoy kharakteristiki gidratatsii parakazeinovogo kompleksa syra [Technique of definition of the power characteristic of hydration of a paracasein complex of cheese]. *Vestnik Mezhdunarodnoi Akademii Kholoda*, 2000, no. 3, pp. 45–47.
8. Ryutov D.G. Vliyanie svyazannoy vody na obrazovanie l'da v pishchevykh produktakh pri ikh zamorazhivanii [Influence of the connected water on formation of ice in foodstuff at their freezing]. *Kholodil'naya tekhnika* [Refrigerating equipment], 1976, no. 5, pp. 32–37.
9. Buyanova I.V., Buyanov O.N. Sovremennye tekhnologii zamorazhivaniya i khraneniya molochnykh produktov [Modern technologies of freezing and storage of dairy products]. *Pererabotka moloka* [Milk Processing], 2010, no. 4, pp. 36–38.
10. Krashenin P.F., Gamayunov N.I., Tabachnikov V.P. Energiya svyazi vlazi s sukhim veshchestvom syra [Binding energy of moisture with cheese solid]. *Sbornik nauchnykh trudov «Vesovye poteri pishchevykh produktov pri okhlazhdenii, zamorazhivanii i khranении»* [Collection of scientific works “Weight losses of foodstuff when cooling, freezing and storage”]. Leningrad, 1970, pp. 1–10.
11. Golubeva L.V., Chekulaeva L.V., Polyanskiy K.K. *Khranimosposobnost' molochnykh konservov* [Hranimosposobnost of canned milk]. Moscow, DeLi print Publ., 2001. 115 p.

## Дополнительная информация / Additional Information

Буянов, О.Н. Кинетика вымерзания воды при замораживании сыров / О.Н. Буянов, И.В. Буянова // Техника и технология пищевых производств. – 2015. – Т. 39. – № 4. – С. 14–19.

Buyanov O.N., Buyanova I.V. Physico-chemical changes of water and hydration of protein complex when freezing cheeses. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2015, vol. 39, no. 4, pp. 14–19. (In Russ.)

### Буянов Олег Николаевич

д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Теплохладотехника», ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47, тел.: +7 (3842) 39-68-50, e-mail: onb@kemtipp.ru

### Буянова Ирина Владимировна

д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Технология молока и молочных продуктов», ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47, тел.: +7 (3842) 39-68-58, e-mail: milk@kemtipp.ru

### Oleg N. Buyanov

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Professor of the Department of HVAC, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-50, e-mail: onb@kemtipp.ru

### Irina V. Buyanova

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Milk and Dairy Products Technology, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-58, e-mail: milk@kemtipp.ru

