

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

УДК 36.95:28.072

Л.Г. Коляда, Е.В. Тарасюк,  
И.А. Долматова, Т.Н. Зайцева

### РАЗРАБОТКА «АКТИВНОЙ УПАКОВКИ» С НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ КАЧЕСТВА МОЛОКА

L.G. Kolyada, E.V. Tarasyuk,  
I.A. Dolmatova, T.N. Zaytseva

### THE DEVELOPMENT OF «ACTIVE PACKAGING» WITH SILVER NANOPARTICLES FOR MILK QUALITY PRESERVATION

**Коляда Л.Г.** – канд. техн. наук, доц. каф. стандартизации, сертификации и технологии производства продуктов питания Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск. E-mail: kl174@mail.ru

**Тарасюк Е.В.** – канд. хим. наук, доц. каф. химии Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск. E-mail: gepod@inbox.ru

**Долматова И.А.** – канд. с.-х. наук, доцент каф. стандартизации, сертификации и технологии производства продуктов питания Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск. E-mail: dl.alina@rambler.ru

**Зайцева Т.Н.** – канд. биол. наук, доц. каф. стандартизации, сертификации и технологии производства продуктов питания Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск. E-mail: tatyananick@mail.ru

**Kolyada L.G.** – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Standardization, Certification and Production Technology of Food Products, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk. E-mail: kl174@mail.ru

**Tarasyuk E.V.** – Cand. Chem. Sci., Assoc. Prof., Chair of Chemistry, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk. E-mail: gepod@inbox.ru

**Dolmatova I.A.** – Cand. Agr. Sci., Assoc Prof., Chair of Standardization, Certification and Production Technology of Food Products, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk. E-mail: dl.alina@rambler.ru

**Zaytseva T.N.** – Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Chair of Standardization, Certification and Production Technology of Food Products, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk. E-mail: tatyananick@mail.ru

*Упаковка играет значительную роль в сохранении пищевых продуктов, так как защищает от влияния климатических и биологических факторов. Молоко является продуктом, нестойким к хранению, поэтому для увеличения сроков хранения применяются различные виды тепловой обработки – пастеризация, стерилизация, ионизация, что позволяет эффективно бороться с большинством микроорганизмов. Однако это не позволяет исклю-*

*чить попадание новых бактерий и предотвратить активизацию жизнедеятельности оставшихся. Разработка активных видов упаковочных материалов, позволяющих сохранить биологическую ценность и качество молока в процессе хранения, приобретает все большую актуальность. Цель исследования: разработка способа изготовления пищевой упаковки с антисептическими свойствами на основе наночастиц серебра для молока. Для*

достижения поставленной цели решались следующие задачи: определение оптимальных условий синтеза агрегативно-устойчивых наночастиц серебра в присутствии разных восстановителей; изучение физико-химических свойств золь и морфологии наночастиц серебра; исследование влияния упаковки, содержащей наночастицы серебра, на кислотность молока. Исследованы условия синтеза золь наночастиц серебра при химическом восстановлении нитрата серебра глюкозой и поливиниловым спиртом. Методами оптической спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии, микрорентгеноспектрального анализа, синхронного термического анализа проведены физико-химические исследования синтезированных золь. На спектре поглощения фиксируются выраженные максимумы при длинах волн 430–450 нм, что соответствует образованию наночастиц серебра. Методами электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа подтверждено образование наночастиц и высокодисперсных частиц серебра. Влияние наночастиц серебра на срок хранения свежего молока исследовали на основе определения показателя кислотности. Пробы свежего молока помещались в пластиковые контейнеры, на дно которых предварительно наносили золь наночастиц серебра. В пластиковом контейнере с покрытием, содержащим наночастицы серебра, кислотность молока нарастает медленнее, чем у контрольной пробы, при этом срок хранения молока увеличился на 4 суток.

**Ключевые слова:** молоко, нитрат серебра, глюкоза, поливиниловый спирт, наночастицы, пищевая упаковка, срок хранения.

*Packing plays significant role in preservation of foodstuff as it protects from the influence of climatic and biological factors. Milk is a product, unstable to storage therefore different types of thermal treatment are applied to increase the periods of storage – pasteurization, sterilization, ionization that allows struggling with the majority of microorganisms effectively. However, it does not allow to exclude hit of new bacteria and to prevent the activation of the remaining ones. The development of active types of packing materials allowing keeping biological value and quality of milk in the course of stor-*

*age gains increasing relevance. The research objective was the development of the way of production of food packing with antiseptic properties on the basis of silver nanoparticles for milk. For achievement of the goal the following problems were solved: the definition of optimum conditions of synthesis of aggregate and steady nanoparticles of silver in the presence of different reducers; fill in studying of physical and chemical properties also nanoparticles of silver morphology; the research of influence of the packing containing silver nanoparticles on milk acidity. The conditions of synthesis were investigated fill in silver nanoparticles at chemical restoration of nitrate of silver with glucose and polyvinyl alcohol. The methods of optical spectroscopy, the scanning electronic microscopy, the micro x-ray spectral analysis, the synchronous thermal analysis conducted physical and chemical researches synthesized fill in. On the range of absorption the expressed maxima were fixed with lengths of waves of 430–450 nanometers corresponding to the formation of nanoparticles of silver. The methods of electronic microscopy and the micro x-ray spectral analysis confirmed the formation of nanoparticles and high-disperse particles of silver. The influence of nanoparticles of silver on the period of fresh milk storage was investigated on the basis of the acidity index determination. The tests of fresh milk were located in plastic containers on which bottom previously applied zol silver nanoparticles. In the plastic container with covering containing silver nanoparticles, the acidity of milk increases more slowly, than in control sample, thus the period of milk storage increased by 4 days.*

**Keywords:** milk, silver nitrate, glucose, polyvinyl alcohol, nanoparticles, food packing, storage period.

**Введение.** Сегодняшний потребитель требует натуральных молочных продуктов, но при этом желает, чтобы они оставались свежими длительное время. Главной задачей является поиск новых экономичных, практичных и доступных технологий, помогающих сохранить все полезные свойства пищевых продуктов. За последние годы в мире появилось несколько разработок, претендующих на решение данной задачи. Одной из быстро развивающихся областей современной нанотехнологии является создание и использование наноразмерных частиц

различных материалов. Использование наночастиц в пищевой упаковке позволяет придать ей новые уникальные свойства, включая антибактериальную активность [1–6].

Проведенные фундаментальные исследования показали, что наночастицы серебра обладают уникальными оптическими свойствами, обусловленными поверхностным плазмонным резонансом, высокоразвитой поверхностью, каталитической активностью и др. Новой областью развития упаковочной отрасли являются «активные упаковки». Для успешного функционирования «активной упаковки», замедления порчи продукта и продления срока его хранения необходима специальная среда внутри упаковки. В последние годы существенно возрос интерес к получению упаковочных материалов, содержащих наночастицы серебра, которые обладают противомикробным эффектом и позволяют увеличить сроки хранения пищевых продуктов [1, 7–8].

При этом важное значение имеет стабилизация наночастиц серебра, так как они подвергаются быстрому окислению и легко агрегируют в растворах. К способам управления размерами наночастиц, применяемым в научной практике, относятся: использование полимерных матриц, позволяющих управлять размерами нанокластеров, полимерной защиты; физические методы управления размерами (обработка ультразвуком, облучение рентгеновским излучением, использование токов высокой чистоты). Изменения размера нанокластеров металлов достигаются также варьированием природы восстановителя: глюкозы, аскорбиновой кислоты, гидразина, боргидрида натрия и др. [1, 6, 9–12].

**Цель исследования:** разработка способа изготовления пищевой упаковки для молока с антисептическими свойствами на основе наночастиц серебра.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- определение оптимальных условий синтеза агрегативно-устойчивых наночастиц серебра в присутствии разных восстановителей;
- изучение физико-химических свойств золей и морфологии наночастиц серебра;
- исследование влияния упаковки, содержащей наночастицы серебра, на кислотность молока.

**Методы исследования.** Для исследования свойств и состава золей, пленок и нанокомпозитов использовался комплекс физико-химических методов: оптическая спектроскопия в видимой и УФ-областях (спектрофотометр СФ-26), электронная микроскопия (микроскоп JSM 6490 LV), микрорентгеноспектральный анализ (специальная приставка к сканирующему микроскопу системы INCA Energy), синхронный термический анализ (термоанализатор STA 449 F3 Jupiter). Кислотность молока определяли титриметрическим методом в соответствии с ГОСТ 3624-92.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Способ изготовления пищевой упаковки с антисептическими свойствами на основе наночастиц серебра включал в себя следующие стадии: синтез золя наночастиц серебра; нанесение золя на упаковочный материал (контейнер); высушивание при комнатной температуре в течение нескольких часов.

*Приготовление золя с глюкозой.* Наночастицы серебра получали путем восстановления 0,0001–0,005 М водных растворов нитрата серебра (хс). В качестве восстановителя использовали 0,001–0,05 М растворы глюкозы (хс). Гидрозоль наночастиц серебра готовили смешением растворов нитрата серебра и глюкозы в соотношении объемов 1:1. Обработку смеси проводили раствором гидроксида аммония (1,25 %) до pH 8–9, так как размеры наночастиц серебра зависят от pH среды [1]. После экспозиции при температуре 96–98 °С в течение 120 минут полученный золь стабилизировали с использованием токов высокой частоты (СВЧ) и ультразвуком в диспергаторе УЗДН-2Т.

*Приготовление золя с ПВС.* Синтез наночастиц серебра проводили путем восстановления водного раствора нитрата серебра. В качестве восстановителя и полимерной матрицы был использован поливиниловый спирт (ПВС). Золь наночастиц серебра готовили смешением 0,0001–0,0025 М раствора нитрата серебра и раствора ПВС (0,5–2,5 %) в соотношении объемов 1:1, экспонировали при комнатной температуре в течение 30 минут, затем полученную смесь нагревали до 90 °С в течение 15 минут и фильтровали после охлаждения. Для определения влияния pH среды на размеры наночастиц золи получали в кислой (pH 4,5) и щелочной

(рН 11,5) средах. Для создания щелочной среды использовали гидроксид аммония (1,25 %).

**Нанесение антисептического покрытия.** На дно упаковочных контейнеров из полипропилена методом полива наносили золи наночастиц серебра, высушивали в течение 3 часов при комнатной температуре.

Свойства коллоидного раствора, в том числе и наночастиц серебра, определяются возможностью коагуляции и перекристаллизации, т. е. агрегативной устойчивостью, а также седиментационной устойчивостью и возможностью их окисления кислородом воздуха. Для описания агрегативной устойчивости нанодисперсии серебра во времени был использован метод визуального наблюдения: отмечалось изменение окраски растворов и/или образования осадка.

Цвет получаемых золей менялся от бледно-желтого до коричневого и серо-зеленого. При восстановлении глюкозой золь имел желтую окраску, что указывает на наличие более мелких частиц серебра. После стабилизации СВЧ золь приобретал ярко-желтую окраску. При обработке ультразвуком цвет золя серебра переходил от желтого к серому, что свидетельствует об агрегации частиц. Таким образом, наиболее оптимальными условиями восстановления наночастиц серебра являются следующие: концентрация раствора  $\text{AgNO}_3$  – 0,0001 М, эффективный восстановитель – 0,05 М раствор глюкозы ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ), стабилизация золя – СВЧ в течение 5 минут.

При использовании в качестве восстановителя ПВС золи имели окраску от бледно-желтой до коричневой. Наличие желтой окраски золя свидетельствует об образовании наночастиц серебра. Коричневая окраска золя указывает на процессы агрегирования. Таким образом, наиболее оптимальными условиями восстановления наночастиц серебра являются следующие: концентрация раствора  $\text{AgNO}_3$  – 0,0001 М, концентрация ПВС – 0,5 %.

Известно, что ПВС одновременно играет роль восстановителя и стабилизатора. Взаимодействие защитного полимера с НРЧ может осуществляться за счет прикрепления макромолекул полимера к поверхности частиц путем физической адсорбции [11, 14].

Характерной чертой наночастиц является сильное и специфическое взаимодействие с электромагнитным излучением. Особенностью спектров поглощения наночастиц размером более 2 нм является присутствие широкой полосы поверхностно-плазмонного резонанса (ППР) в видимой области или в прилегающей к ней ближней УФ-области. Спектральный максимум вблизи 400 нм соответствует ППР изолированных и слабо взаимодействующих наночастиц серебра [1, 7, 13, 15]. Спектры поглощения гидрозолья регистрировали при комнатной температуре в области 300–600 нм.

На спектре поглощения (рис. 1) золь (восстановитель – глюкоза) фиксируется выраженный максимум при длине волны 430 нм.

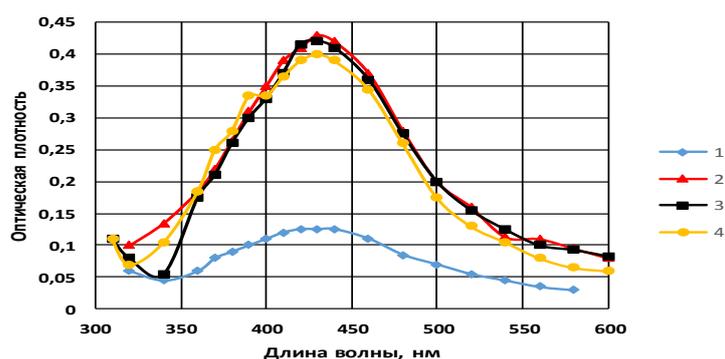


Рис. 1. Спектры поглощения золя с глюкозой:  
 1 – нестабилизированный золь; 2 – свежеприготовленный золь;  
 3 – золь (5 суток); 4 – золь (13 суток)

Образующиеся наночастицы способны существовать продолжительное время: после экспозиции в течение 5, 13 суток спектр поглоще-

ния золя практически не изменяется, что свидетельствует об отсутствии активной агрегации частиц. Максимум при длине волны 430 нм со-

ответствует частицам серебра размерами до 50 нм [1].

На спектре поглощения золя (восстановитель – ПВС) фиксируется менее выраженный максимум при длине волны 460 нм (рис. 2), ко-

торый соответствует частицам серебра размерами до 70 нм [1]. Смещение максимума спектра поглощения в область более высоких значений длин волн свидетельствует об образовании крупных частиц.

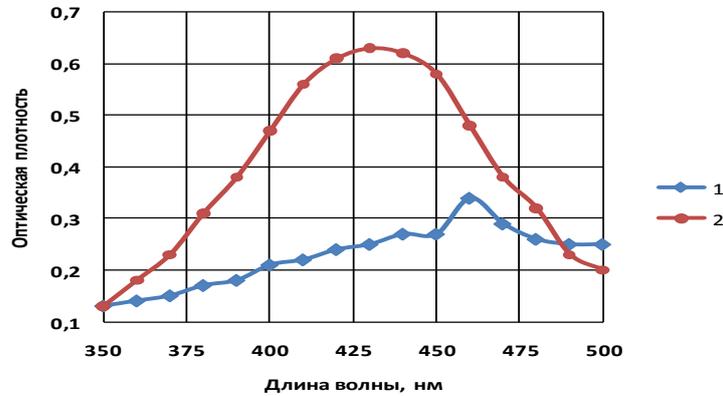


Рис. 2. Спектры поглощения золей:  
1 – восстановитель ПВС; 2 – восстановитель глюкоза

Методом сканирующей электронной микроскопии получены фотографии наночастиц серебра (рис. 3, а). Наряду с размерами наночастиц до 50 нм встречаются более крупные агрегаты размерами до 160 нм.

Составы золей исследовали с использованием микрорентгеноспектрального анализа. На рисунке 3, б и в таблице 1 представлены результаты качественного и количественного исследования золя, содержащего наночастицы серебра, полученного восстановлением глюкозой.

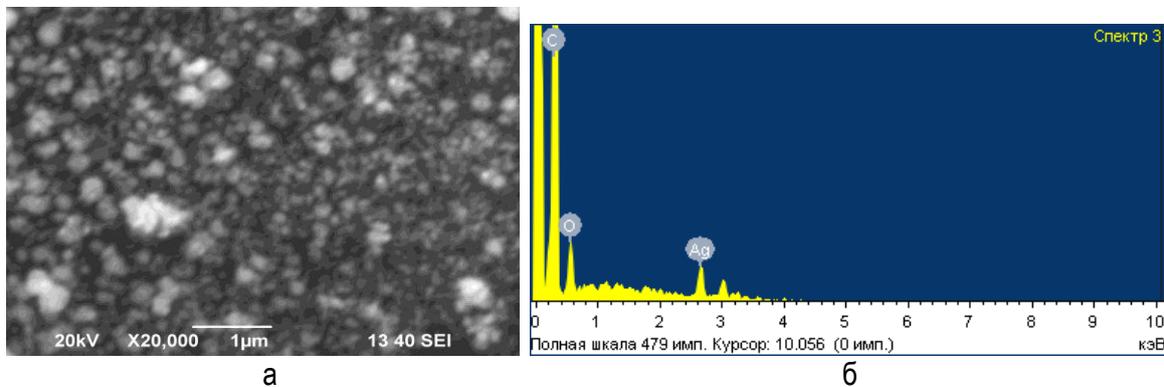


Рис. 3. Изображение (а) и спектр (б) микрорентгеноспектрального анализа золя серебра (восстановитель – глюкоза)

Таблица 1

Результаты спектрального анализа

Элемент	Весовой, %	Атомный, %
C	45,44	83,74
O	4,30	5,94
Ag	50,26	10,31

Итого	100,00	
-------	--------	--

Как видно из рисунка 3, на спектрах присутствуют углерод и кислород, относящиеся к исходному углеводороду – глюкозе, и серебро.

На кривой синхронного термического анализа (ТГ/ДСК) золя (восстановитель – глюкоза) пик при температуре 961 °С, соответствующий температуре плавления металлического серебра, отсутствует [13]. Поскольку у нанокристаллических (аморфных) структур нет ярко выраженного пика плавления, так как им практически не требуется энергии на разрушение кристаллической

решетки, то можно предположить, что в растворе присутствуют именно наночастицы серебра.

Результаты микрорентгеноспектрального анализа золя на основе ПВС представлены на рисунках 4, 5. В исследуемых образцах присутствуют углерод и кислород, относящиеся к ПВС, и серебро (рис. 4, 5, б; табл. 2). В щелочной среде образуются частицы преимущественно размерами до 100 нм, а в кислой среде образуются высокодисперсные частицы размерами до 100–500 нм.

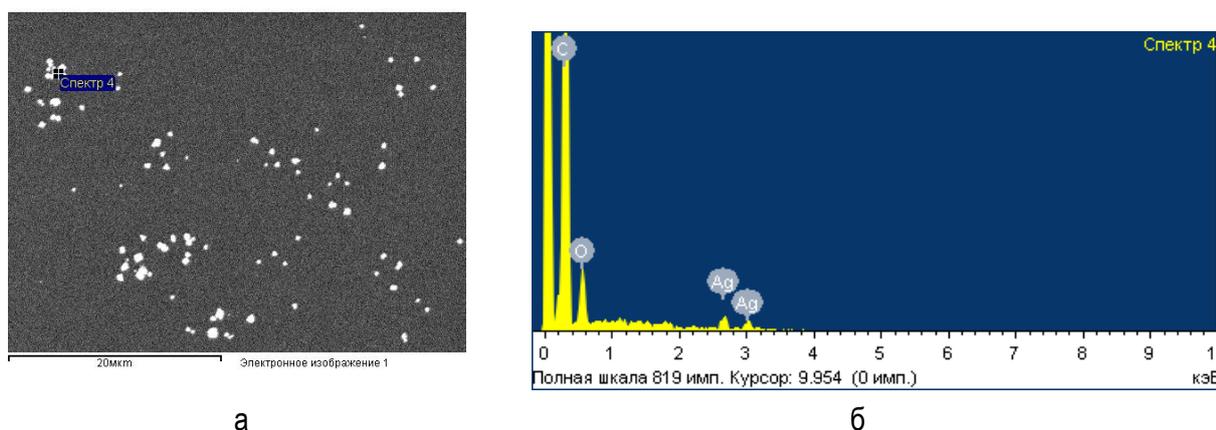


Рис. 4. Изображение (а) и спектр (б) микрорентгеноспектрального анализа золя серебра (×3000, щелочная среда)

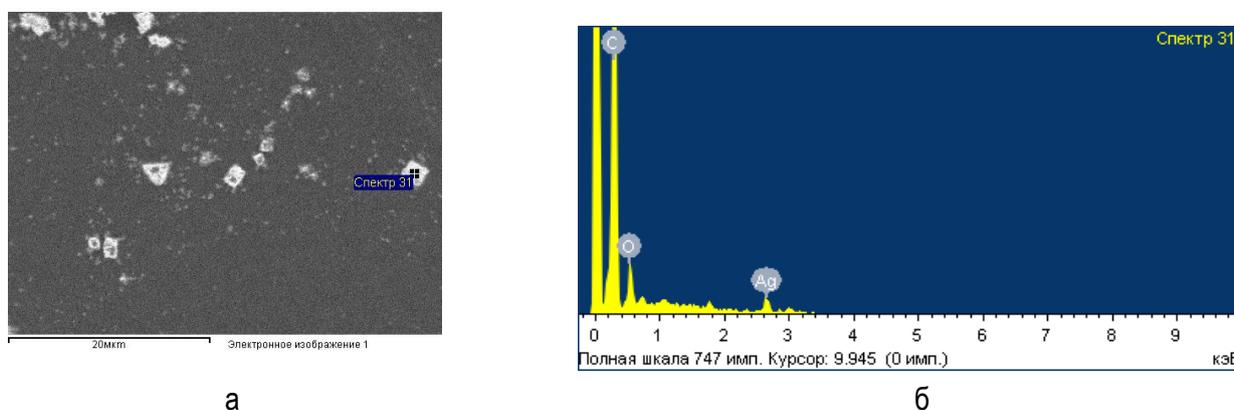


Рис. 5. Изображение (а) и спектр (б) микрорентгеноспектрального анализа золя серебра (×3000, кислая среда)

Таблица 2

Результаты спектрального анализа зольей на основе ПВС

Элемент	Кислая среда		Щелочная среда	
	Весовой, %	Атомный, %	Весовой, %	Атомный, %
C	72,52	91,36	59,23	86,24
O	5,94	5,61	7,68	8,40
Ag	21,55	3,02	33,08	5,36

Итого	100,00	100,00	
-------	--------	--------	--

Образование крупных агрегатов кристаллической структуры подтверждается результатами синхронного термического анализа (рис. 6). На кривой ДСК фиксируется пик при температуре 963 °С, который соответствует температуре плавления серебра.

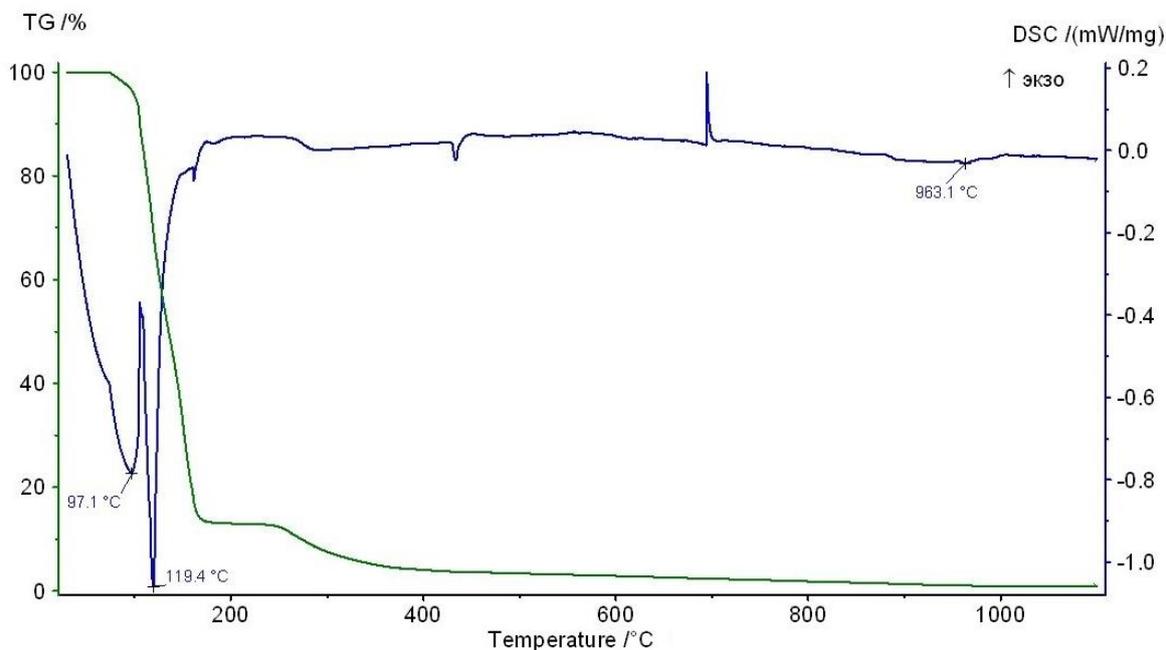


Рис. 6. Кривая синхронного термического анализа золя с ПВС

Известно, что ионы серебра и соединения на его основе обладают высокой токсичностью для микроорганизмов, демонстрируя сильное биоцидное действие на 12 видов бактерий [16–18]. Типичные наночастицы серебра (размеры до 25 нм) имеют чрезвычайно большую удельную площадь поверхности, что увеличивает область контакта серебра с бактериями или вирусами, значительно увеличивая его бактерицидные свойства. Таким образом, применение серебра в виде наночастиц позволяет в сотни раз снизить его концентрацию с сохранением всех бактерицидных свойств. Бактерицидные добавки на основе наночастиц серебра, обладающие комплексом свойств (дезинфицирующее свойство, отсутствие резистентности микроорганизмов к нему и безопасность по отношению к организму человека), могут использоваться в различных видах продукции.

В работе исследовали влияние наночастиц серебра на срок хранения молока на основе показателя кислотности молока [19, 20]. В свежесвыдоенном молоке кислотность обусловлена фосфорнокислыми солями, кислыми казеинами, амфотерными свойствами белков и составляет 16–19 °Т. Повышение кислотности связано с расщеплением лактозы, накоплением молочной и других органических кислот. Молочнокислое брожение вызывается анаэробными гомоферментативными и гетероферментативными бактериями.

Для исследования качества свежее молоко помещалось в полипропиленовые контейнеры, на дно которых предварительно наносили пленки золей. Контейнеры экспонировали при температуре 4–6 °C, что соответствует условиям хранения в торговых сетях. После экспозиции определяли кислотность молока. Результаты приведены на рисунке 7.

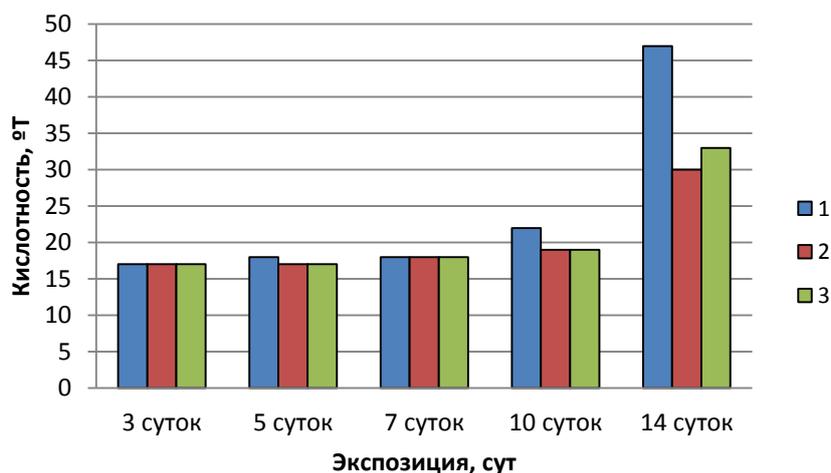


Рис. 7. Диаграмма определения кислотности молока по Тернеру:  
1 – контейнер; 2 – контейнер + золя (восстановитель – глюкоза);  
3 – контейнер + золя (восстановитель – ПВС)

Начальная кислотность молока составила 16 °Т. Результаты эксперимента показали, что на 10 сутки кислотность молока в контейнере без серебра выросла на 5 °Т, кислотность молока в контейнере с серебром – 3 °Т. Так как несвежее молоко имеет кислотность 23 °Т и более, то можно заключить, что срок хранения молока увеличился на 4 суток. Таким образом, кислотность молока в контейнерах, содержащих наночастицы серебра, нарастает медленнее, чем у контрольной пробы.

**Выводы.** В работе определены основные параметры синтеза золей наночастиц серебра (температура, концентрации растворов нитрата серебра, глюкозы, ПВС) и получены золи восстановлением раствора нитрата серебра глюкозой и ПВС. Методом оптической спектроскопии на спектрах поглощения фиксируются максимумы при длинах волн 430–450 нм, что подтверждает образование наночастиц серебра. Методом сканирующей электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа исследованы составы полученных золей и размеры частиц серебра.

Показано, что частицы серебра в золях (восстановитель – глюкоза) имеют наноразмеры в отличие от золей (восстановитель – ПВС), размеры которых зависят от условий синтеза (рН). Установлено, что в пластиковом контейнере с покрытием, содержащим наночастицы серебра, кислотность молока нарастала медленнее, при этом срок хранения молока увеличился на 4 суток.

## Литература

1. Krutyakov Yu.A., Kudrinskiy A.A., Olenin A. Yu. (2003) Russian Chemical Reviews 77 (3): 242–269.
2. Kolyada L.G., Ershova O.V., Efimova Yu.Yu., Tarasyuk E.V. (2013) Synthesis and research on silver nanoparticles. Almanac of modern science and education 10(77):79-82.
3. Подкопаев Д.О., Лабутина Н.В., Суворов О.А. и др. Особенности применения наночастиц в пищевой промышленности // Изв. вузов. Пищевая технология. – 2013. – № 5-6. – С. 5–8.
4. Rhim J.-W., Hong S.-I., Park H.-M., Ng P.K.W. (2006) Preparation and Characterization of Chitosan-Based Nanocomposite Films with Antimicrobial Activity. J. Agric. Food Chem 54:5814–5822.
5. Sozer N., Kokini J.L. (2009) Nanotechnology and its applications in the food sector. Trends in Biotechnology. 27(2):82–89.
6. Козлова Е.С., Никифорова Т.Е. (2014) Закономерности образования наночастиц серебра на целлюлозных полимерах и оценка их токсичности // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 12 (44) [Электрон. ресурс]. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/12/39482> (дата обращения: 19.11.2016)
7. Okafor F., Janen A., Kukhtareva T., Edwards V., Curley M. (2013) Green synthesis of

- silver nanoparticles, their characterization, application and antibacterial activity. *Int. J. Environ Res. Public Health*. 10 (10):5221-5238
8. Подкопаев Д.О., Шабурова Л.Н., Баландин Г.В. и др. Сравнительная оценка антимикробной активности наночастиц серебра // Российские нанотехнологии. – 2013. – Т. 8, № 11-12. – С. 123–126.
  9. Vegeera A.V., Zimon A.D. (2006) Synthesis and physical-chemical properties of the silver nanoparticles stabilized by acid gelatin. *Journal of applied chemistry* 79(10):1660–1663.
  10. Saifullina I.R., Chiganova G.A., Karpov S.V., Slabko V.V. (2006) Producing composite films with silver nanoparticles and their fractal aggregates in a polymeric matrix. *Journal of applied chemistry* 79 (9):1419-1422.
  11. Potogailo A.D., Rozenberg A.S., Uflyand U.E. (2000) Nanoparticles of metals in polymers. Moscow, Chemistry.
  12. Кузьмина Л.Н., Звиденцова Н.С., Колесников Л.В. Получение наночастиц серебра методом химического восстановления // Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева. – 2007. – Т. 30, № 8. – С. 7–12.
  13. Kolyada L.G., Medyanik N.L., Efimova Yu.Yu., Kremneva A.V. (2015) Synthesis and research on silver nanoparticles and their possible application in food packaging. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University* 2:65-69.
  14. Амерханова Ш.К., Шляпов Р.М., Афанасьев Д.А. и др. (2012) Оптические и сорбционные свойства пленок из поливинилового спирта с наночастицами серебра // Пластические массы. – 2012. – № 3. – С. 12–14.
  15. Allafchian A.R., Mirahmadi-Zare S.Z., Jalali S.A., Hashemi S.S., Vahabi M.R. (2016) Green synthesis of silver nanoparticles using phlomis leaf extract and investigation of their antibacterial activity. *Journal of Nanostructure in Chemistry* 6(2):129–135.
  16. Rozalyonok T.A., Sidorin Yu.Yu. (2014) Research and development of antimicrobial composition for food packaging. *Food Processing: Techniques and Technology* 2:130–134.
  17. Смирнова В.В., Краснаярова О.В., Придворова С.М. Характеристика миграции наночастиц серебра из упаковочных материалов, предназначенных для контакта с пищевыми продуктами // Вопросы питания. – 2012. – № 2. – С. 34–39.
  18. Muhammad Akram Raza, Zakia Kanwal, Anum Rauf, Anjum Nasim Sabri, Saira Riaz and Shahzad Naseem (2016) Size- and Shape-Dependent Antibacterial Studies of Silver Nanoparticles Synthesized by Wet Chemical Routes. *Nanomaterials* 6, 74; doi: 10.3390/nano6040074.
  19. Ермолаев В.А., Иваненко О.Н., Онюшев М.В. Разработка температурных режимов вакуумного концентрирования молока // Вестн. КрасГАУ. – 2016. – № 9. – С. 121–127.
  20. Ермолаев В.А., Башков Д.А., Брюханов М.А. Анализ ступенчатого и импульсного способов подвода теплоты при вакуумном концентрировании молочных продуктов // Вестн. КрасГАУ. – 2015. – № 5. – С. 102–108.

#### Literatura

1. Krutyakov Yu.A., Kudrinskiy A.A., Olenin A. Yu. (2003) *Russian Chemical Reviews* 77 (3): 242–269.
2. Kolyada L.G., Ershova O.V., Efimova Yu.Yu., Tarasyuk E.V. (2013) Synthesis and research on silver nanoparticles. *Almanac of modern science and education* 10(77): 79-82.
3. Podkopaev D.O., Labutina N.V., Suvorov O.A. i dr. Osobennosti primeneniya nanochastic v pishhevoj promyshlennosti // *Izv. vuzov. Pishhevaya tehnologija*. – 2013. – № 5-6. – С. 5–8.
4. Rhim J.-W., Hong S.-I., Park H.-M., Ng P.K.W. (2006) Preparation and Characterization of Chitosan-Based Nanocomposite Films with Antimicrobial Activity. *J. Agric. Food Chem* 54:5814–5822.
5. Sozer N., Kokini J.L. (2009) Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends in Biotechnology*. 27(2):82–89.
6. Kozlova E.S., Nikiforova T.E. (2014) Zakonomernosti obrazovanija nanochastic se-rebra na celluloznyh polimerah i ocenka ih toksichnosti // *Sovremennye nauchnye issledovanija i innovacii*. – 2014. – № 12 (44) [Jelektron. resurs]. – URL:

- <http://web.snauka.ru/issues/2014/12/39482> (data obrashhenija: 19.11.2016)
7. Okafor F., Janen A., Kukhtareva T., Edwards V., Curley M. (2013) Green synthesis of silver nanoparticles, their characterization, application and antibacterial activity. *Int. J. Environ Res. Public Health*. 10 (10):5221-5238
  8. Podkopaev D.O., Shaburova L.N., Balandin G.V. i dr. Sravnitel'naja ocenka anti-mikrobnj aktivnosti nanochastic serebra // *Rossijskie nanotehnologii*. – 2013. – T. 8, № 11-12. – S. 123–126.
  9. Vegeera A.V., Zimon A.D. (2006) Synthesis and physical-chemical properties of the silver nanoparticles stabilized by acid gelatin. *Journal of applied chemistry* 79(10):1660–1663.
  10. Saifullina I.R., Chiganova G.A., Karpov S.V., Slabko V.V. (2006) Producing composite films with silver nanoparticles and their fractal aggregates in a polymeric matrix. *Journal of applied chemistry* 79 (9):1419-1422.
  11. Pomogailo A.D., Rozenberg A.S., Uflyand U.E. (2000) Nanoparticles of metals in polymers. Moscow, Chemistry.
  12. Kuz'mina L.N., Zvidencova N.S., Kolesnikov L.V. Poluchenie nanochastic serebra metodom himicheskogo vosstanovlenija // *Zhurnal Rossijskogo himicheskogo obshhestva im. D.I. Mendeleeva*. – 2007. – T. 30, № 8. – S. 7–12.
  13. Kolyada L.G., Medyanik N.L., Efimova Yu.Yu., Kremneva A.V. (2015) Synthesis and research on silver nanoparticles and their possible application in food packaging. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University* 2:65-69.
  14. Amerhanova Sh.K., Shljapov R.M., Afanas'ev D.A. i dr. (2012) Opticheskie i sorb-cionnye svojstva plenok iz polivinilovogo spirta s nanochasticami serebra // *Plasticheskie massy*. – 2012. – № 3. – S. 12–14.
  15. Allafchian A.R., Mirahmadi-Zare S.Z., Jalali S.A., Hashemi S.S., Vahabi M.R. (2016) Green synthesis of silver nanoparticles using phlomis leaf extract and investigation of their antibacterial activity. *Journal of Nanostructure in Chemistry* 6(2):129–135.
  16. Rozalyonok T.A., Sidorin Yu.Yu. (2014) Research and development of antimicrobial composition for food packaging. *Food Processing: Techniques and Technology* 2:130–134.
  17. Smirnova V.V., Krasnojarova O.V., Pridvorova S.M. Harakteristika migracii nanochastic serebra iz upakovochnyh materialov, prednaznachennyh dlja kontakta s pishhevymi produktami // *Voprosy pitanija*. – 2012. – № 2. – S. 34–39.
  18. Muhammad Akram Raza, Zakia Kanwal, Anum Rauf, Anjum Nasim Sabri, Saira Riaz and Shahzad Naseem (2016) Size- and Shape-Dependent Antibacterial Studies of Silver Nanoparticles Synthesized by Wet Chemical Routes. *Nanomaterials* 6, 74; doi: 10.3390/nano6040074.
  19. Ermolaev V.A., Ivanenko O.N., Onjushev M.V. Razrabotka temperaturnyh rezhimov vakuumnogo koncentrirovaniya moloka // *Vestn. KrasGAU*. – 2016. – № 9. – S. 121–127.
  20. Ermolaev V.A., Bashkov D.A., Brjuhanov M.A. Analiz stupenchatogo i impul'snogo sposobov podvoda teploty pri vakuumnom koncentrirovanii molochnyh produktov // *Vestn. KrasGAU*. – 2015. – № 5. – S. 102–108.

