

**В.А. Ермолаев**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СЫРА РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ ЗРЕЛОСТИ ДО И ПОСЛЕ СУШКИ**

В статье приведены исследования микроструктуры сыра «Покровский» в процессе созревания, а также сухого сыра. Сушка сыра производилась на лиофильной сушилке. Представлены результаты по изменению элементного состава сыра «Покровский». Приведены профили элементного состава сыра «Покровский» вакуумной сушилки. Описано изменение структуры сыра «Покровский» в процессе созревания.

Сыр, микроструктура, вакуумная, сублимационная сушка.

### **Введение**

Целью данной работы является исследование микроструктуры сыра «Покровский» до и после вакуумной сушки. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: исследовать микроструктуру сыра «Покровский» в процессе созревания; изучить микроструктуру и компонентный состав сухого сыра; произвести сравнительный анализ компонентного состава сыров до и после сушки.

Технология сыров базируется на биохимических и физико-химических превращениях составных частей молока. При этом биохимические процессы обуславливаются бактериальными ферментативными системами и ферментами молокосвертывающих препаратов, характер и интенсивность действия которых, в свою очередь, зависят от целого ряда условий, создаваемых во время технологического процесса. Физико-химические изменения зависят от количества продуктов, накапливающихся в результате биохимического превращения составных компонентов, от содержания соли, влажности и пр. Два вида превращений тесно взаимосвязаны и взаимообусловлены. В частности, физико-химические превращения, вызванные биохимическими изменениями по принципу обратной связи, активно действуют на протекание микробиологических и биохимических процессов [1, 3].

В созревании сыров большая роль принадлежит белкам, главным образом превращениям казеина. Изменение казеина начинается с момента действия на него препарата сычужного фермента, который переводит казеин в параказеин. В дальнейшем параказеин изменяется уже в формованном сыре под действием молочной кислоты, поваренной соли и в самой большой степени под действием ферментов, вырабатываемых микроорганизмами, и частично сычужного фермента и ферментов молока.

Параказеин при созревании начинает распадаться на более простые соединения, содержащие азот. Вначале появляются альбумозы, затем пептиды и аминокислоты. Возможен распад параказеина с отщеплением аминокислот до образования полипептидов. По-видимому, в сырах параказеин распадается одновременно по указанным двум путям, так как уже в начале созревания отмечается увеличение содержания в сырах как аминокислот, так и более сложных промежуточных продуктов распада параказеина [2, 4, 5].

### **Материалы и методы**

Сушку сыра производили на лиофильной установке «ИНЕЙ-6М» (рис. 1).

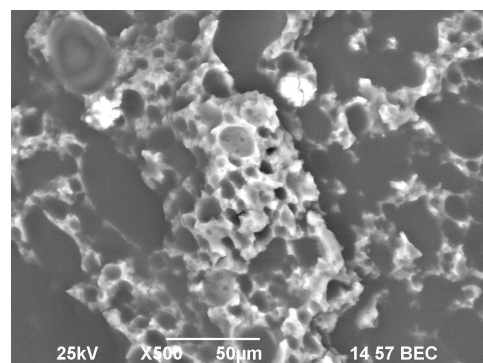


Рис. 1. Внешний вид установки «ИНЕЙ-6М»

Данная сушилка изготовлена по техническому заданию и чертежам авторов статьи в Институте биологического приборостроения Российской академии наук (лаборатория разработки методов и приборов для биохимического анализа). Электронно-микроскопические исследования проводили на растровом сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6390 LA.

### **Результаты и их обсуждение**

На рис. 2 и 3 приведены микрофотографии и профили элементного состава сыра «Покровский» вакуумного высушивания.



а

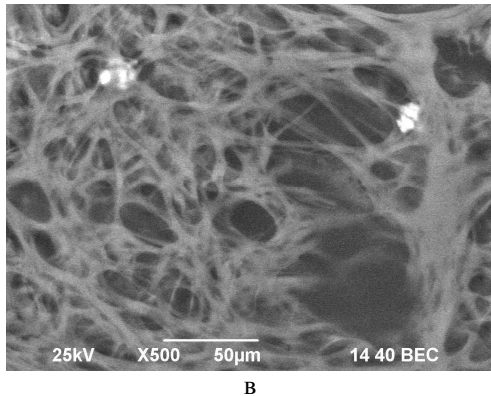
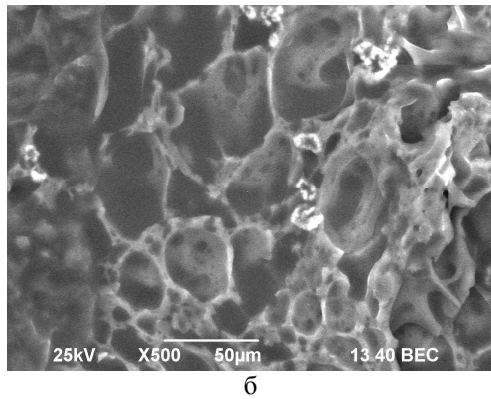


Рис. 2. Микроструктура сыра «Покровский» вакуумного высушивания: а – срок созревания 2 суток; б – 30 суток; в – 90 суток

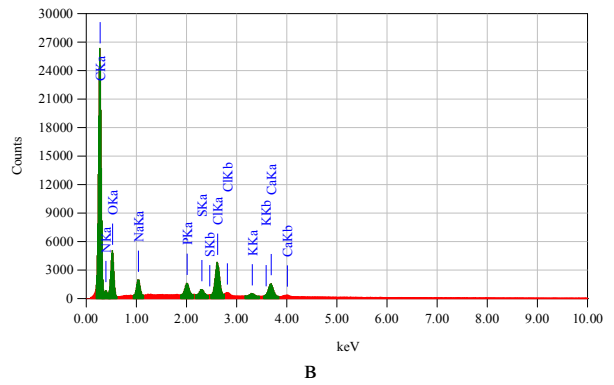
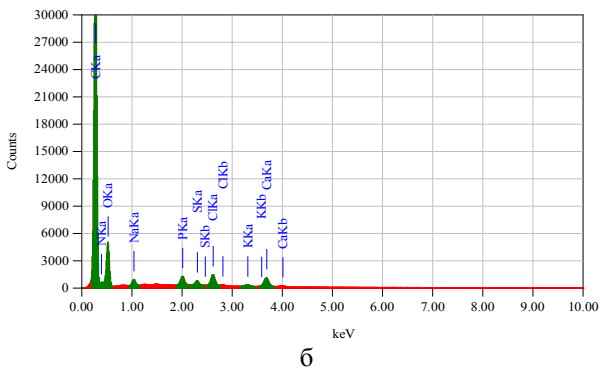
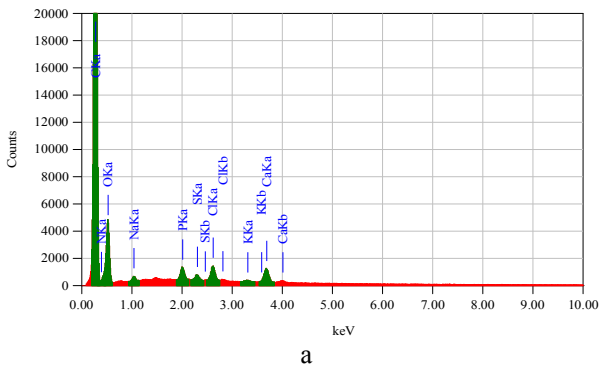


Рис. 3. Профили элементного состава сыра «Покровский» вакуумного высушивания: а – срок созревания 2 суток; б – 30 суток; в – 90 суток

Установлено, что сыр имеет ячеистую структуру с первых дней созревания. Причем в процессе созревания сыра ячеистая структура развивается и увеличивается в размерах, а в перезрелом сыре ячейки растягиваются и образуется сетчатая структура, похожая на «паутину». У сыра вакуумной сушки массовая доля влаги не превышает 4 %. Эта влага относится к влаге полимолекулярной адсорбции, она прочно связана с сухим веществом сыра и находится внутри белкового каркаса, как и глобулы жира.

Ячейки представляют собой белковый матрикс, в порах которого находятся влага, жир и другие элементы. В ячейках до сушки находилась влага. При электроном сканировании поверхности сыра влага препятствует электронному пучку проникать внутрь продукта (рис. 4).

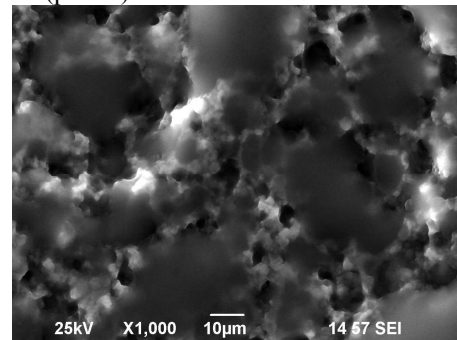


Рис. 4. Микроструктура сыра «Покровский» до сушки

Из микрофотографий структуры сыра до сушки (см. рис. 4) видны: белковый каркас, расположение глобул жира, поры в толще сыра. Однако сравнение микрофотографий, представленных на рис. 2, с рис. 4 доказывает информативность фотографий микроструктуры сыров, подверженных высушиванию.

Высушивание сыра позволило изучить структуру более подробно и детально. Благодаря высушиванию при микрофотографировании поверхности сыра «Покровский» была обнаружена ячеистая структура сыра. Доказано, что в процессе сублимационной и вакуумной сушки сыры не дают усадки. Следовательно, нет опасения, что капилляры нарушены и структура после сушки изменила свою природу.

Размер ячеек у сыра 2-суточного возраста составляет 5–20 мкм, толщина прослоек 5–10 мкм; 30-суточного – 20–60 мкм, 2–5 мкм; 90-суточного – 30–100 мкм, 1–3 мкм. Причем у перезревшего сыра «Покровский» (90 суток) ячеек как таковых практически нет, они сливаются и объединяются в единую массу. Таким образом, установлено, что в процессе созревания сыра ячеистая структура увеличивается в размерах, а толщина белковых прослоек между ними уменьшается.

Не менее информативны и профили элементного состава сыра «Покровский». В табл. 1 приведен элементный состав сыра «Покровский».

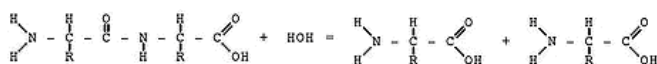
Таблица 1

Элементный состав сыра «Покровский» вакуумной сушки, %

Элемент	Срок созревания, дней		
	2	30	90
C	86,40	83,21	73,55
N	7,62	8,15	7,85
O <sub>2</sub>	2,42	3,55	5,32
Na	0,20	0,48	1,70
P	0,77	1,04	1,84
S	0,34	0,52	0,97
Cl	0,99	1,43	5,63
K	0,11	0,25	0,51
Ca	1,14	1,35	2,61
Сумма	100,0	100,0	100,0

В процессе созревания сыра происходит увеличение массовой доли всех элементов: натрия, фосфора, серы, хлора, калия, кальция. Прослеживается стабильное увеличение кислорода в сыре в процессе созревания со 2-х до 30-х суток от 2,42 до 3,55 %; с 30-х до 90-х суток от 3,55 до 5,32 %. Одновременно с этим происходит снижение углерода в сыре со 2-х до 30-х суток от 86,40 до 83,21 %; с 30-х до 90-х суток от 83,21 до 73,55 %. Количество азота в процессе созревания сыра «Покровский» практически не изменяется.

Так как в табл. 1 приведены значения элементного состава сыра «Покровский» вакуумной сушки, а сам процесс электронного сканирования микроструктуры протекает под глубоким вакуумом, следовательно, кислород является не атмосферным, а структурным элементом сыра. Увеличение кислорода в процессе созревания сыра связано с протеолизом. В процессе созревания сыра параказеиновый комплекс постепенно распадается на растворимые в воде пептиды различной молекулярной массы и свободные аминокислоты:



Распад белка происходит с участием воды. Группа OH при распаде белка присоединяется к свободной аминокислоте, то есть вода из свободного состояния переходит в связанное. Следовательно, увеличение кислорода в сыре в процессе созревания

связано с переходом влаги в более энергоемкие формы связи.

В процессе созревания сыра наряду с образованием аминокислот происходит их дезаминирование, в результате чего образуются кислоты и аммиак. Также при созревании сыра образуется углекислый газ, который расширяет ячеистую структуру сыра (см. рис. 2).

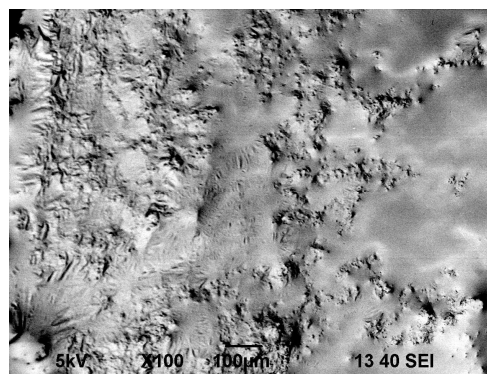
Минеральные вещества в сырной массе изменяются в результате образования кислот (молочная, уксусная, пропионовая и др.). Молочная кислота отщепляет от казеина фосфат кальция и органический кальций в виде лактата кальция, в результате чего в процессе созревания в сыре повышается количество кальция. При сроке созревания 2 суток количество кальция равно 1,14 %; 30 суток – 1,35 %; 90 суток – 2,6 %.

При созревании сыров выделяются газы: аммиак, углекислый газ. Уменьшение массовой доли углерода связано с выделением углекислого газа в процессе созревания. Массовая доля азота в сыре в процессе созревания имеет практически постоянную величину.

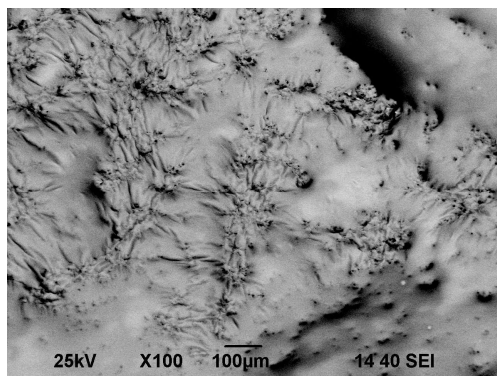
Аммиак образуется при дезаминировании аминокислот. Часть его вступает в соединения с кислотами, часть накапливается в свободном состоянии и улетучивается. Водород выделяется в процессе маслянокислого брожения молочной кислоты, а также в результате деятельности бактерий группы кишечных палочек. Он плохо растворяется в сырной массе, легко диффундирует через неплотные участки, поэтому не задерживается в сыре.

Углекислый газ по сравнению с другими газами выделяется в значительно больших количествах (содержание углекислого газа составляет 60–90 % количества всех газов). Он образуется при сбраживании молочного сахара и солей молочной кислоты (лактатов) ароматизирующими молочнокислыми, пропионовокислыми, маслянокислыми бактериями, бактериями группы кишечных палочек, а также при декарбоксилировании аминокислот.

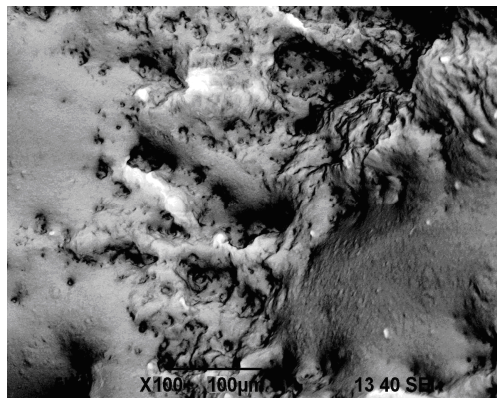
На рис. 5 приведены микрофотографии сыра «Покровский» после сублимационной сушки. Данные микрофотографии сделаны под действием пучков вторичных электронов при кратности увеличения 100 раз. Для сравнения фотографии микроструктуры сыра «Покровский» вакуумной сушки (см. рис. 2) сделаны под пучком отраженных электронов.



а



б



в

Рис. 5. Микроструктура сыра «Покровский» сублимационной сушки: а – срок созревания 2 суток; б – 30 суток; в – 90 суток

Так же как и у сыра вакуумной сушки с различными сроками созревания, сублимированный сыр имеет ячеистую структуру. В процессе созревания ячейки увеличиваются в размерах. Размер ячеек у сыра со сроком созревания: двое суток – 5–30 мкм; 30 суток – 20–80 мкм; 90 суток – 30–150 мкм.

На микрофотографиях видно, что часть поверхности сублимированного сыра покрыта тонким слоем жира (1–3 мкм). Выход жира на поверхность сублимированного сыра вызван низким остаточным давлением при сублимации (10–30 Па).

Таким образом, по микрофотографиям сублимированного сыра с различными сроками созревания установлено увеличение белковых ячеек в процессе созревания, что полностью подтверждает исследования сыра вакуумной сушки с различными сроками созревания. На рис. 6 представлена микроструктура сублимированного сыра «Покровский» со сроком созревания 90 суток при кратности увеличения 3000 раз.

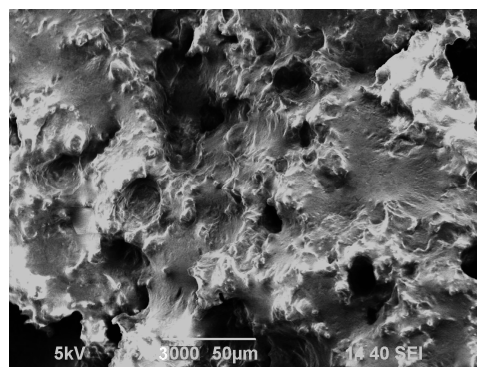


Рис. 6. Микроструктура сублимированного сыра «Покровский» со сроком созревания 90 суток при кратности увеличения 3000 раз

Белковый каркас пронизан по всей поверхности капиллярами размером от 10 до 60 мкм. Белковые прослойки между капиллярами имеют размер 50–250 мкм. Данный размер сопоставим с размером отдельных частиц параказеина. По-видимому, при коагуляции казеина сычужным ферментом казеиновые частички только укрупняются, но полностью не теряют индивидуальность даже в зрелом сыре.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- исследован элементный состав сыра «Покровский» вакуумной сушки. По микрофотографиям сыра «Покровский» вакуумной и сублимационной сушки установлено, что сыр имеет ячеистую структуру с первых дней созревания. Причем в процессе созревания сыра ячеистая структура развивается и увеличивается в размерах, а в перезрелом сыре ячейки растягиваются и образуется сетчатая структура;

- массовая доля влаги сухих сыров не превышает 4,0 %, эта влага относится к влаге полимолекулярной адсорбции, она прочно связана с сухим веществом и находится внутри белкового каркаса;

- высушивание сыра позволило более детально изучить структуру сыра. Благодаря высушиванию была обнаружена ячеистая структура сыра. Размер ячеек сыра 2-суточного созревания составляет 5–20 мкм, толщина белковых прослоек 5–10 мкм; 30-суточного – 20–60 мкм, 2–5 мкм; 90-суточного – 30–100 мкм, 1–3 мкм. Причем у перезревшего сыра «Покровский» (90 суток) ячеек практически нет, они сливаются и объединяются в единую массу. В процессе созревания сыра ячеистая структура увеличивается в размерах, а толщина белковых прослоек между ними уменьшается. При созревании сыра происходит увеличение массовой доли кислорода, натрия, фосфора, серы, хлора, калия, кальция; уменьшение содержание углерода; содержание азота практически не изменяется;

- увеличение объема кислорода в процессе созревания сыра связано с протеолизом. Распад белка происходит с участием воды. Группа ОН при распаде белка присоединяется к свободной аминокислоте, вода из свободного состояния переходит в связанное. Увеличение объема кислорода в сыре в процессе созревания вызвано переходом влаги в более энергоемкие формы связи;

- минеральные вещества в сырной массе изменяются в результате образования кислот (молочная, уксусная, пропионовая и др.). Молочная кислота отщепляет от казеина фосфат кальция и органический кальций в виде лактата кальция, в результате

чего в процессе созревания в сыре повышается количество кальция. При сроке созревания 2 суток количество кальция равно 1,14 %; 30 суток – 1,35 %; 90 суток – 2,6 %.

Список литературы

1. Горбатова, К.К. Химия и физика молока / К.К. Горбатова. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 288 с.
2. Диланян, З.Х. Сыроделие / З.Х. Диланян. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 280 с.
3. Гудков, А.В. Сыроделие: Технологические, биологические и физико-химические аспекты: монография / А.В. Гудков. – М.: ДеЛи принт, 2003. – 800 с.
4. Michelle, K. Microstructure and functionality of processed cheese: the role of milk fat / K. Michelle. – Raleigh, North Carolina: Food Science, 2008. – 88 p.
5. Fallico, V. Proteolysis and microstructure of piacentinu ennese cheese made using different farm technologies / V. Fallico, L. Tuminello, C. Pediliggieri, J. Horne, S. Carpino, G. Licitra // J. Dairy Sci. – 2006. – V. 89. – № 7. – P. 37–48.

ГОУ ВПО «Кемеровский технологический институт  
пищевой промышленности»,  
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.  
Тел./факс: (3842) 73-40-40  
e-mail: office@kemtipp.ru

**SUMMARY**

**V.A. Ermolaev**

**Investigation of a microstructure of cheese with various degree  
of ripeness before and after drying**

The article deals with the investigation of «Pokrovsky» cheese microstructure, the cheese being in the process of ripening. The microstructure of dry cheese has been also studied. Cheese was dried at liophilic dryer. The results on changes of «Pokrovsky» cheese element structure are presented. Profiles of element structure of «Pokrovsky» cheese subjected to vacuum drying are presented. The structure change of «Pokrovsky» cheese during ripening is described.

Cheese, microstructure, vacuum, sublimation drying.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology  
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia  
Phone/Fax: +7(3842) 73-40-40  
e-mail: office@kemtipp.ru

