

КУПАЕВА НАДЕЖДА ВЛАДИМИРОВНА

**НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ  
АНТИОКСИДАНТОВ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ  
МЯСНОГО ПАШТЕТА**

Специальности:

4.3.5. – «Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ»

4.3.3. – «Пищевые системы»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении  
«Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова»  
Российской академии наук

**Научный руководитель:** Кандидат технических наук,  
**Котенкова Елена Александровна**

**Официальные оппоненты:** **Донская Галина Андреевна**  
доктор биологических наук,  
ФГАНУ «ВНИМИ»,  
Лаборатория технологий функциональных продуктов,  
научный консультант

**Мазо Владимир Кимович**  
доктор биологических наук, профессор,  
ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»,  
Лаборатория пищевых биотехнологий и  
специализированных продуктов, ведущий научный  
сотрудник

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Российский химико-  
технологический университет имени Д.И. Менделеева»

Защита диссертации состоится «20» июня 2024 г. в 14.30 на заседании ученого совета  
24.1.257.01 при ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН по адресу:  
109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБНУ «ФНЦ  
пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН (<https://www.vniimp.ru>).

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь Диссертационного совета,  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник

Захаров А.Н.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Согласно международным базам данных количество исследований по запросу «plant antioxidants» стремительно растет с начала века. Такая тенденция в первую очередь обусловлена различными свойствами антиоксидантов (АО), в частности, нормализацией функционирования антиоксидантной системы (АОС) организма посредством снижения окислительного стресса и его последствий, а также продлением сроков годности продуктов питания за счет ингибирования окислительных процессов липидов и белков. Доказано, что свободно-радикальные реакции способствуют развитию неинфекционных заболеваний, к которым относятся сахарный диабет, сердечно-сосудистые, нейродегенеративные и другие. Кроме того, образ жизни современного человека, такие экзогенные факторы, как окружающая среда, питание, стресс, а также наследственные генные мутации приводят к дисбалансу между антиоксидантами и свободными радикалами, что, в свою очередь, способствует развитию окислительного стресса. Известно, что антиоксиданты обладают различными биологическими свойствами, включая противодиабетические, противовоспалительные, противоопухолевые, антимикробные и другие. Востребованность растительных АО обусловлена увеличением потребительского спроса на «натуральные» продукты и товары «без консервантов». Особый интерес представляют природные антиоксиданты, в том числе полученные из вторичного сырья, не подвергающегося переработке.

Ежегодно в мире образуется около 30% сельскохозяйственных отходов, которые являются потенциальным сырьем для производства продуктов с добавленной стоимостью. Лук репчатый (*Allium cepa L.*) в настоящий момент занимает 2-е место по выращиванию в мире, а в ходе его переработки ежегодно образуется более 500 000 тонн отходов. В связи с этим, извлечение АО из шелухи лука, изучение их свойств и применение в разработке продуктов питания является актуальной задачей и соответствует стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года.

**Степень разработанности темы.** Научными и прикладными исследованиями в области изучения роли растительных антиоксидантов и изучения их эффектов в разработке продуктов питания занимались такие ученые, как А.Б. Лисицын, И.М. Чернуха, В.К. Мазо, Г.А. Донская, А.А. Кочеткова, А.С. Дыдыкин, Е.Б. Бурлакова, С.В. Золотокопова, Г.И. Косьянов, Rita Celano, Cha Yong-Jun, Kumar Manoj E. Vijay и другие.

Отдельные этапы работы выполнены в рамках темы исследования № FNEN 2019-0008 государственного задания ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

**Целью настоящей работы** является научное обоснование практического применения антиоксидантов вторичного сырья переработки лука репчатого в производстве мясного паштета на основе комплексного изучения его антиоксидантного потенциала.

В рамках поставленной цели решались следующие основные задачи:

1. На основе аналитических данных изучить перспективность использования вторичного растительного сырья в качестве источника антиоксидантов при производстве продуктов питания.
2. Апробировать и систематизировать методы определения антиоксидантного потенциала растительного сырья и продуктов с их внесением. Обосновать и сформировать дизайн для изучения их влияния на организм биообъектов.
3. Обосновать выбор шелухи желтого репчатого лука на основании выбранных методов и изучить сохранность антиоксидантных свойств, показатели качества и безопасности экстракта на его основе. Разработать техническую документацию на производство экстракта.
4. Научно обосновать применение экстракта шелухи жёлтого репчатого лука в производстве мясного паштета. Разработать техническую документацию на производство мясного паштета антиоксидантного действия.
5. Оценить влияние экстракта шелухи жёлтого репчатого лука и мясных паштетов с и без его внесения на организм биообъектов.

#### **Научная новизна исследования.**

Научно обоснованы этапы определения антиоксидантного потенциала растительного сырья с учетом различных механизмов действия антиоксидантов со свободными радикалами. Впервые комплексно изучены антиоксидантные свойства шелухи красного, желтого и белого репчатого лука, установлено соотношение типов АО по силе их действия и продемонстрирована клеточная антиоксидантная активность. Изучены динамика изменения общей антиоксидантной емкости экстракта шелухи желтого репчатого лука при хранении и внесении его в мясную матрицу. Показано комплексное влияние экстракта шелухи желтого лука и паштета с его внесением на организм биообъектов. Установлены взаимосвязи изменчивости функциональных показателей организма лабораторных животных.

#### **Теоретическая и практическая значимость.**

Теоретическая значимость работы заключается в обосновании роли соотношения типов антиоксидантов по силе их действия, антиоксидантной активности при изучении антиоксидантного потенциала растительного сырья. Общая антиоксидантная емкость является величиной динамической и взаимовосполняемой за счёт разных механизмов действия антиоксидантов, входящих в состав исследуемого образца.

Практическая значимость работы заключается в подтверждении эффективности использования шелухи желтого лука репчатого в качестве источника антиоксидантов для придания пищевой продукции антиоксидантных свойств. По результатам исследований разработана техническая документация: ТИ, ТУ 10.89.15-000-00419779 по производству

экстракта шелухи лука репчатого желтого и ТИ и ТУ 10.13.14-151-00419779 по производству мясного паштета антиоксидантного действия.

#### **Методология и методы исследования.**

В работе были использованы современные методы определения общей антиоксидантной емкости, клеточной антиоксидантной активности, хемилюминесценции и хромато-масс-спектрометрии. Электрофоретическое разделение, определение химического, аминокислотного и жирнокислотного составов, органолептические исследования, микробиологические и физико-химические методы использовали для разработки мясного паштета антиоксидантного действия и изучения влияния экстракта на его характеристики. Для оценки воздействия экстракта и паштетов с и без его внесения на организм биообъектов применяли биохимические, гематологические, цитометрические методы, комплекс показателей АОС, включающий ОАЕ, уровень перекисного окисления липидов (ПОЛ), концентрацию восстановленного глутатиона (GSH) и активности супероксиддисмутазы (SOD), каталазы (CAT) и глутатионпероксидазы (GPx).

#### **Основные положения, выносимые на защиту.**

- Результаты комплексного определения антиоксидантного потенциала шелухи красного, желтого и белого лука.
- Экспериментальные данные, подтверждающие сохранность антиоксидантных свойств экстракта шелухи лука при хранении и внесении его в мясную матрицу.
- Технология получения экстракта шелухи желтого репчатого лука и мясного паштета с его внесением.
- Результаты определения основных характеристик и сроков годности мясного паштета с экстрактом шелухи лука желтого.
- Результаты определения воздействия экстракта шелухи лука желтого и паштетов с и без его внесения на организм биообъектов.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Диссертационная работа соответствует пунктам 5, 6, 10, 29 и 30 паспорта специальности 4.3.5. «Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ» и пунктам 2, 4, 5, 12 паспорта специальности 4.3.3. «Пищевые системы».

**Степень достоверности полученных результатов** подтверждается использованием современных методов статистической обработки полученных экспериментальных результатов, актами выработки мясного паштета в «Отделе научно-прикладных и технологических разработок» и в опытно-промышленных условиях.

**Личный вклад автора** заключается в сборе и анализе литературных данных, планировании и выполнении экспериментов, обобщении результатов и представлении их в виде докладов и научных публикаций в стране и за рубежом.

### **Апробация результатов.**

Результаты исследования были доложены диссертантом и обсуждены на: 60th International Meat Industry Conference (Kopaonik, Serbia, 2019); XIV Международной научно-технической конференции «Техника и технология пищевых производств» (Могилев, Беларусь, 2022); I Международном саммите молодых ученых по направлениям AgroTech и FoodDesign (Сочи, Россия, 2022); Пятой школе молодых ученых «Основы здорового питания и пути профилактики алиментарно-зависимых заболеваний» с международным участием (Москва, Россия, 2022); Научно-практической конференции с международным участием «Умное питание» (Москва, Россия, 2023); V Международной научно-практической молодежной конференции, посвященной памяти Р.Д. Поландовой «Пищевые технологии будущего: инновационные идеи, научный поиск, креативные решения» (Москва, Россия, 2023); II Международном саммите молодых ученых по направлению AgroTech и FoodDesing (Сочи, Россия, 2023).

### **Публикации материалов исследований.**

По теме диссертации опубликовано 25 печатных работ, из них 6 публикаций в изданиях, индексируемых международными базами данных WOS и Scopus, в том числе 3 в Q1, 10 публикаций в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 9 – в сборниках научных трудов, материалов конференций.

### **Структура и объем диссертации.**

Диссертационная работа изложена на 185 страницах машинного текста и включает введение, 3 главы, заключение, список литературы и приложения. Диссертация содержит 56 таблиц, 29 рисунков и 7 приложений. Список литературы включает 309 источников, из которых 217 – иностранных.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**ВВЕДЕНИЕ.** Обоснованы актуальность темы диссертации, определены научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы цель и задачи исследования.

**ГЛАВА 1. Обзор научно-технической литературы.** Представлен аналитический обзор литературы о механизмах действия АО и существующих их классификациях. Проанализированы данные об использовании АО вторичного растительного сырья в пищевой промышленности. Подобраны и систематизированы современные методы и подходы к определению антиоксидантного потенциала (АОП) растительных образцов.

### **ГЛАВА 2. Организация эксперимента, объекты и методы исследования.**

Определены объекты исследования, представлена схема проведения исследований (рисунок 1). Объектами являлись: шелуха красного, желтого и белого лука репчатого; зелень сушеная «Базилик» и «Розмарин»; 70% водно-этанольный экстракт шелухи желтого репчатого лука (ЭШЛ); модельные мясные паштеты и изготовленные по ГОСТ Р 55334 без

и с добавлением ЭШЛ; лабораторные животные, потреблявшие общевиварный рацион, ЭШЛ или паштеты с и без его внесения; их биологический материал (кровь, плазма и сыворотка крови, печень, мозг, почка, мышцы (*M. longissimus dorsi* и *M. Femoris*)).

В работе использовали химические, физико-химические, гистологические, микробиологические, органолептические, биохимические, гематологические, электрофоретические и хроматомасс-спектрометрические методы исследований.

Методы определения АОП и качественного состава: ОАЕ методами: ORAC (ОАЕ<sub>ORAC</sub>) (1), FRAP (ОАЕ<sub>FRAP</sub>) (2), DPPH (ОАЕ<sub>DPPH</sub>) (3); хемилюминесценция (ХЛ) (4); клеточная антиоксидантная активность (5); UPLC-ESI-Q-TOF-MS (6). Определение концентраций: гексахлорциклогексана ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -изомеры), гептохлора, алдрина, ДДТ и его метаболитов по ГОСТ 30349 (7); элементов: железа, цинка, меди, свинца, кадмия в соответствии с ГОСТ 30178 (8), мышьяка по ГОСТ Р 51766 (9), ртути по ГОСТ Р 53183 (10), магния, натрия, калия, марганца по ГОСТ Р55484 (11), кальция по ГОСТ Р 55573 (12), селена по ГОСТ 31707 (13); водорастворимых (ГОСТ Р 55482) (14) и жирорастворимых (ГОСТ 32307) (15) витаминов. Определение массовой доли: углеводов по МУ 1-40-3805 (16), влаги по ГОСТ 9793 (17), жира по ГОСТ 23042 (18), белка по ГОСТ 25011 (19), хлоридов по ГОСТ 9957 (20), золы по ГОСТ 31727 (21), крахмала по ГОСТ 10574 (22). Жирно-кислотный состав по ГОСТ Р 55483 (23), аминокислотный состав по ГОСТ 34132 (24), количество оксипролина по ГОСТ 23041 (25); количество триптофана по МИ 103.5-105-11 (26). Микробиологические показатели: КМАФАнМ по ГОСТ 10444.15 (27), БГКП (колиморфы) по ГОСТ 31747 (28), сульфитредуцирующих клостридий по ГОСТ 29185 (29), золотистого стафилококка (*S. Aureus*) - ГОСТ 31746 (30); микроорганизмы рода: *Salmonella* - ГОСТ 31659 (31), *L. monocytogenes* - ГОСТ 32031 (32), бактерии рода: *Proteus* - ГОСТ 28560 (33), *Enterococcus* - ГОСТ 28566 (34), *B. Cereus* - ГОСТ 10444.8 (35), *Pseudomonas* - ГОСТ 13720 (36); дрожжи и плесени - ГОСТ 10444.12 (37); *E. Coli.* - ГОСТ 30726 (38). Определение количества этанола (39). Показатели окислительной порчи: концентрация amino-аммиачного азота (ААА) по ГОСТ Р 55479 (40), тиобарбитуровое число - ГОСТ Р 55810 (41), рН - ГОСТ 51478 (42), кислотное число (КЧ) - ГОСТ Р 55480 (43), перекисное число (ПЧ) - ГОСТ 34118 (44), летучие жирные кислоты - ГОСТ 23392 (45). Органолептические показатели - ГОСТ 9959 (46). Одномерный электрофорез (47). Определение сроков годности - ГОСТ Р 70354 (48).

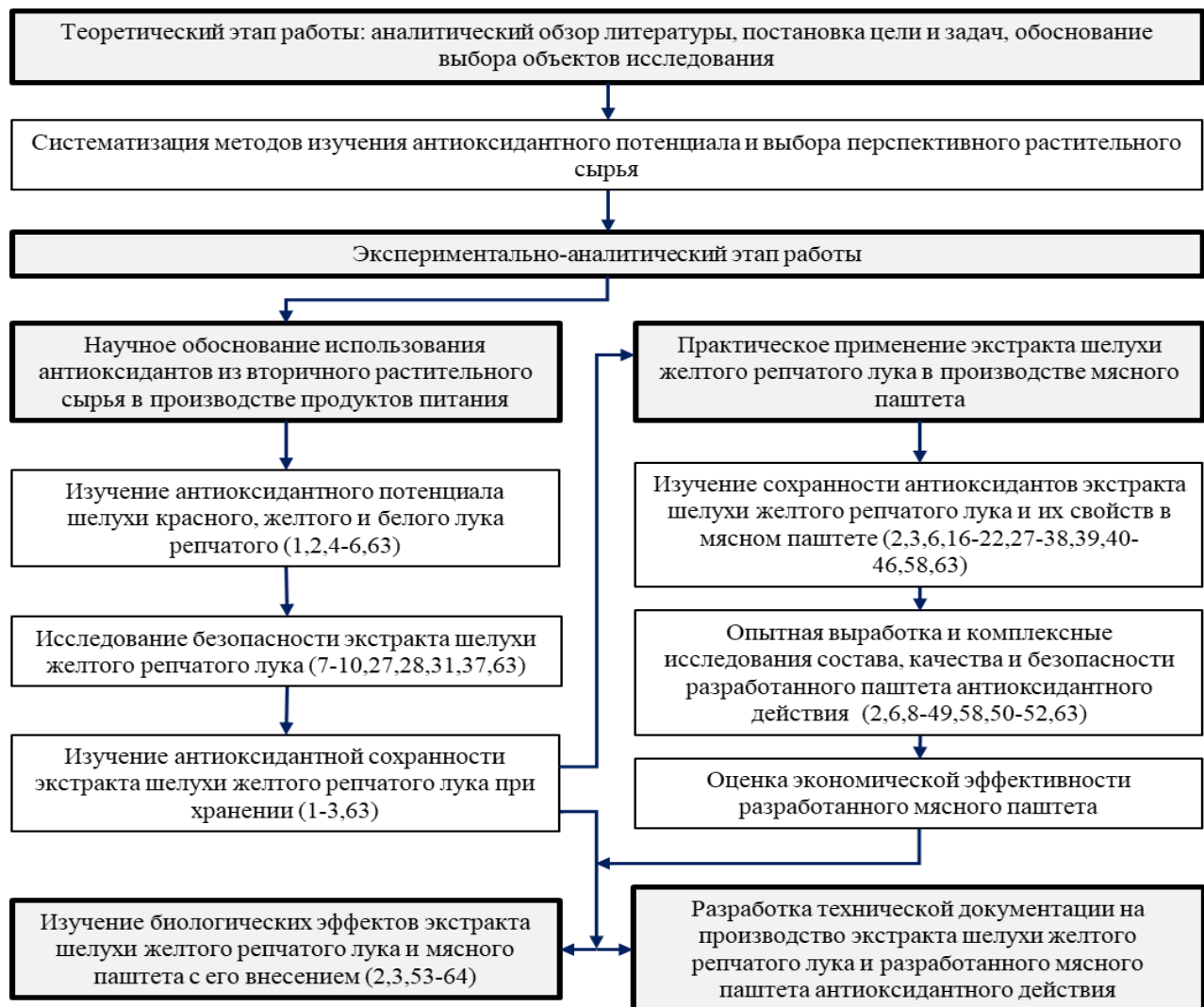


Рисунок 1 – Схема проведения исследования

Оценка биологической ценности белка и продукта (49). Изучение переваримости *in vitro* по протоколу Покровского-Ертанова (50), метод Бредфорда (51), метод Лоури (52). Изучение действия ЭШЛ и паштета с его добавлением *in vivo* в количестве, эквивалентном ОАЕ<sub>FRAP</sub> 2 мкмоль-экв. кв./сут/голову в течение 28 суток (53); биохимический (54), гематологический (55), цитометрический (56) анализы крови; ИПХИ органов (57); концентрации продуктов ПОЛ (ТБК-АП) (58), восстановленного глутатиона (GSH) (59); активности: каталазы (CAT) (60), супероксиддисмутазы (SOD) (61), глутатионпероксидазы (GPx) (62). Статистическая обработка с использованием: Statistica 10 (63); R Studio 2022.07.2 Build 576 и языка программирования R (64).

### ГЛАВА 3. Результаты и их обсуждение

#### *Результаты определения антиоксидантного потенциала шелухи репчатого лука*

Для приготовления растительных экстрактов, измельченный образец смешивали с 70% водно-этанольным раствором (спиртовой экстракт) или дистиллированной водой



( $t=98\pm 2^\circ\text{C}$ ) (водный экстракт) в соотношении 1:15 (г:мл), затем настаивали при  $22\pm 2^\circ\text{C}$  в течение 24 ч или 15 мин, соответственно, фильтровали через бумажный фильтр. Результаты определения ОАЕ и идентифицированные АО шелухи лука представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Общие антиоксидантные емкости растительных экстрактов

Образец	ОАЕ <sub>ORAC</sub> , мкмоль-экв. Trolox / г сырья, Mean $\pm$ SD		ОАЕ <sub>FRAP</sub> , мкмоль-экв. кв / г сырья, Mean $\pm$ SD	
	Водный	Спиртовой	Водный	Спиртовой
Шелуха желтого лука	81,4 $\pm$ 3,7 <sup>a</sup>	941,4 $\pm$ 32,7 <sup>a*</sup>	57,2 $\pm$ 2,9 <sup>a</sup>	167,4 $\pm$ 16,4 <sup>b*</sup>
Шелуха красного лука	527,5 $\pm$ 13,5 <sup>b,c</sup>	2005,6 $\pm$ 16,8 <sup>b,c*</sup>	146,9 $\pm$ 2,4 <sup>b,c</sup>	455,2 $\pm$ 20,4 <sup>b,c*</sup>
Шелуха белого лука	4,75 $\pm$ 0,40 <sup>b,d,e</sup>	16,66 $\pm$ 0,20 <sup>b,d,e</sup>	0,6 $\pm$ 0,01 <sup>b,d,e</sup>	1,13 $\pm$ 0,08 <sup>b,d,e</sup>
Розмарин сушеный	307,2 $\pm$ 9,9 <sup>b,d,f,n</sup>	707,9 $\pm$ 20,3 <sup>b,d,f,n*</sup>	103,2 $\pm$ 2,8 <sup>b,d,f,n</sup>	137,4 $\pm$ 7,4 <sup>d,f</sup>
Базилик сушеный	488,7 $\pm$ 15,4 <sup>b,f,p</sup>	540,2 $\pm$ 9,1 <sup>b,d,f,p*</sup>	220,3 $\pm$ 2,0 <sup>b,d,f,p</sup>	119,5 $\pm$ 5,3 <sup>b,d,f</sup>

a-b, c-d, e-f, n-p – значимые отличия между водными или спиртовыми экстрактами разных образцов, ANOVA, критерий Тьюки ( $p<0,05$ ); \* - значимые отличия между водными и спиртовыми экстрактами одного образца, критерий Манна-Уитни ( $p<0,05$ )

Наибольшими значениями ОАЕ характеризовалась шелуха красного лука, превышая показатели желтого лука более, чем в 2,1 раза ( $p<0,05$ ), а белый лук обладал несоизмеримо низкими величинами. Спиртовые экстракты растений обладали большими ОАЕ в сравнении с водными, за исключением ОАЕ<sub>FRAP</sub> базилика. ОАЕ шелухи красного и желтого лука были выше показателей розмарина и базилика более, чем в 2,8 раза ( $p<0,05$ ) и 1,2 раза ( $p<0,05$ ), соответственно.

Таблица 2 – Идентификация основных антиоксидантов шелухи лука

Соединение	Концентрация, мкг / г сырья (Mean $\pm$ SD)					
	Спиртовой			Водный		
	Красный	Желтый	Белый	Красный	Желтый	Белый
Кверцетин	1021,84 $\pm$ 4,07	320,86 $\pm$ 1,05 <sup>*</sup>	нпо	83,15 $\pm$ 1,14 <sup>#</sup>	10,66 $\pm$ 2,27 <sup>*,^</sup>	нпо
3'-метокси-4',5,7-три- гидроксифлавонол	140,93 $\pm$ 2,04	12,05 $\pm$ 0,50 <sup>*</sup>	нпо	4,85 $\pm$ 0,10 <sup>#</sup>	0,37 $\pm$ 0,04 <sup>*,^</sup>	нпо
Мирицетин	155,84 $\pm$ 2,60	80,77 $\pm$ 1,26 <sup>*</sup>	нпо	87,26 $\pm$ 1,05 <sup>#</sup>	45,07 $\pm$ 0,23 <sup>*,^</sup>	нпо
Ларицитрин	16,66 $\pm$ 0,65	12,31 $\pm$ 0,15 <sup>*</sup>	нпо	10,43 $\pm$ 0,44 <sup>#</sup>	9,09 $\pm$ 0,35 <sup>*,^</sup>	нпо
Таксифолин	18,70 $\pm$ 1,00	1,56 $\pm$ 0,60 <sup>*</sup>	нпо	10,95 $\pm$ 0,18 <sup>#</sup>	0,53 $\pm$ 0,11 <sup>*,^</sup>	нпо
Кверцетин 3,4'- $\beta$ -диглюкозид	18,49 $\pm$ 1,66	1,50 $\pm$ 0,09 <sup>*</sup>	нпо	3,26 $\pm$ 1,56 <sup>#</sup>	0,43 $\pm$ 0,20 <sup>*,^</sup>	нпо
Кверцетин-3-О-D-галактозид (гиперозид)	47,26 $\pm$ 0,08	0,96 $\pm$ 0,07 <sup>*</sup>	нпо	1,06 $\pm$ 0,08 <sup>#</sup>	н.о.	нпо
Кверцетин 3-О- $\beta$ -D-глюкопиранозид (изокверцитрин)	9,51 $\pm$ 0,48	0,92 $\pm$ 0,31 <sup>*</sup>	нпо	2,61 $\pm$ 0,32 <sup>#</sup>	0,34 $\pm$ 0,15 <sup>*,^</sup>	нпо
Кверцетин-4-О- $\beta$ -D-глюкозид (спиреозид)	485,37 $\pm$ 5,26	112,33 $\pm$ 0,59 <sup>*</sup>	нпо	117,8 $\pm$ 0,86 <sup>#</sup>	22,92 $\pm$ 0,32 <sup>*,^</sup>	нпо
Текторигенин	1,31 $\pm$ 0,59	0,78 $\pm$ 0,27	нпо	нпо	нпо	нпо
Общее количество флавоноидов	1915,90 $\pm$ 9,92	544,06 $\pm$ 2,73 <sup>*</sup>	нпо	321,42 $\pm$ 2,61 <sup>#</sup>	89,41 $\pm$ 2,08 <sup>*,^</sup>	нпо

нпо – ниже предела обнаружения; \* - значимые отличия между показателями шелухи желтого и красного лука, критерий Манна-Уитни ( $p\text{-value}<0,05$ ); # - значимые отличия между показателями спиртовых и водных экстрактов шелухи красного лука, критерий Манна-Уитни ( $p\text{-value}<0,05$ ); ^ - значимые отличия между показателями спиртовых и водных экстрактов шелухи желтого лука, критерий Манна-Уитни ( $p\text{-value}<0,05$ )

Количество фенольных АО также было выше в спиртовых экстрактах, суммарное содержание которых в экстракте шелухи красного лука было самым высоким и превышало значения желтого лука в 3,52 раза ( $p < 0,05$ ). Кверцетин и спиреозид были основными флавоноидами, обнаруженными в экстрактах луковой шелухи.

Методом ХЛ установлено, что вклад в АОП экстрактов шелухи красного и желтого лука вносили три типа АО (сильные, средние и слабые), а в экстракт шелухи белого лука только средние и слабые АО (рисунок 2). Шелуха желтого лука имела более равномерное распределение между типами АО, о чем свидетельствует большее количество слабых АО при схожем действии сильных АО – время практически полного тушения ХЛ.

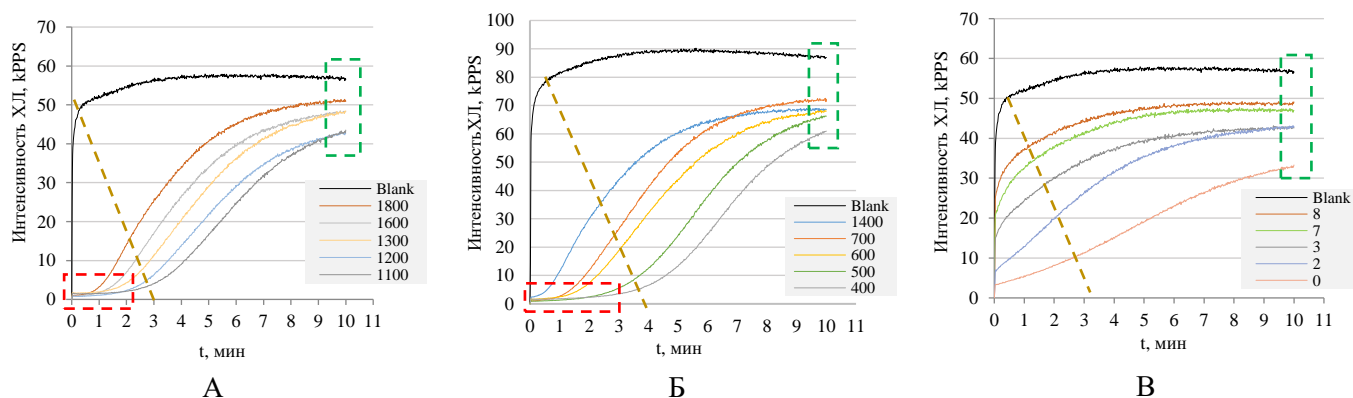


Рисунок 2 – Зависимость интенсивности ХЛ от разведения спиртовых экстрактов шелухи лука, где А – красный, Б – желтый, В – белый

При различных разведениях процент КАА красного и желтого лука был схож между собой, белый лук характеризовался существенно меньшими значениями (таблица 3). При разведении в 127 раз наблюдалось резкое снижение % КАА для красного лука, уступая желтому в 2,6 раз ( $p < 0,05$ ). КАА, выраженные в эквиваленте кверцетина, красного и желтого лука составили  $132,8 \pm 28,5$  и  $137,8 \pm 28,1$  мкмоль-экв. кв. / г сырья ( $p > 0,05$ ), соответственно, и превышали величину белого лука примерно в 4 раза ( $p < 0,05$ ).

Таблица 3 – Процент КАА спиртовых экстрактов шелухи репчатого лука

Разведение	Клеточная антиоксидантная активность, %		
	Красный	Желтый	Белый
27	$87,4 \pm 1,4^b$	$90,2 \pm 0,6^b$	$21,2 \pm 8,5^a$
47	$80,3 \pm 5,6^b$	$85,1 \pm 3,6^b$	$19,4 \pm 1,5^a$
67	$78,6 \pm 3,5^b$	$73,2 \pm 10,8^b$	$23,0 \pm 2,6^a$
87	$69,8 \pm 2,3$	$67,3 \pm 8,0$	нпо
127	$26,0 \pm 0,9^a$	$68,7 \pm 3,6^b$	нпо
167	$21,9 \pm 4,6$	нпо	нпо
p-value	0,019	0,019	0,027

a-b – достоверная разница между значениями экстрактов шелухи красного, желтого и белого лука в соответствующем разведении, критерий Краскела-Уоллеса ( $p < 0,05$ ); нпо-ниже предела обнаружения

### **Результаты изучения показателей качества и безопасности, сохранности антиоксидантных свойств экстракта шелухи желтого репчатого лука**

Технологическая схема получения 70% водно-этанольного экстракта шелухи желтого лука репчатого (ЭШЛ) представлена на рисунке 3. Для изучения сохранности АОП ЭШЛ в процессе хранения, готовили три экстракта из сырья, приобретенного в марте (№1), мае (№2) и августе (№3) 2023 года, измеряли ОАЕ методами ORAC, FRAP и DPPH в день приготовления (0 сутки) и каждые последующие 7 суток в течение 15 недель (рисунок 4). В течение 3-х месяцев хранения как при  $4\pm 2^\circ\text{C}$ , так и при  $22\pm 2^\circ\text{C}$ , ЭШЛ обладали высоким АОП, диапазон процента сохранности  $\text{OAE}_{\text{FRAP}}$  составил от  $51,90\pm 0,57\%$  до  $107,28\pm 1,34\%$ , для  $\text{OAE}_{\text{ORAC}}$  – от  $48,71\pm 2,70\%$  до  $192,88\pm 3,13\%$ , для  $\text{OAE}_{\text{DPPH}}$  – от  $68,38\pm 4,63\%$  до  $137,11\pm 1,65\%$ . Температура хранения существенно не влияла на АОП экстракта. Изменения ОАЕ ЭШЛ по всем методам исследования имели волнообразный характер с явно выраженными экстремумами в разный период времени в независимости от температуры хранения. Снижение значения ОАЕ по одному из методов одновременно компенсировалось повышением ОАЕ другим методом.

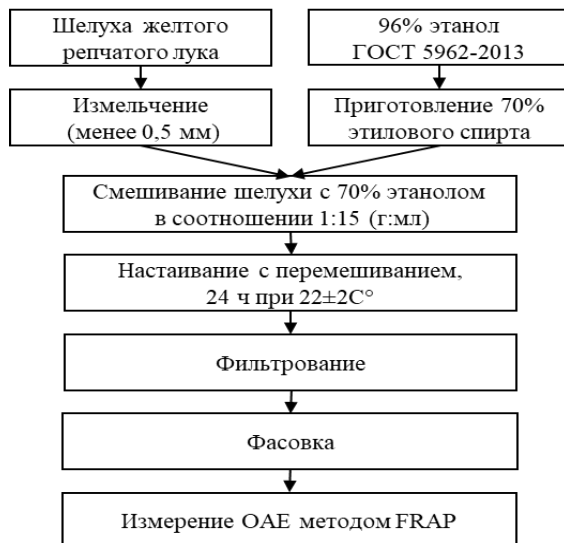
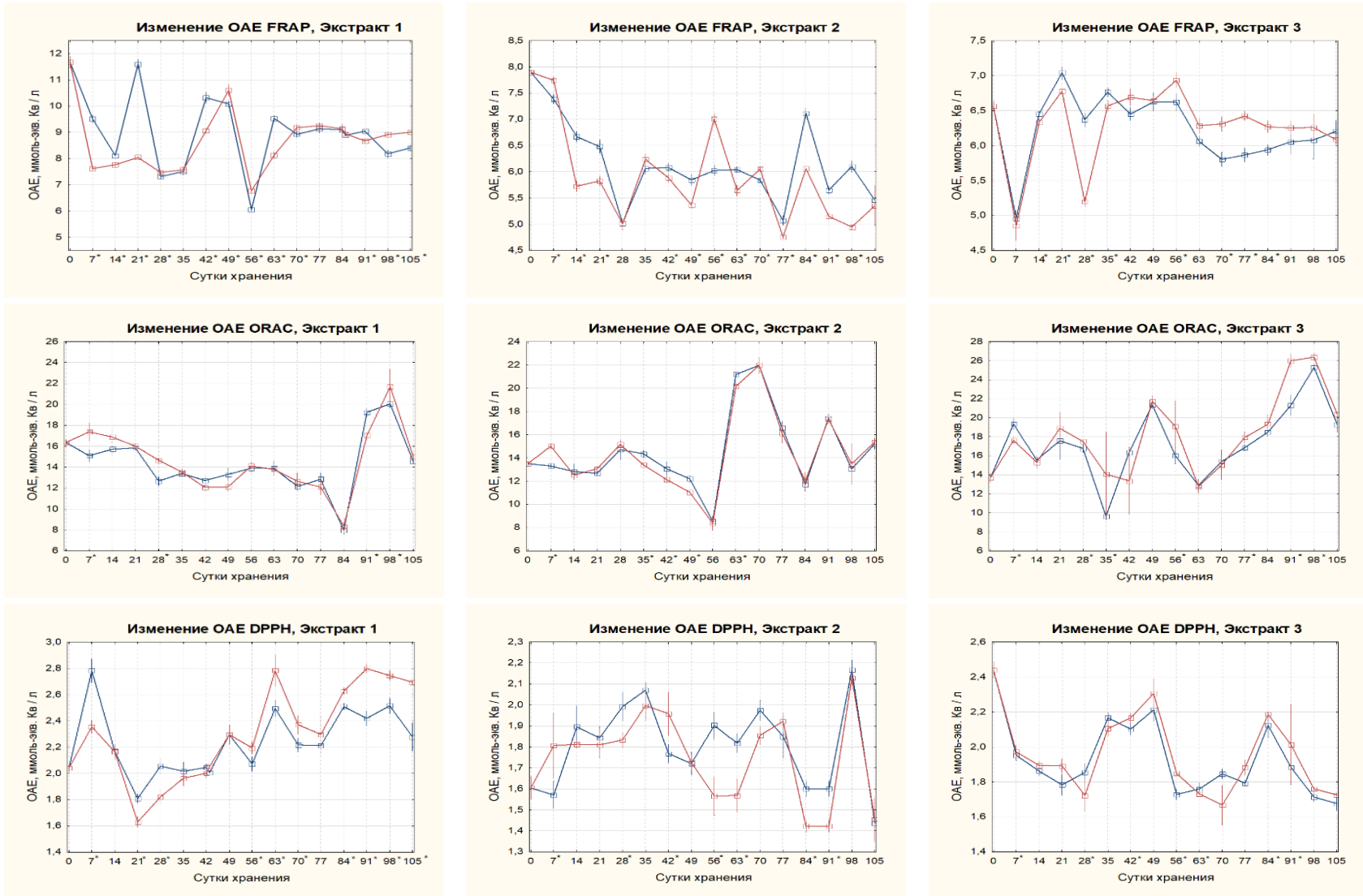


Рисунок 3 – Технологическая схема получения ЭШЛ

Безопасность ЭШЛ определяли в соответствии с требованиями ТР ТС 021/2011. Содержание токсичных элементов и пестицидов не превышало допустимых уровней, как в сырье, так и в ЭШЛ. В экстракте КМАФАНМ не превышал установленных показателей  $5 \cdot 10^3$  КОЕ/г, БГКП, сальмонеллы, *E. coli*, дрожжи и плесени не были обнаружены,  $\text{OAE}_{\text{FRAP}}$  был в диапазоне 6,5-8,5 ммоль-экв. кв./л. Были разработаны ТИ, ТУ 10.89.15-000-00419779 по производству этанольного экстракта шелухи желтого лука репчатого, предназначенного для применения в пищевой промышленности с целью обогащения пищевой продукции функциональными ингредиентами антиоксидантного эффекта и эффекта поддержания деятельности сердечно-сосудистой системы, имеющий кодировку Б-І-4-В по ГОСТ 54059.



\* достоверное различие между образцами, хранившихся при  $4\pm 2^\circ\text{C}$  и  $22\pm 2^\circ\text{C}$ , критерий Манна-Уитни,  $p < 0,05$

Рисунок 4 – Изменение ОАЕ экстрактов шелухи желтого лука №1, №2 и №3 в процессе хранения при  $4\pm 2^\circ\text{C}$  (синяя) и  $22\pm 2^\circ\text{C}$  (красная)

**Научное обоснование применения экстракта шелухи желтого репчатого лука в производстве мясного паштета антиоксидантного действия**

Внесение ЭШЛ в мясной паштет осуществляли на основании расчетов, проведенных в соответствии с Приложением 5 «Единых санитарно-эпидемиологических и гигиенических требований к продукции (товарам), подлежащих санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)» (Единые санитарные требования). Адекватный уровень потребления (АУП) и верхний допустимый уровень потребления (ВДУП) флавонолов и их гликозидов (кверцетин и др.) в пересчете на рутин составляют 30 мг и 100 мг в сутки, соответственно. Содержание БАВ в суточной дозе БАД к пище, указанной в рекомендациях по применению, должно составлять не менее 15% от АУП и не превышать ВДУП. Для пересчета концентраций АУП и ВДУП флавонолов и их гликозидов в эквиваленты кверцетина, использовали молекулярные массы рутина (610,517 г/моль) и кверцетина (кв.) (302,236 г/моль). Порция мясного паштета была принята за 100 г, тогда она должна содержать 7,35-163,78 мкмоль кв./100 г продукта для предполагаемого антиоксидантного воздействия на организм. Для расчета необходимого объема ЭШЛ, определяли его  $OAE_{FRAP}$ .

Кверцетин (основной АО ЭШЛ) является эффективным ингибитором ПОЛ, поэтому для изучения сохранности АО ЭШЛ были приготовлены образцы модельных мясных паштетов с низким содержанием жира в соответствии с рецептурой (таблица 4). В паштеты вносили бульон, полученный после варки пашины говяжьей.

Таблица 4 – Рецептура модельных мясных паштетов

Ингредиенты рецептуры	Образцы паштетов		
	Контроль (без ЭШЛ)	Образец 1 (max)	Образец 2 (1/2 max)
Основное сырье, кг на 100 кг бланшированных продуктов			
Говядина второго сорта (пашина) жилованная, бланшированная	35	35	35
Печень говяжья жилованная, бланшированная	23	23	23
Свинина нежирная, бланшированная	20	20	20
Сердце свиное, бланшированное	10	10	10
Мука пшеничная, высший сорт	5	5	5
Молоко коровье сухое цельное	2	2	2
Лук репчатый жареный	5	5	5
Пряности и материалы, г на 100 кг несоленого сырья			
Соль пищевая	1400	1400	1400
Сахар белый	300	300	300
Перец черный молотый	100	100	100
Перец душистый молотый	50	50	50
Горчица молотая	500	500	500
Орех мускатный молотый	50	50	50
Жидкость, л / 100 кг основного сырья			
Бульон говяжий	20,0	13,2	16,6
ЭШЛ, $OAE_{FRAP} = 6,53 \pm 0,18$ мкмоль-экв. кв. / л	-	6,8	3,4

Технологическая схема приготовления паштетов соответствовала ТИ по производству мясных и мясосодержащих паштетов по ГОСТ Р 55334. Горячий паштетный фарш фасовали по  $100 \pm 1$  г в вакуумные пакеты (ВакумПак-М, Россия, ПА/ПЭ, 150x200 мм, 70 мкм). Были получены три образца модельного мясного паштета: образец 1, содержащий АУП флавонолов и их гликозидов в пересчете на кверцетин, а именно 44,4 ммоль-экв. кв./100 кг сырья (ОАЕ<sub>FRAP</sub>)), образец 2 - 50% от АУП (22,2 ммоль-экв. кв./100 кг сырья (ОАЕ<sub>FRAP</sub>)) и контрольный образец, не содержащий ЭШЛ.

По результатам органолептической оценки во вкусе образца 1 и образца 2 присутствовала нота, характерная для ЭШЛ. Внесение ЭШЛ в рецептуру образца 2 не мешало восприятию вкуса и аромата основных компонентов паштета. В опытных образцах 1 и 2 содержание этанола составило  $3,67 \pm 0,26$  мл/100 г продукта и  $2,37 \pm 0,17$  мл/100 г продукта, соответственно. В технологию производства паштетов были внесены изменения в части получения паштетного фарша для более эффективного испарения этанола.

Паштеты хранили при температуре  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  в течение 14 суток и определяли сохранность антиоксидантных свойств. Контрольный паштет содержал фенольные соединения, что обусловлено внесением в рецептуру примерно 2,4 кг/100 кг сырья пряностей. Общее количество флавоноидов в образце 1 и образце 2 было выше, чем в контрольном в 2,8 раза ( $p < 0,1$ ) и в 1,9 раза ( $p < 0,1$ ), соответственно. Разница между показателями образца 1 и образца 2 составила в среднем 1,5 раза ( $p < 0,1$ ). На протяжении 14 суток хранения наблюдалось снижение ОАЕ во всех образцах. ОАЕ паштетов с ЭШЛ на протяжении всего срока хранения были выше аналогичных показателей контроля. Установлено, что ЭШЛ необходимо вносить в мясной паштет в количестве 30 ммоль-экв. кв./100 кг основного сырья, что соответствует 9,07 г-экв. кв./100 кг или 61,1% от АУП флавонолов и их гликозидов. Внесение ЭШЛ в мясной паштет в таком количестве обеспечивает в течение 14 суток повышенное содержание ОАЕ на фоне снижения ПОЛ.

Итоговая технологическая схема производства мясного паштета с внесением ЭШЛ представлена на рисунке 5 и предназначена для выпуска продукции в искусственных непроницаемых оболочках. Технология соответствует ТИ по производству мясных и мясосодержащих паштетов по ГОСТ Р 55334 и имеет изменения в части приготовления паштетного фарша: после внесения в готовую массу жаренного лука, сухих компонентов, оставшейся части бульона и ЭШЛ паштетный фарш обрабатывают до получения однородной массы с применением вакуума в течение 7 минут. Температура массы в конце гомогенизации составляла не менее  $45^\circ\text{C}$ . Дальнейшие этапы технологического процесса (фасовка, тепловая обработка и охлаждение) оставались неизменными. Вносимый объем

ЭШЛ должен обеспечивать 30 ммоль-экв. кв./100 кг основного сырья и будет меняться в зависимости от  $OAE_{FRAP}$  ЭШЛ, и рассчитывается по формуле 1.

$$V_{\text{ЭШЛ}} = \frac{30}{OAE_{FRAP}} \quad (1)$$

где 30 – необходимая концентрация, ммоль-экв. кв./100 кг сырья;  $OAE_{FRAP}$  – общая антиоксидантная емкость FRAP, ммоль-экв. кверцетина / л экстракта. Так как OAE получаемого ЭШЛ варьируется в пределах 6,5-8,5 ммоль-экв. кв. / л, то вносимый объем ЭШЛ будет меняться в диапазоне от 3,53 и до 4,62 л / 100 кг основного сырья.

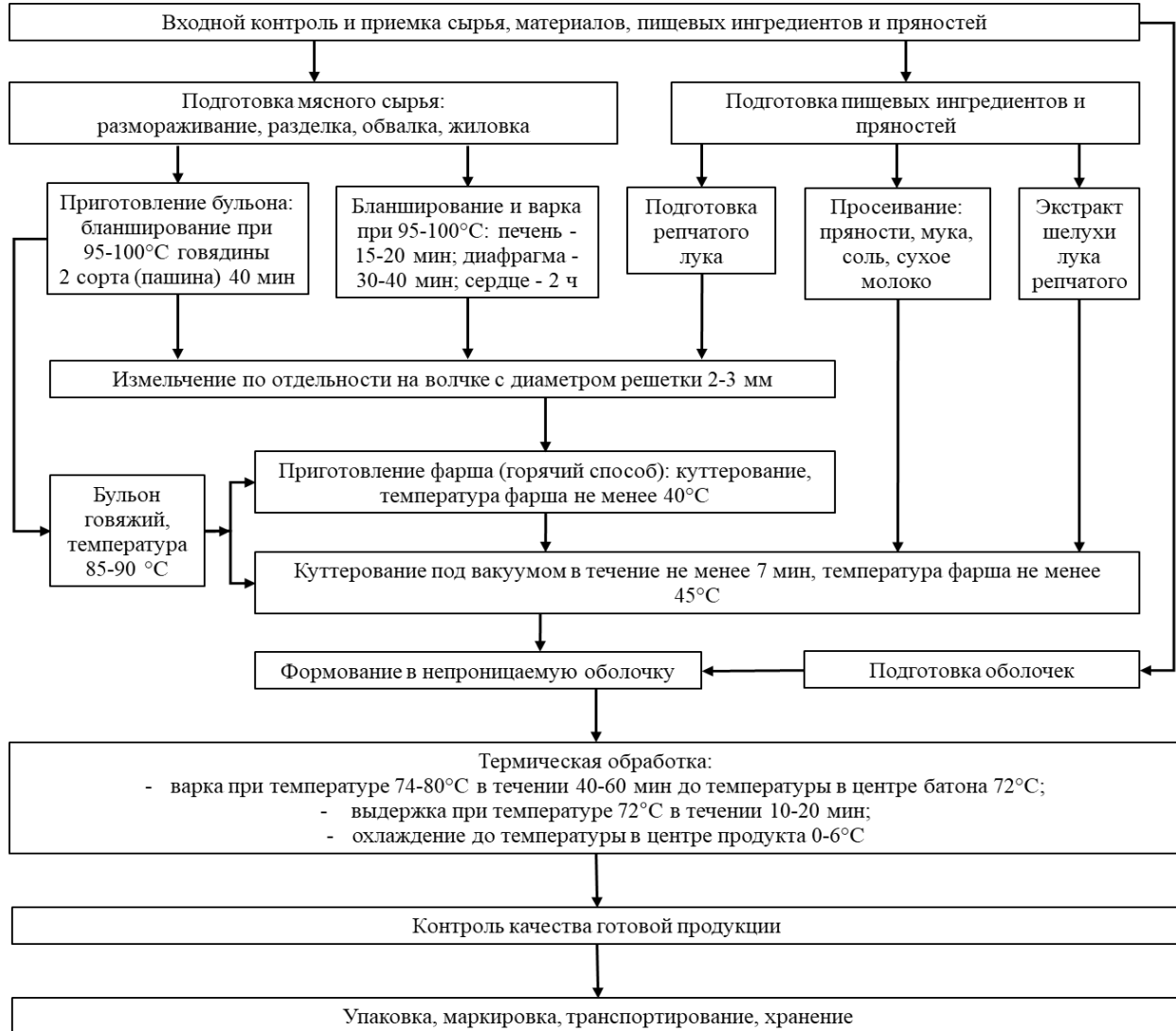


Рисунок 5 – Технологическая схема производства мясного паштета с внесением ЭШЛ

Для определения характеристик готового мясного паштета антиоксидантного действия, показателей безопасности и установления его сроков годности были приготовлены 2 образца по рецептуре (таблица 5) и по технологической схеме (рисунок 6). Контрольный образец не содержал ЭШЛ и соответствовал рецептуре паштета «Говяжий» категории А ГОСТ Р 55334. Вносимый объем ЭШЛ в опытный паштет заменял 19,5%

бульона. В паштетах определяли химический состав и рассчитывали пищевую ценность (таблица 6), органолептические показатели, ОАЕ методом FRAP, концентрации основных АО шелухи лука (таблица 7), жиро- и водорастворимых витаминов, микро- и макроэлементов, жирнокислотный и аминокислотный составы, рассчитывали индекс атерогенности (ИА) и биологическую ценность.

Таблица 5 – Финальная рецептура мясных паштетов

Наименование сырья	Контроль	Опыт
Основное сырье, кг / 100 кг		
Пашина говяжья, бланшированная	35	35
Печень жилованная говяжья, бланшированная	23	23
Диафрагма говяжья, бланшированная	20	20
Сердце свиное, бланшированное	10	10
Мука пшеничная	5	5
Молоко коровье сухое цельное	2	2
Лук репчатый жареный	5	5
Пряности и материалы, г на 100 кг основного сырья		
Соль поваренная пищевая	1400	1400
Сахар-песок	300	300
Перец черный молотый	100	100
Перец душистый молотый	50	50
Горчица молотая	500	500
Орех мускатный молотые	50	50
Жидкость, л на 100 кг основного сырья		
Бульон говяжий	200	16,1
ЭШЛ, ОАЕ <sub>FRAP</sub> = 7,7±0,1 ммоль-экв. кв./л	0	3,9

Основные показатели (белок, жир, хлориды, крахмал и пищевая ценность) паштета с ЭШЛ соответствовали нормам, установленных для паштета «Говяжьего» категории А в ГОСТ Р 55334.

Таблица 6 – Химический состав, пищевая ценность паштетов и нормы по ГОСТ Р 55334

Массовая доля, %	Норма, ГОСТ Р 55334	Контроль	Опыт
Белок	≥ 10,0	20,64 ± 0,06	20,43 ± 0,06
Жир	≤ 19,0	12,87 ± 0,23	12,80 ± 0,17
Зола	-	1,75 ± 0,03	1,87 ± 0,02 *
Влага	-	59,07 ± 0,45	59,30 ± 0,30
Хлориды	≤ 1,4	1,35 ± 0,06	1,35 ± 0,06
Крахмал	≤ 5,0	4,0 ± 0,20	4,0 ± 0,17
Пищевая ценность, Ккал / 100 г	≤ 233,0	228,1 ± 2,8	226,8 ± 1,5

\* - достоверная разница между контрольным и опытным образцами, критерий Манна-Уитни, p-value < 0,10

Значение ОАЕ<sub>FRAP</sub> опытного паштета превышало показатель контрольного образца на 66,1% (p<0,05). Потеря ОАЕ экстракта при внесении его в паштет составила 48,8%.



Внесение ЭШЛ увеличивало ОАЕ паштета примерно на 15,37 мкмоль-экв. кв./100 г продукта, что обеспечивало не менее 30% от АУП флавонолов в сутки.

Прогнозируемые значения концентраций АО в опытном продукте были рассчитаны на основе рецептуры (расчетные). Фактическое содержание общего количества флавоноидов Δ(О-К) в опытном паштете отличалось от расчетных всего на 12,38%. Наблюдалось увеличение концентрации кверцетина на 27,7%, что объясняется сильным падением содержания кверцетин-3,4'-О-ди-бета-глюкозид и спиреозида на 71,49% и 57,15%, соответственно, в связи с распадом гликозидов в ходе тепловой обработки на фенольную и углеводную части.

Таблица 7 – Результаты количественного определения основных флавоноидов

Соединение	ЭШЛ, мкг-экв. кв / мл	Концентрация, мкг-экв. кв. / 100 г продукта				% сохран- ности
		Контроль	Опыт		Δ (О-К)	
			Расчетные	Фактические		
Кверцетин-3,4'-О-ди-бета-глюкозид	319,62 ±95,91	769,63 ±42,29	1246,50 ±374,04	1635,15 ± 91,88*	891,13 ± 82,94	71,49 ± 6,65
Кверцетин 3-О-β-D-глюкопиранозид (изокверцитрин)	31,81 ±1,80	35,71 ±11,13	8124,11 ±7,00	79,67 ± 8,76*	43,96 ± 8,76	35,42 ± 7,06
Спиреозид	729,14 ±19,18	203,74 ±28,43	2843,65 ±74,80	1828,80 ± 146,86*	1625,06 ± 146,86	57,15 ± 5,16
Изорамнетин-3-О-бета-D-глюкозид	88,49 ±5,45	11,14 ±3,34	345,12 ±21,26	50,74 ± 14,26*	39,61 ± 14,26	11,48 ± 4,13
Кверцетин	906,62 ±70,16	1,92 ±0,0	3535,82 ±273,63	4515,49 ± 226,33*	4513,57 ± 226,33	127,65 ± 6,40
Общее количество флавоноидов	5567,01 ±34,95	1030,14 ±49,98	8084,13 ±638,45	8105,44 ± 209,58*	7083,29 ± 209,58	87,62 ± 2,59

\* - значимое отличие между показателями контрольного и фактическим значением опытного образца паштетов, критерий Манна-Уитни,  $p < 0,05$

Внесение ЭШЛ в паштет способствовало увеличению ( $p < 0,10$ ) концентраций витаминов: ДЗ на 9,2%, Е - 20,8%, В1 - 5,1%, В2 - 10,8%, В3 - 10,6%, С - 66,0% и снижению содержания витаминов А на 7% ( $p < 0,10$ ) и В12 на 18,75% ( $p < 0,10$ ). В опытном паштете отмечалось увеличение концентраций железа, магния, натрия, меди и кальция на 26,4%, 26,8%, 11,7%, 11,9% и 27,7% ( $p < 0,10$ ), соответственно.

Рассчитанные ИА контрольного и опытного паштетов составили  $0,32 \pm 0,01$  и  $0,34 \pm 0,01$ , соответственно, что было на 56,8% и 54,1%, соответственно, ниже среднего ИА рациона человека (0,74). Количество всех аминокислот (АК) отличалось в паштетах, кроме аргинина и триптофана, а суммарное содержание АК не отличалось. По результатам расчета аминокислотных скоров (АС), было выявлено, что контрольный продукт имеет 3 лимитирующие незаменимые аминокислоты (НАК): лизин, валин и метионин + цистеин, а опытный только 2: лизин и метионин + цистеин. Опытный паштет характеризовался

меньшим избыточным количеством НАК, не используемых на пластические нужды, о чем свидетельствовало снижение коэффициента различия АС (КРАС, %). Биологическая ценность опытного паштета увеличивалась на 1,39%. Коэффициент сбалансированности незаменимых аминокислот (Rc) контрольного паштета был выше на 0,03 доли ед., а показатель сопоставимой избыточности содержания НАК ( $\sigma$ ) ниже на 17,06 мг/г белка эталона. Оба продукта характеризовались достаточно низкой суммарной массой НАК, которая не используется на анаболические нужды. Для контрольного и опытного образцов паштета величина  $\sigma$  составила 121,44 мг/г белка эталона и 138,50 мг/г белка эталона, соответственно, тогда как  $\sigma$  коровьего молока 152,2 мг/г белка эталона.

Безопасность и сроки годности мясного паштета антиоксидантного действия оценивали в соответствии с ТР ТС 034/2013, Едиными санитарными требованиями и ГОСТ Р 70354. Паштеты хранили при  $4\pm 2^\circ\text{C}$  в течение 21 суток с учетом коэффициента запаса и определяли ОАЕ методом FRAP (таблица 8), концентрации ТБК-АП (таблица 9), показатели микробиологической и окислительной (таблица 10) порчи.

Содержание кадмия, свинца, мышьяка было менее 0,01 мг/кг, ртути менее 0,002 мг/кг, что существенно ниже норм, указанных в Единых санитарных требованиях. В образцах паштета в течение 21 суток хранения не были обнаружены: БГКП (колиформы), сульфитредуцирующие клостридии, *S. Aureus*, микроорганизмы рода *Salmonella*, *L. Monocytogenes*, бактерии рода *Proteus*, *Enterobacteriaceae*, *E. Coli*, *Enterococcus*, *B. Cereus* и *Pseudomona*. КМАФАнМ было ниже  $1 \cdot 10^3$  КОЕ/г, количество дрожжей и плесени ниже  $1 \cdot 10^1$  КОЕ/100 г, что соответствовало установленным нормам.

Таблица 8 – Показатели ОАЕ паштетов в процессе хранения при  $4^\circ\text{C}$

Сутки хранения	ОАЕ <sub>FRAP</sub> , мкмоль-экв кверцетина / 100 г продукта				% потери ОАЕ***
	Контроль	Опыт	$\Delta$ (О-К)	% от АУП**	
1	23,250,16	38,62 $\pm$ 0,96 *	15,37	31,21	48,8
3	22,78 $\pm$ 0,22	38,55 $\pm$ 0,81 *	15,77	32,01	47,4
7	31,29 $\pm$ 0,33	47,25 $\pm$ 0,76 *	15,96	32,35	46,8
10	21,51 $\pm$ 0,23	34,56 $\pm$ 0,47 *	13,05	26,44	56,5
14	19,96 $\pm$ 0,23	33,09 $\pm$ 0,71 *	13,13	26,64	56,2
21	15,92 $\pm$ 0,19	28,42 $\pm$ 0,50 *	12,50	25,37	58,3

\* - достоверная разница между контрольным и опытным образцами, критерий Манна-Уитни, p-value < 0,10; \*\* - процент от адекватного уровня потребления флавонолов и их гликозидов в сутки, который обеспечивает внесение ЭШЛ; \*\*\* - рассчитывали от 30 мкмоль-экв. кв. / 100 г продукта, которые вносили в соответствии с рецептурой.

Значения ОАЕ<sub>FRAP</sub> опытного паштета в течение всего срока хранения превышали аналогичные показатели контрольного образца более, чем в 1,51 раз (p<0,05). В течение 7-ми суток опытный образец содержал примерно на 15,5 мкмоль-экв. кв./100 г продукта больше, чем контрольный, что составляет не менее 31% от АУП, а в течение 21 суток не менее 25% от АУП флавонолов и их гликозидов.

Таблица 9 – Концентрации ТБК-АП в паштетах в процессе хранения при 4°C

Сутки хранения	ТБК-АП, мкмоль / 100 г продукта	
	Контроль	Опыт
1	1,64±0,13	1,49±0,31
3	2,05±0,31	1,53±0,27
7	2,16±0,14	1,93±0,28
10	2,40±0,19	1,06±0,22*
14	2,42±0,07	1,33±0,16*
21	2,66±0,20	1,86±0,17*

\* - достоверная разница между контрольным и опытным образцами, критерий Манна-Уитни, p-value < 0,05

Внесение ЭШЛ в мясной паштет способствовало снижению продуктов ПОЛ на протяжении всего срока хранения: в течение 3-х недель значения ТБК-АП для опытного продукта не превышали 2,2 мкмоль / 100 г продукта, а контрольный паштет после 7-ми суток характеризовался ТБК-АП выше 2,2 мкмоль / 100 г продукта. К 21 суткам величина ТБК-АП в контроле возросла в 1,6 раз (p<0,10) от начальной, в а опыте – в 1,2 раза (p<0,10).

Для установления сроков годности по ГОСТ Р 70354 в паштетах были определены показатели окислительной порчи: концентрация amino-аммиачного азота (ААА), перекисное (ПЧ) и кислотное (КЧ) числа, максимально допустимые значения которых 60 мг/100 г, 10 ммоль активного кислорода/кг жира и 6,0 мг КОН/г жира, соответственно.

Таблица 10 – Показатели окислительной порчи паштетов в процессе хранения при 4°C

Метод	Образец	Сутки хранения					
		0	3	7	10	14	21
ААА, мг/100г	Конт.	26,37±0,40	28,07±0,70	30,80±0,70	39,67±1,0	43,63±1,07	48,07±1,07
	Опыт	26,37±1,07	29,17±0,81	29,87±1,07	37,57±1,07	41,07±0,40*	46,20±0,70
КЧ, мг КОН / г жира	Конт.	1,62±0,12	2,37±0,06	3,51±0,07	4,93±0,05	5,76±0,06	6,22±0,03
	Опыт	1,57±0,08	2,25±0,07	3,18±0,04*	4,53±0,05*	5,02±0,06*	5,99±0,03*
ПЧ, ммоль акт О <sub>2</sub> / кг жира	Конт.	2,08±0,10	3,84±0,17	5,15±0,15	5,87±0,08	6,81±0,09	8,42±0,03
	Опыт	1,91±0,24	3,74±0,09	4,62±0,04*	5,29±0,05*	6,72±0,08	7,99±0,06*

\* - достоверная разница между контрольным и опытным образцами, критерий Манна-Уитни, p-value < 0,10

Концентрация ААА не превышала 49,0 мг/100 г. Значение КЧ паштетов на протяжении 21-х суток увеличивалось, к окончанию 3-х недель КЧ контрольного паштета превышало установленную норму в 6,0 мг КОН/г жира, а опытного продукта составило 5,99±0,03 мг КОН / г жира, что было ниже контрольного на 0,23 мг КОН / г жира (p<0,10). Показатели ПЧ в обоих образцах возрастали в течение 21 суток хранения, но не превышали установленной нормы. Существенные различия КЧ и ПЧ между контрольным и опытным образцами были отмечены с 7-х суток хранения. Рекомендованный срок годности разработанного мясного паштета антиоксидантного действия составляет 15 суток с учетом коэффициента запаса по ГОСТ Р 70354. В течение 15 суток данный продукт будет характеризоваться повышенной ОАЕ<sub>FRAP</sub>, увеличение которой обеспечено наличием растительных АО (кверцетин и его гликозиды). Порция 100 г паштета будет обеспечивать

не менее 25% флавонолов и их гликозидов от АУП в сутки. На основании выполненных работ были разработаны ТИ и ТУ 10.13.14-151-00419779 по производству мясного паштета антиоксидантного действия.

Для оценки экономической эффективности производства мясного паштета антиоксидантного действия рассчитывали себестоимость производства партии продукции с использованием в качестве источника растительных АО ЭШЛ и коммерческий дигидрокверцетин (ДК) очистки 92% в виде БАД «АЛЕОКС-Х» (ЗАО «НПФ «Флавит», Россия). Внесение ЭШЛ увеличивает стоимость паштета на 6,45-8,48% в зависимости от его ОАЕ<sub>FRAP</sub>, коммерческого ДК – на 11,42%.

### ***Результаты изучения экстракта шелухи лука и мясных паштетов in vivo***

Для изучения биологического действия ЭШЛ и мясного паштета с его добавлением *in vivo*, лабораторные грызуны стока *Wistar* (n=40), возрастом 17 месяцев и массой 423±39 г ежедневно в течение 28 суток получали опытный паштет (группа 2, n=10) и ЭШЛ (группа 3, n=10) в количестве, эквивалентном ОАЕ<sub>FRAP</sub> 2 мкмоль-экв. кв./сут/гол, контрольный продукт (группа 4, n=10) и общевиварный рацион (группа 1, n=10).

В сыворотке крови крыс групп 2 и 3 отмечалась тенденция к снижению концентрации глюкозы на 12,9% и 6,1%, соответственно, по сравнению с группой 1. Также у крыс групп 2 и 4 наблюдалось снижение концентрации триглицеридов по сравнению с группами 1 и 3 более чем в 1,5 раза (p<0,05). Содержание общего холестерина (ХС) у животных группы 2 возросло по сравнению с группами 1 и 3 на 21,4% (p<0,05) и 26,7% (p<0,05), соответственно, преимущественно за счет роста концентрации ХС ЛПВП на 30,1% (p<0,05) и 23,5% (p<0,05), соответственно, а ХС ЛПНП снижался на 13,0% (p<0,05). У крыс группы 3 отмечалось снижение остаточного ХС на 36,2% (p<0,05) по сравнению с группой 2. Перераспределение фракций липопротеинов проявилось в тенденции к снижению ИА сыворотки крови крыс групп 2 и 3 на 9,6% и 13,7%, соответственно, по сравнению с группой 1.

По результатам определения показателей АОС в плазме крови грызунов существенных изменений выявлено не было. Наиболее явно выраженный эффект отражался на показателях тканей печени и мозга (таблица 11). В печени животных групп 2 и 4 увеличивалась ОАЕ<sub>FRAP</sub> на 23,7% (p<0,05) и 11,3% (p<0,05), соответственно, в сравнении с группой 1, причем в группе 2 ОАЕ<sub>FRAP</sub> была на 11,19% (p<0,05) больше, чем в группе 4. Значение емкости в печени животных группы 3 (ЭШЛ) практически не отличалось от интактных животных. Во всех опытных группах отмечалось статистическое увеличение концентрации ТБК-АП в печени в ряде 1<3<2<4. В случае мозга, отмечалось снижение ОАЕ<sub>FRAP</sub> в группе 2 по сравнению с группами 1 и 3 на 10,1% (p<0,05) и 9,4%

( $p < 0,05$ ), соответственно, на фоне резкого снижения концентрации ТБК-АП в 2,3 раза ( $p < 0,05$ ) и в 2,0 раза ( $p < 0,05$ ), соответственно. Аналогичные изменения были характерны и для группы 4, однако, снижение  $OAE_{FRAP}$  было больше, чем в группе 2, и составило 15,3% ( $p < 0,05$ ) в сравнении с группой 1 и 14,6% ( $p < 0,05$ ) в сравнении с группой 3. Концентрация ТБК-АП в группе 4 снижалась в 1,8 раз ( $p < 0,05$ ) по сравнению с группой 1.

Таблица 11 – Результаты определения показателей АОС печени и мозга крыс

Метод	Орган		Группа			
			1 (интакт)	2 (паштет опытный)	3 (ЭШЛ)	4 (паштет контрольный)
$OAE_{FRAP}$ , нмоль-экв. кв / г ткани	Печень	Median	1520,58 <sup>b,d</sup>	1881,60 <sup>a</sup>	1527,10 <sup>b,d</sup>	1692,25 <sup>b,c</sup>
		P 25/75	1474,78 / 1573,33	1732,46 / 1972,03	1496,23 / 1568,55	1650,44 / 1801,59
	Мозг	Median	412,32 <sup>b,d</sup>	370,62 <sup>a</sup>	408,88 <sup>b,d</sup>	349,06 <sup>c</sup>
		P 25/75	386,09/423,99	365,22/403,70	398,41/422,25	327,83/369,49
ТБК-АП, нмоль / г ткани	Печень	Median	29,83 <sup>b</sup>	34,04 <sup>b</sup>	33,71 <sup>b</sup>	38,11 <sup>a</sup>
		P 25/75	28,25/33,90	32,20/37,85	32,46/36,01	36,80/43,23
	Мозг	Median	18,59±2,71 <sup>b,d</sup>	8,21±3,30 <sup>a,d</sup>	16,62±5,39 <sup>d</sup>	10,05±3,01 <sup>b,c</sup>
		P 25/75	16,16/20,11	7,89/12,22	14,19/23,65	7,82/11,30
$GSH$ , нмоль / г ткани	Печень	Median	478,13	451,51	455,42	465,71
		P 25/75	451,51/484,17	437,31/468,55	447,96/477,07	443,70/488,43
	Мозг	Median	452,58	452,93	437,67	452,58
		P 25/75	445,12/469,26	437,31/486,30	420,99/456,48	444,41/466,42
$GPx$ , Е/г белка	Печень	Median	83,04	72,82	77,48	73,44
		P 25/75	81,75/90,43	63,30/86,49	73,20/102,47	70,39/90,74
	Мозг	Median	141,68	148,17	150,93	143,12
		P 25/75	129,65/156,68	135,25/153,35	142,54/154,45	135,50/148,74
САТ, ммоль/мин/г	Печень	Median	522,66	580,05	498,10	549,02
		P 25/75	441,81/569,72	521,40/613,31	472,58/641,29	508,70/623,59
	Мозг	Median	10,69	9,04	10,05	10,58
		P 25/75	9,05/11,89	8,69/9,87	9,17/12,41	9,57/11,40
SOD, П%/мин/мг белка	Печень	Median	321,91 <sup>b,d</sup>	256,46 <sup>a</sup>	297,64 <sup>b,d</sup>	283,79 <sup>b,c</sup>
		P 25/75	292,29/336,92	249,86/270,44	291,32/317,91	274,79/303,20
	Мозг	Median	216,51	215,03 <sup>a</sup>	230,57 <sup>b</sup>	222,03
		P 25/75	206,32/228,69	206,95/220,93	219,36/238,67	206,34/234,33

a-b, c-d - статистически достоверная разница, критерий Даннета,  $p < 0,05$ ; данные выражены в виде медианы «Median» и межквартильного размаха «P 25/75».

Методом главных компонент были установлены взаимосвязи в изменчивости маркеров АОС в совокупности с показателями клинического и биохимического анализов крови (рисунок 6). Две главные компоненты во всех расчетах описывали не более 49,8%, а PC1-PC3 не более 64,9%. На рисунке 6А атерогенный ХС ЛПНП (LDL) был окружен показателями АОС плазмы, а остаточный ХС (remnant) и ХС ЛПВП (HDL) находились на одинаковом расстоянии от холестерина (CL), что свидетельствует о равноценной взаимосвязи CL с обоими показателями в системе HDL-CL-remnant.

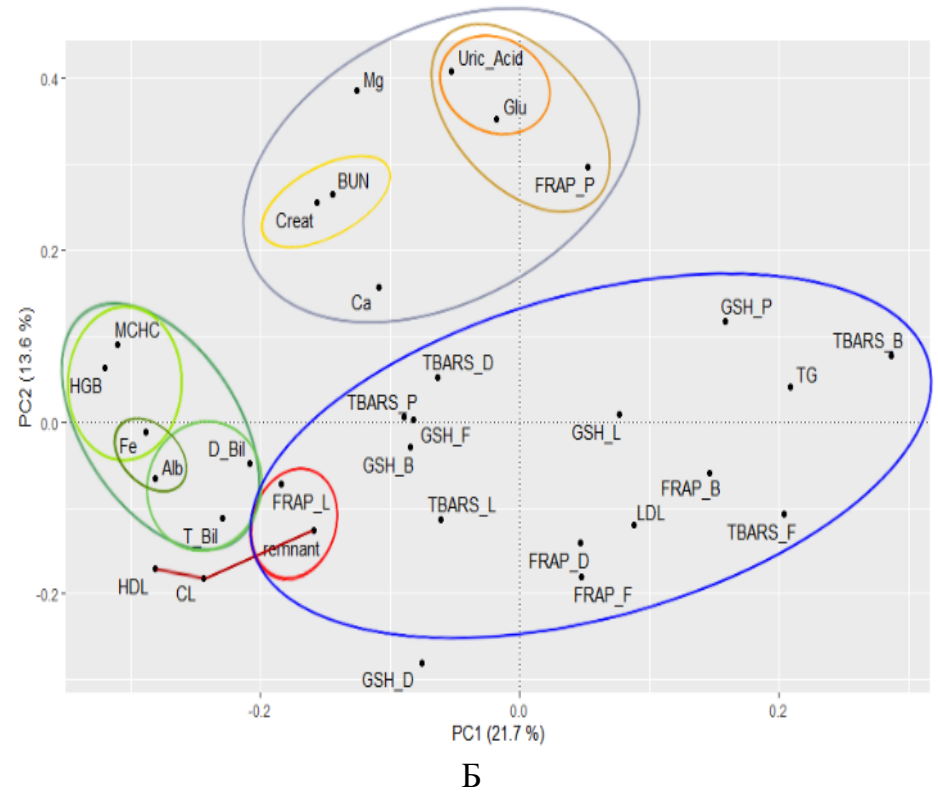
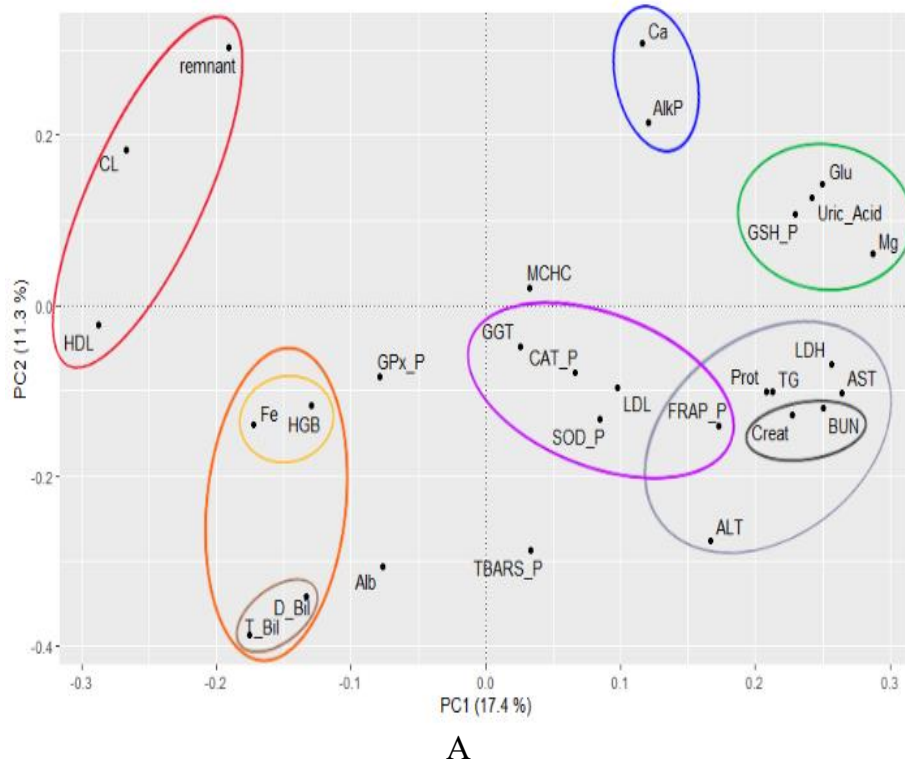


Рисунок 6 – Анализ результатов методом главных компонент, где А – распределение всех показателей биохимического и антиоксидантного анализов крови; Б – распределение всех показателей биохимического анализа сыворотки крови и антиоксидантных показателей плазмы крови, органов и тканей

При учете показателей АОС тканей, группа с LDL увеличивалась (рисунок 6Б, синий цвет) за счет восстановленного глутатиона печени, плазмы, мышц бедра и мозга,  $ОАЕ_{FRAP}$  мышц спины и бедра и ТБК-АП плазмы, мозга, печени, мышц, которые также стали охватывать триглицериды (TG). Система HDL-CL-remnant смещалась в сторону роста взаимодействия HDL-CL, что можно объяснить приближением  $ОАЕ_{FRAP}$  печени ( $FRAP\_L$ ) к атерогенным фракциям остаточного холестерина, основная доля конечного катаболизма которых приходится на печень. Стимулирование АОС внесением АО шелухи лука в виде экстракта или мясного паштета с его содержанием преимущественно оказывает влияние на липидный профиль и уровень глюкозы. Была задействована АОС не только крови, но и мозга, печени и мышц, что свидетельствует о комплексном эффекте экзогенных АО на организм лабораторных крыс.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Результаты аналитических данных показали, что использование вторичного растительного сырья в качестве источника натуральных антиоксидантов для производства технических вспомогательных средств и функциональных ингредиентов для пищевой, косметической и фармацевтической промышленности стремительно увеличивается во всем мире, что обусловлено социальными и экономическими факторами.

2. Были апробированы и систематизированы современные методы определения антиоксидантного потенциала на примере вторичного сырья переработки репчатого лука. Данный подход включал 4 основных этапа: I - определение общей антиоксидантной емкости с учетом механизма действия антиоксидантов; II – изучение качественно-количественного химического состава; III – установление соотношения типов антиоксидантов по силе их действия и определение клеточной антиоксидантной активности *in vitro*; IV - изучение влияния антиоксидантов *in vivo*.

3. Шелуха красного лука характеризовалась большими значениями общей антиоксидантной емкости и содержанием фенольных АО, однако при этом желтый лук характеризовался более сбалансированным составом антиоксидантов разной силы. Клеточная антиоксидантная активность красного и желтого лука были равны ( $132,8 \pm 28,5$  и  $137,8 \pm 28,1$  мкмоль-экв. кв./г сырья), соответственно, превышая значение белого лука примерно в 4 раза ( $p < 0,05$ ). Температура хранения экстракта шелухи желтого репчатого лука в течение 3-х месяцев не влияла на общую антиоксидантную емкость. Диапазон сохранности  $ОАЕ_{FRAP}$  составил от  $51,90 \pm 0,57\%$  до  $107,28 \pm 1,34\%$ , для  $ОАЕ_{ORAC}$  – от  $48,71 \pm 2,70\%$  до  $192,88 \pm 3,13$ , для  $ОАЕ_{DPPH}$  – от  $68,38 \pm 4,63\%$  до  $137,11 \pm 1,65\%$ . Согласно разработанным ТИ и ТУ 10.89.15-000-00419779 по производству экстракта шелухи желтого репчатого лука показатель его  $ОАЕ_{FRAP}$  составляет 6,5-8,5 ммоль-экв. кв. / л.

4. Определено оптимальное количество внесения экстракта шелухи лука в мясной паштет (30,0 ммоль-экв. кв / 100 кг основного сырья (ОАЕ<sub>FRAP</sub>), которое обеспечивает повышенные значения ОАЕ<sub>FRAP</sub> на протяжении 21 суток хранения. Мясной паштет антиоксидантного действия соответствует требованиям паштета «Говяжий» ГОСТ Р 55334 и содержит в течение 7 суток около 31,5% от адекватного уровня потребления флавонолов и их гликозидов, а в течение 21 суток не менее 25%. Рекомендованный срок годности паштета, установленный в соответствии с ГОСТ Р 70354 составляет 15 суток. Внесение экстракта шелухи увеличивает стоимость паштета на 6,45-8,48% в зависимости от его ОАЕ<sub>FRAP</sub>, а коммерческого дигидрокверцетина - на 11,42%. Разработаны ТИ и ТУ 10.13.14-151-0041977 по производству мясного паштета антиоксидантного действия.

5. Антиоксиданты шелухи лука оказывали комплексное влияние на антиоксидантную систему не только крови, но и мозга, печени и мышц лабораторных животных. Отмечалось увеличение ОАЕ в печени на 23,74% ( $p < 0,05$ ), уменьшение уровня перекисного окисления липидов в мозге в 2,26 раза ( $p < 0,05$ ), снижение глюкозы на 12,9% ( $p < 0,05$ ) и тенденция к снижению индекса атерогенности сыворотки крови на 9,6%. Было установлено, что стимулирование антиоксидантной системы организма животных экзогенными антиоксидантами связано с изменением липидного профиля и уровня глюкозы в сыворотке крови.

### СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

#### Статьи, индексируемые в международных базах данных Web of Science и Scopus

1. Chernukha, I. Assessment of antioxidant stability of meat pâté with allium cepa husk extract / I. Chernukha, N. **Купаева**, D. Khvostov, Yu. Bogdanova, J. Smirnova, E. Kotenkova // *Antioxidants*. – 2023. – Vol.12. – №.5. – 1103. <https://doi.org/10.3390/antiox12051103> (Web of Science, Scopus, Q1: SJR 1.01)
2. Chernukha, I. Differences in antioxidant potential of allium cepa husk of red, yellow, and white varieties / I. Chernukha, N. **Купаева**, E. Kotenkova, D. Khvostov // *Antioxidants*. – 2022. – Vol.11. – №.7. – 1243. <https://dx.doi.org/10.3390/antiox11071243> (Web of Science, Scopus, Q1: SJR 1.01)
3. Chernukha, I. Antioxidant effect of ethanolic onion (*Allium cepa*) husk extract in ageing rats / I. Chernukha, L. Fedulova, E. Vasilevskaya, A. Kulikovskii, N. **Купаева**, E. Kotenkova // *Saudi journal of biological sciences*. – 2021. – Vol.28. – №.5. – P.2877-2885 <https://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.020> (Web of Science, Scopus, Q1: SJR 0.66)
4. Kotenkova, E.A. Current view on the assessment of antioxidant and antiradical activities: a mini review / E.A. Kotenkova, N.V. **Купаева** // *IOP Conference series: earth and environmental science «61st International Meat Industry Conference»*. – 2021. – 012048. <https://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/854/1/012048> (Scopus, WoS).



5. Kotenkova, E.A. Onion husk (*Allium cépa*) as a promising source of natural antioxidants Comparative antioxidant study of onion and garlic waste and bulbs / E.A. Kotenkova, **N.V. Kupaeva** // IOP Conference series: earth and environmental science «International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials - Technology of Sugars, Saccharine Products and Alcohol». – 2021. – 052002. <https://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/640/5/052002> (Scopus, WoS, РИНЦ).

6. Kotenkova, E.A. Comparative antioxidant study of onion and garlic waste and bulbs / E.A. Kotenkova, **N.V. Kupaeva** // IOP Conference series: earth and environmental science «60th International Meat Industry Conference». – 2019. – 012031. (Scopus, WoS, РИНЦ). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/333/1/012031>

### Статьи в журналах, рекомендованных ВАК

1. Pchelkina, V.A. Analysis of antioxidant potential and study of the features of the microstructure in certain types of spices and herbs used in the meat processing industry / V.A. Pchelkina, **N.V. Kupaeva** // Theory and practice of meat processing. – 2023. – V.8. – №4. – P.289-301. <https://doi.org/21323/2414-438X-2023-8-4-289-301>

2. Смирнова, Ю.А. Изучение клеточной антиоксидантной активности спиртовых экстрактов шелухи красного, желтого и белого репчатого лука / Ю.А. Смирнова, **Н.В. Купаева**, Е.А. Котенкова // Пищевая промышленность. – 2023. – №3. – С.56-61. <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.3.3.011>

3. **Купаева, Н.В.** Исследование антиоксидантного потенциала овсяных напитков, обогащенных растительными компонентами / Н.В. Купаева, М.И. Ильина, М.В. Светличная, Ю.Н. Зубарев // Пищевые системы. – 2022. – №2. – Т.5. – С.157-163. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-157-163>

4. Симоненко, Е.С. Изучение функциональных свойств кисломолочного продукта на основе кобыльего молока / Е.С. Симоненко, **Н.В. Купаева**, С.В. Симоненко, Б.М. Мануйлов // Пищевые системы. – 2022. – №2. – Т.5. – С.114-120. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-114-120>

5. **Купаева, Н.В.** Хроническое воздействие спиртового экстракта луковой шелухи на организм стареющих грызунов / Н.В. Купаева, Е.Р. Василевская, Е.А. Котенкова // Все о мясе. – 2021. – №4. – С.47-51. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2021-4-47-51>

6. **Купаева, Н.В.** Применение метода тонкослойной хроматографии для анализа антиоксидантной активности / Н.В. Купаева, Е.Р. Василевская, Л.В. Федулова, Е.А. Котенкова // Пищевые системы. – 2021. – №1. – Т.4. – С.26-30. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-26-30>

7. Котенкова, Е.А. Оценка антиоксидантного потенциала некоторых побочных продуктов убоя свиней / Е.А. Котенкова, **Н.В. Купаева** // Пищевая промышленность. – 2020. – №7. – С.34-40. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10073>

8. **Купаева, N.V.** Search for alternative sources of natural plant antioxidants for food industry / N.V. Kupaeva, E.A. Kotenkova // Food systems. – 2019. – №3. – Т.2. – С.17-19. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-3-17-19>
9. **Купаева, Н.В.** Анализ антиоксидантного потенциала сырья животного происхождения / Н.В. Купаева, Е.А. Котенкова // Все о мясе. – 2019. – №5. – С.34-37. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2019-5-34-37>
10. Котенкова, Е.А. Обзор методов оценки антиоксидантных свойств растительных экстрактов / Е.А. Котенкова, Е.А. Лукинова, **Н.В. Купаева** // Все о мясе. – 2018. – №2. – С.36-40. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2018-2-34-38>

### Материалы симпозиумов, конгрессов, конференций

1. **Купаева, Н.В.** Изучение антиоксидантного потенциала спирулины сушеной / Н.В. Купаева, М.Д. Нестерова // Сборник материалов XI международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов «Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса», Москва – сентябрь 2023. – С. 126-129. (РИНЦ)
2. Нестерова, М.Д. Влияние условий экстрагирования на общую антиоксидантную емкость шелухи лука репчатого / М.Д. Нестерова, **Н.В. Купаева** // Сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов «Фуд-бум: новые технологии для будущего пищевой отрасли», Москва – сентябрь 2023. – С. 297-302. (РИНЦ)
3. **Купаева, Н.В.** Шелуха репчатого лука как альтернативный источник растительных антиоксидантов // Материалы V Школы молодых ученых с международным участием «Основы здорового питания и пути профилактики алиментарно-зависимых заболеваний», Москва. – ноября 2022. – С. 49-51. (РИНЦ)
4. **Купаева, Н.В.** Оценка антиоксидантного потенциала растительного сырья флуоресцентным методом // Материалы XIV Международной научно-технической конференции «Техника и технология пищевых производств», Могилев, Беларусь. – апрель 2022. – Т. 1. – С. 234-236.
5. **Купаева, Н.В.** Отходы переработки растений рода *Allium*, как альтернативный источник натуральных антиоксидантов для использования в пищевой промышленности // Сборник научных трудов Международного конгресса «Наука, питание, здоровье», Минск, Беларусь. – 2021. – С.147-152. (РИНЦ).
6. **Купаева, Н.В.** Современный подход к скринингу антирадикального потенциала альтернативных источников антиоксидантов с перспективой их использования в пищевой промышленности // Сборник научных трудов XIII Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Перспективные исследования и новые подходы к

производству и переработке сельскохозяйственного сырья и продуктов питания», Углич. – октябрь 2019. – С. 184-189. (РИНЦ)

7. **Купаева, Н.В.** Методы для комплексной оценки антиоксидантного потенциала растительного сырья *in vitro* // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «Пищевые ингредиенты России 2019», Санкт-Петербург. – июль 2019. – С. 62-67. (РИНЦ)

8. **Купаева, Н.В.** Определение антиоксидантной емкости растительного сырья методом ORAC / Н.В. Купаева, Е.А. Котенкова // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти В.М. Горбатова, Москва. – 2018. – С. 138-140. (РИНЦ)

9. **Купаева, Н.В.** Определение общей антиоксидантной емкости растительных пищевых добавок // Сборник научных трудов XII Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Интенсификация пищевых производств: от идеи к практике», Московская область, Красково. – октябрь 2018. – С. 183-187. (РИНЦ)

### Список сокращений

ААА	амино-аммиачный азот	ОАЕ	общая антиоксидантная емкость
АК	аминокислота	ПОЛ	перекисное окисление липидов
АО	антиоксидант	ПЧ	перекисное число
АОП	антиоксидантный потенциал	ТБК-АП	активные продукты, реагирующие с 2-тиобарбитуровой кислотой
АОС	антиоксидантная система	ХЛ	хемилюминесценция
АС	аминокислотный скор	ХС (CL)	общий холестерин
АУП	адекватный уровень потребления	ХС ЛПВП (HDL)	холестерин липопротеинов высокой плотности
БАВ	биологически активное вещество	ХС ЛПНП (LDL)	холестерин липопротеинов низкой плотности
БАД	биологически активная добавка	ЭШЛ	70% водно-этанольный экстракт шелухи желтого лука репчатого
ВДУП	верхний допустимый уровень потребления	CAT	каталаза
ДК	дигидрокверцетин	FRAP	Ferric Reducing/Antioxidant Power
ИА	индекс атерогенности	Gpx	глутатионпероксидаза
ИПХИ	интегральный показатель хронической интоксикации	GSH	восстановленный глутатион
КАА	клеточная антиоксидантная активность	ORAC	Oxygen Radical Absorbance Capacity
кв.	кверцетин	remnant	остаточный холестерин
КЧ	кислотное число	SOD	супероксиддисмутаза
НАК	незаменимая аминокислота	TG	триглицериды