 © Авторы статьи / Authors of the article

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ/FOOD SYSTEMS

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.92 EDN: QTNYCI

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИТОНАНОКОМПОЗИТА В СОСТАВЕ ВЛАГОПОГЛОЩАЮЩЕЙ САЛФЕТКИ ПО МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ДЛЯ ПРОЛОНГАЦИИ СРОКА ГОДНОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Научная статья

Оконов С.С.[1,] *, Овсюк Е.А.[2], Миниахметова А.В.[3], Снетков П.П.[4], Морозкина С.Н.[5]
[3] ORCID : 0000-0002-5956-085X;
[4] ORCID : 0000-0001-9949-5709;
[5] ORCID : 0000-0003-0122-0251;
[1, 2, 3, 4] Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Российская Федерация
[5] Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (seonn13[at]gmail.com)

Предложена: 16.08.2026; Принята: 16.10.2026; Опубликована: 17.11.2026

Аннотация

Обеспечение пролонгации сроков годности пищевых продуктов остается важнейшей задачей для снижения продовольственных потерь. В статье исследуется эффективность применения активной упаковочной системы на основе влагопоглощающей салфетки, модифицированной антимикробным фитонанокомпозитом, для пролонгации сроков годности пищевых продуктов. Цель исследования — оценить влияние влагопоглощающего целлюлозного вкладыша, модифицированного фитонанокомпозитом (ФНК), на динамику микробиологических показателей охлажденного филе курицы и форели, а также оценить возможность миграции серебра в пищевые продукты. Фитонанокомпозит получен методом «зеленого» синтеза и представляет собой коллоидный раствор, состоящий из комплекса серебряных наночастиц и экстракта ели, выполняющего роль восстанавливающего и стабилизирующего агента. Нанесение фитонанокомпозита на салфетку локально подавляет рост микрофлоры порчи в выделяемом продуктами соке, снижая общую обсемененность продукта. При этом, спектроскопический анализ пищевых продуктов, контактировавших с модифицированной салфеткой, подтвердил отсутствие миграции наночастиц серебра. Оценка микробиологических показателей (КМАФАнМ) охлажденного филе курицы и форели показала выраженное ингибирующее действие. Согласно расчетам по предиктивной модели, при применении исследованного образца фитонанокомпозита, ФНК-2, расчетное время достижения предельно допустимых значений КМАФАнМ увеличивается на 11,5 часов для филе курицы и 12 ч для филе форели. Было показано, что предложенное упаковочное решение позволяет минимизировать нежелательные риски миграции металлических наночастиц в пищевой продукт.

Ключевые слова: фитонанокомпозит, наночастицы серебра, экстракт ели, активная упаковка, пролонгация сроков годности.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF A PHYTONANOCOMPOSITE IN A MOISTURE-ABSORBING WIPE BASED ON MICROBIOLOGICAL INDICATORS FOR EXTENDING THE SHELF LIFE OF FOOD PRODUCTS

Research article

Okonov S.S.[1,] *, Ovsuk E.A.[2], Miniakhmetova A.V.[3], Snetkov P.P.[4], Morozkina S.N.[5]
[3] ORCID : 0000-0002-5956-085X;
[4] ORCID : 0000-0001-9949-5709;
[5] ORCID : 0000-0003-0122-0251;
[1, 2, 3, 4] ITMO University, Saint-Petersburg, Russian Federation
[5] Saint-Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (seonn13[at]gmail.com)

Suggested: 16.08.2026; Accepted: 16.10.2026; Published: 17.11.2026

Abstract

Extending the shelf life of food products remains a key priority in reducing food loss. The article examines the effectiveness of using an active packaging system based on a moisture-absorbing wipe modified with an antimicrobial phytonanocomposite to extend the shelf life of food products. The aim of the study is to evaluate the effect of a moisture-absorbing cellulose insert, modified with a phytonanocomposite (PNC), on the dynamics of microbiological parameters in chilled chicken fillets and trout, as well as to evaluate the potential for silver migration into food products. The phytonanocomposite was obtained by a ‘green’ synthesis method and is a colloidal solution consisting of a complex of silver nanoparticles and spruce extract, which acts as a reducing and stabilising agent. Applying the phytonanocomposite to a tissue locally inhibits the growth of spoilage microflora in the juice secreted by the products, thereby reducing the overall microbial load of the product. Furthermore, spectroscopic analysis of food products that had come into contact with the modified tissue confirmed the absence of silver nanoparticle migration. An assessment of the microbiological parameters (QMA&OAMO) of

 © Авторы статьи / Authors of the article

chilled chicken and trout fillets revealed a significant inhibitory effect. According to calculations based on a predictive model, when the tested phytonanocomposite sample, PNC-2, is used, the estimated time to reach the maximum permissible values for QMA&OAMO increases by 11,5 hours for chicken fillets and 12 hours for trout fillets. It has been shown that the suggested packaging solution minimises the undesirable risks of metal nanoparticles migrating into food products.

Keywords: phytonanocomposite, silver nanoparticles, spruce extract, active packaging, extended shelf life.

Введение

Проблема порчи пищевых продуктов остаётся одной из наиболее острых проблем, с которой сталкивается пищевая промышленность. В мясной и рыбной отраслях пищевой промышленности продовольственные потери составляют до 30–35% и 35–40% соответственно [1]. Традиционные методы консервации имеют ряд критических ограничений, что обуславливает необходимость разработки инновационных технологий для пролонгации сроков годности [2]. Перспективным направлением в данном случае является использование антимикробных наноматериалов, в частности, особый интерес представляет «зеленый» синтез наночастиц с использованием растительных материалов, где в качестве восстанавливающих и стабилизирующих агентов для получения наночастиц выступают растительные экстракты [3]. В качестве такого растительного сырья могут использоваться отходы лесозаготовки — хвоя ели обыкновенной (*Picea abies*), являющаяся источником биологически активных веществ [4]. Растительные экстракты могут служить средой для получения наночастиц [5] и оказывать дополнительное антимикробное действие в сочетании с ними [6].

Целью данного исследования является изучение влияния модифицированного упаковочного элемента, влагопоглощающего целлюлозного вкладыша, фитонанокомпозитом (ФНК), состоящего из серебряных наночастиц и растительного экстракта, на пролонгацию сроков годности охлажденного филе курицы и рыбы.

Методы и принципы исследования

Объектом исследования является коллоидный раствор фитонанокомпозита, представляющий собой результирующий продукт «зеленого» синтеза, в котором не происходит отделение наночастиц от растительного экстракта. Фитонанокомпозит синтезировался путем смешивания раствора нитрата серебра и растительного экстракта ели обыкновенной (*Picea abies*) по методике [7]. Экстракт ели был получен методом водной мацерации при температуре 60 °C, гидромодуле 1:25 в течение 60 минут. «Зеленый» синтез также проводился при 60 °C в течение 60 минут, концентрация экстракта составила 3% об., концентрация 1мМ раствора $AgNO_3$ — 97% об.

Апробация синтеза, морфологические особенности и размеры наночастиц в коллоидном растворе фитонанокомпозита были исследованы с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) высокого разрешения на приборе Merlin 42–37 (Zeiss, Oberkochen, Germany) при 15кВ. Пробоподготовка осуществлялась помещением аликвоты фитонанокомпозита на проводящую кремниевую подложку с дальнейшей сушкой до полного испарения. Определение средних размеров проводится с помощью программного обеспечения ImageJ.

В качестве пищевых объектов были выбраны филе курицы, охлажденной АО «Птицефабрика "Северная"», и филе форели (аквакультуры) фермы «Приладожье». Выбор данных объектов обусловлен высокой биологической и пищевой ценностью, а также высоким потенциалом к микробиологической порче из-за обильного выделения белкового экссудата (мясного сока).

В качестве модифицируемого упаковочного материала использовался целлюлозный влагопоглощающий вкладыш (салфетка), изготовленный ООО «Оптиком СПб», с размерами 80х110 мм и впитываемостью 800 г/м^2. Максимальная впитываемость составляет 7г на одну салфетку. Режим модификации упаковки**:** пропитка целлюлозных влагопоглощающих вкладышей фитонанокомпозитом методом мелкодисперсного распыления (Разовый объем дозирования — 0,12±0,01 мл / импульс (нажатие), расстояние до подложки — 25см с последующей сушкой при комнатной температуре и дальнейшее размещение на подложке из вспененного полистирола (ВПС). Количество наносимого фитонанокомпозита (ФНК) на одну салфетку — 1г, 2г (образцы ФНК-1 и ФНК-2). Концентрация при этом составила 113,6 г/м^2 (ФНК-1) и 227,2 г/м^2 (ФНК-2). Контролем выступили влагопоглощающие вкладыши, обработанные дистиллированной водой. Пищевые образцы массой 500г укладывались на подготовленные лотки с вкладышами, обматывались стретч пленкой из ПВХ и хранились в холодильных условиях, 4 ± 2 °C.

Оценка эффективности по пролонгации сроков годности проводилось по показателям общего количества мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ). Во-первых, КМАФАнМ был выбран маркерным показателем, так как он является главным регламентируемым санитарным критерием по ТР ТС 021/2011. Во-вторых, порча пищевых продуктов происходит под действием совокупности микроорганизмов, а не отдельных конкретных штаммов. Анализ микробиологических показателей КМАФАнМ проводился на 0, 2, 4 и 6 сутки. Оценка показателя КМАФАнМ проводилось методом посева смыва пищевого продукта в питательную агаризованную среду с термостатированием при 30 ± 1 °C в течение 72 часов в соответствии с ГОСТ 7702.2.1-2017 и ГОСТ 10444.15-94. Эксперименты выполнялись в трехкратной повторности, образцы для посева собирались с разных частей пищевых продуктов для обеспечения достоверности. Показатели КМАФАнМ выражаются в колониеобразующих единицах на грамм продукта, КОЕ/г.

Для подтверждения отсутствия миграции наночастиц из влагопоглощающего вкладыша в продукт, использовались элементный анализ методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС) с использованием рентгеновского детектора Oxford Instruments, Aztec, с пределом допустимого определения 0,05% — 0,1%, интегрированного к сканирующему электронному микроскопу Tescan Vega 3 и методом дуговой атомно-эмиссионной спектроскопии на приборе ИСКРОЛАЙН 1000 с диапазоном измерений массовых долей большинства элементов до 10^{-5} %, что делает его достаточно высокочувствительным. Источником возбуждения служит дуга постоянного тока 15А. Исследованию подвергались пищевые продукты на последний, 6 день эксперимента после контакта с

 © Авторы статьи / Authors of the article

модифицированным вкладышем. Отбор навесок в 10г происходил как с поверхности продукта, непосредственно контактировавшим с подложкой, так и с глубинного слоя мяса для исследования миграции вглубь продукта. Полученные навески затем подвергаются сухому озолению в соответствии с ГОСТ 26929-94. Озоление происходит в муфельной печи при температуре 500 °С в течение 4 часов до получения бело-серой золы и взвешивается для получения коэффициента концентрирования.

Для анализа кинетики показателя КМАФАнМ и для предиктивного расчета было применено математическое моделирование с использованием модифицированного уравнения Гомперца, успешно применяющегося во многих областях биологии, в частности для описания роста бактерий [8], [9]. Кинетические параметры рассчитывались методом нелинейной регрессии с использованием библиотеки SciPy в программном обеспечении Python.

Основные результаты

3.1. Физико-химические характеристики фитонанокомпозита

Морфология синтезированного фитонанокомпозита была исследована методом сканирующей электронной микроскопии высокого разрешения. На полученных фотографиях наблюдается образование частиц преимущественно сферической с наличием иглообразных форм, размер которых лежит в нанодиапазоне до 100 нм (рис. 1, 2), что свидетельствует об успешном проведенном «зеленом» синтезе. Анализ полученных изображений показал, что средний размер частиц равен 16,8 нм.

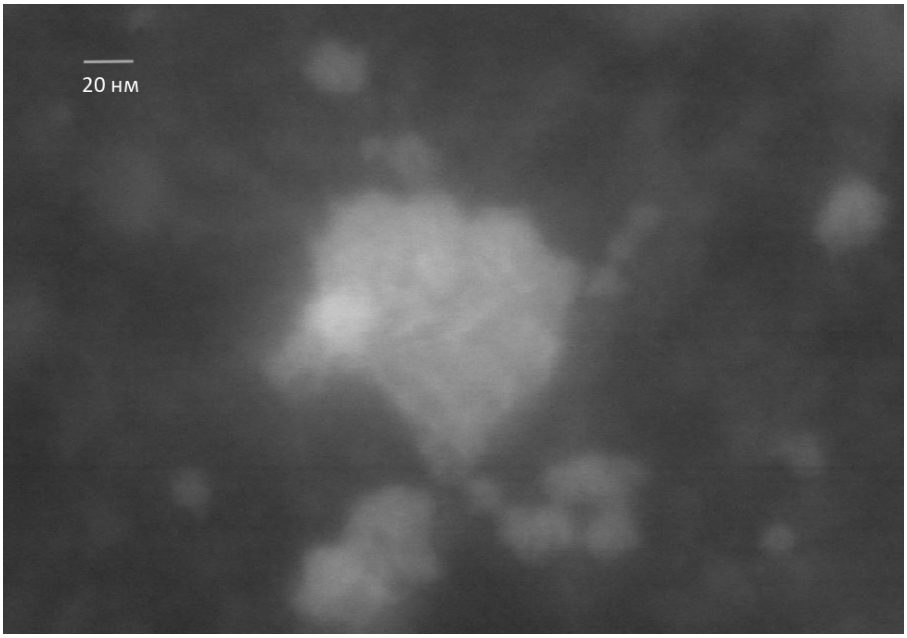


Рисунок 1 - СЭМ-изображение отдельных наночастиц в фитонанокомпозите при высоком увеличении
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.92.1

 © Авторы статьи / Authors of the article

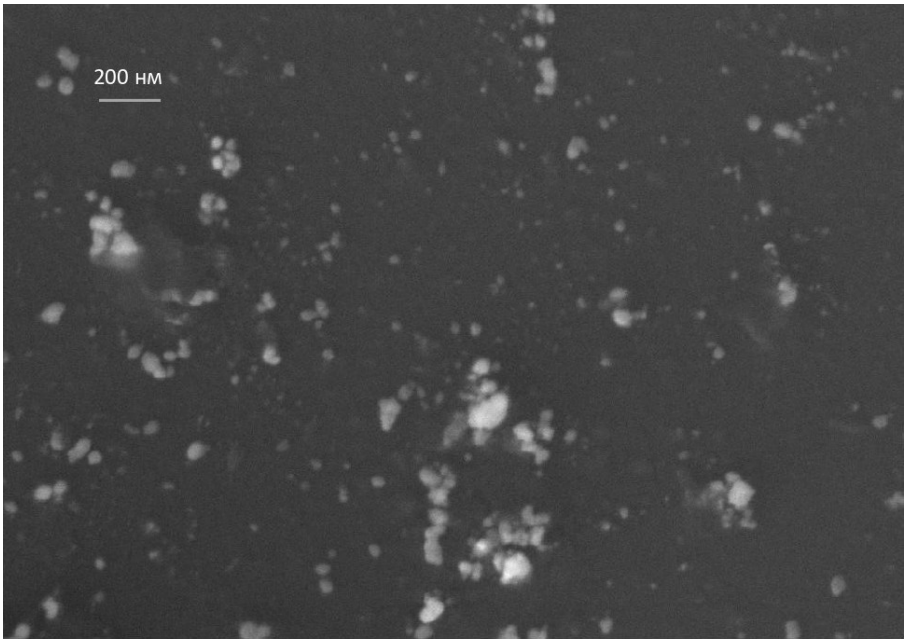


Рисунок 2 - СЭМ-изображение общей морфологии наночастиц в фитонанокомпозите
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.92.2

Органические компоненты экстракта ели выступают в роли не только восстанавливающего агента в «зеленом» синтезе, но и как стабилизирующие вещества, что приводит к отсутствию выраженной агломерации.

3.2. Оценка антимикробной активности

Микробиологический анализ показателей КМАФАнМ выявил ингибирующее действие влагопоглощающей подложки, модифицированной фитонанокомпозитом, на рост микроорганизмов в исследованных пищевых продуктах. Согласно нормативной документации ТР ТС 021/2011, предельно допустимый уровень (ПДУ) КМАФАнМ для охлажденного мяса птицы и рыбы составляет 5 х 10^5 и 1х10^5 КОЕ/г, или 5,7 и 5,0 lg КОЕ/г соответственно. Данные КМАФАнМ представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Динамика роста КМАФАнМ при хранении филе птицы и форели при 4 ± 2 °С

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.92.3

Период	Контроль (стандартная салфетка), lg КОЕ/г	Опыт 1 (Салфетка с ФНК-1г), lg КОЕ/г	Опыт 2 (Салфетка с ФНК-2г), lg КОЕ/г
Филе птицы (ПДУ = 5,7 [4])			
0 сутки	4,92 ± 0,05	4,90 ± 0,04	4,92 ± 0,06
2 сутки	5,84 ± 0,08	5,70 ± 0,09	5,45 ± 0,10
4 сутки	6,94 ± 0,13	6,66 ± 0,12	6,49 ± 0,10
6 сутки	7,65 ± 0,12	7,02 ± 0,10	6,90 ± 0,08
Филе форели (ПДУ = 5,0 [4])			
0 сутки	4,15 ± 0,05	4,18 ± 0,06	4,14 ± 0,05
2 сутки	5,32 ± 0,08	5,15 ± 0,07	4,88 ± 0,06
4 сутки	6,83 ± 0,12	6,65 ± 0,08	6,39 ± 0,13
6 сутки	7,95 ± 0,12	7,55 ± 0,10	7,30 ± 0,08

Начальные значения КМАФАнМ составили 4,90–4,92 lg КОЕ/г для филе курицы, и 4,14–4,18 lg КОЕ/г для филе форели. На вторые сутки хранения контрольный образец филе курицы превысил предельно допустимые значения составив 5,84 lg КОЕ/г, что говорит о порче продукта, в то время как образец 1 позволил лишь приблизиться к контрольной отметке. Образец 2 с наивысшей концентрацией при этом показал высокую ингибирующую активность — 5,45 lg КОЕ/г. К шестым суткам, контроль показал глубокую микробную порчу, 7,65 lg КОЕ/г, превысив норму почти на два порядка, тогда как применение фитонанокомпозита позволило замедлить рост микроорганизмов, демонстрируя выраженную ингибирующую тенденцию, снизив итоговое КМАФАнМ до 7,02 и 6,9 lg КОЕ/г соответственно. Аналогичная выраженная динамика ингибирования наблюдалась и с филе форели. На вторые сутки контрольный образец также превысил ПДУ, демонстрируя значения КМАФАнМ в 5,32 lg КОЕ/г, тогда как в образце ФНК-2 оно составляло 4,88 lg КОЕ/г и не превышало установленный нормативный уровень. На шестые сутки все

 © Авторы статьи / Authors of the article

образцы прогнозируемо продемонстрировали превышение ПДУ, но в образце ФНК-2 показатель был на 0,65 lg КОЕ/г ниже контрольного.

Графический анализ построенных кривых динамики КМАФАнМ (рис. 3, 4) по модифицированному уравнению Гомперца показал смещение времени достижения предельно допустимого уровня в опытных образцах относительно контроля. Точки пересечения кинетических кривых роста микроорганизмов с линией ПДУ смещены вправо по временной оси в сравнении с контролем, что говорит о том, что превышение предельно допустимых значений в опытных образцах ФНК-1 и ФНК-2 происходит позднее. Время достижения ПДУ для филе курицы: контроль (t1): 44 ч, ФНК-1 (t2): 48 ч, ФНК-2 (t3): 55,4 ч. Для филе форели: контроль (t1): 39,6 ч. ФНК-1 (t2): 44 ч. ФНК-2 (t3): 51,6 ч.

Таким образом, расчетное увеличение времени достижения предельно допустимого уровня КМАФАнМ относительно контроля составило около 4 и 11,5 ч для филе курицы при использовании ФНК-1 и ФНК-2 соответственно, а для филе форели — 4,4 и 12 ч. Среди исследованных вариантов наибольшее расчетное увеличение времени достижения предельно допустимого уровня наблюдалось при использовании ФНК-2 с поверхностной дозировкой фитонанокомпозита 227,2 г/м^2.

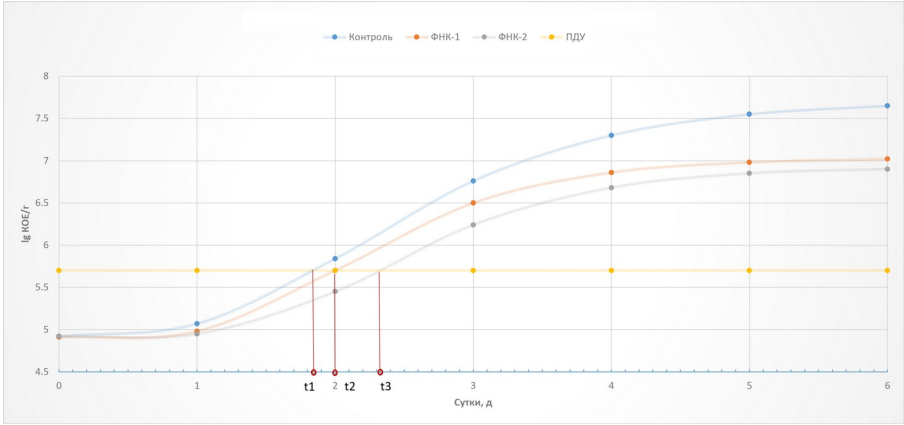


Рисунок 3 - Динамика роста КМАФАнМ филе курицы
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.92.4

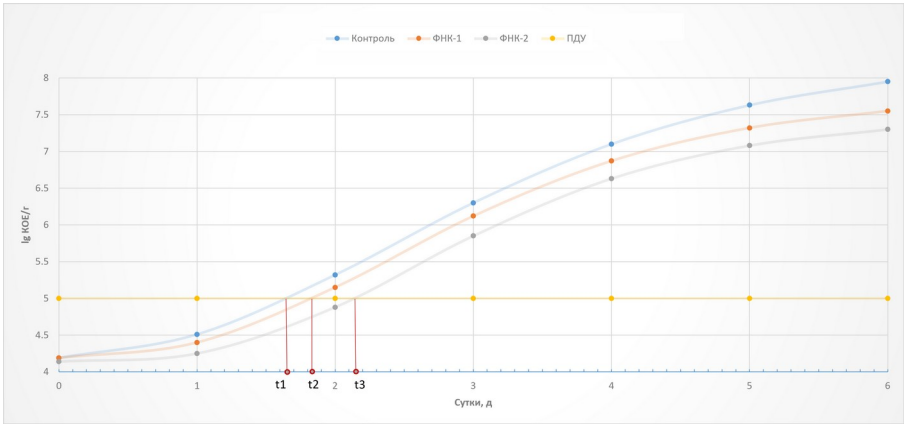


Рисунок 4 - Динамика роста КМАФАнМ филе форели
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.92.5

3.3. Оценка содержания серебра в пищевых продуктах после контакта с модифицированным вкладышем

Важнейшим аспектом при внедрении предложенной технологии в реальные пищевые системы служит вопрос гигиенической безопасности, а именно вероятность нежелательного переноса серебра в пищевой продукт из модифицированного влагопоглощающего вкладыша. Для определения содержания серебра образцы пищевых продуктов после сухой минерализации анализировали методами энергодисперсионной спектроскопии (ЭДС) и дуговой атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭС). При массе золы в 0,1 г коэффициент концентрирования составил 1:100. Более точным методом анализа является дуговая атомно-эмиссионная спектроскопия, для прибора ИСКРОЛАЙН-1000, предел обнаружения равен 10^{-5} %, что с учетом предварительного концентрирования, фактический предел обнаружения серебра составят исключительные 0,001 мг/кг, что делает этот метод достаточно высоко чувствительным и показательным.

Особое внимание уделяется сравнению пиков с аналитическими линиями серебра, в особенности наиболее чувствительными резонансными аналитическими линиями серебра Ag 328,069 нм, Ag 338,289 нм (рис. 5). Для

 © Авторы статьи / Authors of the article

удобства сравнительного анализа, на всех исследуемых спектрах сохраняется единая цветовая схема: зеленым обозначены контрольные образцы, не обработанные серебряным фитонанокомпозитом; красным и синим цветом обозначены образцы ФНК-1, с контактирующей поверхности и с глубинного слоя соответственно; фиолетово-розовым и коричневым обозначены образцы ФНК-2, с контактирующей поверхности и с глубинного слоя соответственно.

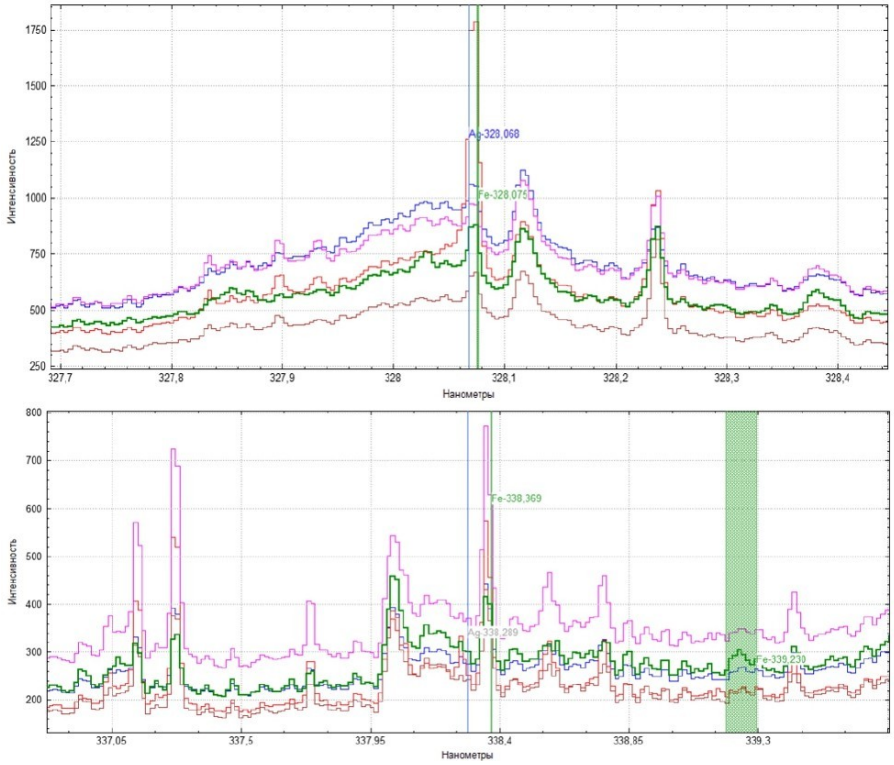


Рисунок 5 - Участки эмиссионного спектра в области аналитических линий серебра Ag 328,068 нм и Ag 338,289
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.92.6

Как видно из анализа спектров, наблюдается пик вблизи аналитической линии серебра Ag 328,068 в образце ФНК-1, взятого с поверхности продукта. Наблюдается повышение эмиссии, однако пик смещен по оси длин волн относительно резонансной линии серебра и принадлежит близлежащим эмиссионным линиям сопутствующих матричных элементов (предположительно железа из-за наличия в мышечной ткани миоглобина). Пик серебра по аналитической линии Ag 338,289 отсутствует, и больше смещен к аналитической линии Fe 338,369. Идентичный пик наблюдается и в контрольном образце (зеленый цвет), в котором серебро отсутствует.

Для дальнейшего подтверждения отсутствия серебра были проанализированы также другие характерные линии серебра — 520,907 нм, 546,549 нм (рис. 6), 768,778 нм, 547,155 нм (рис. 7), 427,094 нм и 272,177 (рис. 8).

 © Авторы статьи / Authors of the article

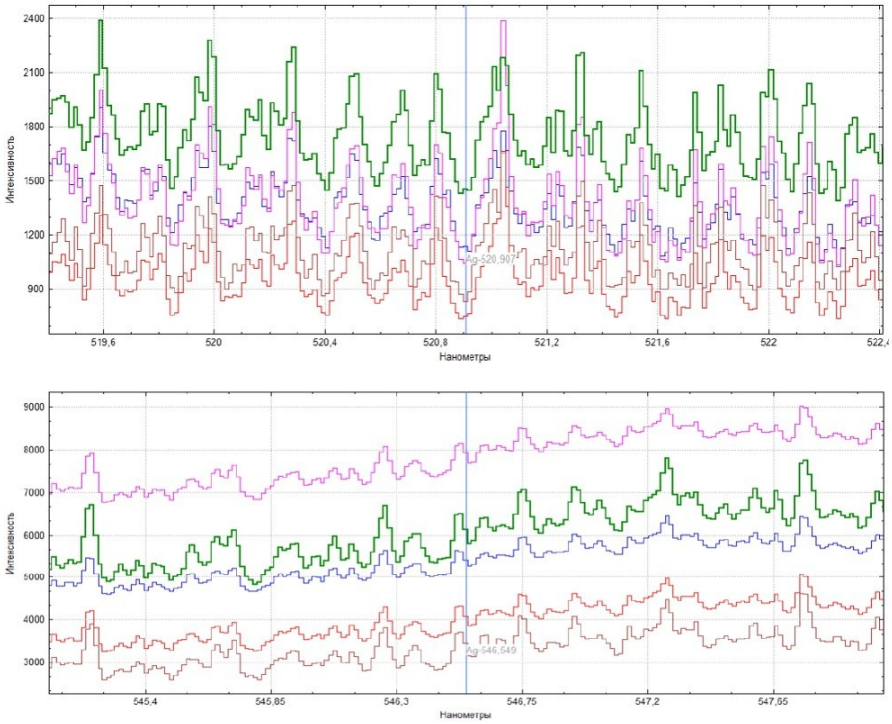


Рисунок 6 - Эмиссионные спектры серебра (Ag) на аналитических линиях Ag 520,907, Ag 546,549
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.92.7

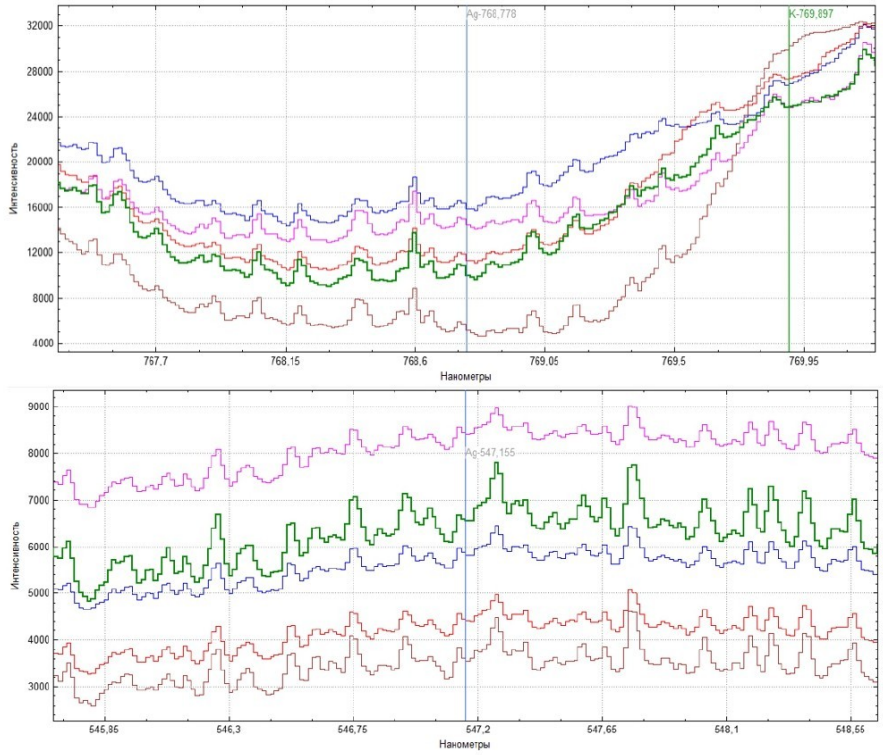


Рисунок 7 - Эмиссионные спектры серебра (Ag) на аналитических линиях Ag 768,778, Ag 547,155
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.92.8

 © Авторы статьи / Authors of the article

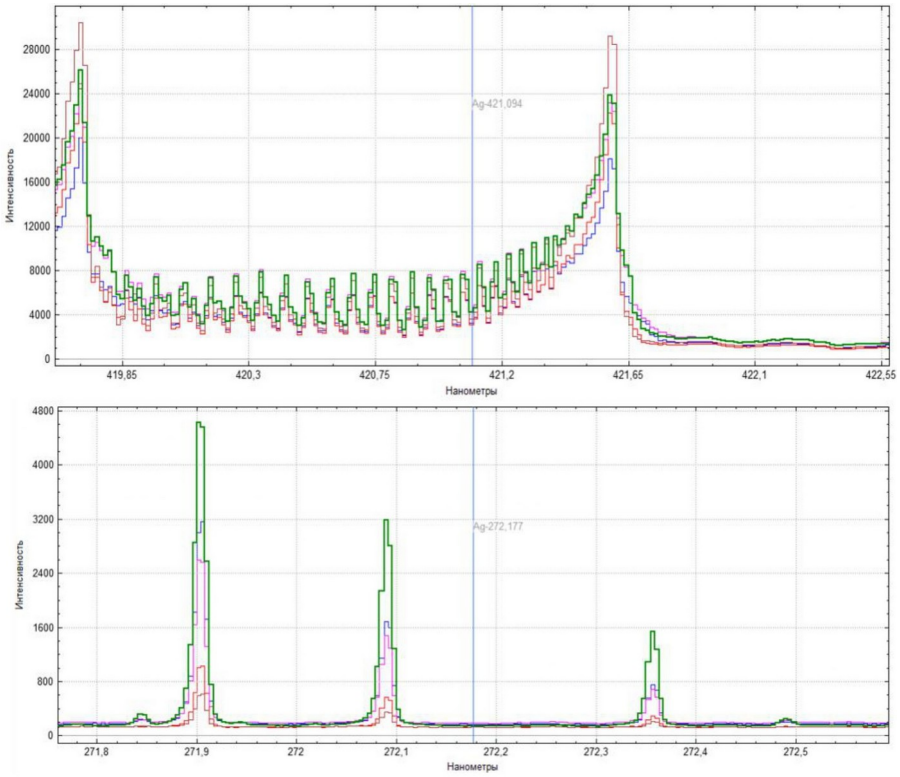


Рисунок 8 - Эмиссионные спектры серебра (Ag) на аналитических линиях Ag 421,094, Ag 272,177
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.92.9

На других характерных аналитических линиях серебра пики не были обнаружены, а спектры почти полностью идентичные контрольному образцу, в котором серебро отсутствует.

Таким образом, при анализе исследованных образцов характерные аналитические сигналы серебра не были обнаружены в пределах чувствительности примененных методов. Количественно это означает, что содержание серебра находится ниже предела обнаружения используемого аналитического оборудования (<0,001 мг/кг). Это позволяет утверждать, что предложенное решение обеспечивает надежную фиксацию и иммобилизацию наночастиц в полимерной целлюлозной матрице салфетки, исключая нежелательную контаминацию пищевого продукта.

Обсуждение

Полученные экспериментальные данные исследований позволяют четко констатировать выраженную антимикробную активность разработанного фитонанокомпозита в реальных пищевых системах. Наблюдаемый эффект ингибирования роста микроорганизмов объясняется инновационным механизмом действия активной влаговпитывающей салфетки, пропитанной фитонанокомпозитом. Известно, что выделяемый при хранении мясной сок (экссудат), обладает высокой активностью воды, свободной влагой и имеет ряд питательных веществ для микроорганизмов, что делает сок идеальной средой для размножения микрофлоры порчи. При использовании данной технологии происходит локальное антимикробное действие в объеме впитанной в салфетку жидкости в пористой матрице целлюлозы. Мясной сок, содержащий микроорганизмы, попадая в салфетку подвергается всестороннему ингибирующему воздействию компонентов фитонанокомпозита. Антибактериальная активность наночастиц серебра описана в научных источниках [10], а экстракты еловых эволюционно обладают мощным фунгицидным эффектом [11]. При этом, прямого контакта пищевого продукта с активным слоем упаковки не происходит, однако общая обсемененность продукта закономерно падает. Данный феномен можно объяснить тем, что свободная влага, стекая по поверхности продукта, захватывает микрофлору порчи, транспортируя ее в активный слой модифицированного вкладыша, где численность патогенов сокращается. Сравнительный анализ показателей КМАФАнМ это подтверждает: на шестые сутки хранения разница между контролем и образцом ФНК-2 составила 0,75 lg КОЕ/г для филе курицы и 0,65 lg КОЕ/г для филе форели. Показатель КМАФАнМ был выбран за маркерный критерий, так как он строго регламентируется по ТР ТС 021/2011, и при достижении предельно допустимых значений, продукт подлежит браковке *в независимости* от других характеристик. Первичная визуальная и органолептическая оценка показала, что до момента превышения ПДУ, видимых дефектов (ослизнение, изменение цвета) и посторонних запахов, в том числе и от растительного экстракта не наблюдалось. Для комплексной оценки качества в дальнейшем целесообразно расширить перечень физико-химических маркерных критерий порчи, таких как количество летучих жирных кислот и аминного азота.

Важным технологическим аспектом предложенного технологического решения является тот факт, что предложенная коллоидная система фитонанокомпозита, интегрированная в полимерную целлюлозную матрицу, позволяет иммобилизовать наночастицы серебра за счет их связи с органическими компонентами экстракта [12]. Было показано инструментальными методами (ЭДС и АЭС), что такое решение позволяет минимизировать, даже полностью

 © Авторы статьи / Authors of the article

исключить неконтролируемую, нежелательную миграцию металлических наночастиц в пищевой продукт, что позволяет соответствовать строгим требованиям нормативно-правовой базы в области использования нанотехнологий.

Заключение

Предложенное технологическое решение на основе фитонанокомпозита, содержащего серебряные наночастицы и экстракт еловых, для модификации активного упаковочного материала, а именно влагопоглощающего целлюлозного вкладыша (салфетки), проявило выраженную эффективность в ингибировании микрофлоры пищевых продуктов и, соответственно, в пролонгации сроков годности охлажденного филе курицы и рыбы. Механизм действия модифицированной салфетки, состоящий в локальном подавлении микрофлоры позволил снизить общую обсемененность продукта, без прямого контакта с активным упаковочным элементом. Установлено, что применение концентрации фитонанокомпозита в 227,2 г/м^2 (ФНК-2) по полученным графическим данным предиктивной модели Гомперца позволяет достичь пролонгации сроков годности вплоть до 11,5 ч для филе курицы, и 12 ч для филе форели. Разработанное технологическое решение не только отвечает современным экологическим требованиям, предлагая использовать возобновляемое вторичное растительное сырье — еловые отходы, но и обеспечивает иммобилизацию металлических наночастиц серебра вместе с органическим экстрактом в полимерной матрице для предотвращения нежелательной миграции наноматериалов в пищевой продукт. Дальнейшие исследования с полным профилем пищевых показателей открывают перспективы использования данного технологического решения для промышленного внедрения в реальные пищевые системы.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Продовольственные потери и органические отходы на потребительском рынке Российской Федерации. — Москва; Сколково, 2019. — 75 с.

2. Singh K. The nano-revolution in food preservation: A review of advanced silver nanoparticle packaging / K. Singh, S. Prakash, D. Choudhury [et al.] // Food Control. — 2026. — Vol. 182. — Art. 111855. — DOI: 10.1016/j.foodcont.2025.111855.

3. Ahmed S. A Review on Plants Extract Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles for Antimicrobial Applications: A Green Expertise / S. Ahmed, M. Ahmad, B.L. Swami [et al.] // Journal of Advanced Research. — 2016. — Vol. 7. — № 1. — P. 17–28.

4. Nisca A. Phytochemical Profile and Biological Effects of Spruce (*Picea abies*) Bark Subjected to Ultrasound Assisted and Microwave-Assisted Extractions / A. Nisca, R. Ştefănescu, D. Popescu-Stegarus [et al.] // Plants. — 2021. — Vol. 10. — № 5. — Art. 870. — DOI: 10.3390/plants10050870.

5. Okonov S. Synthesis and characterization of silver nanoparticles obtained with the "green" method using spruce needles extract / S. Okonov, E. Ovsuk // BIO Web of Conferences. — 2024. — Vol. 126. — Art. 01026. — DOI: 10.1051/bioconf/202412601026.

6. Okonov S. Silver nanoparticles synthesized with green methods using spruce plant extract and their synergistic antibacterial activity / S. Okonov, E. Ovsuk // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2024. — Vol. 1420. — № 1. — Art. 012003. — DOI: 10.1088/1755-1315/1420/1/012003.

7. Оконов С.С. Перспективы использования «зеленых» технологий для получения антибактериальных агентов для использования в пищевых системах / С.С. Оконов, Е.А. Овсюк // Международный научно-исследовательский журнал. — 2026. — № 6 (168). — С. 1–7. — DOI: 10.60797/IRJ.2026.168.65.

8. Tjørve K.M.C. The use of Gompertz models in growth analyses, and new Gompertz-model approach: An addition to the Unified-Richards family / K.M.C. Tjørve, E. Tjørve // PLOS ONE. — 2017. — Vol. 12. — № 6. — Art. e0178691. — DOI: 10.1371/journal.pone.0178691.

9. Wei Q. Isolation and Molecular Identification of the Native Microflora on Flammulina velutipes Fruiting Bodies and Modeling the Growth of Dominant Microbiota (Lactococcus lactis) / Q. Wei, X. Pan, J. Li [et al.] // Frontiers in Microbiology. — 2021. — Vol. 12. — Art. 664874. — DOI: 10.3389/fmicb.2021.664874.

10. Bruna T. Silver Nanoparticles and Their Antibacterial Applications / T. Bruna, F. Maldonado-Bravo, P. Jara [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. — 2021. — Vol. 22. — № 13. — Art. 7202. — DOI: 10.3390/ijms22137202.

11. Kusumoto N. Antifungal properties of terpenoids in *Picea abies* against Heterobasidion parviporum / N. Kusumoto, T. Zhao, G. Swedjemark [et al.] // Forest Pathology. — 2014. — Vol. 44. — № 5. — P. 353–361. — DOI: 10.1111/efp.12106.

12. Okur E.E. Comprehensive Review of Silver Nanoparticles in Food Packaging Applications / E.E. Okur, F. Eker, E. Akdaşçi [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. — 2025. — Vol. 26. — № 20. — Art. 9842. — DOI: 10.3390/ijms26209842.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Список литературы на английском языке / References in English

1. Prodovol'stvennye poteri i organicheskie otkhody na potrebitel'skom rynke Rossiyskoy Federatsii [Food Losses and Organic Waste in the Consumer Market of the Russian Federation]. — Moscow; Skolkovo, 2019. — 75 p. [in Russian]

2. Singh K. The nano-revolution in food preservation: A review of advanced silver nanoparticle packaging / K. Singh, S. Prakash, D. Choudhury [et al.] // Food Control. — 2026. — Vol. 182. — Art. 111855. — DOI: 10.1016/j.foodcont.2025.111855.

3. Ahmed S. A Review on Plants Extract Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles for Antimicrobial Applications: A Green Expertise / S. Ahmed, M. Ahmad, B.L. Swami [et al.] // Journal of Advanced Research. — 2016. — Vol. 7. — № 1. — P. 17–28.

4. Nisca A. Phytochemical Profile and Biological Effects of Spruce (*Picea abies*) Bark Subjected to Ultrasound Assisted and Microwave-Assisted Extractions / A. Nisca, R. Ștefănescu, D. Popescu-Stegarus [et al.] // Plants. — 2021. — Vol. 10. — № 5. — Art. 870. — DOI: 10.3390/plants10050870.

5. Okonov S. Synthesis and characterization of silver nanoparticles obtained with the "green" method using spruce needles extract / S. Okonov, E. Ovsuk // BIO Web of Conferences. — 2024. — Vol. 126. — Art. 01026. — DOI: 10.1051/bioconf/202412601026.

6. Okonov S. Silver nanoparticles synthesized with green methods using spruce plant extract and their synergistic antibacterial activity / S. Okonov, E. Ovsuk // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2024. — Vol. 1420. — № 1. — Art. 012003. — DOI: 10.1088/1755-1315/1420/1/012003.

7. Okonov S.S. Perspektivy ispol'zovaniya "zelenykh" tekhnologiy dlya polucheniya antibakterial'nykh agentov dlya ispol'zovaniya v pishchevykh sistemakh [Prospects for the use of "green" technologies for obtaining antibacterial agents for use in food systems] / S.S. Okonov, E.A. Ovsyuk // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]. — 2026. — № 6 (168). — P. 1–7. — DOI: 10.60797/IRJ.2026.168.65. [in Russian]

8. Tjørve K.M.C. The use of Gompertz models in growth analyses, and new Gompertz-model approach: An addition to the Unified-Richards family / K.M.C. Tjørve, E. Tjørve // PLOS ONE. — 2017. — Vol. 12. — № 6. — Art. e0178691. — DOI: 10.1371/journal.pone.0178691.

9. Wei Q. Isolation and Molecular Identification of the Native Microflora on Flammulina velutipes Fruiting Bodies and Modeling the Growth of Dominant Microbiota (Lactococcus lactis) / Q. Wei, X. Pan, J. Li [et al.] // Frontiers in Microbiology. — 2021. — Vol. 12. — Art. 664874. — DOI: 10.3389/fmicb.2021.664874.

10. Bruna T. Silver Nanoparticles and Their Antibacterial Applications / T. Bruna, F. Maldonado-Bravo, P. Jara [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. — 2021. — Vol. 22. — № 13. — Art. 7202. — DOI: 10.3390/ijms22137202.

11. Kusumoto N. Antifungal properties of terpenoids in *Picea abies* against Heterobasidion parviporum / N. Kusumoto, T. Zhao, G. Swedjemark [et al.] // Forest Pathology. — 2014. — Vol. 44. — № 5. — P. 353–361. — DOI: 10.1111/efp.12106.

12. Okur E.E. Comprehensive Review of Silver Nanoparticles in Food Packaging Applications / E.E. Okur, F. Eker, E. Akdaşçi [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. — 2025. — Vol. 26. — № 20. — Art. 9842. — DOI: 10.3390/ijms26209842.