

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ -
МСХА ИМЕНИ К. А. ТИМИРЯЗЕВА»

На правах рукописи

Галкина Екатерина Анатольевна

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ
КОРРЕКЦИИ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ У ЦЫПЛЯТ-
БРОЙЛЕРОВ**

**4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и
токсикология**

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата ветеринарных наук

Научный руководитель:
Вертипрахов Владимир Георгиевич,
доктор биологических наук, доцент

МОСКВА – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ	11
1.1 Обзор литературы	11
1.1.1 Значение пищеварительной функции для здоровья и продуктивности бройлеров в контексте возрастной динамики	11
1.1.2 Роль стресса как фактора влияния на жизнедеятельность и продуктивность цыплят-бройлеров	21
1.1.3 История и перспективы применения электромагнитных технологий для лечения и повышения продуктивности сельскохозяйственной птицы	23
1.1.4 Применение фистульной технологии в птицеводстве для изучения физиологии пищеварения	32
1.1.5 Вывод	36
2. СОБСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	39
2.1 Материал и методы исследования	39
2.1.1 Обоснование дизайна и хронология исследований	39
2.1.2 Общая характеристика экспериментов	40
2.1.3 Характеристика электромагнитного воздействия и подбор режимов	42
2.1.4 Моделирование теплового стресса (II этап)	44
2.1.5 Условия кормления и содержания	47
2.1.6 Зоотехнические методы исследования	49
2.1.7 Хирургические методы (фистульная технология)	50
2.1.8 Лабораторные методы исследования крови и химуса	51
2.1.9 Гистологические методы	53
2.1.10 Статистическая обработка данных	54
2.2 Результаты собственных исследований	55
2.2.1 Результаты I этапа: оценка влияния электромагнитного излучения на продуктивные показатели и безопасность для организма цыплят-бройлеров в нормальных условиях содержания	55
2.2.1.1 Подбор оптимального режима электромагнитного воздействия и его влияние на сохранность, живую массу и конверсию корма	55
2.2.1.2 Морфологические и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров при использовании электромагнитного излучения	60
2.2.1.3 Анатомические показатели и выход мясной продукции	66
2.2.1.4 Оценка безопасности воздействия электромагнитного излучения на внутренние органы (гистологические исследования)	69
2.2.2 Результаты II этапа: изучение механизмов корригирующего действия электромагнитного излучения на пищеварение и метаболизм цыплят-бройлеров в условиях теплового стресса	75
2.2.2.1 Характеристика модели теплового стресса и его влияние на продуктивные показатели	76

2.2.2.2 Активность пищеварительных ферментов и минеральный состав дуоденального содержимого	83
2.2.2.2 Биохимические показатели крови цыплят-бройлеров при тепловом стрессе и использовании электромагнитного излучения	91
3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	95
3.1 Обсуждение полученных результатов.....	95
3.2 Выводы.....	106
4. ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ.....	109
5. РЕКОМЕНДАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ.....	110
6. СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	111
7. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	112
8. ПРИЛОЖЕНИЕ.....	149

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Мясное птицеводство занимает важное место в аграрном секторе и является одной из наиболее рентабельных отраслей сельского хозяйства [58]. Высокая рентабельность отрасли обеспечивает ее привлекательность как для производителей, так и потребителей благодаря своей способности генерировать значительные прибыли и обеспечивать высококачественную и обладающую уникальными вкусовыми качествами продукцию не только для питания людей, но также и для производства белковых и белково-растительных кормов для животных, белковых сред, альбумина и т.д [1]. Тем не менее, несмотря на достигнутые успехи и положительные показатели, в условиях современной интенсивной технологии все еще существует множество нерешенных вопросов [48]. Одной из главных проблем является создание крупных птицеводческих комплексов, которые характеризуются высокой интенсивностью технологических процессов и стремлением к снижению затрат, что ведет к ухудшению питания птицы. Значительная концентрация животных в помещениях негативно сказывается на их здоровье [76], создает благоприятные условия для накопления и циркуляции патогенных и условно-патогенных микроорганизмов выступая в качестве хронического стресс-фактора [44] и нарушая обменные процессы у птиц, что в конечном итоге приводит к снижению качества мяса. Таким образом, питание птиц, условия содержания и качество конечной продукции становятся взаимосвязанными факторами, которые необходимо учитывать при организации производства [54].

Пищеварительная функция является критически важным аспектом здоровья и продуктивности бройлеров, поскольку она напрямую влияет на рост, развитие и общее состояние птиц. Эффективное переваривание пищи и усвоение питательных веществ обеспечивают оптимальное развитие мышечной массы, что является основным показателем продуктивности бройлеров. Пищеварительная система бройлеров имеет свои особенности, которые

необходимо учитывать при создании условий содержания и кормления птицы [24]. У бройлеров наблюдается высокая скорость роста, что требует эффективного усвоения питательных веществ.

Для того чтобы улучшить качество продукции и одновременно снизить затраты ресурсов на выращивание поголовья, необходимо осуществить переход отрасли на более высокий технологический уровень. Это означает внедрение современных технологий и научных достижений, которые помогут оптимизировать процессы производства [47].

Влияние электромагнитных полей (ЭМП) на биологические системы изучается как в физиологии человека, так и в ветеринарии, однако применение его в птицеводстве связано недостаточно исследовано. Внедрение методов воздействия электромагнитного излучения в практику позволяет потенциально регулировать работу кишечника, стимулировать ферментативную активность и улучшить усвоение питательных веществ. Это, в свою очередь, ведет к снижению затрат на корма, повышению выхода продукции и улучшению качества конечного продукта.

Актуальность исследования методов воздействия на желудочно-кишечный тракт бройлеров с помощью электромагнитных импульсов обусловлена современными тенденциями в области животноводства и необходимостью повышения эффективности производства мяса птицы. В условиях растущего спроса на качественный и экологически чистый продукт, фермерские хозяйства сталкиваются с необходимостью оптимизации роста и здоровья птиц, а также сокращением использования антибиотиков и других медикаментов. Использование электромагнитных импульсов представляет собой перспективный подход для воздействия на физиологические процессы желудочно-кишечного тракта у бройлеров, способствуя улучшению пищеварения, ускорению метаболизма и укреплению иммунитета.

Кроме того, проблема антибиотикорезистентности и глобальная инициатива по переходу к более экологичным методам выращивания птицы также подчеркивают необходимость поиска альтернативных способов

поддержания здоровья бройлеров. В этом контексте аккуратное применение электромагнитных импульсов как метода воздействия на пищеварительный тракт может стать одним из перспективных направлений, позволяющим снизить долю медикаментозной терапии и соответствовать современным стандартам производства.

Исследование этой темы способствует не только повышению эффективности птицеводческих хозяйств, но и расширяет научное понимание воздействия электромагнитных полей на биологические системы. В условиях интенсивного развития технологий, внедрение таких инноваций в сельское хозяйство возможно только при наличии фундаментальных знаний и научных обоснований. Поэтому изучение методов воздействия электромагнитного излучения на пищеварение бройлеров является своевременным и актуальным направлением, способствующим прогрессу в области животноводства и укреплению продовольственной безопасности.

Степень разработанности темы исследований. Полученные новые фундаментальные знания о физиологических и молекулярных процессах в метаболизме мясных кур при использовании электромагнитных излучений позволят создать базис для улучшения технологических процессов и разработки эффективных условий содержания и компенсации стресса у птицы отечественных кроссов.

Цель и задачи исследования. Целью настоящей работы являлось определение активности пищеварительных ферментов в химусе и крови птицы, а также морфологических и биохимических показателей крови бройлеров кросса «Смена 9» под влиянием электромагнитной обработки. Для достижения исследования были поставлены следующие задачи:

1. Определить действие электромагнитного излучения на сохранность, живую массу цыплят-бройлеров и конверсию корма при тепловом стрессе в онтогенезе.

2. Исследовать ферментативную активность и минеральный состав дуоденального содержимого у цыплят-бройлеров 20-40-дневного возраста на

фоне стресса при облучении электромагнитными волнами аппарата электромагнитной терапии.

3. Исследовать метаболизм ферментов и биохимические показатели в крови у цыплят-бройлеров при тепловом стрессе и использовании электромагнитного излучения.

4. Установить действие электромагнитного излучения в нормальных условиях содержания на сохранность, живую массу цыплят-бройлеров, конверсию корма, на морфо-биохимические показатели крови, анатомические показатели и выход мясной продукции у цыплят-бройлеров в онтогенезе.

5. Оценить безопасность электромагнитного воздействия на организм цыплят-бройлеров путем оценки морфологических и гистологических изменений в органах и тканях.

Научная новизна работы. Впервые были изучены механизмы влияния электромагнитных волн, производимых аппаратом «ТОР», на пищеварительную систему и метаболизм у цыплят-бройлеров, в том числе в возрастном аспекте. Установлено, что наиболее эффективное действие электромагнитного излучения наблюдается при тепловом стрессе. Впервые определены биомаркеры в биохимических показателях крови цыплят-бройлеров, которые позволяют диагностировать нарушение метаболизма и выявлять нарушения здоровья и продуктивности птицы.

Теоретическая и практическая значимость работы. Изучены механизмы адаптации пищеварительной системы и метаболизма у цыплят-бройлеров при тепловом стрессе, влияние изменений на продуктивность и возрастные параметры прироста живой массы птицы, а также морфофизиологические показатели внутренних органов и биохимию крови, что имеет важное теоретическое значение для прикладной физиологии животных и содержания цыплят-бройлеров, а также разработки мер профилактики и коррекции обмена веществ при патологии. В практическом плане предложен метод с использованием аппарата «ТОР» по применению электромагнитного излучения определенной мощности, позволяющий в процессе онтогенеза

корректировать отклонения в продуктивности птицы и создать задел для дальнейших исследований механизма влияния электромагнитных излучений на живой организм, используя цыплят-бройлеров в качестве биологической модели.

Степень достоверности результатов проведенных исследований. В ходе проведения экспериментов было получено достаточно большое количество материала. Все исследования были проведены с использованием современной приборной базы и методов исследования. Полученные данные прошли широкую апробацию. Статистическую обработку результатов проводили при помощи программы Excel при расчете среднего значения (M) и стандартной ошибки среднего значения ($\pm SEM$), указывая достоверность значений по t -критерию Стьюдента. Принимали во внимание статистические различия при $p \leq 0,05$. Для объяснения причинно-следственной связи полученных данных, были рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона в программе Past для абсолютных значений. Значимым считали коэффициент корреляции при $r \geq 0,5$ и $r \leq -0,5$.

Методология и методы исследования. Для реализации поставленных задач диссертационной работы применяли физиологические, биохимические, микробиологические, зоотехнические и статистические методы оценки. При выполнении исследований использовалось современное оборудование кафедры физиологии, этологии и биохимии животных, а также Центра коллективного пользования «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева».

Положения, выносимые на защиту:

1. Электромагнитное излучение положительно влияет на прирост живой массы цыплят-бройлеров при стрессе.
2. Под влиянием излучения интенсивность роста обусловлена активностью пищеварительных ферментов.

3. Под влиянием излучения происходит изменение белкового метаболизма (увеличение его скорости), критерием которого служит активность трипсина в крови.

4. Электромагнитное излучение положительно влияет на прирост живой массы и выход мясной продукции цыплят-бройлеров в нормальных условиях содержания; при этом морфо-биохимические показатели крови и анатомические показатели цыплят остаются в пределах нормы.

5. Электромагнитное воздействие безопасно для цыплят-бройлеров.

Апробация работы. Материалы и основные положения диссертационной работы были доложены и обсуждены на конференциях: IX Международный конгресс «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине», Санкт-Петербург, 2024 г; IV Международная молодежная конференция «Генетические и радиационные технологии в сельском хозяйстве», Обнинск, 2025 г; Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы физиологии питания», Москва, 2025 г; II Международная научно-практическая конференция «Достижения и перспективы развития птицеводства», Санкт-Петербург, 2025 г.

Личный вклад автора. Диссертация является результатом исследований, проведенных лично соискателем в период с 2023 по 2026 гг. В ходе консультаций с научным руководителем В. Г. Вертипраховым были определены цель и задачи исследования, разработан план по изучению влияния электромагнитного излучения на метаболизм цыплят-бройлеров. Галкина Е. А. непосредственно участвовала в организации исследования, проведении операций на птице, постановке физиологических экспериментов и выполнении лабораторных исследований, обобщении полученных данных, формулировании выводов. Также соискатель провела систематизацию и анализ данных, на основе которых подготовила научные публикации в отечественных и зарубежных изданиях, а также презентационные материалы и доклады для участия в научных конференциях. В совместных научных работах, опубликованных совместно с соавторами, соискателем выполнена основная часть исследований. Соавторы

подтверждают согласие на использование данных результатов. Все этапы исследования и подготовки работы осуществлены соискателем лично при поддержке научного руководителя. Личный вклад составляет 90 %

Соответствие работы паспорту научной специальности. Диссертация соответствует паспорту научной деятельности 4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология: пункты 1, 2, 3, 4, 6, 11.

Реализация результатов исследований. Полученные результаты были использованы при написании учебных пособий и монографий для студентов, аспирантов, научных сотрудников, зоотехнических и ветеринарных специалистов птицеводческих предприятий, также результаты применяются в образовательном процессе при чтении курса лекций «Физиология животных» для студентов специальности 36.05.01 Ветеринария и направления 06.03.01 Биология Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева».

Публикации. По теме диссертационной работы автором опубликовано 11 научных работ для отражения основных положений кандидатской диссертации; публикаций в рецензируемых изданиях, утвержденных ВАК РФ – 4 (Международный вестник ветеринарии – 1; Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии – 1; Вестник аграрной науки – 2).

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 155 страницах компьютерного текста и состоит из введения, обзора литературы, материала и методики исследований, результатов собственных исследований, обсуждения полученных результатов, выводов, предложений производству, перспективы дальнейшего исследования, списка литературы, а также приложения. При написании диссертационной работы было использовано 276 источников литературы, в том числе 200 из них – зарубежных авторов, 76 – отечественных авторов. Работа иллюстрирована 20 таблицами и 22 рисунками.

1. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1.1 Обзор литературы

1.1.1 Значение пищеварительной функции для здоровья и продуктивности бройлеров в контексте возрастной динамики

Птицеводство – наиболее успешная мясная отрасль: мясо бройлеров составляет треть мирового производства и служит основным источником белка, обладая высокими вкусовыми и диетическими качествами [58]. Отходы переработки птицы используются для производства мясокостной муки (60% протеина), что снижает стоимость кормов в звероводстве без ущерба качеству продукции [1].

Благодаря селекции современные бройлеры достигают массы 2,5–2,6 кг за 35 суток, что делает их лидерами по скорости роста [146, 276]. Реализация этого генетического потенциала напрямую зависит от совершенствования системы кормления и содержания, начиная с первых часов жизни птицы.

На пищеварительную функцию бройлеров влияет множество факторов, ключевыми среди которых являются условия содержания. Высокая концентрация поголовья, механизация производства, микроклимат – все это повышает требования к ветеринарному контролю [76]. Так, плохая вентиляция ведет к накоплению аммиака, вызывая респираторные заболевания; освещение влияет на поведение и аппетит; высокая плотность посадки повышает уровень стресса и агрессии. Стресс, в свою очередь, изменяет гормональный фон [239] и провоцирует рост условно-патогенной микрофлоры [44], а повышение температуры вызывает тепловой стресс [198]. Таким образом, контроль условий содержания – ключевой элемент сохранения продуктивности, поскольку эффективное пищеварение, лежащее в основе роста, крайне чувствительно к любым стресс-факторам.

В силу высокой скорости роста бройлеры чрезвычайно чувствительны к составу рациона: даже кратковременный дефицит питательных веществ или

наличие ингибиторов ферментов снижают убойный вес и качество мяса [188]. Поэтому режим кормления должен строго соответствовать возрастным особенностям и включать пробиотики и пребиотики для поддержки микробиоты, что улучшает усвоение корма и предотвращает заболевания желудочно-кишечного тракта [187].

Здоровье пищеварительной системы напрямую влияет на иммунитет: птицы с хорошо функционирующим желудочно-кишечным трактом лучше противостоят инфекциям и стрессам [212], тогда как нарушения пищеварения замедляют рост. Ключевую роль в метаболизме играет микробиота кишечника: микроорганизмы расщепляют сложные углеводы, синтезируют витамины группы В и К, а их сбалансированный состав повышает усвояемость питательных веществ [270].

Кроме того, существенное значение имеют возрастные изменения. У молодых бройлеров пищеварительная система незрелая, что ограничивает усвоение корма. С возрастом желудочно-кишечный тракт претерпевает изменения, позволяющие повысить эффективность метаболизма [204].

Пищеварительный тракт птиц – сложная система, адаптированная к усвоению разнообразных кормов благодаря анатомическим особенностям: зобу, железистому и мускульному желудкам [22]. Железистый желудок обеспечивает химическую обработку корма, а мускульный – механическое измельчение, что повышает доступность питательных веществ для ферментов [24, 191].

Тонкий кишечник с его большой всасывающей поверхностью обеспечивает абсорбцию аминокислот, сахаров, жирных кислот и витаминов. Печень птиц двухдольчатая, с желчным пузырем на правой доле; у кур три желчных протока впадают в двенадцатиперстную кишку [24]. Уникальность выделительной системы заключается в выведении азота в виде мочевой кислоты через клоаку, что позволяет экономить воду [133].

Метаболизм бройлеров ориентирован на максимальную скорость роста. Его эффективность обеспечивается высокой активностью пищеварительных ферментов и участием микробиоты слепой и толстой кишки в расщеплении

трудногидролизуемых компонентов [245]. Микроорганизмы способствуют усвоению аминокислот, витаминов и целлюлозы [221].

Возрастная динамика метаболизма определяет приоритеты роста: в раннем периоде – развитие внутренних органов и желудочно-кишечного тракта, в более старшем – наращивание мышечной массы. Понимание этих возрастных особенностей необходимо для разработки рационов, обеспечивающих высокую продуктивность и сохранение здоровья птицы.

Современные бройлеры отличаются исключительно высокими темпами роста: за первую неделю масса увеличивается на 300% (против 20% у старых линий), что сопровождается стремительными изменениями в анатомии и физиологии пищеварительного тракта [203]. В первые дни объем желудка и кишечника невелик, что лимитирует усвоение корма, однако по мере роста эти показатели увеличиваются.

Поскольку период выращивания сокращается, управление питанием в первые дни приобретает критическое значение: первая неделя составляет 20–25% всего срока, но пищеварительная система еще незрела. Особую роль играет раннее скормливание корма: при его отсутствии цыпляток вынужденно использует остаточный желток, однако это неэффективно, так как желток содержит материнские антитела и компоненты для развития клеток, которые важно сохранить.

В развитии пищеварительной системы выделяют два этапа [12, 203]: 1–14 дни: период интенсивного роста поджелудочной железы и кишечника. Активность ферментов (липазы, протеаз) на единицу ткани поджелудочной снижается, но в двенадцатиперстной кишке возрастает. Происходит адаптация к перевариванию углеводистого корма, увеличивается выработка ферментов, расширяется площадь всасывания. 15–35 дни: завершение формирования системы. Относительная масса поджелудочной и двенадцатиперстной кишки уменьшается, но активность ферментов на единицу ткани растет [182]. К 35 дню масса цыплят увеличивается в 50 раз, поджелудочной – в 69, двенадцатиперстной кишки – в 24 раза [12].

Рост желудочно-кишечного тракта неравномерен: быстрее развиваются желудка и тонкий кишечник [116]. Зоб у суточных цыплят относительно велик, что позволяет потреблять больше корма [185]; мускульный желудок – самый крупный орган при вылуплении, его относительный вес с возрастом снижается, но он играет ключевую роль в моторике и измельчении пищи [222].

Генетический отбор на скороспелость привел к тому, что у бройлеров кишечник крупнее и развитее, чем у яичных линий [268]. В первые дни тонкий кишечник растет особенно быстро: энтероциты делятся и меняют форму уже через 24 часа, крипты формируются к 48 часам, достигая пика к 72 часам [134]. Максимальный рост ворсинок приходится на 4–14 дни, с пиком пролиферации к 7 дню. Плотность бокаловидных клеток, продуцирующих муцины, увеличивается от двенадцатиперстной к подвздошной кишке, а их доля с возрастом растет [129].

Относительный вес тонкого кишечника достигает максимума к 6–7 дню, после чего снижается, хотя абсолютный вес продолжает расти до 35 дня [203]. За период с 5 по 38 дней масса кишечника увеличивается в 22 раза [41], а за первую неделю – почти в 6 раз; пик пропорционального веса органов пищеварения приходится на 3–8 дни [256]. При этом, несмотря на рост размеров желудочно-кишечного тракта и потребления корма, потребление на единицу веса тела в первые две недели снижается [200, 257]. Быстрый рост может вызывать механическую неэффективность переваривания [252].

Относительный вес поджелудочной железы увеличивается до 8-дневного возраста, с аллометрической скоростью, в 4 раза превышающей рост тела; затем скорость падает [202]. Максимум относительного веса печени отмечен на 11 день, поджелудочной – на 6–9 дни [202, 203].

Физиологические изменения в пищеварительном тракте бройлеров имеют важное значение. К концу инкубации запасы гликогена в печени и мышцах эмбриона – основного источника энергии для вылупления – нередко истощаются [206]. Активность панкреатических ферментов обнаруживается уже на 7-й день

инкубации, а у суточных цыплят отмечаются высокие уровни этих ферментов [20].

Однако в первые дни после вылупления активность протеаз, амилазы и липазы остается ограниченной, поэтому организм нуждается в высококачественном корме с легкоусвояемыми белками и энергией для роста мышечной и костной тканей [18, 223]; кроме пластической функции белки также играют важную роль в образовании гормонов и ферментов [43]. В этот период рекомендуется использовать соевый шрот или рыбную муку как источники легкоусвояемого белка [167, 201].

По мере роста потребность в белке снижается, а птицы становятся менее чувствительными к составу корма благодаря развитию пищеварительной системы. Недоразвитость поджелудочной железы и желчного пузыря в раннем возрасте затрудняет переваривание, однако уже на 7–10 день активность ферментов резко возрастает [143]. Кислотность в зобе, мускульном желудке и кишечнике снижается до 7–14 дней, затем повышается, влияя на эффективность пищеварения [86].

Амилолитическая активность в кишечнике максимальна в тощей кишке, увеличиваясь от двенадцатиперстной кишки к тощей и снижаясь к слепым отросткам [31].

Белки расщепляются протеазами: пепсин в желудке активируется из пепсиногена и расщепляет белки до пептидов [18, 116]; трипсин и химотрипсин поджелудочной железы продолжают расщепление в тонком кишечнике до аминокислот, которые всасываются через транспортные механизмы [214, 223].

Трипсин выполняет не только пищеварительные функции, но и участвует в регуляции каскадов коагуляции, фибринолиза и активации PAR-рецепторов [180]. Он экспрессируется в различных тканях: коже, легких, почках, печени, мозге и иммунных клетках [169]. После ночного голодания активность трипсина в панкреатическом соке и крови повышается, влияя на общий метаболизм [262]. Важно, что корма для бройлеров содержат кукурузу с ингибиторами трипсина [98], что увеличивает вязкость химуса [109], замедляет прохождение пищи и

нарушает баланс микробиоты, повышая риск роста *Clostridium perfringens* [110, 253] и ухудшая здоровье кишечника.

Эффективность протеаз зависит от pH, температуры и состава корма. Добавление пробиотиков или ферментов улучшает переваривание белков [89]. Высококачественные источники белка (соевый шрот) повышают активность протеаз, тогда как низкокачественные содержат ингибиторы, замедляющие рост цыплят [223]. Активность протеаз также коррелирует с содержанием белка в рационе: чем его больше, тем выше активность и усвоение аминокислот [116]. Однако избыток белка ведет к увеличению экскреции азота и ухудшению экологии.

Углеводы (крахмал) расщепляются амилазой до простых сахаров. У птиц амилаза синтезируется в слюнных железах и поджелудочной железе; слюнная амилаза начинает гидролиз еще до попадания корма в желудок [153], но основное расщепление происходит в тонком кишечнике под действием панкреатической амилазы [177]. Образовавшиеся моносахариды (например, глюкоза) всасываются с помощью специфических транспортных белков, включая натрий-глюкозный котранспортер SGLT1 [135].

Поджелудочная железа выделяет ферменты, гидролизующие питательные вещества до мономеров. Лишь 25–50% панкреатических ферментов синтезируются *de novo*, остальные регенерируются. Секреция имеет две фазы: сложнорефлекторную (до 120 мин после кормления) и нейрогуморальную, запускаемую секретинном и холецистокинином при поступлении химуса в кишечник [11]. Большая часть ферментов затем поступает в кровоток, с калом выводится лишь незначительное количество.

Липиды желтка обеспечивают более 90% энергии для эмбриогенеза, особенно активно используются в конце инкубации; к вылуплению до 25% липидов остается не востребованными. Желток составляет около 20% массы тела цыпленка и содержит примерно 50% липидов, являясь источником энергии в первые дни жизни [205]. Остаток желтка быстро уменьшается: с 11% при вылуплении до 2% ко второму дню и практически исчезает к 7-му дню [105, 200,

203]. Переваривание липидов требует предварительного эмульгирования желчью [170]. Секреция желчи в двенадцатиперстную кишку между 4-м и 21-м днями возрастает в 8–10 раз, но в первую неделю она ограничена, что обуславливает плохое усвоение жиров в этот период [247]. Поджелудочная липаза расщепляет триглицериды до свободных жирных кислот и моноглицеридов, которые всасываются и реэтерифицируются в хиломикроны для транспорта по лимфатической системе [168, 201]. Фосфолипаза поджелудочной железы расщепляет фосфолипиды клеточных мембран [223].

Жиры служат важным источником энергии и необходимы для усвоения жирорастворимых витаминов. Рацион, богатый жирами (например, растительные масла), повышает активность липаз [201], однако избыток жира может подавлять секрецию желчи и снижать эффективность липолиза. Оптимальное содержание жиров в рационе важно для поддержания активности липаз и здоровья птицы [223].

Концентрация панкреатических ферментов (амилазы, липазы, трипсина) в крови и кишечнике зависит от многих факторов, прежде всего от кормления [194]. Секреция ферментов поджелудочной железой изменяется в зависимости от рациона: так, у только что вылупившихся цыплят повышение потребления крахмала увеличивает выработку амилазы [194]. В период с 4-го по 21-й день жизни секреция амилазы возрастает в 100 раз, трипсина – в 50 раз, липазы – в 20 раз. При этом в первые дни после вылупления ферментов может быть недостаточно для полноценного переваривания белков.

Время после кормления также влияет на активность ферментов. После кормления активность амилазы в панкреатическом соке увеличивается в 1,8 раза, липазы – в 1,5 раза, протеаз – в 1,3 раза [11]. В сыворотке крови при этом достоверно повышается только активность трипсина (на 67,4%), тогда как амилаза и липаза остаются без изменений. Отмечена положительная корреляция между активностью ферментов в поджелудочной железе и сыворотке крови, особенно сильная для трипсина [261].

Удельная активность всех панкреатических ферментов снижается в первую неделю после вылупления, затем постепенно нарастает [202]. Пик активности амилазы и липазы приходится на 8-й день, трипсина – на 11-й день, а химотрипсин, снижаясь в начале, заметно увеличивается после 8-го дня [12].

Помимо основных ферментов, в пищеварительном тракте птиц присутствуют лактазы, расщепляющие лактозу. У большинства птиц их уровень низок, однако у цыплят в раннем возрасте активность лактазы может повышаться, что позволяет усваивать молочные продукты [153].

Завершающий этап переваривания углеводов и белков происходит на мембранах энтероцитов (щеточной кайме) с участием глюкозидаз, пептидаз и фосфатаз [183]. Активность сахаразы и мальтазы у цыплят максимальна на 1–2-й день, затем снижается до 7-го дня и остается низкой до 21-го дня [183]. В тощей и подвздошной кишке их активность выше, чем в двенадцатиперстной [256], однако на ворсинках двенадцатиперстной кишки, благодаря их большей длине, активность выше [159]. Общая активность ферментов с возрастом растет за счет увеличения площади ворсинок и длины кишечника.

Скорость транзита корма существенно влияет на пищеварение. Между 4-м и 10-м днями потребление корма возрастает втрое, а время его прохождения сокращается на 30% [204]. В двенадцатиперстной кишке время транзита уменьшается с 10 мин (4-й день) до 3 мин (7-й день), далее не меняется; к 14-му дню сокращается прохождение по всему тонкому кишечнику. Вязкость химуса минимальна на 7-й день, затем повышается [204]. Моторика отделов желудочно-кишечного тракта (до подвздошной кишки) с возрастом усиливается, что связано с созреванием мускулатуры и увеличением потребления корма [255]. Время удержания химуса можно регулировать размером частиц корма, но эффект зависит от типа зерна [77, 80].

Усвояемость крахмала высока уже при вылуплении благодаря накопленной амилазе [200, 259] и достигает 85–97% к 8-му дню [272]. Усвоение липидов, напротив, снижается от вылупления до 8-го дня, затем растет [273]; на первой

неделе оно низкое из-за недостаточной секреции желчи [247]. Активность протеаз увеличивается после первой недели, улучшая переваривание белка [248].

Усвояемость кальция в подвздошной кишке выше в первые две недели в связи с интенсивным ростом костяка и компенсацией низкого потребления корма; затем она снижается. Важным источником кальция в первые дни служит остаточный желточный мешок [195].

Птицы не синтезируют целлюлазу, поэтому ключевую роль в расщеплении клетчатки играет микробиота кишечника. В результате ферментации образуются короткоцепочечные жирные кислоты (ацетат, пропионат, бутират) – важный источник энергии для энтероцитов [177]. Микробиота также участвует в синтезе витаминов группы В и К [234], продуцирует метаболиты, поддерживающие целостность кишечного барьера и снижающие воспаление (например, бутират) [241]. Состав микробиоты варьирует в зависимости от возраста, рациона и условий содержания [153, 164]. При вылуплении кишечник стерилен [145], но быстро заселяется бактериями из корма и среды. Формирование стабильного и разнообразного микробиома завершается к третьей неделе жизни [123, 190, 226]. Доля целлюлозолитических бактерий достигает пика на 14-й день, что коррелирует с активностью панкреатических протеаз [20].

Развитие иммунной системы цыплят тесно связано с колонизацией кишечника и ранним питанием [237]. Активность пищеварительных ферментов зависит не только от состава рациона, но и от возраста, физиологического состояния и условий содержания; у молодых птиц она выше в связи с интенсивным ростом [116].

Таким образом, развитие пищеварительной системы цыплят – сложный процесс, характеризующийся неравномерным ростом и значительными биохимическими изменениями, что в конечном итоге позволяет реализовать генетический потенциал продуктивности. При вылуплении пищеварительная система незрела: ограничены секреция ферментов и всасывающая способность кишечника. В первые две недели жизни происходит интенсивное развитие желудочно-кишечного тракта: увеличиваются секреция липазы, амилазы и

протеаз, а также высота ворсинок и глубина крипт, что улучшает переваривание и усвоение корма. Незрелость системы в этот период лимитирует рост, хотя генетически бройлеры способны к быстрому развитию.

Стимуляция развития кишечника в первые дни жизни (например, с помощью специализированных стартовых кормов) дает долгосрочный положительный эффект на скорость роста и эффективность кормления. Для преодоления физиологических ограничений в этот критический период предложен ряд стратегий, которые могут применяться как отдельно, так и в комбинации. Для преодоления физиологической незрелости пищеварительной системы цыплят предложен ряд стратегий, направленных на стимуляцию её развития в критические периоды. Одним из подходов является обогащение рациона племенных кур биологически активными веществами (n-3 жирные кислоты, витамины E и D), которые передаются в яйцо и положительно влияют на развитие эмбриона, формирование клеточных мембран и иммунитет, что способствует лучшему росту цыплят [102, 106, 107].

Широкое распространение получило введение питательных веществ *in ovo* за три дня до вылупления. Эта технология стимулирует развитие кишечника: у обработанных цыплят при вылуплении кишечник соответствует по развитию 2-дневному возрасту, что улучшает пищеварение и рост в первую неделю [130, 246, 258].

Критически важным фактором является ранний доступ к корму и воде. Цыплята могут оставаться без корма до 72 часов в инкубатории и при транспортировке, что вынуждает их использовать остаточный желток. Однако основное назначение желтка – обеспечение фосфолипидами для клеточных мембран и антителами, поэтому его использование как источника энергии неэффективно [207]. Для оптимального развития кишечника необходим немедленный доступ к престартерным рационам, учитывающим физиологические особенности первых дней жизни.

В питании птицы широко применяются кормовые добавки [8]: пробиотики, витамины [16, 48], а также экзогенные ферменты (липазы, протеазы,

карбогидразы, фитазы), компенсирующие недостаточную собственную ферментативную активность и улучшающие усвоение трудногидролизуемых компонентов корма [90, 112, 165].

В связи с рисками для здоровья и давлением общественности отрасль постепенно отказывается от использования антибиотиков в качестве стимуляторов роста, поскольку они негативно влияют на микробиоту здорового организма, обладают токсичностью и выступают стресс-фактором [5, 54, 55].

Первые дни жизни цыплят составляют все большую долю в общем цикле производства (до 25% и более). Стратегия раннего питания должна быть направлена не только на ускорение роста, но и на предотвращение метаболических расстройств, скелетных аномалий и ухудшения качества мяса. Особое внимание следует уделять минимизации стрессовых воздействий в этот период, так как стресс наносит необратимый вред пищеварительной системе и снижает будущую продуктивность [54, 55].

1.1.2 Роль стресса как фактора влияния на жизнедеятельность и продуктивность цыплят-бройлеров

Интенсивные методы ведения птицеводства, неудовлетворительные условия содержания, технологические манипуляции и социальные взаимодействия являются постоянными источниками стресса для сельскохозяйственной птицы [7, 76]. Стресс – один из главных факторов, нарушающих пищеварение и метаболизм, что препятствует полной реализации высокого генетического потенциала продуктивности современных бройлеров [67].

Особое значение имеет окислительный стресс, возникающий из-за дисбаланса между образованием свободных радикалов и их нейтрализацией под влиянием кормовых, климатических и технологических факторов. Мясо кур, богатое полиненасыщенными жирными кислотами и негемовым железом,

чрезвычайно чувствительно к перекисному окислению липидов, что ведет к ухудшению его качества: изменению pH, структуры мышечных волокон, появлению дефектов [216, 232, 244]. Эффект стресса зависит от генотипа, типа мышечных волокон и характера воздействия [138, 192].

Наиболее острой проблемой становится тепловой стресс. Глобальное потепление и повышение температуры окружающей среды выше 27 °C вызывают у бройлеров комплекс нарушений [172, 224]. В силу высокого уровня метаболизма и относительной незрелости сердечно-сосудистой и дыхательной систем современные быстрорастущие кроссы особенно уязвимы к перегреву [100, 140, 179, 267, 271]. Первым органом, реагирующим на тепловой удар, является желудочно-кишечный тракт [103]. Основная реакция птицы на жару – снижение потребления корма (до 14% при 32 °C) для уменьшения теплопродукции, неизбежно возникающей при переваривании и усвоении пищи [88, 236]. Это ведет к падению приростов живой массы, повышению смертности, нарушению электролитного баланса, снижению активности эндогенных ферментов (трипсина, химотрипсина, амилазы) и подавлению иммунной функции [69, 78, 95, 119]. Тепловой стресс вызывает респираторный алкалоз, повышение уровня кортизола и адреналина вследствие активации гипоталамо-гипофизарно-адреналовой оси, а также ухудшает всасывающую способность кишечника [131, 239, 240].

На клеточном уровне перегрев усиливает потребление кислорода, что ведет к избыточной генерации активных форм кислорода (АФК) и развитию окислительного стресса [79, 111, 196, 266]. АФК запускают перекисное окисление липидов, повреждают белки и усиливают воспалительные процессы [65]. Хронический тепловой стресс уменьшает массу внутренних органов (печени, селезенки, сердца), высоту кишечных ворсинок и активность антиоксидантных ферментов [219].

Тепловой стресс приводит к дисбактериозу, мальдигестии и повышению проницаемости кишечной стенки («синдром дырявого кишечника»), что способствует системному воспалению, росту патогенной микрофлоры и

дальнейшему ухудшению усвоения питательных веществ [29, 81, 189, 193, 250]. Развитие жировой дистрофии печени также связывают с увеличением продукции АФК и истощением эндогенных антиоксидантов [27].

Для компенсации негативных последствий стресса применяются различные стратегии: оптимизация микроклимата с помощью инженерных решений, генетический отбор на стрессоустойчивость, а также коррекция рационов [137, 176, 197, 198, 235]. Повышение энергетической ценности корма помогает частично компенсировать сниженное потребление, а использование специализированных кормовых добавок поддерживает здоровье желудочно-кишечного тракта [167, 175, 264].

Перспективным направлением является применение электромагнитных полей (ЭМП). Исследования показывают, что ЭМП неинвазивно воздействуют на организм, стимулируя обменные процессы, снижая уровень кортизола и окислительный стресс, улучшая работу пищеварительной системы и стабилизируя электролитный баланс. Это повышает адаптационные возможности птицы к неблагоприятным условиям, улучшает качество мяса и снижает потребность в антибиотиках, что делает данный метод экологически безопасной альтернативой для минимизации стрессовых воздействий в птицеводстве.

1.1.3 История и перспективы применения электромагнитных технологий для лечения и повышения продуктивности сельскохозяйственной птицы

Мировое производство мяса птицы устойчиво растет, что требует углубленного изучения факторов, определяющих здоровье и продуктивность птицы. Наряду с традиционными методами в птицеводство активно внедряются физические воздействия, в частности технологии на основе слабых электромагнитных полей (ЭМП). Научные исследования показывают, что ЭМП способны изменять функциональную активность различных физиологических

систем организма птицы, влияя на метаболизм, межклеточные взаимодействия и регуляцию гомеостаза [211].

Механизмы действия ЭМП активно изучаются. Эффект может быть как стимулирующим, так и ингибирующим – в зависимости от параметров поля и индивидуальной реактивности организма. Наиболее изучено влияние на обмен веществ, репродуктивные функции, иммунную реактивность и стрессоустойчивость птиц [127].

Электромагнитное излучение (ЭМИ) представляет собой форму энергии, распространяемую в виде волн с взаимно перпендикулярными электрическим и магнитным компонентами. По энергетическим характеристикам ЭМИ делится на ионизирующее (способное ионизировать атомы – ультрафиолет высокой энергии, рентгеновское, гамма-излучение) и неионизирующее (радиочастотное, микроволны, инфракрасное, видимое излучение) [50, 155].

Биологическое воздействие ЭМП на живые системы определяется интенсивностью, частотой и временем экспозиции. Критическую роль играет длина волны: низкочастотное (длинноволновое) излучение проникает глубоко в ткани, включая ЦНС, а коротковолновое вызывает преимущественно поверхностные термические эффекты. Физиологические особенности биоэлектрической среды организма обуславливают повышенную чувствительность некоторых тканей к внешним полям, что требует оценки биологической безопасности при использовании ЭМП в птицеводстве.

Электромагнитные технологии широко применяются в диагностике: магнитно-резонансная томография, ультразвуковые исследования, компьютерная томография, овоскопия и др. [17].

Наиболее изученным механизмом потенциального вреда неионизирующих ЭМП остается термический эффект (микроволновый нагрев). В то же время нетепловые технологии, такие как импульсная электромагнитная терапия (ИЭМТ), согласно данным клинической практики и систематических обзоров, демонстрируют высокий профиль безопасности и эффективность, в том числе в

реконструктивной хирургии [142, 242]. Это подчеркивает потенциал безопасного применения таких методов в ветеринарии и аграрной практике.

В птицеводстве ЭМИ находит разнообразное применение: УФ-излучение используется для деконтаминации скорлупы яиц, снижая риск инфекций; обработка кормов электромагнитным полем улучшает усвояемость питательных веществ и снижает затраты на кормление [3]; методы ЭМИ исследуются для интенсификации переработки мясного сырья [47]; низкочастотное ЭМИ применяется для снижения агрессивности и стресса у птицы [128].

В последние десятилетия растет научный интерес к влиянию неионизирующего ЭМИ на физиологические функции птиц: обмен веществ, пищеварение, иммунитет [154]. Изучение биологических эффектов различных диапазонов ЭМИ имеет фундаментальное значение для разработки инновационных агротехнологий. Целенаправленное применение электромагнитных методов открывает перспективы для оптимизации физиологических процессов, повышения продуктивности и укрепления здоровья птицы в условиях интенсификации производства, а также для создания экологически безопасных и ресурсосберегающих технологий.

История изучения влияния электромагнитных полей (ЭМП) на биологические объекты насчитывает более века. В 1901 году вышла монография В. Я. Данилевского, заложившая основы исследований в этой области. В 1930–1940-х годах проводились масштабные работы по воздействию высокочастотного ЭМИ на человека и животных [63, 68].

В 1950-х годах началось коммерческое распространение устройств для нетермической диатермии, а в 1960-х появились первые зоологические исследования, в частности по поведению птиц под действием радиочастотного излучения [73]. В 1970-х годах было установлено, что низкочастотное ЭМИ стимулирует развитие эмбрионов кур, в клинической практике начали применять электрический ток для лечения переломов, и были разработаны первые технологии импульсного ЭМП (ИЭМП) для ортопедии [87].

В 1980-х годах внимание сосредоточилось на иммунологических эффектах: длительное воздействие ЭМИ снижало иммунный ответ у кур [46, 60]. Также изучалось влияние ИЭМП на заживление мягких тканей [136].

В 2000-х годах современные методы позволили детально исследовать воздействие ЭМИ на разных стадиях развития птицы. Обработка яиц кур, уток, гусей и суточных цыплят повышает выживаемость на 2,8–5,5 % [36].

С развитием молекулярной биологии активно изучается влияние ЭМИ на генетические процессы. Установлено, что модулированное ЭМИ мощностью 59 мкВт/г в течение 20 минут снижает транскрипционную активность гена *c-jun* в клетках PC12 при неизменной экспрессии *c-fos* [163]. Сходные эффекты реализуются через модуляцию активности Ca^{2+} -зависимых мембранных белков, причем колебания цитоплазматического Ca^{2+} выступают ключевым регулятором экспрессии генов [91, 92, 132]. Высокочастотное импульсное ЭМП (ИЭМП) способно изменять экспрессию генов, связанных с разрешением воспаления [171].

ЭМИ широко применяется в медицине. Низкочастотная магнитотерапия доказала эффективность в снижении воспаления и боли при остеоартрите у людей [25, 72, 85, 199] и животных [218], а также в лечении мочекаменной болезни [71]. Высокочастотная ИЭМТ эффективно уменьшает послеоперационную боль и потребность в наркотических анальгетиках после хирургических вмешательств [61, 147, 229]. У собак с параплегией после декомпрессии позвоночника ИЭМТ снижала боль и воспалительные маркеры, улучшая проприоцепцию [275].

Помимо анальгетического эффекта, ЭМИ стимулирует регенерацию: ускоряет заживление мягких тканей [173, 233], костных переломов [217], рост новых сосудов [230]. В исследовании на крысах ИЭМП обеспечило практически полное выживание ишемизированного лоскута за счет усиления васкуляризации [265]. ЭМИ улучшает кровоток, кислородтранспортную функцию крови [75], снижает ее вязкость [64] и стимулирует выработку гормонов.

Таким образом, применение ЭМП ускоряет заживление тканей за счет улучшения кровоснабжения и доставки питательных веществ [70]. Для птицеводства это означает потенциал снижения воспаления, повышения стрессоустойчивости и продуктивности, что открывает перспективы адаптации неинвазивных электромагнитных технологий в аграрной практике.

Несмотря на успешное применение электромагнитных методов, механизмы их биологического действия остаются предметом дискуссий. Эксперименты на животных показывают, что ЭМП могут вызывать изменения метаболической и иммунной активности, однако эти эффекты не всегда положительны [99]. Хотя терапевтическое использование ЭМП в медицине и ветеринарии имеет длительную историю, их применение для повышения продуктивности птицы – сравнительно новое направление. Большинство исследований сосредоточены на контактном воздействии, тогда как потенциал дистанционного нетеплового изучен недостаточно.

В экспериментах на цыплятах-бройлерах выявлено стимулирующее влияние ЭМП на рост и развитие: увеличение живой массы, прироста и конверсии корма, а также снижение себестоимости продукции, что подтверждает экономическую целесообразность технологии [19]. Биохимические показатели крови (снижение общего белка, триглицеридов, холестерина) указывают на улучшение обменных процессов; стабильный уровень щелочной фосфатазы свидетельствует об отсутствии негативного воздействия на физиологическое состояние птиц. Увеличение мышечной массы у обработанных цыплят подчеркивает потенциал ЭМИ для мясного птицеводства [37].

Исследование механизмов влияния ЭМП на биологические системы необходимо для разработки методов управления продуктивностью. Анализ изменений на органном и тканевом уровнях позволяет оценить как физиологический статус животных, так и потенциальные риски для безопасности продукции. Фундаментальное знание в этой области служит основой для создания эффективных и физиологически обоснованных технологий.

Одним из первичных уровней воздействия ЭМИ является клеточная мембрана. ЭМИ могут изменять ее электрический потенциал, влияя на проницаемость для ионов (Na^+ , K^+) и, следовательно, на клеточный метаболизм [209]. Низкочастотные импульсные поля (ИЭМП) усиливают экспрессию аденозиновых рецепторов A_2A и A_3A [260], активация которых снижает уровень провоспалительных простагландинов и цитокинов, что согласуется с клиническими данными об уменьшении боли и воспаления.

ЭМИ модулируют фундаментальные клеточные процессы: пролиферацию, дифференцировку и апоптоз. Характер эффекта (стимуляция или ингибирование) зависит от параметров поля и типа клеток. Ряд исследований показывает, что низкочастотные ЭМП (50 Гц) могут замедлять пролиферацию кератиноцитов человека [186], опухолевых клеток (вероятно, через образование АФК) [178], мезенхимальных стволовых клеток крыс и человека [108, 124].

В то же время имеются данные о стимулирующем действии низкочастотных полей на пролиферацию кератиноцитов HaCaT [113, 226, 263], остеобластов крыс [95], эпидермальных стволовых клеток человека [274]. Это открывает перспективы для терапии кожных ран [152, 181, 226] и ортопедических патологий [174]. Сообщалось также, что низкочастотные ЭМП способствуют снижению веса у мышей с ожирением, ингибируя превращение стволовых клеток в адипоциты [120].

ЭМП крайне низких частот могут избирательно влиять на экспрессию генов. Хроническое двухмесячное воздействие на крыс снижало в селезенке уровень регуляторных белков c-Maf, STAT6 и $\text{ROR}\alpha$ [184].

Биологический эффект ЭМИ зависит от параметров воздействия: показано дозозависимое подавление экспрессии генов Bcl-2 (антиапоптотического) при длительном облучении [243] и гена остеопонтина (OPN) в клетках сосудистой стенки [151].

При этом наблюдаемые эффекты не всегда статистически достоверны и могут зависеть от типа ткани. Исследования фиксировали тенденцию к повышению транскрипции генов PROK и Cyp17 без статистической значимости

[122]; не подтвердилось снижение экспрессии регуляторных генов в тимусе крыс [184]; не обнаружено влияния на гены рецепторов эстрогена ER- α и ER- β [225].

В то же время пренатальное и постнатальное облучение способно индуцировать иммунный ответ: у молодых крыс повышался уровень IL-17A в селезенке и крови, что коррелировало с экспрессией гена IL-17 и стимулировало пролиферацию CD4⁺ лимфоцитов, инициируя воспалительные реакции [208].

Ключевым механизмом биологических эффектов ИЭМТ является усиление сигнализации ионов кальция (Ca²⁺) [97, 217]. Высвобождение внутриклеточного Ca²⁺ приводит к его связыванию с кальмодулином (CaM), что активирует конститутивную синтазу оксида азота (сNOS). Образующийся оксид азота (NO) – универсальная сигнальная молекула, участвующая в регуляции сосудистого тонуса, иммунного ответа и гомеостаза [94, 101, 156–158]. NO стимулирует выработку цГМФ, запуская противовоспалительные реакции, усиливая кровоток и выработку факторов роста, необходимых для регенерации тканей. Повышение уровня NO под влиянием ИЭМТ снижает экспрессию провоспалительных генов, уменьшает апоптоз, улучшает кровообращение и способствует регенерации тканей [96, 213, 220, 229, 242]. Важно, что терапевтический ответ наблюдается только в поврежденных тканях: ИЭМТ не вызывает роста костей или регенерации вне зоны повреждения. Это объясняет отсутствие побочных эффектов при клиническом применении в рамках утвержденных показаний.

ИЭМТ способна индуцировать экспрессию белков теплового шока (HSP), в частности HSP70, которые играют ключевую роль в цитопротекции и антиапоптотических механизмах [117, 139, 227, 228]. Также зафиксировано повышение мембранного потенциала митохондрий и активности дыхательного комплекса I в остеогенных клетках, что стимулирует их дифференцировку [150].

ЭМИ активируют сигнальные пути, связанные с синтезом белка (в том числе в мышечной ткани) [173], и усиливают экспрессию костных морфогенетических белков (BMP-2, BMP-4), стимулируя остеогенез и дифференцировку остеобластов [93, 95, 215, 254].

Воздействие ЭМИ модулирует иммунный ответ: повышается фагоцитарная активность макрофагов [52], уровень иммуноглобулинов, моноцитов и макрофагов в сыворотке крови [141], а также активность Т-лимфоцитов [231]. У цыплят отмечается тенденция к увеличению числа лейкоцитов и эритроцитов в пределах физиологической нормы [15].

ЭМИ способствуют снижению стресса у птиц: подавляют активность оси гипоталамус-гипофиз-надпочечники, уменьшая уровень кортизола, и активируют антиоксидантные ферменты (супероксиддисмутазу, каталазу), снижая окислительный стресс [51]. Кроме того, повышение уровня АТФ под действием ЭМИ улучшает энергетический обмен, что повышает устойчивость к стрессам и заболеваниям в условиях интенсивного птицеводства.

Поведенческие изменения у животных под воздействием ЭМП (нарушения двигательной активности, ориентации, обучения) могут быть следствием модуляции нейровоспаления. ЭМП способны снижать концентрацию провоспалительных цитокинов в головном мозге [220], а уровень системного воспаления является важным фактором, определяющим поведение [144]. Электромагнитные методы также эффективны в снижении клинических признаков депрессии у людей [210] и оказывают седативный и анальгетический эффект у крыс [42].

У птиц ЭМИ может влиять на кормовое, миграционное и социальное поведение [74], что непосредственно сказывается на продуктивности и выживаемости, а значит – на экономической эффективности птицеводства.

ЭМИ положительно влияет на пищеварительную систему птицы через нейрогуморальную регуляцию и активацию метаболизма, что усиливает задержку азота в тканях и способствует росту молодняка [9]. Комплексное воздействие с раннего возраста стимулирует физиологические процессы и улучшает клинико-гематологические показатели у ремонтного молодняка кур [19]. ЭМИ улучшает усвоение питательных веществ. У самцов пустельги в репродуктивный сезон под влиянием ЭМП увеличивалась масса тела, ускорялось начало линьки, изменялся уровень мелатонина, что указывает на модуляцию

фотопериодической реакции [125]. Повышение всасывания аминокислот, глюкозы и жирных кислот может быть связано с изменением проницаемости мембран энтероцитов; обработанные птицы демонстрировали более высокую продуктивность [14].

ЭМИ модулирует моторику желудочно-кишечного тракта: излучение дециметрового диапазона усиливает медленноволновую активность в желудке и желчевыводящих путях, спайковую активность в пищеводе и кишечнике, ускоряя транзит и повышая возбудимость гладкой мускулатуры [39]. Это способствует улучшению микробиоты, укреплению барьерной функции кишечника [118] и повышению иммунного ответа (например, более высокий уровень антител после вакцинации) [26].

Эффективность ЭМИ зависит от частоты (низкие частоты влияют на клеточную активность, высокие – на терморегуляцию и нервную систему), условий среды (температура, влажность, плотность посадки) и длительности воздействия. Краткосрочные воздействия могут активировать иммунитет, тогда как длительные требуют осторожности из-за потенциальных рисков [126]. У эмбрионов пустельги под влиянием ЭМП наблюдалось увеличение размеров [126].

Электромагнитные поля могут оказывать не только положительное, но и неблагоприятное влияние на живые организмы. Степень и специфика эффекта определяются параметрами поля: мощностью, частотой, продолжительностью и длиной волны. Длинноволновое излучение проникает глубже, достигая головного и спинного мозга, тогда как коротковолновое воздействует преимущественно на кожу (термический эффект). Некоторые ткани в силу электропроводности особенно уязвимы, поэтому для оценки безопасности необходимы тщательные исследования, включая гистологические методы, позволяющие изучать реакции тканей и клеток на клеточном и субклеточном уровнях [30, 35, 56].

Факторы окружающей среды способны изменять морфологию и функцию внутренних органов, причем степень изменений зависит как от специфики

фактора, так и от реактивности тканей [30, 35, 56]. Разные породы и виды птиц по-разному реагируют на ЭМИ, что требует разработки дифференцированных режимов воздействия. Улучшение здоровья птиц за счет безопасного применения ЭМИ позволит снизить использование антибиотиков, уменьшая риск антибиотикорезистентности и повышая качество продукции.

Однако внедрение ЭМИ в птицеводство сопряжено с новыми экологическими вызовами. Необходимо учитывать влияние на другие компоненты экосистем (растения, животных, микроорганизмы). Важным условием является разработка четких научно обоснованных стандартов и норм применения ЭМИ в сельском хозяйстве, поскольку в настоящее время в большинстве стран они отсутствуют. Общественное восприятие новых технологий также требует внимания: многие потребители скептически из-за недостатка информации.

Только комплексные междисциплинарные исследования позволят обеспечить устойчивое развитие птицеводства, где безопасное и эффективное применение ЭМИ станет шагом к улучшению продовольственной безопасности и экологической устойчивости.

1.1.4 Применение фистульной технологии в птицеводстве для изучения физиологии пищеварения

Научные эксперименты необходимы для разработки новых методов повышения продуктивности и устойчивости птицеводства, включая создание кормов, кроссов, методов лечения и оптимизации условий содержания [40, 57, 62]. Изучение пищеварения – критически важное направление, поскольку оно напрямую влияет на здоровье, рост, яйценоскость и качество мяса [28]. Нарушения пищеварения (при инфекциях, дисбактериозе и др.) ведут к снижению аппетита, ухудшению усвоения питательных веществ и росту заболеваемости [82, 204]. Исследования в этой области позволяют разрабатывать

сбалансированные рационы, эффективные кормовые добавки (пробиотики, ферменты) и методы профилактики патологий.

Для оценки физиологического состояния птиц традиционно применяют гематологические [115], биохимические [6, 45, 53, 104], гистологические [10] и физиологические методы [32]. Однако они дают лишь «моментальный снимок» и не позволяют изучать динамические процессы в просвете желудочно-кишечного тракта в естественных условиях. Для прямого, прижизненного и продолжительного наблюдения за пищеварением, всасыванием, моторикой и микробиоценозом необходимы хирургические методики.

Оптимальным решением являются фистульные технологии. Установка фистул (канюль) создает искусственный доступ в различные отделы пищеварительного тракта, позволяя многократно получать образцы содержимого, пищеварительных соков и желчи без повторных операций и с минимальным стрессом для птицы. Это дает возможность исследовать физиологию и метаболизм в динамике, получая данные, недоступные другими методами.

Методы фистулирования начали развиваться более ста лет назад. В 1842 году В. А. Басов, основываясь на случае с охотником Сен-Мартеном, впервые хирургически создал желудочную фистулу у собаки, что позволило изучать моторику, pH, температуру и эвакуацию содержимого. В дальнейшем методики были усовершенствованы для других отделов пищеварительного тракта, и к концу XIX века фистульная технология заняла важное место в физиологии пищеварения, во многом благодаря работам И. П. Павлова и его школы.

Первые эксперименты по созданию фистул у птиц проведены в лаборатории Павлова в 1915–1918 годах и выявили уникальные механизмы пищеварения. В 1929 году Б. М. Завадовский изучал на курах роль щитовидной железы в линьке. В 1935 году лаборатория А. А. Кудрявцева разработала ряд техник установки фистул у кур. В последующем хирургические доступы к желудку и кишечнику птиц совершенствовались в работах Т. П. Протасени, Н. Ф. Попова, Н. И. Шохора и др.

В 1950–1960-х годах фистульные методы активно применялись для изучения влияния диет на пищеварение. Ректальные фистулы позволяли раздельно собирать мочу и фекалии, оценивая потери воды при заболеваниях желудочно-кишечного тракта [238].

В 1970–1980-х годах фистулы стали использовать для исследования микробиоты кишечника, состав которой варьирует в зависимости от рациона и условий содержания [160]. Совершенствовались оперативные методы создания искусственного ануса [161] и доступы для фистулирования тощей и двенадцатиперстной кишок с целью изучения желчеотделения [162].

Фистульная технология остается незаменимым инструментом для изучения физиологии пищеварения, разработки методов лечения и профилактики заболеваний. Исследования, в частности, позволили оценить влияние различных источников белка и углеводов на состав пищеварительных соков и эффективность усвоения кормов [166].

Современные методы установки фистул у птиц базируются на принципах минимально инвазивной хирургии с обязательным применением анестезии и анальгезии для минимизации стресса и боли [148]. Используются различные типы фистул (оральные, желудочные, кишечные), позволяющие в реальном времени изучать переваривание корма, моторику, всасывание и получать чистые пищеварительные соки [2].

Методика наложения кишечной фистулы универсальна, но варьирует в зависимости от вида и топографии участка кишки. Птицу фиксируют на боку во избежание удушья [38, 49]. Основные этапы включают: лапаротомию, выделение петли кишки, наложение кисетного шва по безбрыжеечному краю, формирование отверстия и введение канюли с последующей фиксацией. После проверки герметичности канюлю выводят через отдельный разрез в брюшной стенке, рану послойно ушивают.

В отечественной практике широко применяется метод получения содержимого двенадцатиперстной кишки у птицы [66]. Доступ осуществляют через правосторонний разрез (4–5 см) по краю рёберной дуги. После выделения

кишки и идентификации устьев панкреатического и желчного протоков на противоположной стенке накладывают кисетный шов (0,5–0,6 см), в центре которого формируют отверстие для канюли. После фиксации канюли кишку репозиционируют, рану ушивают послойно. В послеоперационном периоде (16–18 часов) птице обеспечивают доступ к воде, но исключают кормление [13].

Фистульная технология предоставляет уникальные возможности для изучения физиологии и биохимии пищеварения, но имеет как преимущества, так и недостатки.

Метод обеспечивает долговременный и непрерывный доступ к различным отделам кишечника без повторных операций, позволяя многократно оценивать влияние кормов, добавок и факторов среды на усвоение питательных веществ в реальном времени [2, 114]. Это особенно важно для изучения биодоступности аминокислот (лизина, метионина и др.) при одинаковом уровне протеина, но разном качестве корма [114, 121, 249]. Фистулы незаменимы для анализа состава и активности микробиоты [83, 84], выявления патогенов, оценки эффективности пробиотиков и пребиотиков [34, 83]. Они позволяют исследовать механизмы влияния стресса на желудочно-кишечный тракт [239], патологии инфекционной и неинфекционной природы, а также тестировать альтернативные корма (насекомые, водоросли) [23, 149].

В то же время, установка фистулы – травматичное хирургическое вмешательство, требующее анестезии и аналгезии, что может влиять на благополучие животных [21, 33]. Возможны послеоперационные осложнения (инфекции, воспаления), способные исказить результаты и увеличить затраты [148]. Метод требует длительного наблюдения, высокой квалификации персонала, специального оборудования и не применим для всех видов животных, что ограничивает его универсальность и повышает ресурсоемкость исследований [114, 239].

Таким образом, фистульная технология представляет собой мощный инструмент для изучения физиологических процессов в организме птиц. Она позволяет проводить глубокий анализ пищеварения и усвоения питательных

веществ, что критически важно для понимания здоровья и продуктивности. Метод востребован как в ветеринарии (изучение патологий, стресс-факторов, разработка методов лечения), так и в зоотехнии (оценка рационов, кормов, добавок).

В нашем исследовании в качестве основного метода выбрана фистула двенадцатиперстной кишки у кур. Данный подход обеспечивает долговременный доступ к внутренним средам желудочно-кишечного тракта, позволяя многократно получать образцы пищеварительного сока без повторных операций, что повышает точность и объем данных. Изучение состава и активности ферментов в дуоденальном соке в реальном времени дает возможность оценить эффективность пищеварения и взаимодействие с микробиотой. Применение этого метода позволяет выявить механизмы влияния электромагнитного излучения на секрецию и активность пищеварительных ферментов, что объясняет повышение массы тела цыплят. Полученные данные будут способствовать оптимизации методов повышения продуктивности птицы и имеют ценность для дальнейших исследований и практического внедрения в птицеводстве.

1.1.5 Вывод

Проведенный анализ научной литературы позволил систематизировать современные представления о ключевых аспектах, определяющих продуктивность и здоровье цыплят-бройлеров, и обосновать актуальность темы диссертационного исследования.

Установлено, что высокая скорость роста современных кроссов бройлеров предъявляет исключительные требования к эффективности пищеварения. Возрастная динамика развития желудочно-кишечного тракта, активность ферментов (протеаз, амилаз, липаз), состояние микробиоты и усвояемость питательных веществ являются критическими факторами, определяющими

реализацию генетического потенциала. Особое значение имеют первые дни жизни птицы, когда происходит интенсивное морфофункциональное созревание пищеварительной системы.

Интенсивные технологии содержания, в частности тепловой стресс, приводят к существенным нарушениям пищеварения, метаболизма, иммунного статуса и здоровья птицы в целом. Стресс индуцирует снижение потребления корма, угнетает активность пищеварительных ферментов, нарушает целостность кишечного барьера и баланс микробиоты, что в совокупности снижает продуктивность и ухудшает качество продукции.

Обзор свидетельствует о растущем интересе к применению электромагнитных полей в сельском хозяйстве. Накоплены данные о положительном влиянии электромагнитных полей на обмен веществ, регенеративные процессы, иммунный ответ и стрессоустойчивость у животных и птиц. Предполагаемые механизмы действия включают модуляцию клеточных мембран, ионного транспорта (Ca^{2+}), экспрессии генов, синтеза оксида азота и активности антиоксидантных систем. Однако целенаправленных исследований влияния электромагнитного излучения именно на пищеварительную функцию и биохимию крови бройлеров в условиях стресса явно недостаточно.

Для углубленного изучения физиологии пищеварения *in vivo* наиболее информативным и адекватным методом является фистульная технология, позволяющая получать пробы дуоденального содержимого в динамике без повторных травматичных вмешательств. Этот метод выбран в работе для решения поставленных задач.

Научная новизна и цели исследования определяются выявленными пробелами в знаниях. В то время как отдельно изучены возрастные особенности пищеварения бройлеров, негативное влияние теплового стресса, общие биостимулирующие эффекты электромагнитного излучения, - комплексное исследование механизмов, посредством которых электромагнитное излучение способно модулировать пищеварительную функцию и биохимический статус крови бройлеров, нивелируя последствия стресса, ранее не проводилось.

Таким образом, представленный обзор литературы полностью обосновывает цель и задачи диссертации: изучение механизмов действия электромагнитных волн на активность пищеварительных ферментов в химусе и крови, морфобиохимические показатели и продуктивность цыплят-бройлеров кросса «Смена 9» в нормальных условиях и в условиях теплового стресса. Полученные данные позволят не только выявить конкретные физиолого-биохимические маркеры эффективности воздействия электромагнитного излучения, но и оценить его безопасность, что является основой для разработки научно обоснованных, ресурсосберегающих и экологических технологий в промышленном птицеводстве.

2. СОБСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Материал и методы исследований

Работа включала две экспериментальных серии.

Исследования выполнены в 2023–2025 гг. на экспериментальных площадках Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева» и вивария Селекционно-генетического центра «Загорское экспериментальное племенное хозяйство» филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» и в лаборатории физиологии ФНЦ «ВНИТИП». Работа выполнена на цыплятах-бройлерах кроссов «Смена 9» в период с 1- до 56-суточного возраста (Опыт 1) и в период с 1- до 43-суточного возраста (Опыт 2).

Все эксперименты проведены в соответствии с нормами Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых в научных целях [21]. Работа с животными осуществлялась с соблюдением принципов гуманного обращения, включая применение анестезии и анальгезии при хирургических вмешательствах.

2.1.1 Обоснование дизайна и хронология исследований

Дизайн исследования формировался поэтапно, в соответствии с логикой научного поиска: от первичного наблюдения – к углублённому изучению механизмов. Хронологически работа включала два последовательных этапа:

I этап (2023 г., Опыт 1) – комплексный скрининговый эксперимент в производственных условиях на базе СГЦ «Загорское ЭПХ» и ФНЦ «ВНИТИП» на цыплятах-бройлерах кросса «Смена 9».

Целью этапа являлось:

1. Первичная оценка влияния различных режимов электромагнитного излучения (ЭМИ) на ростовые показатели, сохранность и морфо-биохимический статус птицы в нормальных условиях содержания.
2. Подбор эффективной и безопасной экспозиции электромагнитного излучения.
3. Верификация безопасности выбранных режимов путём гистологического анализа внутренних органов (сердца, печени, почек) после завершения производственного цикла. Таким образом, на данном этапе на одних и тех же животных были одновременно решены задачи по оценке продуктивности и безопасности, что позволило минимизировать количество подопытных животных и получить комплексную характеристику действия фактора в норме.

II этап (2024 г., Опыт 2) – изучение эффективности в условиях патологии. Реализован на базе учебно-производственного птичника РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева на цыплятах кросса «Смена 9». На данном этапе, основываясь на данных I этапа о безопасности и эффективности выбранного режима, была поставлена цель изучить механизмы корректирующего действия электромагнитного излучения в условиях смоделированной патологии – теплового стресса. Ключевым методическим приёмом здесь стало использование фистульной технологии для прямого исследования ферментативной активности в дуоденальном химусе.

Такая поэтапная схема позволила не только констатировать факт положительного влияния электромагнитного излучения, но и раскрыть физиологические механизмы этого влияния, а также доказать его безопасность.

2.1.2 Общая характеристика экспериментов

Общая схема проведённых опытов, с указанием сроков, объекта, режимов воздействия и изучаемых показателей, представлена в таблице 1.

Таблица 1 - Общая схема исследования

Этап	I этап (скрининговый и оценка безопасности)	II этап (изучение механизмов корректирующего действия при тепловом стрессе)
Цель этапа	1. Эмпирический подбор эффективного и безопасного режима ЭМИ. 2. Оценка влияния оптимизированного режима на продуктивные показатели, морфо-биохимический статус и убойные качества цыплят в норме. 3. Гистологическая верификация безопасности воздействия.	1. Оценка эффективности ЭМИ в условиях моделируемого теплового стресса. 2. Изучение влияния ЭМИ на активность пищеварительных ферментов в дуоденальном химусе (с использованием фистульной методики). 3. Анализ биохимических показателей крови и минерального состава химуса для раскрытия механизмов адаптации.
Объект исследования	Цыплята-бройлеры кросса «Смена 9» (n = 80)	Цыплята-бройлеры кросса «Смена 9» (n = 80)
Период выращивания	1-56 суток	1-43 суток
Условия содержания	Нормативные параметры микроклимата, клеточное содержание	Тепловой стресс: температура +30°C в 1–21 сут (моделирование)
Режим воздействия	1-е сутки: 15 мин / 105 мин (круглосуточно) – вызвал угнетение, отменён. 2-е сутки: перерыв (без воздействия). 3-21-е сутки: 3 мин / 57 мин (с 08:00 до 20:00). 22-56-е сутки: 3 мин / 27 мин (с 08:00 до 20:00).	1-21-е сутки: 3 мин / 57 мин (с 08:00 до 20:00). 22-43-и сутки: 3 мин / 27 мин (с 08:00 до 20:00).
Изучаемые показатели	• Зоотехнические: живая масса (1, 8, 15, 22, 29, 36, 43, 50, 56 сут), сохранность, потребление корма, конверсия. • Морфология крови (в те же сроки): эритроциты, лейкоциты, гемоглобин, гематокрит, лейкоцитарная формула, индекс Г/Л. • Биохимия крови (36 и 56 сут): общий белок, кальций, фосфор, холестерин, триглицериды, щелочная фосфатаза. • Анатомическое вскрытие (36 и 56 сут, n=6): масса тушки, убойный выход, масса внутренних органов, абдоминальный жир. • Гистология (56 сут, n=6): сердце, печень, почки (окраска гематоксилин-эозин, на липиды).	• Зоотехнические: живая масса (1, 4, 8, 15, 18, 21, 29, 31, 35, 41, 43 сут), сохранность, потребление корма, конверсия. • Фистулирование (20–22 сут, n=20): операция наложения дуоденальной фистулы. • Исследование химуса (33–40 сут, ежедневно через 1 и 2 ч после кормления): активность трипсина, амилазы, липазы, щелочной фосфатазы; содержание кальция и фосфора. • Биохимия крови (18, 29, 41 сут): те же показатели, что на I этапе, а также активность трипсина, амилазы, липазы, мочевая кислота.

2.1.3 Характеристика электромагнитного воздействия и подбор режимов

В работе использовался медицинский аппарат электромагнитной терапии «ТОР» (№ РЗН 2021/15459 от 23 сентября 2021 г.) (рисунок 1). Его принцип действия основан на генерации слабого неионизирующего импульсного электромагнитного излучения нетепловой интенсивности. Излучение генерируется высоковольтными импульсами (5-8 кВ, 100-150 Гц), формирующими волновые пакеты с частотными модами, кратными 25 кГц. Мощность прибора (<80 Вт) позволяет оказывать дистанционное воздействие на физико-химические параметры сред (например, pH растворов) на расстоянии до 700 м.



Рисунок 1 – Аппарат электромагнитной терапии «ТОР».

Подбор режимов воздействия. В ходе скринингового этапа на цыплятах опытной группы (Опыт 1) были последовательно протестированы различные режимы экспозиции с учётом поведенческой реакции и физиологического состояния птицы.

Режим 1 (пробный, вызвавший негативную реакцию): в первые сутки жизни (возраст 1 день) цыплята опытной группы были подвергнуты воздействию по схеме: 15 минут обработки, затем 105 минут перерыва, круглосуточно. Через несколько часов после начала воздействия у птицы опытной группы было отмечено выраженное угнетение: цыплята становились вялыми, расходились по

краям клетки, у них снижалась двигательная и кормовая активность по сравнению с контролем. Данная реакция расценена как проявление стресса, вызванного чрезмерной по интенсивности или длительности экспозицией для организма первых суток жизни.

Корректирующий перерыв: для нормализации состояния птицы воздействие было немедленно прекращено. В течение последующих 24 часов (2-е сутки жизни) опытная группа находилась в условиях естественного содержания без обработки электромагнитным излучением. За это время поведенческие реакции полностью восстановились, различия между группами по активности и потреблению корма нивелировались.

Режим 2 (адаптированный, для раннего возраста): начиная с 3-х суток и до 21-х суток жизни был применён более щадящий режим: 3 минуты воздействия / 57 минут перерыва (т.е. 3 минуты в час) в течение 12 часов в сутки (с 08:00 до 20:00). Данный режим не вызывал каких-либо признаков угнетения. Напротив, к концу второй недели у цыплят опытной группы отмечалось улучшение аппетита, более активное поведение и оперяемости по сравнению с контролем.

Режим 3 (основной, для периода интенсивного роста): учитывая положительную динамику и отсутствие негативных эффектов на раннем этапе, а также возрастающие потребности организма и массу цыплят, с 22-х суток и до конца выращивания (56 суток) режим воздействия был интенсифицирован: 3 минуты обработки / 27 минут перерыва (3 минуты каждые полчаса) в тот же 12-часовой период (08:00–20:00). Это позволило увеличить суммарную суточную экспозицию примерно в два раза по сравнению с режимом 2. Смена режима не вызвала стрессовой реакции; птица сохраняла высокую активность, потребление корма и положительную динамику прироста живой массы.

Таким образом, в результате поэтапного скрининга на I этапе была эмпирически подобрана двухфазная схема воздействия, учитывающая возрастные особенности цыплят-бройлеров:

1–21 сутки: режим 3 мин / 57 мин (адаптационно-стимулирующий);

22–56 сутки: режим 3 мин / 27 мин (усиленной стимуляции).

Данная схема была признана оптимальной, так как обеспечивала стабильное повышение продуктивных показателей, не вызывала клинических признаков стресса или угнетения, и в дальнейшем (на II этапе, Опыт 2) была применена в полном объёме для изучения корригирующего действия электромагнитного излучения в условиях теплового стресса.

2.1.4 Моделирование теплового стресса (II этап)

Во II этапе для создания стрессовых условий, приближенных к производственным, в течение первых трёх недель выращивания (критический период для становления пищеварения) в помещении птичника моделировали повышенную температуру воздуха. Учитывая, что цыплята вылупились 04.07.2024 г., в период аномально жаркой погоды (рисунок 2), температурный режим внутри клеток поддерживали на уровне +28,5-30,5 °С (31-32,5 °С в течение первых 3-х недель выращивания), что соответствует условиям острого теплового стресса для бройлеров.

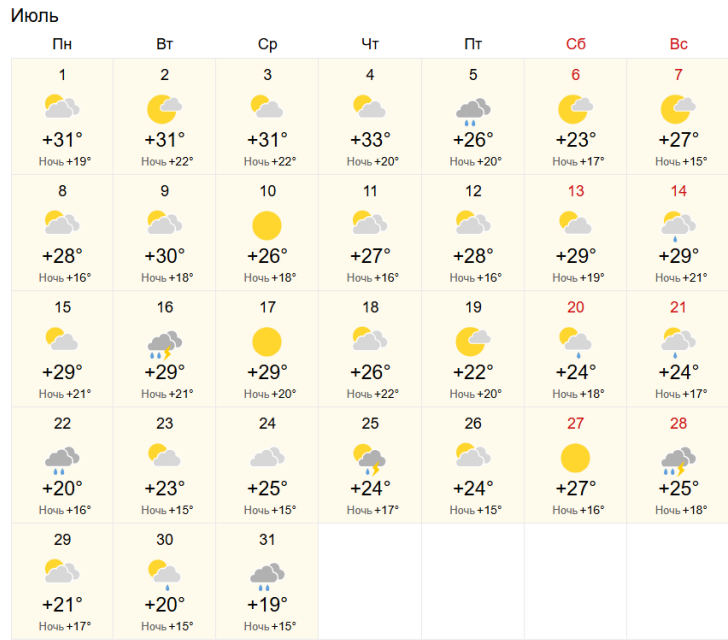


Рисунок 2 – Архив погоды в Москве в июле 2024 г.

Контролировали влажность, не допуская повышение больше 70 %, чтобы не допустить развития теплового удара (таблица 2) (приложение А).

Таблица 2 – Параметры микроклимата в клетке в период моделирования теплового стресса (контроль, 1–41 сутки)

Дата	Возраст, сутки	Температура, °C		Влажность, %		Тепловой стресс, балл		Ректальная температура, °C
		Утро	Вечер	Утро	Вечер	Утро	Вечер	
05.07.2024	1	32	32	71	68	0	0	
06.07.2024	2	32	33	70	65	0	1	
07.07.2024	3	32	32	69	64	0	1	
08.07.2024	4	32	32	68	63	1	2	
09.07.2024	5	32	32	71	68	1	2	
10.07.2024	6	32	32	72	65	1	2	
11.07.2024	7	32	33	69	62	1	2	
12.07.2024	8	30	31	67	60	1	2	41,8±0,3
13.07.2024	9	33	32	66	58	1	2	
14.07.2024	10	32	32	64	59	2	2	
15.07.2024	11	30	34	65	55	2	3	
16.07.2024	12	31	33	62	54	2	3	
17.07.2024	13	31	33	64	58	2	2	
18.07.2024	14	30	33	68	63	1	2	
19.07.2024	15	31	31	67	62	1	2	41,9±0,2
20.07.2024	16	30	32	70	65	1	2	
21.07.2024	17	30	33	71	64	1	2	
22.07.2024	18	30	32	70	61	1	2	
23.07.2024	19	30	33	68	60	1	2	
24.07.2024	20	30	33	67	63	1	2	
25.07.2024	21	29	33	69	64	1	2	
26.07.2024	22	26	30	72	68	0	2	41,7±0,3
27.07.2024	23	26	30	71	70	0	1	
28.07.2024	24	26	30	70	67	0	2	
29.07.2024	25	27	29	70	64	1	2	
30.07.2024	26	26	29	70	63	1	2	
31.07.2024	27	26	29	69	66	0	1	
01.08.2024	28	28	30	71	68	1	1	
02.08.2024	29	26	28	73	69	1	1	
03.08.2024	30	27	30	70	70	0	1	
04.08.2024	31	25	28	73	71	0	1	
05.08.2024	32	26	28	68	73	1	1	
06.08.2024	33	26	29	69	74	0	1	
07.08.2024	34	21	24	73	76	0	0	
08.08.2024	35	25	29	81	77	0	0	
09.08.2024	36	25	27	83	78	0	0	
10.08.2024	37	25	26	80	76	0	0	
11.08.2024	38	24	28	75	68	1	1	
12.08.2024	39	25	28	72	65	1	2	
13.08.2024	40	26	26	70	62	1	1	
14.08.2024	41	27	24	68	60	1	0	

Параметры микроклимата контролировались ежедневно с помощью цифровых термогигрометров, размещённых на уровне нахождения птицы

Оценка стресс-реакции. О развитии теплового стресса у птицы судили по комплексу поведенческих, физиологических и продуктивных признаков.

Клинические признаки: учащённое дыхание (полипноэ), раскрытие клюва, опускание крыльев, повышенное потребление воды (рисунок 3), снижение двигательной активности.

Таблица 3 – Шкала оценки теплового стресса в баллах

Балл	Описание
0	Отсутствует: птица активна, равномерно распределена по площади, дыхание ровное
1	Лёгкий: птица немного вялая, крылья слегка опущены, отдельные особи дышат с открытым клювом
2	Умеренный: большинство птиц дышит с открытым клювом, крылья опущены, скучивание у вентиляции
3	Тяжёлый: птица вялая, отказ от корма, обильное слюнотечение, судороги



Рисунок 3 – Цыплята сгрудились у поилки

Физиологические маркеры: снижение потребления корма относительно нормативов, повышение ректальной температуры (измеряли выборочно у 5 голов из каждой группы на 8, 15 и 22 сутки). Ректальная температура у цыплят в

возрасте 15 суток составляла в среднем $41,9 \pm 0,2$ °С, что превышает верхнюю границу физиологической нормы (41,5 °С) и подтверждает наличие гипертермии.

Зоотехнические показатели: значительное отставание в живой массе цыплят контрольной группы от нормативов кросса «Смена-9» (Приложение Б), что также является интегральным показателем хронического стресса.

2.1.5 Условия кормления и содержания

В опытах 1 и 2 использовалось по 80 цыплят кросса «Смена 9». В каждом опыте цыплята были разделены на 2 группы, контрольную и опытную, методом групп-аналогов. Условия содержания и кормления каждой группы были одинаковыми.

Опыт 1. Цыплята имели свободный доступ к воде. Кормление осуществлялось по схеме: стартовый период (0-10 суток), ростовой (15-21 суток) и финишный – с 22 суток до убоя. Корма были изготовлены ОАО «Мелькомбинат» г. Тверь; состав кормов представлен в Приложении В.

Опыт 2. Цыплята имели свободный доступ к воде. Кормление цыплят осуществлялось кормами производства ООО «Агроцентр» (Московская Область, городской округ Истра, посёлок станции Холщёвики, территория Истра-Хлебопродукт, строение 1). Рацион и режим кормления для контрольной и опытной групп были идентичными. В кормлении цыплят было 3 периода кормления: стартовый период (0-7 суток), ростовой (8-28 суток) и финишный – с 29 суток до убоя. Состав и питательность комбикормов представлены в Приложении Г.

До 7-суточного возраста цыплята были рассажены в 2 брудера (Оптим Цифра с терморегулятором, производитель компания «Подворье» (Киров, ул. Филатова, 34 к Б)) по 40 голов в каждом (рисунок 4).



Рисунок 4 – Суточные цыплята перед рандомизацией и в брудере

В 8-суточном возрасте цыплят переводили в клеточные батареи. В 22-суточном возрасте из каждой группы методом аналогов по массе сформировали подгруппу ($n=10$) из наименее крупных особей, которых прооперировали и разместили в изолированном помещении (рисунок 5).



Клетки для содержания птицы



Обработка прооперированных цыплят

Рисунок 5 – Цыплята в клетках

2.1.6 Зоотехнические методы исследования

Взвешивание: Индивидуальное взвешивание цыплят проводили в ключевые возрастные точки на электронных весах (Aceline RT-40, точность 1 г; МИДЛ «Базар 2у Н», точность 5/10 г) (рисунок 6). В Опыте 1 учет веса проводился в суточном, 8-, 15-, 22-, 29, 36, 43, 50, 56-суточном возрасте. В Опыте 2 взвешивание проводилось в 1, 4, 8, 12 (выборочно), 15, 18 (выборочно), 21, 29, 31 (фистульные особи), 35 (выборочно), 41 и 43 (фистульные особи) сутки.



Рисунок 6 – Взвешивание птицы.

Учёт потребления корма: Суточное потребление корма определяли как разницу между заданной и несъеденной порцией. На основе этих данных рассчитывали среднесуточное потребление, конверсию корма (затраты корма на 1 кг прироста живой массы).

Количество съеденного корма учитывалось ежедневно, пример представлен в таблице 4 (Опыт 2).

Таблица 4 – Затраты корма в контрольной и опытной группах в Опыте 2

Возраст, дней	Количество на 1 голову, г/сут		Количество за период выращивания, г/гол	
	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль
<i>не прооперированных цыплят</i>				
1-7	16,4	16,4	115	115
8-28	96,2	92,4	2020	1940
29-42	147,5	127,5	2065	1785
Среднее	127,1	121,3	4200	3840
<i>прооперированных цыплят</i>				
1-7	16,4	16,4	115	115
8-20	75,4	75,4	980	980
23-43	97,1	97,1	2040	2040
Среднее	63,0	63,0	3135	3135

Анатомическое вскрытие тушек: проводилось по стандартной методике [4] в 36- и 56-суточном возрасте (по 3 головы из группы). Определяли массу потрошенной тушки, убойный выход, массу внутренних органов (печень, сердце, желудок) и долю абдоминального жира по формулам:

1. Убойный выход потрошенной тушки, % = $(\text{Масса потрошенной тушки, г} / \text{Живая масса, г}) * 100\%$
2. Доля абдоминального жира, % = $(\text{Масса абдоминального жира, г} / \text{Живая масса, г}) * 100\%$
3. Индекс органа (например, сердца) = $(\text{Масса органа, г} / \text{Живая масса, г}) * 100\%$

2.1.7 Хирургические методы (фистульная технология)

Для хронического сбора дуоденального содержимого в Опыте 1 20 цыплятам (по 10 из каждой группы) в возрасте 21-22 суток была наложена фистула двенадцатиперстной кишки по авторской методике В.Г. Вертипрахова [66]. Операцию проводили под общей анестезией с соблюдением правил асептики и антисептики. Доступ осуществляли через разрез длиной 4-5 см справа, позади последнего ребра. После визуализации двенадцатиперстной кишки напротив устьев панкреатического и желчного протоков накладывали кисетный

шов, в центр которого вводили канюлю. Послеоперационный уход включал суточную голодную диету с последующим переходом на нормированное кормление и контроль пассажа химуса. Швы снимали на 5-е сутки. Внешний вид дуоденальной фистулы во время эксперимента представлен на рисунке 7.

Сбор химуса осуществляли в утренние часы через 1 и 2 часа после кормления в течение 8 дней (с 33 по 40 сутки). Полученный материал немедленно центрифугировали и охлаждали для последующего анализа.



Рисунок 7 – Дуоденальная фистула у цыпленка.

2.1.8 Лабораторные методы исследования крови и химуса

Кровь для анализа отбирали из подкрыльцовой вены в вакуумные пробирки (с активатором свертывания для получения сыворотки и с гепарином для получения плазмы) (рисунок 8). Сыворотку/плазму получали центрифугированием при 5000 об/мин (Eppendorf MiniSpin plus, 5 мин).

Опыт 1. В ходе исследования проводился многократный забор крови у 5 животных из каждой группы в возрасте 1, 8, 15, 22, 29, 36, 43, 50 и 56 суток для морфологического исследования. Кровь в возрасте 1 и 7 суток получали после

убоя, в остальные сроки – прижизненно из подкрыльцовой вены. Биохимическое исследование проводили на 36 и 56 сутки.

Опыт 2. Биохимические показатели крови (кальций, фосфор, общий белок, глюкоза, холестерин, триглицериды, активность трипсина, щелочной фосфатазы, амилазы и липазы) определяли на 18, 29 и 41 сутки у 10 птиц из каждой группы.

Биохимические исследования проводили на автоматических и полуавтоматических анализаторах с использованием коммерческих наборов реагентов согласно инструкциям производителей (рисунок 9):

1. Анализатор Biochem SA (США) с реактивами High Technology: определение активности трипсина, щелочной фосфатазы, амилазы и концентрации кальция (Ca) и фосфора (P).
2. Анализатор BS-3000M (Китай) с реактивами «ДиаВетТест» (Россия): определение активности липазы.
3. Анализатор HTI BioChem FC-120 (США) с реактивами High Technology: определение концентрации глюкозы, мочевой кислоты, общего белка, триглицеридов и холестерина.
4. Анализатор SINNOWA BS-3000P 3000P («SINNOWA Medical Science & Technology Co., Ltd», КНР) с использованием коммерческих наборов реагентов («ДИАКОН-ВЕТ», Россия).

Химус, полученный через фистулу, исследовали на 33-40 сутки. Пробы отбирали дважды в день (по 1 мл): через 1 и 2 часа после утреннего кормления. После центрифугирования (Eppendorf MiniSpin plus, 5000 об/мин, 5 мин) в надосадочной жидкости определяли активность трипсина (по методу Вертипрахова, Грозиной, 2018), щелочной фосфатазы, амилазы, липазы, а также концентрацию кальция (Ca) и фосфора (P).

Морфологический анализ крови (содержание эритроцитов, лейкоцитов, гемоглобина, гематокрит, лейкоцитарная формула) выполняли на ветеринарном гематологическом анализаторе DF-50 («Dymind Biotech», КНР). Дополнительно рассчитывали индекс соотношения гетерофилов к лимфоцитам (Г/Л) как интегральный показатель стресс-реакции и иммунного статуса.

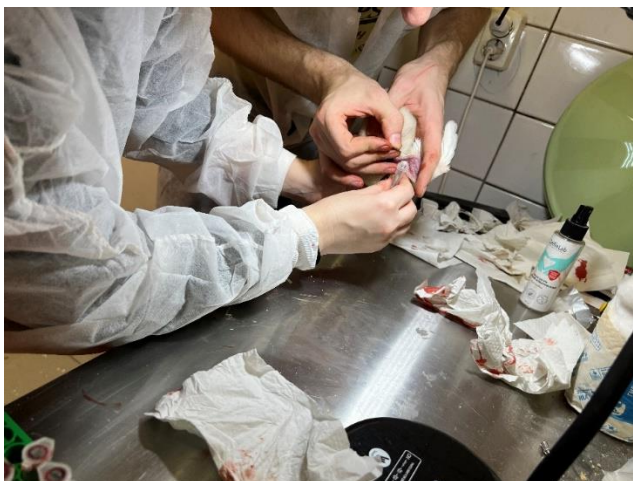


Рисунок 8 – Взятие крови у птицы.



Рисунок 9 – Лабораторные исследования крови птицы.

2.1.9 Гистологические методы

Для оценки безопасности воздействия электромагнитных излучений проводили гистологический анализ образцов органов. После эвтаназии у цыплят отбирали образцы сердца, почки и печени для морфометрического и микроскопического анализа [4, 57]. Образцы фиксировали в 10 % забуференном нейтральном формалине в соотношении 1:20.

Далее образцы подвергали стандартной гистологической проводке в автоматическом тканевом процессоре Leica TP 1020 (Германия), после чего заливали в парафиновые блоки на системе Tissue-Tek® (Япония) с использованием среды Paraplast (США). С помощью ротационного микротом (Sakura, Япония) получали срезы толщиной 5-6 мкм, которые монтировали на предметные стекла. Одновременно готовили замороженные срезы на криостате Leica CM1520 для гистохимического окрашивания на нейтральные липиды (жировой красный по Лилли).

Парафиновые срезы окрашивали гематоксилином и эозином по общепринятой методике. Все готовые препараты заключали в синтетическую среду (Bio Mount, Италия) и исследовали под световым микроскопом Nikon

Eclipse 55i (Япония) при увеличениях от 40× до 400×. Документирование результатов проводили с помощью цифровой камеры Nikon DS-Fi1c и программного обеспечения NIS Elements.

2.1.10 Статистическая обработка данных

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программного обеспечения Microsoft Excel и Past. Для каждой выборки рассчитывали среднее арифметическое (M) и стандартную ошибку среднего ($\pm SEM$). Достоверность различий между контрольной и опытной группами оценивали по t -критерию Стьюдента. Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

2.2 Результаты собственных исследований

2.2.1 Результаты I этапа: оценка влияния электромагнитного излучения на продуктивные показатели и безопасность для организма цыплят-бройлеров в нормальных условиях содержания

Первый этап работы был выполнен на базе СГЦ «Загорское ЭПХ» и лаборатории физиологии ФНЦ «ВНИТИП» в 2023–2024 гг. и носил комплексный характер. Основная цель заключалась в первичном скрининге реакций организма цыплят-бройлеров на различные режимы электромагнитного воздействия, подборе оптимальной экспозиции и оценке безопасности выбранных параметров. Исследования проводились на одной партии птицы, что позволило одновременно изучить динамику ростовых процессов, морфо-биохимический статус крови, а также гистологическую структуру внутренних органов после завершения производственного цикла. Такой подход дал возможность не только выявить наличие стимулирующего эффекта, но и подтвердить отсутствие негативного влияния на организм птицы при длительном применении излучения.

В разделе представлены результаты анализа зоотехнических показателей (сохранность, динамика живой массы, конверсия корма), гематологических и биохимических исследований, а также данные анатомического вскрытия тушек и гистологической оценки органов. Совокупность полученных материалов служит обоснованием для выбора режима воздействия, использованного в дальнейшем при моделировании теплового стресса.

2.2.1.1 Подбор оптимального режима электромагнитного воздействия и его влияние на сохранность, живую массу и конверсию корма

В ходе предварительного этапа исследований (I этап) на цыплятах опытной группы была проведена серия наблюдений с целью определения оптимального режима электромагнитного облучения, обеспечивающего стимуляцию продуктивных качеств при отсутствии стресс-реакции со стороны организма.

Реакция на пробный 15-минутный режим. В первые сутки жизни (возраст 1 день) цыплята опытной группы были подвергнуты воздействию электромагнитного излучения по схеме: 15 минут обработки с последующим 105-минутным перерывом на протяжении 24 часов. Через 3-4 часа после начала экспозиции у птицы опытной группы были зафиксированы выраженные клинические признаки угнетения: цыплята становились вялыми, скучивались в углах клеток, у них наблюдалось снижение двигательной и кормовой активности по сравнению с контролем (рисунок 10). Данная реакция была расценена как проявление острого стресса, вызванного чрезмерной продолжительностью непрерывного воздействия для организма первых суток жизни. В связи с этим обработка была немедленно прекращена.



Рисунок 10 – Цыплята лежат в кормушках.

Корректирующий перерыв и восстановление. В течение последующих 24 часов (2-е сутки жизни) опытная группа находилась в условиях естественного содержания без воздействия электромагнитного излучения. За этот период поведенческие реакции полностью нормализовались: подвижность, потребление корма и воды, а также социальное поведение (распределение по площади клетки) не отличались от контрольной группы. Это позволило сделать вывод об обратимости вызванных изменений и продолжить поиск адекватного режима.

Переход на щадящий режим (3 мин / 57 мин). Начиная с 3-х суток и до 21-х суток жизни был применён более щадящий циклический режим: 3 минуты воздействия с последующим 57-минутным перерывом (один цикл в час) в течение 12 часов в сутки (с 08:00 до 20:00). Данный режим не вызывал каких-либо признаков угнетения. Напротив, к концу второй недели у цыплят опытной группы визуально отмечалось улучшение аппетита, более активное поведение и оперяемости по сравнению с контролем, что позволило предположить наличие стимулирующего эффекта.

Усиленный режим (3 мин / 27 мин) в период интенсивного роста. Учитывая положительную динамику и отсутствие негативных эффектов на раннем этапе, а также возрастающие метаболические потребности организма в период интенсивного роста, с 22-х суток и до конца выращивания (56 суток) режим воздействия был интенсифицирован: 3 минуты обработки / 27 минут перерыва (3 минуты каждые полчаса) в тот же 12-часовой период (08:00–20:00). Это позволило увеличить суммарную суточную экспозицию примерно в два раза по сравнению с предыдущим этапом. Смена режима не вызвала стрессовой реакции; птица сохраняла высокую активность, потребление корма и положительную динамику прироста живой массы.

Таким образом, в результате эмпирического подбора была установлена двухфазная схема воздействия, учитывающая возрастные особенности цыплят-бройлеров:

1–21 сутки: адаптационно-стимулирующий режим (3 мин / 57 мин);

22–56 сутки: режим усиленной стимуляции (3 мин / 27 мин).

Данная схема была признана оптимальной и в дальнейшем использована во всех экспериментах (в том числе на II этапе при моделировании теплового стресса). Безопасность выбранных режимов была впоследствии подтверждена гистологическими исследованиями (раздел 2.2.1.4).

Результаты научно-производственного опыта представлены в таблице 5. Из данных, представленных в ней, видно, что обработка электромагнитным

излучением также отразилась на живой массе цыплят, увеличив ее по сравнению с контрольной группой.

Таблица 5 – Зоотехнические показатели цыплят ($m \pm SD$, $n=40$)

Показатель	Группа	
	Контроль	Опыт
Сохранность поголовья, %	100	97,1
Живая масса в: суточном возрасте, г	42,2 $\pm$ 0,33	41,8 $\pm$ 0,29
% к контролю	100	98,98
8-суточном возрасте, г	231,9 $\pm$ 3,79	239,0 $\pm$ 4,08
% к контролю	100	103,01
Среднесуточный прирост живой массы, г	27,10	28,17
% к контролю	100	103,95
Потребление корма на 1 голову за период выращивания, кг	0,26	0,26
% к контролю	100	100
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	1,37	1,32
% к контролю	100	96,35
15-суточном возрасте, г	606,9 $\pm$ 7,82	608,3 $\pm$ 8,79
% к контролю	100	100,23
Среднесуточный прирост живой массы, г	40,34	40,46
% к контролю	100	100,30
Потребление корма на 1 голову за период выращивания, кг	0,785	0,787
% к контролю	100	100,25
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	1,39	1,39
% к контролю	100	100
22-суточном возрасте, г	1134,4 $\pm$ 13,02	1154,5 $\pm$ 13,70
% к контролю	100	101,77
Среднесуточный прирост живой массы, г	52,01	52,99
% к контролю	100	101,88
Потребление корма на 1 голову за период выращивания, кг	1,82	1,80
% к контролю	100	98,90
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	1,67	1,62
% к контролю	100	97,0
29-суточном возрасте, г	1723,4 $\pm$ 19,10	1768,4 $\pm$ 21,19
% к контролю	100	102,61
Среднесуточный прирост живой массы, г	60,04	61,66
% к контролю	100	102,71
Потребление корма на 1 голову за период выращивания, кг	3,36	3,38
% к контролю	100	100,6
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	2,00	1,96
% к контролю	100	98
36-суточном возрасте, г	2499,1 $\pm$ 19,90	2589,0 $\pm$ 22,19
% к контролю	100	103,60
Среднесуточный прирост живой массы, г	72,20	72,78

Показатель	Группа	
	Контроль	Опыт
% к контролю	100	103,67
Потребление корма на 1 голову за период выращивания, кг	4,89	4,71
% к контролю	100	96,32
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	1,99	1,85
% к контролю	100	92,96
<i>43-суточном возрасте, г</i>	3241,7±66,91	3377,2±56,63
% к контролю	100	104,18
Среднесуточный прирост живой массы, г	76,18	79,41
% к контролю	100	104,24
Потребление корма на 1 голову за период выращивания, кг	6,49	6,24
% к контролю	100	96,15
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	2,03	1,87
% к контролю	100	92,12
<i>56-суточном возрасте, г</i>	4301,6±101,77	4496,8±107,60
% к контролю	100	104,55
Среднесуточный прирост живой массы, г	77,44	81,00
% к контролю	100	104,60
Потребление корма на 1 голову за период выращивания, кг	8,48	8,51
% к контролю	100	100,35
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	1,99	1,91
% к контролю	100	95,98

Согласно данным таблицы, в суточном возрасте цыплята опытной группы имели незначительное отставание в живой массе от контрольной группы (-1,02 %). К 15-дневному возрасту различия нивелировались. Стабильное и возрастающее преимущество в массе у опытной группы сформировалось, начиная с 22-го дня выращивания.

К 36-му дню цыплята, подвергавшиеся воздействию электромагнитного излучения, превосходили контроль по средней живой массе на 3,60 %, а по среднесуточному приросту – на 3,7 %. При этом потребление корма в опытной группе было на 3,7 % ниже, а конверсия корма (затраты на 1 кг прироста) – эффективнее на 7 %.

К концу опыта (56 суток) преимущество опытной группы по живой массе и среднесуточному приросту составило 4,55 % и 4,6 % соответственно. Потребление корма в этом возрасте было сопоставимо с контролем (выше на 0,35 %), однако эффективность использования корма оставалась выше: затраты корма на 1 кг прироста были ниже на 4,02 %.

2.2.1.2 Морфологические и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров при использовании электромагнитного излучения

Изучение морфологических показателей крови у бройлеров имеет важное значение для оценки их общего состояния и здоровья [29]. Анализ показателей крови является ценным инструментом для доклинической диагностики. Он позволяет выявить нарушения обмена веществ, отклонения в иммунном статусе и сдвиги гомеостаза на ранних стадиях. Полученные данные служат основанием для своевременной коррекции рациона, параметров содержания и проведения профилактических мероприятий. Это способствует оптимизации физиологического состояния, повышению продуктивности и укреплению естественной резистентности птицы. Кроме того, морфологические показатели крови служат надежным индикатором эффективности проводимых воздействий, в частности, электромагнитного излучения [38].

Гемоглобин отвечает за транспортировку кислорода к тканям, поэтому его снижение может указывать на анемию, недостаток питательных веществ или болезни. Гематокрит показывает долю эритроцитов в общем объеме крови, что позволяет определить наличие дегидратации, анемии или других нарушений кровообращения. Количество эритроцитов и уровень гемоглобина в крови, в известной мере, характеризуют интенсивность окислительно-восстановительных процессов, происходящих в организме цыплят-бройлеров [23]. Увеличение числа лейкоцитов может свидетельствовать о начале заболевания [122]. Результаты исследований крови представлены в таблице 6.

Как видно из таблицы, наибольшее количество лейкоцитов отмечено у бройлеров в 8-суточном возрасте, после чего их уровень снижался до 29 суток с последующим повторным повышением. Стоит отметить, что все зафиксированные значения оставались в пределах физиологической нормы для данного вида и возраста птицы.

Таблица 6 – Сравнение основных гематологических показателей крови цыплят-бройлеров ($m \pm SEM$, $n=5$)

Возраст, сутки	Гематологические показатели			
	Лейкоциты, $10^9/\text{л}$	Эритроциты, $10^{12}/\text{л}$	Гемоглобин, г/л	Гематокрит, %
1	46,5 $\pm$ 1,76	2,4 $\pm$ 0,08	185,7 $\pm$ 11,63	32,9 $\pm$ 1,04
Контрольная				
8	44,1 $\pm$ 2,07	2,1 $\pm$ 0,03	112,0 $\pm$ 0,69	28,7 $\pm$ 0,14
15	41,3 $\pm$ 2,06	2,3 $\pm$ 0,03	128,6 $\pm$ 2,25	33,0 $\pm$ 0,61
22	45,7 $\pm$ 1,16	2,5 $\pm$ 0,03	130,6 $\pm$ 2,14	33,6 $\pm$ 0,58
29	43,4 $\pm$ 1,11	2,7 $\pm$ 0,03	136,8 $\pm$ 1,17	34,0 $\pm$ 0,26
36	53,7 $\pm$ 1,67	2,8 $\pm$ 0,04	140,2 $\pm$ 2,11	36,3 $\pm$ 0,50
43	54,9 $\pm$ 2,61	2,9 $\pm$ 0,08	144,2 $\pm$ 3,97	37,5 $\pm$ 2,79
50	56,9 $\pm$ 2,68	3,0 $\pm$ 0,07	152,2 $\pm$ 4,25	38,1 $\pm$ 1,16
56	60,0 $\pm$ 4,88	3,0 $\pm$ 0,12	152,5 $\pm$ 6,67	38,7 $\pm$ 1,74
Опытная				
8	59,3 $\pm$ 2,31*	2,1 $\pm$ 0,04	115,8 $\pm$ 2,72	30,3 $\pm$ 0,67
15	40,2 $\pm$ 1,41	2,3 $\pm$ 0,05	126,0 $\pm$ 1,94	31,3 $\pm$ 0,47
22	39,6 $\pm$ 1,16*	2,3 $\pm$ 0,05	122,8 $\pm$ 2,86	30,6 $\pm$ 0,63
29	44,8 $\pm$ 1,28	2,5 $\pm$ 0,03	131,6 $\pm$ 1,14	32,6 $\pm$ 0,24
36	45,6 $\pm$ 2,84*	2,5 $\pm$ 0,12	126,0 $\pm$ 4,44	31,8 $\pm$ 1,39
43	53,0 $\pm$ 1,42	2,8 $\pm$ 0,06	143,8 $\pm$ 2,03	36,8 $\pm$ 0,61
50	55,6 $\pm$ 0,83	2,8 $\pm$ 0,06	147,0 $\pm$ 2,22	36,4 $\pm$ 0,60
56	57,5 $\pm$ 2,64	2,9 $\pm$ 0,10	151,8 $\pm$ 4,15	38,6 $\pm$ 1,17

*Различия статистически значимы при $p \leq 0,05$ по сравнению с суточным возрастом

Параметры эритроцитарного звена (количество эритроцитов и уровень гемоглобина) косвенно характеризуют интенсивность окислительно-восстановительных процессов в организме. В обеих группах наблюдалась однонаправленная возрастная динамика: число эритроцитов прогрессивно увеличивалось на протяжении всего периода выращивания, достигая максимальных значений к 56-му дню. В опытной группе наблюдается интересная закономерность: в 15- и 22-суточном возрасте уровень эритроцитов находится на одном уровне, такая же закономерность наблюдается в 29- и 36-сутки и в 43- и 50-сутки выращивания. Складывается впечатление, что на каждые две недели роста в данной группе происходит регуляция данного показателя при воздействии прибора. В 56-дневном возрасте количество эритроцитов в контрольной группе составило $3,0 \times 10^{12}/\text{л}$. В опытной группе был зарегистрирован незначительный спад данного показателя, который был ниже

контрольного значения на 3,33 %. Динамика уровня гемоглобина и гематокрита в контрольной группе носила стабильный линейный характер: после начального снижения к 8-му дню наблюдалось их планомерное повышение до конца периода выращивания. В опытной группе изменения были более выраженными: заметный подъем гемоглобина к 29-му дню (на 7,2 % относительно 22-го дня) сменился снижением к 36-му дню (на 4,3 %) и последующим ростом с 43-го дня.

Лейкоцитарная формула птиц представлена пятью основными типами клеток: лимфоцитами, моноцитами, эозинофилами, базофилами и гетерофилами. Морфология этих клеток у птиц и рептилий отличается от таковой у млекопитающих, аналогом нейтрофилов у них выступают гетерофилы, выполняющие схожие иммунологические функции. Лейкоцитарная формула цыплят представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Сравнение основных показателей лейкоцитарной формулы крови цыплят-бройлеров ($m \pm SEM$, $n=5$)

Возраст, сутки	Гематологические показатели			
	Гетерофилы, %	Лимфоциты, %	Моноциты, %	Эозинофилы, %
1	32,8 $\pm$ 6,08	57,4 $\pm$ 6,25	0,8 $\pm$ 0,33	1,5 $\pm$ 0,22
Контрольная				
8	9,7 $\pm$ 1,91	89,8 $\pm$ 2,04	0,1 $\pm$ 0,03	0,3 $\pm$ 0,09
15	29,7 $\pm$ 2,69	68,5 $\pm$ 2,96	0,3 $\pm$ 0,08	1,3 $\pm$ 0,30
22	40,9 $\pm$ 1,95	55,7 $\pm$ 2,39	0,4 $\pm$ 0,11	2,9 $\pm$ 0,39
29	37,2 $\pm$ 1,72	60,1 $\pm$ 1,78	0,2 $\pm$ 0,04	2,2 $\pm$ 0,20
36	33,7 $\pm$ 2,99	63,6 $\pm$ 3,37	0,1 $\pm$ 0,04	2,4 $\pm$ 0,37
43	40,7 $\pm$ 2,38	52,1 $\pm$ 3,67	1,7 $\pm$ 0,78	4,8 $\pm$ 0,76
50	41,8 $\pm$ 2,26	50,4 $\pm$ 2,78	0,3 $\pm$ 0,04	7,2 $\pm$ 0,76
56	50,8 $\pm$ 3,72	41,8 $\pm$ 4,39	0,2 $\pm$ 0,06	6,6 $\pm$ 0,70
Опытная				
8	11,7 $\pm$ 2,14	87,4 $\pm$ 2,32	0,2 $\pm$ 0,06	0,6 $\pm$ 0,18
15	24,3 $\pm$ 2,45	74,0 $\pm$ 2,65	0,04 $\pm$ 0,017	1,5 $\pm$ 0,21
22	30,9 $\pm$ 1,16	66,7 $\pm$ 1,08	0,1 $\pm$ 0,01	2,2 $\pm$ 0,40
29	29,8 $\pm$ 2,24	68,2 $\pm$ 2,50	0,2 $\pm$ 0,03	1,8 $\pm$ 0,34
36	33,4 $\pm$ 1,56	63,4 $\pm$ 1,95	0,2 $\pm$ 0,05	2,8 $\pm$ 0,39
43	29,5 $\pm$ 2,45	67,9 $\pm$ 2,76	0,1 $\pm$ 0,03	2,3 $\pm$ 0,27
50	41,5 $\pm$ 3,05	51,9 $\pm$ 3,82	0,5 $\pm$ 0,16	6,0 $\pm$ 0,83
56	40,2 $\pm$ 2,04	55,4 $\pm$ 1,83	0,1 $\pm$ 0,01	4,1 $\pm$ 0,25

Данные таблицы показывают, что в суточном возрасте до проведения вакцинации содержание гетерофилов находится на уровне 32,8 %. В 8-суточном возрасте наблюдается снижение Нет, % в контрольной группе на 70,42 %, в опытной – на 64,3 % по сравнению с суточным возрастом. Данное резкое снижение свидетельствует о перенесении вирусной инфекции в период вакцинации. Далее при следующих иммунизациях птицы (26 и 29 сутки выращивания) не было замечено достоверных изменений в содержании гетерофилов.

Содержание лимфоцитов в крови цыплят исследуемых групп характеризовалось неоднозначной динамикой. В 8-суточном возрасте наблюдается самый высокий уровень данных видов клеток в обеих группах. Начиная с 15-суточного и заканчивая 29-суточным возрастом в опытной группе наблюдается постоянная тенденция к повышению лимфоцитов по сравнению с контрольной группой. И только в 36-дневном возрасте в опытной группе данный показатель достиг уровня контрольной группы. В контрольной группе падение абсолютной численности этих клеток было зафиксировано в дальнейшем периоде до конца выращивания. Известно, что у птиц снижение количества лимфоцитов крови может быть взаимосвязано с ростом псевдоэозинофилов и носить относительный характер, также понижение уровня лимфоцитов может происходить при стрессе [45]. В опытной группе на 15-сутки выращивания наблюдалось снижение на 86,7 % в сравнении с контрольной группой. Резкое снижение может свидетельствовать о низком уровне воспалительных процессов.

Эозинофилы составляют всего 0,5-5 % числа лейкоцитов. Они участвуют в ответных реакциях организма на паразитарные (гельминтные и протозойные), аллергические, инфекционные заболевания. Установлено кратковременное падение относительного количества эозинофильных клеток в крови цыплят на 8, 15, и 29 сутки в обеих группах. В дальнейшем зафиксирована динамика увеличения эозинофилов с 43-суточного возраста в контрольной группе. В опытной группе данный показатель увеличивается с 50-суточного возраста. Рост количества эозинофилов связан с активацией процессов детоксикации и

разрушения чужеродных белковых соединений в крови. В опытной группе включение данного защитного механизма отмечалось на более поздних сроках по сравнению с контрольной группой.

Гетерофилы, являясь функциональным аналогом нейтрофилов млекопитающих, представляют собой фагоцитирующие клетки, количество которых в крови увеличивается в ответ на инфекционный процесс [115]. Ключевым индикатором иммунного статуса и стрессоустойчивости птицы считается соотношение гетерофилов к лимфоцитам [251]. Согласно данным таблицы 8, среднее значение этого индекса на протяжении всего опыта во всех группах составляло около 0,56, что примерно соответствует уровню, зафиксированному у суточных цыплят.

Таблица 8 – Значения соотношения гетерофилов к лимфоцитам в крови цыплят-бройлеров ($m \pm SD$, $n=5$)

Группа	Возраст, сутки								
	1	8	15	22	29	36	43	50	56
Контрольная	0,56	0,11	0,43	0,73	0,61	0,53	0,78	0,83	1,21
Опытная		0,13	0,33	0,46	0,44	0,53	0,43	0,80	0,73

В опытной группе индекс гетерофилы/лимфоциты на протяжении всего периода наблюдения сохранялся на более низком уровне по сравнению с контролем. С 36-суточного возраста в контрольной группе отмечался устойчивый рост этого показателя, что является признаком снижения иммунной резистентности и повышения уровня стресса.

В то же время в опытной группе в заключительный период выращивания (43-56 сутки) значения индекса оставались стабильными и находились в оптимальном физиологическом диапазоне (0,70-0,80). Полученные данные позволяют заключить, что применение электромагнитного излучения оказывает позитивное модулирующее влияние на иммунологический статус цыплят-бройлеров.

Общий белок сыворотки крови – ключевой показатель для роста, развития и иммунного ответа, – в норме может варьировать в широких пределах. Щелочная фосфатаза, широко представленная в костной ткани, печени и кишечнике [145], также является чувствительным маркером стрессовой нагрузки [154]. Согласно данным таблицы 9, уровень общего белка у всех птиц находился в физиологическом диапазоне. Однако у 36-суточных цыплят опытной группы было зафиксировано статистически значимое ($p \leq 0,05$) снижение этого показателя на 6,2 % относительно контроля, что может указывать на временное замедление интенсивности белкового метаболизма. К 56-му дню ситуация изменилась на противоположную: в опытной группе содержание белка превышало контрольный уровень на 5,5 %.

Таблица 9 – Биохимические показатели плазмы крови цыплят-бройлеров в 36- и 56-суточном возрасте ($m \pm SD$, $n=5$)

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
36-сутки		
Общий белок, г/л	41,98 $\pm$ 0,39	39,43 $\pm$ 0,66*
Активность щелочной фосфатазы, ед/л	3830,00 $\pm$ 253,61	3828,80 $\pm$ 147,03
Холестерин, ммоль/л	3,51 $\pm$ 0,12	2,48 $\pm$ 0,06**
Триглицериды, ммоль/л	2,19 $\pm$ 0,06	1,52 $\pm$ 0,08**
Кальций, моль/л	2,91 $\pm$ 0,03	2,89 $\pm$ 0,12
Фосфор, моль/л	3,16 $\pm$ 0,09	3,25 $\pm$ 0,09
56-сутки		
Общий белок, г/л	43,64 $\pm$ 0,94	47,40 $\pm$ 0,86
Активность щелочной фосфатазы, ед/л	1601,00 $\pm$ 66,53	1603,00 $\pm$ 78,89
Холестерин, ммоль/л	3,45 $\pm$ 0,12	4,33 $\pm$ 0,22
Триглицериды, ммоль/л	2,10 $\pm$ 0,16	2,10 $\pm$ 0,04
Кальций, моль/л	3,78 $\pm$ 0,05	3,65 $\pm$ 0,09
Фосфор, моль/л	2,84 $\pm$ 0,18	2,31 $\pm$ 0,11

*Примечание: различия статистически значимы при $p \leq 0,05$

Активность щелочной фосфатазы в 36- и 56-суточном возрасте была сопоставима во всех группах (3830 ед/л), что может указывать на общие для всех птиц физиологические процессы, связанные со снижением темпов роста в данный период.

Содержание кальция и фосфора в 36-суточном возрасте существенно не различалось между группами. Однако к 56-му дню в опытной группе наблюдалось снижение минерального обмена: уровень кальция был ниже контрольного на 5,26 %, а уровень фосфора – на 17,8 %.

Анализ липидного профиля в 36-суточном возрасте выявил значимые отличия. В опытной группе концентрация триглицеридов в плазме была достоверно ниже ($p \leq 0,05$) на 31,8 %, а уровень холестерина также был снижен. Эти показатели свидетельствуют о более низкой энергетической обеспеченности организма цыплят опытной группы на данном этапе выращивания. При этом в опытной группе снижение данных показателей липидного обмена может также свидетельствовать о более сильной устойчивости организма птицы к развитию атеросклероза и заболеваний сердечно-сосудистой системы в целом. В 56-суточном возрасте уровень триглицеридов в обеих группах был практически одинаковый. Содержание холестерина в данном возрасте в опытной группе увеличилось на 22,9 % по сравнению с контрольной группой.

2.2.1.3 Анатомические показатели и выход мясной продукции

Влияние экспериментального фактора на продуктивность и гематологические параметры должно было отразиться и на морфологии внутренних органов. Для комплексной оценки физиологического состояния был проведен анатомический анализ (таблица 10).

В 36-суточном возрасте убойный выход тушки в опытной группе был на 1,1 % выше, чем в контроле. К 56-му дню это преимущество возросло до 3,4 %. На протяжении всего опыта доля абдоминального жира в опытных группах была ниже, чем в контрольной.

Увеличение абсолютной массы желудка, печени и сердца у птиц опытных групп коррелировало с их более высокой живой массой и, по-видимому, является пропорциональным следствием общего роста организма.

Таблица 10 – Показатели анатомического вскрытия (36-сутки) ($m \pm SD$, $n=6$)

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
36-сутки		
Убойный выход потрошенной тушки, %	72,08	72,84
% к контролю	100	101,1
Масса тушки, г	1875 $\pm$ 84,5	1837 $\pm$ 73,2
% к контролю	100	97,97
Абдоминальный жир по отношению к живой массе, %	1,66	1,64
% к контролю	100	98,8
Масса печени, г	58 $\pm$ 5,2	62 $\pm$ 4,4
% к контролю	100	106,9
Масса сердца, г	10,5 $\pm$ 0,27	11,7 $\pm$ 1,00
% к контролю	100	111,4
Масса желудка, г	20,3 $\pm$ 1,91	21,5 $\pm$ 0,91
% к контролю	100	105,9
56-сутки		
Убойный выход потрошенной тушки, %	69,7	72,1
% к контролю	100	103,4
Масса тушки, г	3573 $\pm$ 46,2	3945 $\pm$ 56,7*
% к контролю	100	110,4
Абдоминальный жир по отношению к живой массе, %	2,17	2,10
% к контролю	100	96,8
Масса печени, г	84,7 $\pm$ 5,08	94,7 $\pm$ 4,17
% к контролю	100	111,8
Масса сердца, г	18,7 $\pm$ 0,42	23,0 $\pm$ 1,50
% к контролю	100	122,99
Масса желудка, г	29,0 $\pm$ 1,50	29,7 $\pm$ 0,83
% к контролю	100	102,4

*Примечание: различия статистически значимы при $p \leq 0,05$

Нами также была замечена одна очень интересная особенность: при осмотре ног цыплят не было обнаружено никаких дефектов (рисунок 11).

Сохранение здоровья подушечек ног нередко становится проблемой при напольном содержании бройлеров и индеек, а также птицы родительских стад. Особенно часто болезненные поражения ног возникают при длительном нахождении птицы на влажной подстилке с высоким содержанием аммиака. Влага размягчает подушечки ног, что делает их более подверженными повреждению. При осмотре птицы отмечают некротическое воспаление кожи и подлежащих тканей на подошве ног. Тяжесть протекания зависит от степени

поражения. Она может быть разной: от отдельных повреждений поверхности подушечек ног до инфицирования вышележащих тканей, сухожилий и суставов ног. В наиболее тяжелых случаях возникают намины.



Рисунок 11 – Ноги цыплят-бройлеров исследуемых групп в 36- и 56-суточном возрасте.

При этом птица начинает мало двигаться, переминается с ноги на ногу, выглядит угнетенной, потребляет меньше корма и воды. Все это становится причиной ухудшения продуктивности поголовья и может грозить вспышкой бактериальной инфекции, что вызывает беспокойство у производителей.

2.2.1.4 Оценка безопасности воздействия электромагнитного излучения на внутренние органы (гистологические исследования)

Для определения воздействия электромагнитного излучения на ткани цыплят-бройлеров было проведено гистологическое исследование.

Сердце. Миокард сформирован поперечнополосатой сердечной мышечной тканью, структурной единицей которой является кардиомиоцит [10]. В контрольной группе гистологическая картина миокарда характеризовалась рядом патологических изменений. Наблюдались точечные кровоизлияния между пучками кардиомиоцитов, а у 30 % особей – обширные геморрагии. Отмечалось наличие жировых включений, преимущественно периваскулярных и субэпикардиальных. Ядра кардиомиоцитов в основном соответствовали норме, однако изредка встречались гипертрофированные ядра с маргинацией хроматина. Также выявлялась волнообразная деформация мышечных волокон (рисунок 12).

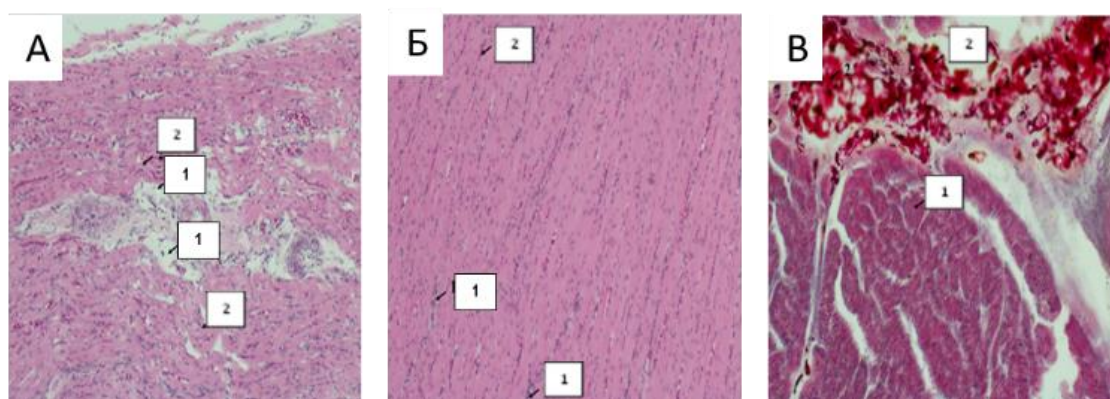


Рисунок 12 – Микрофотография фрагмента сердца цыпленка-бройлера (контроль): А - Окраска галлоцианин-эозином, x100 (1 - жировые включения; 2 - волнообразная деформация кардиомиоцитов). Б - Окраска галлоцианин-эозином, x100 (1 – воспалительная инфильтрация; 2 - скопление эритроцитов). В - Окраска на липиды жирowym красным по Лилли, x100 (1 – мышечная ткань; 2 – жировая ткань).

В опытной группе общая гистоархитектоника сердца (эндокард, миокард, эпикард) была сохранена. Поперечная исчерченность кардиомиоцитов прослеживалась отчетливо. Сосуды были полнокровны (рисунок 13). Тем не

менее, у всех птиц этой группы также обнаруживались признаки патологии: лимфомакрофагальная воспалительная инфильтрация, мелкие кровоизлияния (с обширными у 10 % особей) и жировые включения в миокарде обоих желудочков и межжелудочковой перегородки.

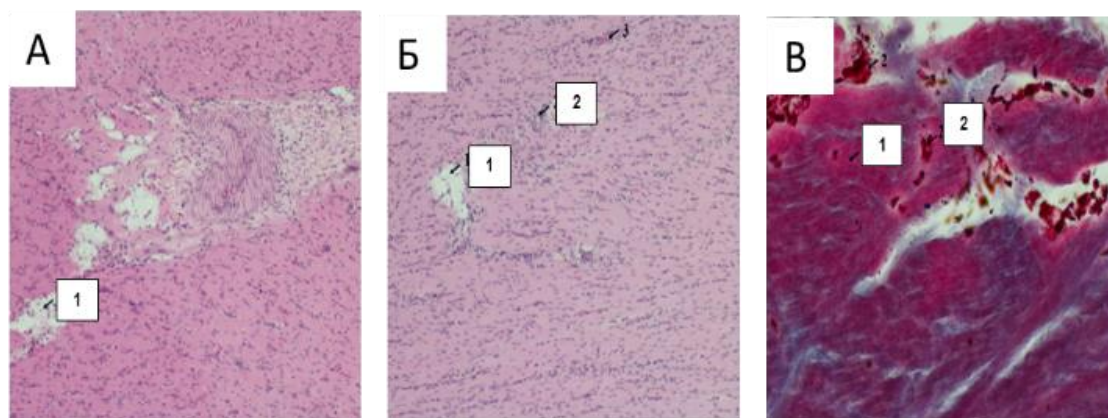
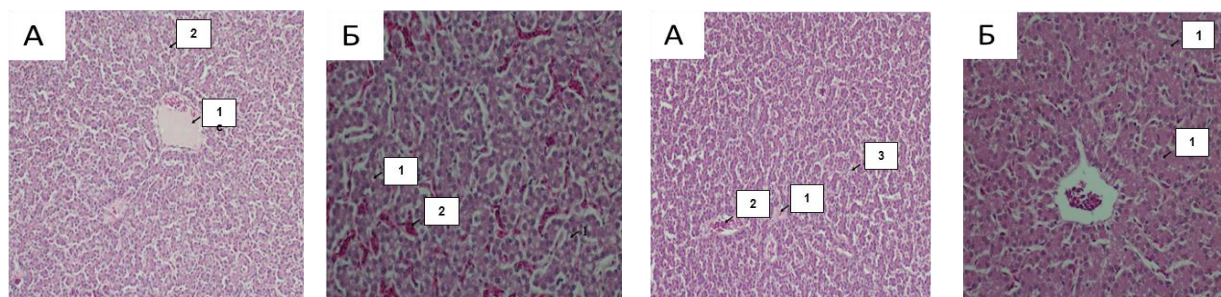


Рисунок 13 – Микрофотография фрагмента сердца цыпленка-бройлера (опыт): А - Окраска галлоцианин-эозином, х100 (1 - жировые включения). Б - Окраска галлоцианин-эозином, х100 (1 – жировые включения; 2 – воспалительная инфильтрация; 3 - скопление эритроцитов). В - Окраска на липиды жировым красным по Лилли, х100 (1 – мышечная ткань; 2 – жировая ткань).

Печень. Гистоархитектоника печени у птиц обеих групп была сохранена, печеночные дольки хорошо определялись. Общими для контрольной и опытной групп были признаки полнокровия центральных вен, сосудов портальных трактов и синусоидов, а также наличие участков лимфомакрофагальной инфильтрации и плазмостазов. Во всех образцах наблюдалось неравномерное расширение пространств Диссе и полиморфизм ядер гепатоцитов, где наряду с нормальными отмечались клетки с гиперхромными, пикнотичными и полиплоидными ядрами. Междольковые соединительнотканые прослойки были тонкими и слабо выраженными у всех животных (рисунок 14).

Ключевые отличия состояли в выраженности дистрофических процессов. В контрольной группе у всех животных выявлялись очаги средне- и крупнокапельной гидропической дистрофии гепатоцитов, а также слабо

выраженная жировая дистрофия. В опытной группе гидропическая дистрофия была менее выражена по сравнению с контролем.



Контроль

А - Окраска галлоцианин-эозином, x100 (1 – плазмостаз; 2 - расширение перисинусоидальных пространств Диссе).
Б - Окраска галлоцианин-эозином, x200 (1 – гидропическая дистрофия гепатоцитов; 2 – скопление эритроцитов)

Опыт

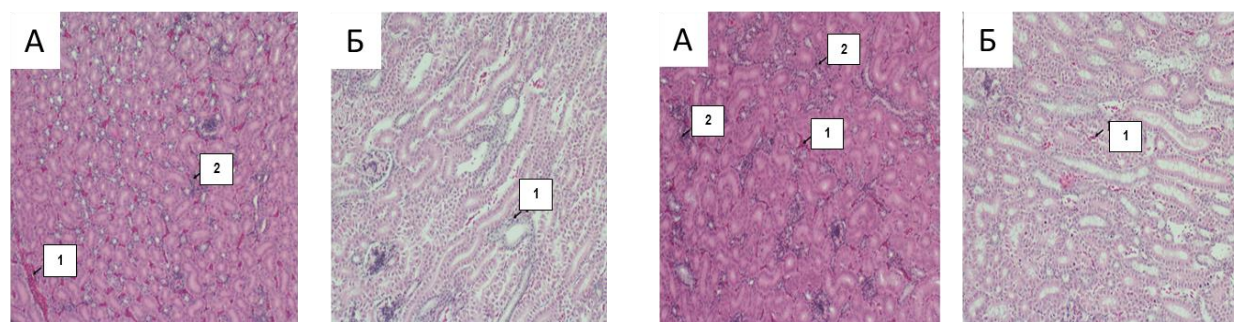
А - Окраска галлоцианин-эозином, x200 (1 – плазмостаз; 2 – скопление эритроцитов; 3 - расширение перисинусоидальных пространств Диссе).
Б - Окраска галлоцианин-эозином. Увеличение x200 (1 – менее выражена гидропическая дистрофия гепатоцитов)

Рисунок 14 – Микрофотографии фрагмента печени цыпленка-бройлера.

Почки. Микроскопическое строение почек птиц в контрольной группе соответствовало норме, с четким разделением на корковое и мозговое вещество [10]. В основе структуры лежали нефроны, состоящие из почечных телец и системы канальцев, переходящих в собирательные трубочки. Однако гистологическая картина имела выраженные патологические признаки. Капилляры клубочков и сосуды стромы были полнокровны, а капсулы Шумлянско-Боумана содержали клеточные элементы крови. В паренхиме обоих слоев почки повсеместно наблюдались воспалительная лимфомакрофагальная инфильтрация, а также очаги кровоизлияний различной величины, эритростазы и плазмостазы. Эпителий многих почечных канальцев был вакуолизирован, а их ядра имели гиперхромный характер (рисунок 15).

При исследовании образцов почек птиц из опытной группы была выявлена сходная патологическая картина. Также отмечалось полнокровие сосудов, наличие кровоизлияний, воспалительной инфильтрации, эритро- и плазмостазов в корковом и мозговом веществе. Эпителий канальцев в этой группе аналогично

демонстрировал вакуолизацию цитоплазмы и гиперхромную ядра. Таким образом, существенных различий в характере и степени поражения почечной ткани между группами выявлено не было (рисунок 15).



Контроль

Опыт

Окраска галлоцианин-эозином. А – коркового вещества, x100 (1 – кровоизлияние; 2 - воспалительная инфильтрация). Б – мозгового вещества, x100 (1 – воспалительная инфильтрация)

Окраска галлоцианин-эозином. А – коркового вещества, x100 (1 – скопление эритроцитов; 2 - воспалительная инфильтрация). Б – мозгового вещества, x100 (1 – скопление эритроцитов)

Рисунок 15 – Микрофотографии фрагмента мозгового вещества почки цыпленка-бройлера.

Таким образом, проведённый гистологический анализ не выявил значимых структурных различий в состоянии тканей внутренних органов (сердца, печени, почек) между контрольной группой и группой, подвергавшейся воздействию электромагнитного излучения. В обеих группах наблюдались схожие возрастные или фоновые патологические изменения, выраженность которых не имела достоверной разницы. Отсутствие дополнительных негативных морфологических изменений в опытной группе на фоне зафиксированного улучшения продуктивных показателей позволяет считать, что применённый режим воздействия электромагнитных полей не оказывает повреждающего действия на гистологическую структуру исследуемых органов. Это является важным условием для оценки безопасности метода.

Проведённый на первом этапе комплексный эксперимент, объединивший оценку продуктивных качеств, физиологического статуса и безопасности

воздействия, позволил получить целостное представление о влиянии электромагнитного излучения на организм цыплят-бройлеров в нормальных условиях содержания.

Подбор и обоснование режимов воздействия. В ходе эмпирического скрининга установлено, что применение 15-минутного непрерывного воздействия в первые сутки жизни вызывает у цыплят выраженную стресс-реакцию (угнетение, скучивание, снижение активности), что потребовало немедленной коррекции. После 24-часового перерыва поведенческие реакции полностью нормализовались. Дальнейшее применение щадящего режима (3 мин / 57 мин) в возрасте 3–21 сутки и последующий переход на усиленный режим (3 мин / 27 мин) с 22-х суток до конца выращивания не вызывали каких-либо клинических признаков стресса. Напротив, у птицы опытной группы отмечалось более активное поведение, улучшение аппетита и оперяемости. Таким образом, была обоснована и апробирована двухфазная схема воздействия, учитывающая возрастные физиологические особенности цыплят: щадящий режим в период становления пищеварительной функции (1–21 сутки) и режим усиленной стимуляции в период интенсивного роста (22–56 сутки).

Влияние на продуктивные показатели. Применение электромагнитного излучения в выбранном режиме оказало выраженное положительное влияние на зоотехнические показатели. Начиная с 22-дневного возраста, у цыплят опытной группы наблюдалось стабильное и возрастающее превосходство по живой массе и среднесуточному приросту. К 36-му дню преимущество по живой массе составило 3,6%, по среднесуточному приросту – 3,7%, при одновременном снижении потребления корма на 3,7 % и улучшении конверсии корма на 7,0 %. К моменту убоя (56 суток) разница по живой массе достигла 4,6 %, убойный выход потрошёной тушки увеличился на 3,4 %, а доля абдоминального жира оставалась стабильно ниже контрольных значений на протяжении всего опыта.

Морфо-биохимический статус крови. Анализ гематологических показателей не выявил патологических отклонений; все изученные параметры находились в пределах физиологической нормы для данного вида и возраста

птицы. При этом в опытной группе отмечено более благоприятное соотношение гетерофилов к лимфоцитам (индекс Г/Л) в заключительный период выращивания, что свидетельствует о лучшей стрессоустойчивости и более стабильном иммунном статусе. Биохимические показатели крови (общий белок, активность щелочной фосфатазы, содержание кальция и фосфора) также оставались в пределах нормы, однако в 36-суточном возрасте у опытных цыплят зафиксировано статистически значимое снижение уровня холестерина и триглицеридов, что может рассматриваться как благоприятный фактор, снижающий риск метаболических нарушений.

Оценка безопасности (гистологические исследования). Ключевым результатом I этапа стало подтверждение безопасности применённых режимов электромагнитного излучения. Морфологический анализ сердца, печени и почек не выявил специфических патологических изменений, которые можно было бы связать с воздействием электромагнитного излучения. Наблюдавшиеся в обеих группах дистрофические изменения, признаки полнокровия сосудов и очаговой воспалительной инфильтрации носили фоновый характер, были сопоставимы по степени выраженности и, вероятно, обусловлены возрастными процессами, условиями содержания или методом забора материала. Отсутствие дополнительных негативных морфологических изменений в опытной группе на фоне зафиксированного улучшения продуктивных показателей является важным критерием физиологической обоснованности и безопасности предложенного метода.

Таким образом, на первом этапе исследований была разработана и апробирована двухфазная схема электромагнитного воздействия (3 мин / 57 мин в возрасте 1–21 сутки и 3 мин / 27 мин в возрасте 22–56 сутки), доказавшая свою эффективность в отношении повышения продуктивных качеств цыплят-бройлеров. Установлено, что данный режим не оказывает негативного влияния на морфо-биохимический статус крови и гистологическое строение внутренних органов, что позволяет рассматривать его как безопасный и физиологически обоснованный для применения в промышленном птицеводстве. Полученные на I

этапе данные послужили основой для планирования II этапа исследований, направленного на изучение механизмов корректирующего действия электромагнитного излучения в условиях теплового стресса.

2.2.2 Результаты II этапа: изучение механизмов корректирующего действия электромагнитного излучения на пищеварение и метаболизм цыплят-бройлеров в условиях теплового стресса

На втором этапе исследований, выполненном в 2024 г. на базе учебно-производственного птичника РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, основной задачей являлось изучение физиологических механизмов, посредством которых электромагнитное излучение влияет на пищеварительную систему и обмен веществ у цыплят-бройлеров. В отличие от первого этапа, где воздействие оценивалось в оптимальных условиях содержания, этот эксперимент проводился на фоне моделируемого теплового стресса - одного из наиболее распространённых патогенных факторов в промышленном птицеводстве. Такой подход позволил не только оценить эффективность применения электромагнитного излучения в неблагоприятных условиях, но и выявить ключевые звенья метаболической адаптации, лежащие в основе повышения продуктивности.

В ходе эксперимента на цыплятах кросса «Смена 9» с использованием фистульной технологии исследовали динамику активности пищеварительных ферментов (трипсина, амилазы, липазы, щелочной фосфатазы) и минерального состава дуоденального химуса, а также комплекс биохимических показателей крови. Параллельно оценивали зоотехнические параметры - сохранность, живую массу, потребление корма и его конверсию. Совокупность полученных данных позволила исследовать корректирующее действие электромагнитного излучения и обосновать его применение в стрессовых условиях содержания.

2.2.2.1 Характеристика модели теплового стресса и его влияние на продуктивные показатели

Для изучения корригирующего действия электромагнитного излучения (ЭМИ) в условиях, приближенных к реальным производственным, на втором этапе исследований была создана экспериментальная модель теплового стресса. Моделирование проводили в течение первых трёх недель выращивания цыплят-бройлеров (с 1-х по 21-е сутки), так как этот период является критическим для становления пищеварительной функции, терморегуляции и иммунной системы.

Параметры микроклимата. В помещении птичника поддерживали повышенную температуру воздуха на уровне $+30^{\circ}\text{C}$, что соответствует условиям острого теплового стресса для цыплят данного возраста (рекомендуемая температура в этот период согласно технологическим нормативам составляет: 1–7 сутки – $28...32^{\circ}\text{C}$, 8–14 сутки – $26...28^{\circ}\text{C}$, 15–21 сутки – $24...26^{\circ}\text{C}$). Относительная влажность воздуха составляла 65–70 %. Контроль параметров микроклимата осуществляли ежедневно с помощью цифровых термогигрометров, размещённых на уровне нахождения птицы. Выбранный режим температур моделировал типичную для многих регионов ситуацию «волны тепла» в летний период, которая часто приводит к значительным экономическим потерям в птицеводстве.

Клинические признаки стресса. Уже на 2–3-и сутки эксперимента у цыплят контрольной группы были зафиксированы характерные признаки теплового стресса: учащённое дыхание с открытым клювом (полипноэ), опускание и отведение крыльев в стороны (увеличение поверхности теплоотдачи), повышенное потребление воды, снижение двигательной активности и стремление к скучиванию в углах клеток. У части особей отмечалось взъерошивание оперения. Выборочное измерение ректальной температуры на 8, 18 и 22-е сутки подтвердило наличие гипертермии: у цыплят обеих групп в 15-суточном возрасте средняя температура тела составляла $41,9 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, что превышает верхнюю границу физиологической нормы ($41,5^{\circ}\text{C}$). В опытной

группе, подвергавшейся воздействию электромагнитного излучения по двухфазной схеме (3 мин / 57 мин в 1–21 сутки), клинические признаки стресса были выражены слабее: птица сохраняла более высокую двигательную активность, полипноэ возникало позже и было менее интенсивным, потребление корма снижалось в меньшей степени (Приложение А).

Влияние на продуктивные показатели. Тепловой стресс оказал выраженное негативное влияние на рост и развитие цыплят, особенно в контрольной группе. Основные учитываемые показатели для птицы мясного направления: живая масса, среднесуточный прирост (г), сохранность поголовья (%), затраты корма на 1 кг прироста живой массы (кг) [32]. Во время всего опыта сохранность в обеих группах оставалась 100 %. Результаты представлены в таблице 11.

Нормативы отражены в Приложении Б.

Таблица 11 – Зоотехнические показатели цыплят в онтогенезе ($m \pm SD$, $n=40$)

Показатель	Контроль	Опыт
Сохранность поголовья, %	100	100
Живая масса в: суточном возрасте, г	41,05 $\pm$ 0,61	41,08 $\pm$ 0,59
% к контролю	100	100
8-суточном возрасте, г	134,1 $\pm$ 2,36	132,1 $\pm$ 2,10
% к контролю	100	98,51
Среднесуточный прирост живой массы, г	13,29	13,00
% к контролю	100	97,81
Потребление корма на 1 голову за период выращивания, г	155	155
% к контролю	100	100
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	1,66	1,70
% к контролю	100	102,41
15-суточном возрасте, г	449,4 $\pm$ 8,56	423,9 $\pm$ 7,35
% к контролю	100	94,33
Среднесуточный прирост живой массы, г	29,17	27,34
% к контролю	100	93,73
Потребление корма на 1 голову за период выращивания, г	605	605
% к контролю	100	100
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	1,48	1,58
% к контролю	100	106,76

Показатель	Контроль	Опыт
18-суточном возрасте, г (выборочно 10 голов)	612,7±20,31	586,6±6,96
% к контролю	100	95,74
Среднесуточный прирост живой массы, г	33,63	32,09
% к контролю	100	95,42
Потребление корма на 1 голову за период выращивания, г	875	875
% к контролю	100	100
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	1,53	1,60
% к контролю	100	104,58
21-суточном возрасте, г	701,5±13,93	788,6±14,37*
% к контролю	100	112,42
Среднесуточный прирост живой массы, г	33,02	37,38
% к контролю	100	113,20
Потребление корма на 1 голову за период выращивания, г	1205	1205
% к контролю	100	100
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	1,82	1,61
% к контролю	100	88,46
29-суточном возрасте, г	1111,7±23,31	1279,2±28,49*
% к контролю	100	115,07
Среднесуточный прирост живой массы, г	38,24	44,22
% к контролю	100	115,64
Потребление корма на 1 голову за период выращивания, г	2180	2280
% к контролю	100	104,59
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	2,03	1,84
% к контролю	100	94,3
35-суточном возрасте, г (выборочно по 10 голов)	1571,1±51,00	1841,1±65,86*
% к контролю	100	117,19
Среднесуточный прирост живой массы, г	45,00	52,94
% к контролю	100	117,64
Потребление корма на 1 голову за период выращивания, г	2930	3160
% к контролю	100	107,85
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	1,91	1,76
% к контролю	100	92,15
41-суточном возрасте, г	1795,45±25,57	2146,34±40,42*
% к контролю	100	119,54
Среднесуточный прирост живой массы, г	43,86	52,63
% к контролю	100	120,00
Потребление корма на 1 голову за период выращивания, кг	3710	4050
% к контролю	100	109,16
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	2,11	1,93
% к контролю	100	91,47

*Примечание: Различия статистически значимы при $p \leq 0,05$, здесь и далее

Из таблицы следует, что в возрасте до 20 суток не отмечается значительной разницы в живой массе цыплят, их приросте, а также объеме потребляемого корма. Начиная с 21-дневного возраста в опытной группе зафиксирован значительный прирост живой массы. По сравнению с контролем, абсолютная масса тела цыплят была выше на 12,4 %, а показатель среднесуточного привеса – на 13,2 %, что указывает на усиление аппетита и общего уровня метаболизма.

Данная положительная динамика сохранялась и усиливалась на протяжении всего последующего периода выращивания. К 29 суткам преимущество по массе достигло 15 %, а по среднесуточному приросту – 15,6 %. К 35-м суткам разрыв увеличился до 17 % и 17,6 % соответственно.

Максимальное отставание контрольной группы было отмечено на 41-е сутки, накануне убоя: разница в живой массе составила 19,5 %, а в суточном приросте – 20 %.

В 21 день у опытных цыплят снижается конверсия корма на 11,5 %, что говорит о повышенной метаболической активности, а потребление корма увеличивается – на 5,9 % к 29 дню по сравнению с контрольной группой и далее, что поддерживает рост. В дальнейшем эта тенденция сохраняется – 9,3 % по конверсии в возрасте 29 дней, 7,9 % в возрасте 35 дней, 8,5 % в возрасте 41 дня, накануне убоя.

То есть, начиная с 21-дневного возраста, применение электромагнитного излучения при тепловом стрессе достоверно увеличивает живую массу цыплят и снижает конверсию корма, что свидетельствует о повышении эффективности усвоения питательных веществ.

Разницу в массе птицы после убоя можно оценить визуально на рисунках 16-19.



16. После убоя – опытная группа



17. После убоя – контрольная группа



18. Контрольный (сверху) и опытный (снизу) цыпленок



19. Контрольный (сверху) и опытный (снизу) цыпленок

Рисунки 16-19 – Тушки цыплят после убоя

Для углублённого изучения механизмов пищеварения части цыплят (по 10 голов из каждой группы) в возрасте 20-22 суток были наложены дуоденальные фистулы. У этих особей прослеживалась аналогичная тенденция (таблица 12): к

43-м суткам живая масса цыплят опытной группы была на 13,4 % выше ($p \leq 0,05$), чем в контроле, при одинаковом потреблении корма. Это дополнительно подтверждает, что повышение продуктивности связано не с увеличением потребления корма, а с улучшением его переваримости и всасывания.

Таблица 12 – Зоотехнические показатели прооперированных цыплят

Показатель	контрольная	опытная
21-суточном возрасте, перед операцией, г	670,5±34,63	742,9±36,34
% к контролю	100	110,80
Среднесуточный прирост живой массы, г	31,47	35,09
% к контролю	100	111,5
Потребление корма на 1 голову за период выращивания, кг	1205	1205
% к контролю	100	100
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	1,91	1,72
% к контролю	100	90,05
31-суточном возрасте, г (по 4 головы)	710,0±26,50	858,0±56,79*
% к контролю	100	120,85
Среднесуточный прирост живой массы, г	22,3	27,23
% к контролю	100	122,11
Потребление корма на 1 голову за период выращивания, кг	1855	1855
% к контролю	100	100
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	2,77	2,27
% к контролю	100	81,95
43-суточном возрасте, г	1413,0±66,21	1602,0±63,01*
% к контролю	100	113,38
Среднесуточный прирост живой массы, г	58,58	62,00
% к контролю	100	105,84
Потребление корма на 1 голову за период выращивания, кг	3165	3165
% к контролю	100	100

*Примечание: Различия статистически значимы при $p \leq 0,05$

Сравнение полученных данных с нормативными показателями для кросса «Смена-9» (Приложение Б) показало, что в контрольной группе на протяжении всего эксперимента наблюдалось существенное отставание по живой массе. Так, к 35-м суткам масса цыплят контроля составляла лишь 85% от норматива, тогда как в опытной группе этот показатель достиг 96% (рисунок 20). К 41-м суткам отставание контроля усугубилось (79% от норматива), в то время как опытная

группа сохраняла массу на уровне 92% от нормативной. Таким образом, применение электромагнитного излучения позволило частично компенсировать негативное влияние теплового стресса и приблизить продуктивные показатели к целевым значениям, заложенным генетическим потенциалом кросса.

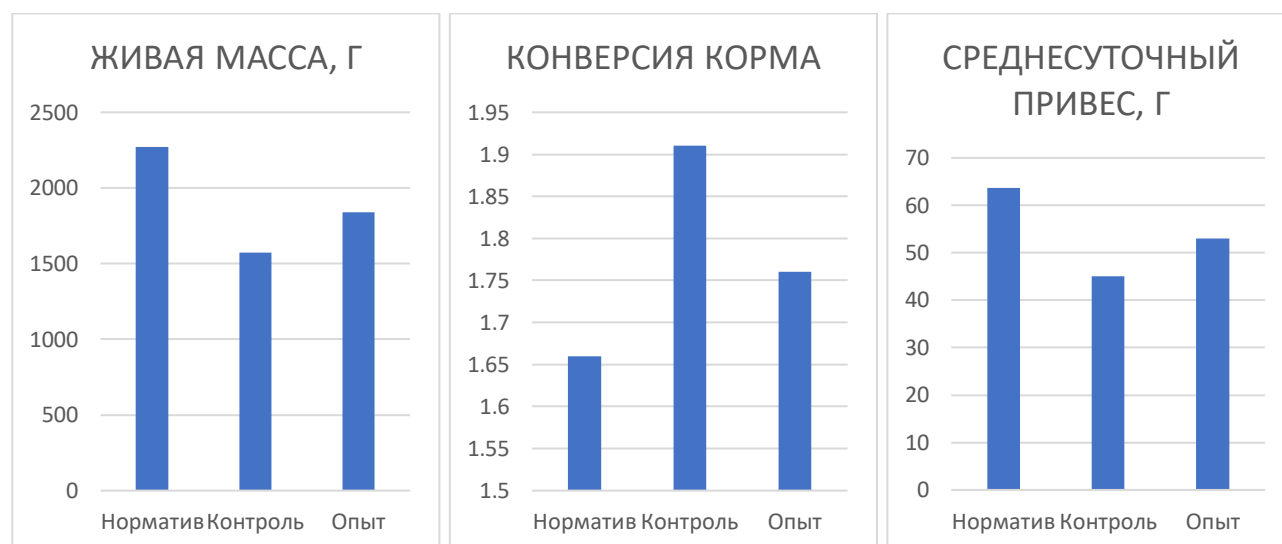


Рисунок 20 – Сравнение зоотехнических показателей на 35 день выращивания

Модель теплового стресса, созданная путём поддержания температуры +30°C в первые три недели жизни, оказалась адекватной и воспроизводимой: у цыплят контрольной группы развились характерные клинические и продуктивные признаки стресс-реакции. Применение двухфазной схемы электромагнитного излучения (3 мин / 57 мин в 1–21 сутки и 3 мин / 27 мин с 22-х суток) обеспечило достоверное повышение живой массы, среднесуточного прироста и улучшение конверсии корма на всём протяжении эксперимента. Наиболее выраженный эффект отмечен в период после 21-х суток, что совпадает с переходом на усиленный режим воздействия и свидетельствует о его высокой эффективности в условиях стресса. Полученные данные создают основу для дальнейшего анализа механизмов, лежащих в основе наблюдаемых изменений.

2.2.2.2 Активность пищеварительных ферментов и минеральный состав дуоденального содержимого

Для исследования механизмов влияния электромагнитного излучения на продуктивные качества бройлеров в качестве ключевого критерия была выбрана активность пищеварительных ферментов двенадцатиперстной кишки: амилазы, липазы, трипсина и щелочной фосфатазы. В условиях стресса генетический потенциал птицы не раскрывается полностью, и важно найти методы скомпенсировать это негативное влияние. Ключевую роль в пищеварении играет активность пищеварительных ферментов, и анализ ферментов помогает оценить, насколько эффективным становится усвоение питательных веществ под воздействием электромагнитного излучения.

Секреторная активность поджелудочной железы у цыплят-бройлеров характеризуется выраженными суточными колебаниями. Основным физиологическим стимулом, индуцирующим панкреатическую секрецию, является кормление. Наиболее интенсивный ферментативный ответ наблюдается в утренние часы после первого приема корма, следующего за ночным периодом голодания. Характерной особенностью цыплят-бройлеров является высокий уровень экзокринной функции поджелудочной железы.

Трипсин, традиционно считающийся ферментом, синтезируемым преимущественно в поджелудочной железе, широко распространяется и экспрессируется в различных тканях организма, включая кожу, желудочно-кишечный тракт, легкие, печень, селезенку и даже нервные клетки мозга. В селезенке активность трипсина была обнаружена в макрофагах, моноцитах и лимфоцитах в белой пульпе, а в головном мозге – в нервных клетках гиппокампа и коры головного мозга. Эта универсальность обуславливает его роль не только в пищеварении, но и в регуляции воспалительных процессов, свертывания крови и функции иммунных клеток, а также участвует в избирательном расщеплении некротизированных тканей. Исследования также демонстрируют, что активность

трипсина может служить важным индикатором обменных процессов и состояния организма в целом и изменяется в онтогенезе (таблица 13).

Из таблицы можно сделать вывод о возрастной динамике активности трипсина. На 33-е сутки у цыплят контрольной группы данный показатель был выше, чем в опытной: на 9 % через час после кормления и на 14 % через два часа. Однако начиная с 36-го дня ситуация изменилась. Активность трипсина в опытной группе через час после приема корма стала превышать контрольные значения. С 37-го дня это превышение отмечалось как через час, так и через два часа после кормления.

Таблица 13 – Активность трипсина в химусе цыплят, ед/л ($m \pm SEM$, $n=10$)

Сутки	Время			
	1 час после кормления		2 часа после кормления	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
33 сутки	144,29±6,16	131,01±16,09	223,91±4,85	193,04±11,07*
34 сутки	185,01±2,68	193,55±2,61*	146,74±5,5	124,39±17,01
35 сутки	147,17±18,95	132,48±13,46	113,24±11,37	129,12±13,92
36 сутки	90,42±4,96	171,98±28,78*	129,27±4,53	105,99±2,28**
37 сутки	118,82±21,01	160,96±25,62	130,25±11,34	163,40±23,68
38 сутки	67,39±7,00	126,29±17,23**	116,63±6,34	146,28±11,47*
39 сутки	106,27±3,98	127,35±16,07	186,65±0,95	161,56±22,39
40 сутки	140,95±13,73	155,10±14,17	139,85±0,88	154,77±10,20
Среднее	125,04±13,11	149,62±11,15	148,32±13,48	147,32±9,61

*Примечание: Различия статистически значимы при $p \leq 0,05$

По итогам опыта результаты в опытной группе через 1 час после кормления превышают контрольную на 19,2 %, тогда как через 2 часа результаты примерно равны. Это свидетельствует об усиленной сложнорефлекторной регуляции пищеварения на прием корма, в первую очередь реакции рецепторов в ротовой полости.

Амилаза – ключевой фермент, отвечающий за гидролиз крахмала и углеводов, и её активность напрямую связана с эффективностью пищеварения и продуктивностью птицы. Современные методы оценки включают использование показателей активности амилазы и микробиологического состава кишечника. У цыплят наблюдаются два основных периода изменения активности амилазы: в первый – с рождения до 14 суток – фиксируется снижение активности фермента к 7-дневному возрасту, а затем подъем; во второй – с 14 до 35 суток – происходит повторное снижение, за которым следует рост активности. Такой динамический паттерн отражает адаптацию пищеварительной системы к изменяющимся потребностям организма. Наши результаты (таблица 14) полностью совпадают с литературными данными: в химусе контрольных и опытных цыплят действительно отражается повышение до 35 дня жизни, а потом снижение активности фермента.

Таблица 14 – Активность амилазы в химусе цыплят, ед/л ($m \pm SEM$, $n=10$)

Сутки	Время			
	1 час после кормления		2 часа после кормления	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
33 сутки	2236,84 $\pm$ 351,66	3224,66 $\pm$ 315,23	3343,15 $\pm$ 488,40	6937,85 $\pm$ 1025,20
34 сутки	2771,01 $\pm$ 27,79	2888,73 $\pm$ 355,40	2308,15 $\pm$ 378,44	3041,96 $\pm$ 787,10
35 сутки	1131,93 $\pm$ 237,24	1551,58 $\pm$ 150,44	871,14 $\pm$ 181,40	2687,14 $\pm$ 538,10**
36 сутки	460,00 $\pm$ 11,28	932,91 $\pm$ 204,68	1138,60 $\pm$ 190,69	1398,45 $\pm$ 71,13
37 сутки	2136,35 $\pm$ 6,96	1895,69 $\pm$ 51,68**	2176,64 $\pm$ 2,08	2136,99 $\pm$ 7,21**
38 сутки	1135,56 $\pm$ 53,60	6608,37 $\pm$ 1498,00**	4649,50 $\pm$ 1669,70	9642,67 $\pm$ 2074,80
39 сутки	1579,00 $\pm$ 327,69	3748,44 $\pm$ 964,57*	1143,95 $\pm$ 62,30	6507,67 $\pm$ 3007,33**
40 сутки	3294,02 $\pm$ 684,30	2902,02 $\pm$ 510,40	3530,02 $\pm$ 57,22	9983,71 $\pm$ 1807,50**
Среднее	1843,09 $\pm$ 332,60	2969,05,69 $\pm$ 615,70	2395,14 $\pm$ 477,90	5292,04 $\pm$ 1210,70*

*Примечание: Различия статистически значимы при $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$

У опытных цыплят активность амилазы в химусе на всех этапах эксперимента существенно выше, чем у контрольных, причем к 38 суткам

разница достигла максимума – 582 % через час и 207 % через два часа после кормления. Это говорит о более высокой эффективности гидролиза углеводов в опытной группе.

Липаза в кишечнике бройлеров играет важную роль в расщеплении жиров, позволяя организму эффективно усваивать жирные кислоты и глицерин. В возрастной динамике у птиц отмечается пик активности липазы около 21 дня, после чего наблюдается снижение, что связано с изменением состава рациона, содержащего больше сырых жиров, и возможным подавлением секреторной функции поджелудочной железы при высоком потреблении жира (таблица 15).

Таблица 15 – Активность липазы в химусе цыплят, ед/л ($m \pm SEM$, $n=10$)

Сутки	Время			
	1 час после кормления		2 часа после кормления	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
33 сутки	749,60 $\pm$ 191,7	1372,30 $\pm$ 236,90	1444,50 $\pm$ 205,30	1508,19 $\pm$ 261,10
34 сутки	939,51 $\pm$ 81,00	1030,31 $\pm$ 163,90	920,60 $\pm$ 77,80	1769,21 $\pm$ 350,50*
35 сутки	897,66 $\pm$ 54,30	1205,40 $\pm$ 71,00*	814,50 $\pm$ 38,10	1006,50 $\pm$ 49,60**
36 сутки	1048,91 $\pm$ 111,90	1937,10 $\pm$ 341,00*	1597,50 $\pm$ 238,00	1222,10 $\pm$ 90,30
37 сутки	1120,83 $\pm$ 18,30	2227,52 $\pm$ 433,90*	1167,10 $\pm$ 50,60	2747,81 $\pm$ 538,90**
38 сутки	1388,98 $\pm$ 41,90	2399,36 $\pm$ 335,00**	1714,70 $\pm$ 202,80	2931,00 $\pm$ 341,60**
39 сутки	1645,91 $\pm$ 41,90	2269,00 $\pm$ 306,00	1834,80 $\pm$ 469,30	2286,30 $\pm$ 520,60
40 сутки	1512,10 $\pm$ 125,78	1539,89 $\pm$ 255,01	1219,80 $\pm$ 38,40	2182,10 $\pm$ 345,40
Среднее	1162,94 $\pm$ 112,80	1747,61 $\pm$ 186,90*	1339,19 $\pm$ 130,90	1956,65 $\pm$ 246,90*

*Примечание: Различия статистически значимы при $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$

Результаты исследования показывают, что с возрастом и в ходе развития функции фермента наблюдается тенденция к увеличению его активности. В опытной группе этот рост выражен заметнее: через час после кормления уровень липазы был примерно на 50 % выше, а через два часа – на 46 %, что свидетельствует о более активной регуляции жирового обмена и более эффективной адаптации пищеварительной системы к стрессу.

Щелочная фосфатаза в кишечнике бройлеров выполняет важные функции в процессе обмена веществ и метаболизма, участвуя в гидролизе фосфатных соединений и способствуя улучшению усвоения минералов, таких как фосфор. Оптимальный уровень этого фермента свидетельствует о хорошем состоянии кишечника, повышенная активность щелочной фосфатазы может указывать на ускоренную реставрацию тканей или повышенную нагрузку на кишечник, в то время как низкий уровень может сигнализировать о недостатке минералов или нарушениях в обменных процессах.

Кишечная щелочная фосфатаза играет ключевую роль в поддержании гомеостаза и защите кишечника, а также в подавлении воспаления посредством подавления нижестоящего воспалительного каскада, дефосфорируя токсичные/воспалительные микробные липополисахариды. Дефосфорилирование липополисахаридов может защищать организм от вторжения бактерий через слизистый барьер кишечника и восстановить нормальную микробиоту. Уровень щелочной фосфатазы возрастает в периоды интенсивного роста цыплят, что соответствует повышенной необходимости в минералах для укрепления кишечных структур и поддержания сопротивляемости воспалению. Как отражено в таблице 16, на протяжении роста цыплят с 33 по 40 день наблюдается увеличение активности щелочной фосфатазы в слизистой кишечника цыплят.

За весь период исследования уровень щелочной фосфатазы в химусе опытных цыплят был значительно выше, на 72 % через час и на 86 % через два часа после кормления по сравнению с контрольной группой. Такие данные означают, что функция кишечника повышена у опытных цыплят, происходит более активный транспорт фосфатов. Пищеварительная система адаптируется, укрепляется слизистый барьер – то есть развитие и созревание желудочно-кишечного тракта происходит более интенсивно.

Таблица 16 – Активность щелочной фосфатазы в химусе цыплят, ед/л
($m \pm SEM$, $n=10$)

Сутки	Время			
	1 час после кормления		2 часа после кормления	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
33 сутки	875,85 $\pm$ 69,24	2856,39 $\pm$ 256,41**	678,53 $\pm$ 95,70	1226,30 $\pm$ 168,30**
34 сутки	2273,32 $\pm$ 214,09	2945,84 $\pm$ 427,34	1778,57 $\pm$ 22,54	3308,20 $\pm$ 489,12**
35 сутки	2483,87 $\pm$ 217,38	3547,53 $\pm$ 200,57**	1285,04 $\pm$ 54,71	2089,52 $\pm$ 41,40**
36 сутки	1979,02 $\pm$ 109,00	4744,50 $\pm$ 754,90***	1415,70 $\pm$ 146,25	2633,50 $\pm$ 445,22**
37 сутки	1738,56 $\pm$ 270,32	2939,13 $\pm$ 384,92*	1500,01 $\pm$ 163,53	2983,02 $\pm$ 346,37*
38 сутки	1286,94 $\pm$ 53,71	3742,72 $\pm$ 205,18**	1287,50 $\pm$ 257,80	3264,70 $\pm$ 639,01*
39 сутки	1343,32 $\pm$ 181,00	3148,29 $\pm$ 532,25**	2235,54 $\pm$ 48,12	2917,72 $\pm$ 491,69
40 сутки	3789,02 $\pm$ 46,05	3238,02 $\pm$ 458,05	1908,50 $\pm$ 136,67	4093,21 $\pm$ 321,60**
Среднее	1971,24 $\pm$ 342,82	3395,30 $\pm$ 221,60**	1511,17 $\pm$ 166,80	2814,52 $\pm$ 304,80**

*Примечание: Различия статистически значимы при $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$

На основе анализа полученных данных можно заключить, что цыплята-бройлеры опытной группы демонстрируют более высокую активность всех исследованных пищеварительных ферментов в содержимом двенадцатиперстной кишки по сравнению с контрольной группой.

Недостаток кальция может приводить к нарушению обмена веществ и снижению роста, тогда как его избыток – к проблемам с пищеварением и обменом этого минерала. Результаты нашего исследования (таблица 17) показывают, что уровень кальция в химусе контрольной группы выше: через 1 час после кормления – на 11 %, через 2 часа после кормления – на 7,9 %.

Интересно, что кальций оказывает ингибирующее влияние на активность трипсина, и в нашем исследовании активность этого фермента через час после кормления была выше у опытных цыплят – что связано с меньшим содержанием кальция. Это говорит о том, что снижение уровня кальция способствует более активной работе трипсина, и, следовательно, улучшает переваривание белков.

Таблица 17 – Содержание кальция в химусе цыплят, ммоль/л ($m \pm SEM$, $n=10$)

Сутки	Время			
	1 час после кормления		2 часа после кормления	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
33 сутки	3,18 $\pm$ 0,05	2,95 $\pm$ 0,06**	2,38 $\pm$ 0,33	2,80 $\pm$ 0,14
34 сутки	3,98 $\pm$ 0,27	2,86 $\pm$ 0,23**	3,31 $\pm$ 0,11	3,09 $\pm$ 0,11
35 сутки	2,88 $\pm$ 0,02	3,01 $\pm$ 0,14	3,16 $\pm$ 0,13	2,87 $\pm$ 0,12
36 сутки	2,42 $\pm$ 0,11	2,10 $\pm$ 0,28	2,36 $\pm$ 0,11	1,61 $\pm$ 0,06**
37 сутки	2,35 $\pm$ 0,16	1,96 $\pm$ 0,10**	2,19 $\pm$ 0,07	1,86 $\pm$ 0,03**
38 сутки	2,84 $\pm$ 0,02	3,06 $\pm$ 0,06	3,44 $\pm$ 0,23	3,07 $\pm$ 0,39
39 сутки	2,33 $\pm$ 0,05	1,83 $\pm$ 0,09**	1,68 $\pm$ 0,01	2,12 $\pm$ 0,03**
40 сутки	2,48 $\pm$ 0,10	2,19 $\pm$ 0,07*	3,13 $\pm$ 0,10	2,52 $\pm$ 0,09**
Среднее	2,81 $\pm$ 0,20	2,50 $\pm$ 0,18	2,71 $\pm$ 0,23	2,49 $\pm$ 0,20

*Примечание: Различия статистически значимы при $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$

Фосфор в пищеварительном соке бройлеров играет важную роль в метаболических процессах, связанных с энергетическим обменом, строительством костной ткани и иммунной функцией. Фосфор в составе нуклеиновых кислот, АТФ и фосфолипидов становится незаменимым для роста и развития птиц, а его взаимодействие с кальцием играет ключевую роль в формировании костной минерализации. Баланс между этими элементами в пищеварительных секретах и крови обеспечивает оптимальную минерализацию костей и эффективность ферментативных процессов, таких как активность щелочной фосфатазы. Повышение уровня фосфата сопровождается ростом активности этого фермента, что свидетельствует о активных метаболических процессах по переработке фосфора. Результаты нашего опыта отражены в таблице 18.

В целом, правильное соотношение фосфора и кальция в пищеварительном соке бройлеров способствует оптимальному обмену веществ, укреплению

костной системы и повышению продуктивности птиц. Обычно их соотношение в химусе составляет около 1,2–1,5:1 в пользу кальция.

Таблица 18 – Содержание фосфора в химусе цыплят, ммоль/л ($m \pm SEM$, $n=10$)

Сутки	Время			
	1 час после кормления		2 часа после кормления	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
33 сутки	1,63 $\pm$ 0,25	1,46 $\pm$ 0,05	1,7 $\pm$ 0,03	1,81 $\pm$ 0,04
34 сутки	1,76 $\pm$ 0,04	1,89 $\pm$ 0,01	2,62 $\pm$ 0,03	2,3 $\pm$ 0,03
35 сутки	2,72 $\pm$ 0,03	1,93 $\pm$ 0,02	2,55 $\pm$ 0,05	2,61 $\pm$ 0,03
38 сутки	1,33 $\pm$ 0,00	1,65 $\pm$ 0,02**	1,23 $\pm$ 0,01	1,98 $\pm$ 0,01**
39 сутки	2,45 $\pm$ 0,03	1,55 $\pm$ 0,04**	1,83 $\pm$ 0,01	2,72 $\pm$ 0,03**
40 сутки	1,45 $\pm$ 0,02	1,72 $\pm$ 0,08	1,70 $\pm$ 0,01	2,17 $\pm$ 0,04*
Среднее	1,89 $\pm$ 0,23	1,7 $\pm$ 0,08	1,94 $\pm$ 0,22	2,27 $\pm$ 0,14

*Примечание: Различия статистически значимы при $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$

Полученные результаты согласуются с установленными закономерностями. В контрольной группе наблюдалось умеренное снижение соотношения кальция и фосфора (Ca/P) с 1,48 до 1,40 через один и два часа после кормления соответственно, что отражает постепенные сдвиги в метаболизме этих элементов. В опытной группе через час после кормления соотношение Ca/P было сопоставимо с контролем (1,47), однако через два часа оно резко снижалось до 1,09. Это может указывать на более интенсивные и быстрые метаболические коррекции, возможно, связанные с усиленным усвоением фосфора. Наблюдаемая динамика содержания фосфора у опытных цыплят (снижение на 10 % через час с последующим ростом на 18 % через два часа) предполагает его активное временное использование в энергетическом обмене или синтетических процессах с последующей компенсацией за счет всасывания. Данный паттерн отражает сложную адаптивную регуляцию фосфорно-кальциевого обмена.

Таким образом, мониторинг и коррекция соотношения Ca/P в рационе являются важным фактором для управления метаболическими процессами и повышения продуктивности птицы.

2.2.2.3 Биохимические показатели крови цыплят-бройлеров при тепловом стрессе и использовании электромагнитного излучения

Существует теория энтеропанкреатической циркуляции пищеварительных ферментов. Согласно ей, ферменты поджелудочной железы (амилаза, липаза, трипсин) после выполнения своих функций в кишечнике могут абсорбироваться в кровоток в интактной форме, а не расщепляться до аминокислот. Обнаружение активных панкреатических ферментов в крови подтверждает возможность их повторного поступления с кровью в поджелудочную железу и последующей ресекреции. Таким образом, в организме может существовать замкнутый цикл, например, для протеолитических ферментов: секретированный трипсин, осуществляя гидролиз в кишечнике, поступает в кровь, где одновременно циркулирует его ингибитор, предотвращающий протеолиз. Физиологическая роль этой циркуляции и самих ферментов в крови окончательно не выяснена и является предметом научной дискуссии.

Изменение активности пищеварительных ферментов в плазме крови свидетельствует об изменении обменных процессов в организме и выполнении ферментами, особенно трипсином, регуляторной функции (таблица 19).

По данным таблицы, активность трипсина в сыворотке крови опытных цыплят на 5,8 % выше, чем у контрольных, на 18 день, на 5,5 % выше на 29 день и на 9,9 % выше на 41 день, а по результатам всего опыта повышение составляет 7,8 %. Содержание амилазы у опытной группы на 18 и 29 сутки выше, чем в контрольной (на 29,5 и 11,1 %, соответственно), однако к 41 дню демонстрирует плавную тенденцию к снижению, отражая повышение амилолитических ферментов в кишечном содержимом. В контрольной группе содержание амилазы к 41 суткам, напротив, резко растет.

Таблица 19 – Активность ферментов, содержание кальция и фосфора в крови цыплят-бройлеров ($M \pm SEM$, $n=10$)

Показатель	Группы	
	контрольная	опытная
18 сутки		
Трипсин, г/л	65,52±4,15	69,34±5,35
Амилаза, ед/л	408,74±32,01	529,24±39,02*
Липаза, ммоль/л	84,40±1,81	91,75±5,31
Щелочная фосфатаза, ед/л	1861,22±137,00	1093,0±66,90**
Кальций, моль/л	2,37±0,02	2,54±0,03**
Фосфор, моль/л	2,31±0,06	2,26±0,08
29 сутки		
Трипсин, г/л	61,54±4,06	67,62±3,27
Амилаза, ед/л	604,00±23,98	670,75±25,70
Липаза, ммоль/л	85,14±1,89	93,19±5,23
Щелочная фосфатаза, ед/л	3010,01±35,79	2960,02±36,99
Кальций, моль/л	4,05±0,03	4,02±0,07
Фосфор, моль/л	2,93±0,01	2,76±0,04**
41 сутки		
Трипсин, г/л	80,27±1,12	86,77±1,13
Амилаза, ед/л	876,50±35,56	649,25±23,51**
Липаза, ммоль/л	98,86±1,71	107,65±5,28
Щелочная фосфатаза, ед/л	6403,40±309,10	4002,46±129,10**
Кальций, моль/л	2,42±0,02	2,70±0,02
Фосфор, моль/л	2,61±0,03	2,84±0,04**
Среднее		
Трипсин, г/л	69,11±5,70	74,58±6,11
Амилаза, ед/л	629,75±135,60	616,41±44,00
Липаза,	89,47±4,70	97,53±5,08
Щелочная фосфатаза, ед/л	3758,21±1363,5	2685,17±851,00
Кальций, моль/л	2,95±0,05	3,09±0,47
Фосфор, моль/л	2,62±0,18	2,62±0,18

*Примечание: Различия статистически значимы при $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$

Опытная группа демонстрирует высокое содержание липазы в сыворотке крови, превышая таковое у контрольной группы на 8,7 %. Уровень щелочной фосфатазы в сыворотке крови контрольной группы выше, чем в опытной, в течение всего опыта, по результатам всего опыта – на 28,6 %.

Колебания уровня кальция в организме кур связаны с возрастом, характером питания и состоянием здоровья, что напрямую влияет на их костную систему, обмен веществ и продуктивность [59]. Содержание кальция в крови цыплят опытной группы выше на 9 %. Содержание фосфора одинаковое в крови

бройлеров обеих групп. О влиянии как стрессовых воздействий, так и электромагнитного вмешательства на организм птицы можно судить по биохимическим показателям крови (таблица 20) [29]. Лабораторная диагностика позволяет динамически отслеживать изменения метаболизма и отражает функциональное состояние систем и органов [6].

Таблица 20 – Результаты биохимического анализа крови цыплят-бройлеров ($m \pm SEM$, $n=10$)

Показатель	Группы	
	контрольная	опытная
18 сутки		
Общий белок, г/л	42,99 $\pm$ 0,30	41,66 $\pm$ 0,62
Глюкоза, ед/л	12,78 $\pm$ 0,14	13,72 $\pm$ 0,14**
Триглицериды, ммоль/л	0,60 $\pm$ 0,05	0,78 $\pm$ 0,05
Холестерин, ммоль/л	4,00 $\pm$ 0,35	4,76 $\pm$ 0,37
Мочевая кислота, ммоль/л	200,00 $\pm$ 4,47	182,60 $\pm$ 4,92*
29 сутки		
Общий белок, г/л	40,55 $\pm$ 0,49	37,73 $\pm$ 1,01
Глюкоза, ед/л	11,50 $\pm$ 0,05	12,60 $\pm$ 0,07**
Триглицериды, ммоль/л	0,46 $\pm$ 0,03	0,54 $\pm$ 0,07
Холестерин, ммоль/л	4,00 $\pm$ 0,04	3,50 $\pm$ 0,15*
Мочевая кислота, ммоль/л	115,8 $\pm$ 13,27	114,8 $\pm$ 13,75
41 сутки		
Общий белок, г/л	42,90 $\pm$ 0,39	43,75 $\pm$ 0,64
Глюкоза, ед/л	14,26 $\pm$ 0,68	14,07 $\pm$ 0,32
Триглицериды, ммоль/л	0,58 $\pm$ 0,04	0,92 $\pm$ 0,06**
Холестерин, ммоль/л	4,00 $\pm$ 0,24	4,75 $\pm$ 0,20*
Мочевая кислота, ммоль/л	211,8 $\pm$ 19,96	195,7 $\pm$ 65,49*
Среднее		
Общий белок, г/л	42,15 $\pm$ 0,80	41,05 $\pm$ 0,44
Глюкоза, ед/л	12,85 $\pm$ 0,80	13,46 $\pm$ 1,77
Триглицериды, ммоль/л	0,55 $\pm$ 0,05	0,75 $\pm$ 0,11
Холестерин, ммоль/л	4,0 $\pm$ 0,00	4,34 $\pm$ 0,42
Мочевая кислота, ммоль/л	175,85 $\pm$ 30,24	164,36 $\pm$ 25,07

*Примечание: Различия статистически значимы при $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$

Уровень белка в крови у опытной группы на 2,61 % ниже, чем в контрольной, на 29 день эта разница более выражена и составляет 7 %, что может отражать более эффективную и зрелую регуляцию обменных процессов,

особенно учитывая рост функциональности пищеварительной системы и активное участие белковых ферментов в метаболизме.

В крови цыплят опытной группы на 4,75 % больше содержание глюкозы.

На основании данных опыта установлены различия в липидном профиле крови между группами. Уровень холестерина у цыплят опытной группы в среднем был на 8,50 % выше, чем в контрольной. При этом в контрольной группе его концентрация оставалась стабильной на протяжении всего периода выращивания, тогда как в опытной группе наблюдалась динамика: снижение к 29-м суткам с последующим ростом к 41-м суткам.

Уровень триглицеридов в опытной группе в течение всего эксперимента был стабильно и существенно выше – в среднем на 36,4 % по сравнению с контролем.

Содержание мочевой кислоты в крови опытной группы меньше на 6,5 %.

Изменения в биохимическом профиле крови (снижение общего белка, повышение глюкозы и холестерина) отражают перестройку метаболизма под действием электромагнитного излучения в условиях теплового стресса.

Таким образом, результаты II этапа свидетельствуют о том, что применение электромагнитного излучения в условиях теплового стресса способствует активации пищеварительных ферментов, улучшению метаболических процессов и повышению продуктивности цыплят-бройлеров. Выявленные изменения в активности трипсина, амилазы, липазы и щелочной фосфатазы в дуоденальном химусе, а также сдвиги в биохимическом профиле крови указывают на адаптогенный характер воздействия электромагнитного излучения, позволяющий частично компенсировать негативные последствия гипертермии. Полученные данные создают основу для более глубокого анализа физиологических механизмов, лежащих в основе наблюдаемых эффектов, и их сопоставления с современными литературными данными, что будет представлено в следующем разделе.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

3.1 Обсуждение полученных результатов

Проведённое исследование было направлено на комплексную оценку влияния электромагнитного излучения аппарата «ТОР» на физиолого-биохимический статус и продуктивность цыплят-бройлеров. Логика работы строилась в два этапа, что полностью соответствовало хронологии эксперимента и позволяло последовательно решать поставленные задачи. На первом этапе в условиях нормального содержания проводился скрининг режимов воздействия, оценивалась их эффективность и безопасность; на втором этапе изучались механизмы корректирующего действия электромагнитного излучения при моделировании теплового стресса – одного из наиболее распространённых стресс-факторов промышленного птицеводства. Такая структура дала возможность не только констатировать факт положительного влияния облучения, но и раскрыть физиологические механизмы, лежащие в основе повышения продуктивности, а также подтвердить безопасность предлагаемого метода.

Первоначальной задачей I этапа являлся подбор эффективного и безопасного режима электромагнитного воздействия. Проведённые наблюдения показали, что организм цыплят в первые сутки жизни крайне чувствителен к параметрам облучения. Используемый первоначально режим (15 мин воздействия / 105 мин перерыва) вызвал у птицы опытной группы выраженное угнетение: цыплята становились вялыми, скучивались, у них снижалась двигательная и кормовая активность. Данная реакция расценена как проявление стресса, вызванного чрезмерной интенсивностью или длительностью экспозиции. Это потребовало немедленной коррекции: воздействие было прекращено, и в течение последующих суток поведенческие реакции полностью восстановились. Данный факт является важным методическим наблюдением, свидетельствующим о необходимости осторожного подхода к выбору

параметров электромагнитного излучения для молодняка и возможности оперативной оценки адекватности режима по поведенческим реакциям.

После суточного перерыва и перехода на более щадящий режим (3 мин воздействия / 57 мин перерыва) негативные реакции полностью исчезли. Напротив, к концу второй недели у цыплят опытной группы отмечалось улучшение аппетита, более активное поведение и оперяемости по сравнению с контролем. С трёхнедельного возраста, учитывая положительную динамику и возрастающие метаболические потребности организма, режим был интенсифицирован (3 мин воздействия / 27 мин перерыва), что обеспечило устойчивый положительный эффект на протяжении всего последующего периода выращивания. Таким образом, в ходе I этапа была эмпирически подобрана двухфазная схема воздействия: щадящая в раннем возрасте (3/57) и усиленная в период интенсивного роста (3/27). Этот подход позволил избежать стресс-реакции и добиться стабильного стимулирующего эффекта.

Применение выбранного режима в течение всего периода выращивания (до 56 суток) способствовало достоверному повышению живой массы цыплят опытной группы. Стабильное преимущество начало формироваться с 22-дневного возраста и к 56-м суткам достигло 4,55 % при одновременном снижении конверсии корма на 4,02 % (таблица 5). Улучшение продуктивных показателей сопровождалось увеличением убойного выхода потрошёной тушки на 3,4 % и тенденцией к снижению доли абдоминального жира (таблица 10), что указывает на более эффективное использование питательных веществ на прирост мышечной ткани, а не на жиरोотложение. Полученные данные согласуются с результатами других авторов, наблюдавших стимуляцию роста и улучшение конверсии корма под влиянием электромагнитного излучения [14, 19, 37] однако в нашем исследовании впервые показана возможность дифференцированного подбора режима в зависимости от возраста птицы.

Важно подчеркнуть, что стимуляция роста достигалась без каких-либо негативных сдвигов в клиническом состоянии птицы. Морфологические и биохимические показатели крови оставались в пределах физиологической нормы

(таблицы 6, 9). При этом в опытной группе отмечено более благоприятное соотношение гетерофилов к лимфоцитам (таблица 8). Индекс Г/Л широко используется в качестве интегрального показателя стресс-реакции и иммунного статуса у птиц [251]. На протяжении всего периода наблюдения значения индекса в опытной группе были ниже, чем в контроле, а в заключительный период выращивания (43–56 суток) оставались стабильными в оптимальном диапазоне (0,70–0,80), тогда как в контроле наблюдался их неуклонный рост, достигший к 56-м суткам 1,21, что является признаком снижения иммунной резистентности и повышения уровня стресса [45]. Эти данные свидетельствуют о позитивном модулирующем влиянии электромагнитного излучения на иммунологический статус и стрессоустойчивость птицы.

Ключевым доказательством безопасности применённого режима послужили результаты гистологического анализа сердца, печени и почек. В образцах опытной группы не выявлено специфических патологических изменений, которые можно было бы связать с действием электромагнитного излучения. Наблюдавшиеся в обеих группах дистрофические и воспалительные процессы (мелкие кровоизлияния, жировые включения, лимфомакрофагальная инфильтрация) носили фоновый характер и были сопоставимы по выраженности. Это позволяет рассматривать их как следствие возрастных изменений, особенностей содержания или метода забора материала. Отсутствие дополнительных повреждений на микроструктурном уровне при наличии чёткого продуктивного эффекта является важным аргументом в пользу физиологичности и безопасности используемого метода и согласуется с данными клинических исследований о высоком профиле безопасности импульсных электромагнитных полей [142]. В опытной группе отмечена лишь тенденция к менее выраженной гидropической дистрофии гепатоцитов, что может косвенно указывать на протекторное влияние электромагнитного излучения на печень.

Моделирование теплового стресса (температура +30°C в течение первых трёх недель) привело к существенному отставанию цыплят контрольной группы от нормативов кросса «Смена-9» (рисунок 20).

Снижение потребления корма, замедление роста, поведенческие признаки (полипноэ, раскрытие клюва, апатия) – всё это подтверждало развитие у птицы классической стресс-реакции, характерной для гипертермии [198, 236]. Однако уже с 21-суточного возраста птица опытной группы, подвергавшаяся облучению, начала демонстрировать достоверно более высокую живую массу – на 12,4 % выше контроля, и это преимущество нарастало, достигнув к 41-м суткам 19,5 % (таблица 11). Одновременно улучшалась конверсия корма (на 8,5–11,5 % в разные периоды) и увеличивалось его потребление. Таким образом, электромагнитное излучение позволило частично компенсировать негативное влияние гипертермии, приблизив показатели роста к нормативным. Этот результат является ключевым с практической точки зрения, демонстрируя потенциал метода для снижения потерь продуктивности в жаркий период.

Для выяснения механизмов наблюдаемого эффекта было проведено исследование активности пищеварительных ферментов в дуоденальном химусе с использованием фистульной методики. Выбор этого подхода обусловлен тем, что именно активность ферментов определяет эффективность гидролиза питательных веществ и, в конечном счёте, скорость роста и конверсию корма [11, 31, 203]. Полученные данные убедительно свидетельствуют о том, что под влиянием электромагнитного излучения происходит активация всех ключевых звеньев пищеварительного конвейера.

Установлено, что у цыплят опытной группы активность трипсина через 1 ч после кормления была на 19,2 % выше, чем в контроле (таблица 13). Поскольку трипсин является не только ключевым протеолитическим ферментом, но и регулятором активности других панкреатических протеаз [180], его повышение указывает на усиление протеолиза в целом. Важно, что через 2 ч после кормления различия нивелировались. Такая динамика свидетельствует об активации именно ранней, сложнорефлекторной фазы панкреатической секреции, которая запускается с рецепторов ротовой полости и желудка. Известно, что именно эта фаза обеспечивает быструю подготовку кишечника к поступлению пищи [11]. Усиление ответа на кормление у опытных цыплят может быть связано с

повышением возбудимости нервных центров или чувствительности рецепторов под влиянием электромагнитного излучения. Полученные данные согласуются с наблюдениями о способности электромагнитного излучения модулировать электрофизиологическую активность желудочно-кишечного тракта [39].

Ещё более выраженным было влияние электромагнитного излучения на амилалитическую и липолитическую активность. Средняя активность амилазы в химусе опытной группы за весь период наблюдения превышала контроль на 69 % через 1 ч и на 121 % через 2 ч после кормления (таблица 14). Активность липазы возрастала соответственно на 50 % и 46 % (таблица 15). Такая интенсификация гидролиза углеводов и липидов объясняет более эффективное использование энергии корма и, соответственно, повышение приростов. Особенно важно, что повышение активности амилазы наблюдалось на всех этапах эксперимента, а к 38-м суткам разница достигала максимума (582 % через 1 ч). Это указывает на устойчивую и долговременную адаптацию панкреатической функции. Полученные данные совпадают с результатами исследований, показывающих, что электромагнитное излучение способно усиливать секрецию и активность пищеварительных ферментов [9, 19].

Особого внимания заслуживает динамика щелочной фосфатазы. Её активность в химусе опытной группы была выше на 72 % через 1 ч и на 86 % через 2 ч после кормления (таблица 16). Щелочная фосфатаза выполняет в кишечнике несколько важных функций. Во-первых, она участвует в гидролизе фосфорных эфиров и транспорте фосфатов, что необходимо для минерального обмена и энергетического метаболизма. Во-вторых, кишечная изоформа щелочной фосфатазы играет ключевую роль в поддержании гомеостаза и защите кишечника, дефосфорилируя токсичные бактериальные липополисахариды и предотвращая развитие воспаления [241]. В условиях стресса, когда повышается проницаемость кишечного барьера и риск эндотоксемии [189, 193], повышение активности ЩФ может рассматриваться как важный адаптивный механизм. Таким образом, более высокий уровень ЩФ у опытных цыплят свидетельствует

не только об интенсификации всасывания, но и о лучшей защищённости слизистой оболочки.

Анализ минерального состава химуса выявил тенденцию к снижению уровня кальция в опытной группе и более динамичное изменение соотношения Са/Р (таблицы 17, 18). Известно, что кальций может ингибировать активность трипсина [11]. В нашем исследовании более низкое содержание кальция в химусе опытных цыплят через 1 ч после кормления (на 11 % ниже контроля) коррелировало с более высокой активностью трипсина, что подтверждает наличие обратной связи между этими показателями. Повышение содержания фосфора через 2 ч после кормления в опытной группе (на 18 %) вероятно связано с активацией щелочной фосфатазы и более интенсивным всасыванием. Ускоренное и динамичное изменение соотношения Са/Р у опытной птицы отражает более высокую скорость метаболических процессов и эффективность регуляции минерального обмена.

Биохимические показатели крови также подтвердили метаболическую перестройку под влиянием электромагнитного излучения (таблицы 19, 20). У опытных цыплят наблюдалась тенденция к повышению активности трипсина в сыворотке (на 7,8 %). Согласно теории энтеропанкреатической циркуляции, часть панкреатических ферментов после выполнения своих функций в кишечнике может поступать в кровь в активной форме, где они выполняют регуляторные функции [11, 262]. Повышение уровня трипсина в крови может отражать общую интенсификацию белкового обмена и, возможно, активацию регуляторных каскадов (коагуляция, фибринолиз, калликреин-кининовая система) [180].

Уровень глюкозы в крови опытных цыплят был выше на 4,8 %, а триглицеридов – в среднем на 36,4 % (при одновременном снижении мочевой кислоты на 6,5 %). Это отражает усиление энергетического обмена и более эффективное использование азотистых соединений. Повышение триглицеридов при снижении мочевой кислоты (конечного продукта азотистого обмена у птиц) может указывать на переключение метаболизма в сторону более эффективного

использования липидов в качестве источника энергии и лучшую утилизацию аминокислот на пластические цели, что и обеспечивает более высокие приросты. Снижение активности щелочной фосфатазы в крови опытных птиц (на 17–41 % в отдельные периоды) контрастирует с её повышением в химусе. Это важное наблюдение, которое может указывать на снижение стресс-индуцированной нагрузки на костную и гепатобилиарную системы. Повышение ЩФ в крови часто ассоциировано с заболеваниями печени, костной ткани или стрессом [114, 121]. Тот факт, что в опытной группе при высокой кишечной активности уровень ЩФ в крови был ниже, свидетельствует о том, что электромагнитное излучение действует локально, в кишечнике, не вызывая системного стрессового ответа, а возможно, даже снижая его.

Сопоставление результатов II этапа с данными, полученными в нормальных условиях (I этап), показывает, что стимулирующее действие электромагнитного излучения проявляется как в отсутствии, так и при наличии стресса, однако в последнем случае эффект выражен значительно сильнее. Это хорошо иллюстрируется сравнением активности трипсина и щелочной фосфатазы в химусе при разных условиях (рисунки 21, 22). Тепловой стресс сам по себе подавлял активность трипсина (снижение на 11–12 % по сравнению с нормой, рисунок 21), что согласуется с данными о негативном влиянии гипертермии на активность пищеварительных ферментов [119].

Однако применение электромагнитного излучения не только полностью компенсировало это падение, но и обеспечило превышение контрольного уровня на 19,2 %. Аналогично, активность щелочной фосфатазы при стрессе возрастала в контроле на 18 % (вероятно, как компенсаторная реакция), а в опыте – более чем на 70 % (рисунок 22). Эти данные свидетельствуют о том, что электромагнитное излучение не просто возвращает показатели к норме, а запускает более мощные адаптационные механизмы, позволяющие организму не только противостоять стрессу, но и эффективно использовать питательные вещества для роста.

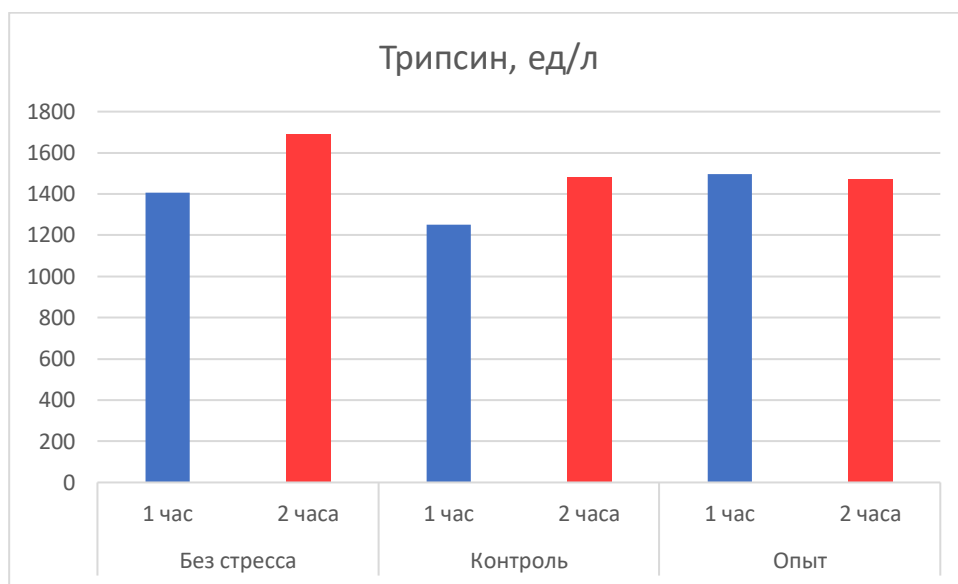


Рисунок 21 – Сравнение активности трипсина при нормальном содержании цыплят, при тепловом стрессе и при использовании электромагнитного излучения

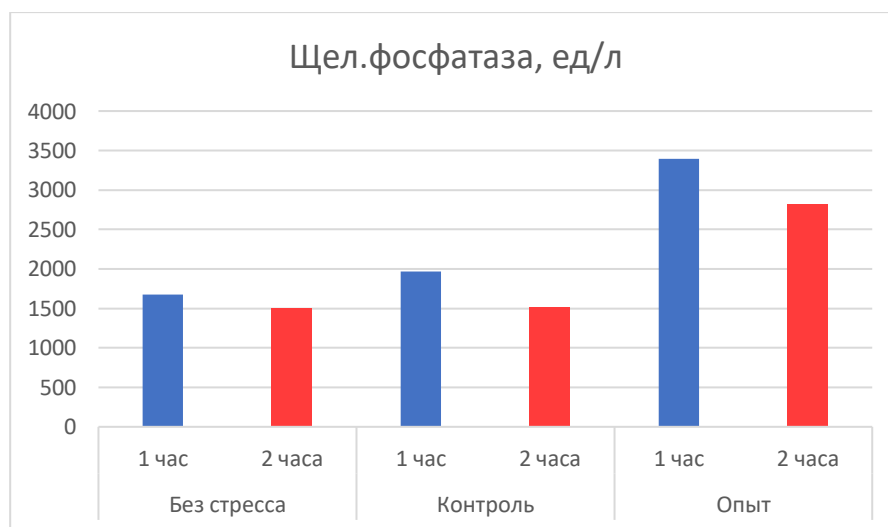


Рисунок 22 – Сравнение активности щелочной фосфатазы при нормальном содержании цыплят, при тепловом стрессе и при использовании электромагнитного излучения

Таким образом, можно заключить, что электромагнитное излучение обладает свойствами адаптогена – фактора, повышающего неспецифическую резистентность организма и его способность реализовывать продуктивный потенциал в неблагоприятных условиях.

Полученные в работе данные позволяют обсудить возможные механизмы действия электромагнитного излучения на физиологические процессы. Хотя наше исследование не ставило целью изучение молекулярных механизмов, совокупность литературных данных и наши наблюдения позволяют предложить следующую гипотетическую схему.

Электромагнитное излучение, особенно низкочастотное и импульсное, способно взаимодействовать с клеточными мембранами, изменяя их электрический потенциал и проницаемость для ионов [209]. Ключевую роль, по-видимому, играет влияние на транспорт ионов кальция (Ca^{2+}). Показано, что электромагнитное излучение может вызывать высвобождение внутриклеточного Ca^{2+} из депо, что приводит к активации кальций-зависимых сигнальных путей [97, 217]. Повышение цитоплазматического Ca^{2+} ведёт к активации кальмодулина (CaM), который, в свою очередь, запускает каскад реакций, включая активацию конститутивной синтазы оксида азота (cNOS) и увеличение продукции оксида азота (NO) [220]. NO является универсальным регулятором, участвующим в регуляции тонуса сосудов, воспаления, апоптоза и секреции. Повышение продукции NO под влиянием электромагнитного излучения может объяснять улучшение кровоснабжения кишечника, ускорение регенерации и, возможно, стимуляцию секреции.

Кроме того, активация Ca^{2+} -зависимых путей может непосредственно влиять на экзоцитоз в ацинарных клетках поджелудочной железы, усиливая секрецию ферментов. Этим можно объяснить быстрое (в течение часа после кормления) повышение активности всех исследованных ферментов в химусе опытных цыплят. Стимуляция секреции именно в сложнорефлекторную фазу указывает на вовлечение нервных механизмов, возможно, через повышение возбудимости парасимпатических центров.

Другой возможный механизм связан с влиянием электромагнитного излучения на экспрессию генов. Показано, что электромагнитное излучение может модулировать активность генов, в том числе генов, кодирующих пищеварительные ферменты, белки теплового шока (HSP) и факторы роста [117,

163, 228]. Повышение экспрессии HSP70, обладающих цитопротекторными свойствами, может быть одним из факторов, обеспечивающих устойчивость клеток кишечника к повреждению при стрессе. Наблюдаемое нами повышение активности щелочной фосфатазы, фермента, участвующего в детоксикации бактериальных липополисахаридов, также может быть следствием активации защитных генов.

Важно подчеркнуть, что, согласно литературным данным, эффекты электромагнитного излучения наблюдаются преимущественно в повреждённых или стрессированных тканях, в то время как на здоровые ткани они практически не влияют [217]. Это объясняет, почему в нашем исследовании эффекты были значительно более выражены в условиях теплового стресса (II этап), чем в норме (I этап). Такая избирательность действия является важным преимуществом, обеспечивающим высокую безопасность метода. Именно поэтому в опытной группе при стрессе не наблюдалось «сверхстимуляции», которая могла бы привести к истощению, а наблюдалась физиологичная активация резервов.

Подводя итог обсуждению, можно заключить, что проведённое исследование убедительно демонстрирует эффективность и безопасность применения электромагнитного излучения аппарата «ТОР» в птицеводстве. На первом этапе был осуществлён эмпирический подбор оптимального режима (3 мин / 27 мин с 3-недельного возраста), который обеспечил достоверное повышение продуктивности цыплят в нормальных условиях без каких-либо негативных сдвигов в морфо-биохимическом статусе и гистологической структуре органов. На втором этапе с использованием модели теплового стресса были раскрыты ключевые механизмы действия электромагнитного излучения, а именно: активация всех основных пищеварительных ферментов в дуоденальном химусе (трипсина, амилазы, липазы, щелочной фосфатазы), оптимизация минерального обмена и интенсификация метаболических процессов в крови, что в совокупности обеспечило частичную компенсацию негативного влияния гипертермии и позволило реализовать генетический потенциал продуктивности птицы.

Полученные данные хорошо согласуются с современными представлениями о биологических эффектах электромагнитных полей и расширяют их применительно к пищеварительной системе сельскохозяйственной птицы. Выявленные закономерности создают теоретическую и экспериментальную основу для разработки новых, экологически безопасных и ресурсосберегающих технологий в промышленном птицеводстве, направленных на повышение стрессоустойчивости и продуктивности птицы без использования фармакологических препаратов. Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение молекулярных механизмов действия электромагнитного излучения, а также на разработку оптимальных режимов для различных кроссов и возрастных групп.

3.2 Выводы

На основании проведенного исследования можно сформулировать следующие основные выводы, соответствующие задачам работы:

1. Сохранность в группах была 100,0 %. Воздействие электромагнитного излучения в условиях индуцированного теплового стресса оказывает выраженное стимулирующее влияние на рост и развитие цыплят-бройлеров. Начиная с 21-дневного возраста, у обработанных птиц достоверно повышалась живая масса: в 21-суточном возрасте - на 12,4 % по сравнению с контрольной группой, в 29-суточном возрасте - на 15,0 %, в 35 суток - на 17,0 %, в 41-суточном возрасте – на 19,5 % по сравнению с контрольной группой. В результате более эффективного роста конверсия корма снижалась и составила, соответственно, на 11,5 %, 9,3 %, 7,8 % и 8,5 % ниже контрольной группы.

2. Электромагнитное излучение оказывает стимулирующее влияние на активность дуоденальных ферментов у цыплят-бройлеров: активность трипсина повышается в первой пробе химуса опытной группы на 19,2 % ($p<0,05$), амилалитическая активность в первой пробе химуса на 69,0 % ($p<0,05$), а во второй – на 120,9 % ($p<0,05$), активность липазы, соответственно, на 50,2 % ($p<0,05$) и 46,1 % ($p<0,05$), щелочной фосфатазы – на 72,0 % ($p<0,05$) и 86,0 % ($p<0,05$). Это свидетельствует о повышении гидролиза питательных веществ в кишечнике и является обоснованием физиологического механизма более эффективного роста опытной птицы. Параллельно отмечалась тенденция к снижению содержания кальция в химусе и более динамичному изменению соотношения Ca/P, что указывает на интенсификацию минерального обмена и усиление гидролитического потенциала кишечника.

3. Пищеварительные ферменты в сыворотке крови при действии электромагнитного излучения изменяют активность менее выражено, чем в кишечнике: наблюдается тенденция увеличения активности трипсина на 7,8 % ($p>0,05$), что подтверждает его роль как маркера интенсивности белкового обмена. Снижалась активность щелочной фосфатазы в крови (на 17-41 % в

отдельные периоды), что может свидетельствовать о снижении стресс-индуцированной нагрузки на костный и печеночный метаболизм. Активность амилазы у цыплят-бройлеров опытной группы на 18 и 29 сутки выше, чем в контрольной (на 29,5 и 11,1 %, соответственно), однако к 41 дню демонстрирует плавную тенденцию к снижению, активность липазы в сыворотке крови опытных цыплят выше на 8,7 % по сравнению с контрольной группой. Это указывает на повышение метаболизма в организме опытных цыплят-бройлеров при тепловом стрессе под воздействием электромагнитного излучения. Увеличивалась концентрация глюкозы и триглицеридов при одновременном снижении уровня мочевой кислоты, что отражает повышение энергетического обмена и эффективности азотистого метаболизма.

4. В отсутствие стрессовых факторов электромагнитное излучение также оказывало положительное влияние, повышая живую массу (на 3-5 %), улучшая конверсию корма (на 4-8 %) и увеличивая убойный выход тушки (на 1-3 %). Морфологические и биохимические показатели крови оставались в пределах физиологической нормы, отмечалось более стабильное и оптимальное соотношение гетерофилов к лимфоцитам, что указывает на улучшение иммунного статуса и стрессоустойчивости.

5. Выход потрошённой тушки у цыплят-бройлеров в 56-суточном возрасте увеличивался после воздействия электромагнитного излучения в период выращивания на 3,4 %. Гистологический анализ сердца, печени и почек не выявил специфических патологических изменений, индуцированных электромагнитным излучением. Наблюдаемые морфологические нарушения (дистрофические изменения, воспалительная инфильтрация, полнокровие) носили фоновый характер и были сопоставимы в контрольной и опытной группах. В опытной группе отмечена меньшая выраженность гидropической дистрофии гепатоцитов, что может свидетельствовать о протекторном влиянии электромагнитного излучения на печень. Примененный режим воздействия признан безопасным для гистологической структуры внутренних органов.

Общий вывод: электромагнитное излучение аппарата «ТОР» оказывает адаптогенное и стимулирующее действие на организм цыплят-бройлеров, особенно в условиях теплового стресса. Основными механизмами, лежащими в основе повышения продуктивности, являются:

1. Активация пищеварительной функции за счет усиления секреции и активности ключевых ферментов (трипсина, амилазы, липазы, щелочной фосфатазы) в двенадцатиперстной кишке.
2. Интенсификация метаболических процессов, проявляющаяся в ускорении белкового (повышение уровня трипсина в крови) и энергетического обмена (изменение липидного и углеводного профиля).
3. Повышение стрессоустойчивости и улучшение иммунного статуса, подтверждаемое гематологическими и биохимическими показателями.
4. Отсутствие негативного воздействия на гистоархитектонику внутренних органов, что подтверждает безопасность метода.

Полученные результаты дают научное обоснование для применения электромагнитных технологий в промышленном птицеводстве как эффективного средства повышения продуктивности и улучшения физиологического состояния птицы, особенно в неблагоприятных условиях содержания.

4. ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Внедрение технологии электромагнитного излучения в производственный процесс может существенно повысить эффективность пищеварения и роста птиц, что, в свою очередь, улучшит показатели производства мяса бройлеров. Рекомендуется: 1. Внедрить использование аппаратов с электромагнитными волнами на стадиях выращивания цыплят в возрасте 20-40 дней для повышения ферментативной активности желудочно-кишечного тракта и ускорения роста. Рекомендуется проводить периодические сеансы электромагнитного воздействия в критические периоды роста цыплят, особенно в условиях, близких к тепловому стрессу, с целью стимуляции ферментной активности и обменных процессов.

2. Необходимо доработать технологические схемы применения электромагнитного излучения, в том числе дозировку, длительность и периодичность воздействия, с учетом возрастных и физиологических особенностей птиц.

3. Провести обучение персонала по эксплуатации и настройке оборудования, обеспечивая правильное применение аппаратов для максимальной эффективности.

4. Внедрить систему контроля и оценки метаболических и морфобиохимических показателей у птиц для мониторинга результатов и корректировки процедур стимуляции.

5. Интегрировать использование электромагнитного излучения в технологический процесс с целью повышения общей продуктивности, сокращения сроков выращивания и уменьшения потерь в условиях жаркой погоды.

В долгосрочной перспективе методы электромагнитной стимуляции могут стать важной составляющей системы повышения эффективности в условиях интенсивного птицеводства, а также служить экологически безопасной альтернативой медикаментозным и гормональным способам роста, что отвечает современным требованиям устойчивого развития производства мяса бройлеров.

5. РЕКОМЕНДАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Перспективы и рекомендации дальнейшей разработки темы включают в себя несколько ключевых направлений:

1. Оптимизация параметров электромагнитного воздействия: исследование и определение наиболее эффективных режимов воздействия электромагнитного излучения.

2. Долгосрочные исследования: проведение масштабных производственных испытаний для оценки стабильности и повторяемости полученных результатов в различных условиях хозяйств, а также влияние электромагнитного излучения на здоровье и продуктивность птиц в течение всего цикла производства.

3. Изучение механизма действия электромагнитного излучения на биологические процессы: углубление понимания молекулярных и клеточных механизмов, отвечающих за стимуляцию ферментной активности и метаболизма у птиц, что позволит более точно регулировать параметры воздействия и снижать риски возможных побочных эффектов.

4. Интеграция с другими технологиями: сочетание электромагнитной стимуляции с применением добавок, витаминных комплексов и методов автоматизации для комплексного повышения здоровья птиц.

5. Экологическая и экономическая оценка: анализ стоимости, энергетической эффективности и экологической безопасности внедрения технологий электромагнитного излучения в массовое птицеводство с целью создания устойчивых и прибыльных решений.

Развитие в этих направлениях позволит не только повысить продуктивность и устойчивость птицеводства, но и вывести технологию электромагнитной стимуляции на новый уровень как инновационный инструмент повышения эффективности в современном агропромышленном комплексе.

6. СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ЭМИ – электромагнитное излучение/излучения

ЭМП – электромагнитное поле/поля

КЦЖК – короткоцепочечные жирные кислоты

АФК – активные формы кислорода

ИЭМТ – импульсная электромагнитная терапия

ИЭМП – импульсные электромагнитные поля

СаМ – кальмодулин

цГМФ – циклический гуанозинмонофосфат

АТФ – аденозинтрифосфат

7. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, П. Н. Белковые гидролизаты в профилактике метаболических нарушений у пушных зверей: монография / П. Н. Абрамов, Н. А. Слесаренко, С. В. Позябин [и др.]. – Москва: МГАВМиБ им. К. И. Скрябина, 2022. – ISBN 978-5-6048278-6-4.
2. Алиев, А. А. Оперативные методы исследований сельскохозяйственных животных / А. А. Алиев. – Ленинград, 1974.
3. Афанасьев, В. А. Теория и практика специальной обработки зерновых компонентов в технологии комбикормов: монография / В. А. Афанасьев. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2002. – 296 с.
4. Балабанова, В. И. Секционный курс и судебная ветеринарная медицина: учебное пособие / В. И. Балабанова, А. А. Кудряшов. – Санкт-Петербург: СПбГУВМ, 2022. – 101 с.
5. Балабанова, О. А. Некоторые вопросы этиологии, диагностики и терапии при отравлениях домашних животных / О. А. Балабанова, К. А. Сидорова // Перспективные разработки и прорывные технологии в АПК: сборник материалов национальной научно-практической конференции. – 2020. – С. 21–25.
6. Барсукова, А. А. Биохимическое исследование крови сельскохозяйственных животных / А. А. Барсукова, Е. А. Красильникова, О. С. Шумихина, А. В. Пономаренко, Ю. В. Бутуева, Е. М. Марьин // Материалы VIII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». – 2021.
7. Батраков, А. Я. Профилактика болезней конечностей у высокопродуктивных коров в условиях промышленного комплекса / А. Я. Батраков, В. Н. Виденин, М. А. Сергеева // Международный вестник ветеринарии. – 2021. – № 4. – С. 125–130. – ISSN 2072-2419.
8. Бачинская, В. М. Влияние кормовых добавок отечественного производства на показатели качества куриных яиц / В. М. Бачинская, А. А.

Дельцов, Д. В. Гончар, Н. А. Бачинская // Вестник АПК Верхневолжья. – 2024. – № 3. – С. 26–33. – ISSN 1998-1635.

9. Белановский, А. С. Действие электромагнитных полей на живой организм и применение их в ветеринарии / А. С. Белановский. – Москва: МВА, 1978. – 26 с.

10. Борхунова, Е. Н. Частная гистология. Интегрирующие системы. Методика изучения препаратов: учебно-методическое пособие для вузов / Е. Н. Борхунова. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – ISBN 978-5-507-50360-5.

11. Вертипрахов, В. Г. Активность ферментов поджелудочной железы у цыплят-бройлеров на разных этапах пищеварения / В. Г. Вертипрахов, А. А. Грозина, А. М. Долгорукова // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51, № 4. – С. 503–511.

12. Вертипрахов, В. Г. Возрастные изменения активности ферментов в поджелудочной железе, кишечнике и плазме крови цыплят-бройлеров кросса Смена 9 / В. Г. Вертипрахов, А. А. Грозина, Н. В. Овчинникова, И. В. Кислова // Российская сельскохозяйственная наука. – 2022. – № 3. – С. 62–67. – DOI: 10.31857/S2500262722030127.

13. Вертипрахов, В. Г. Физиология кишечного пищеварения у кур (экспериментальный подход) : монография / В. Г. Вертипрахов ; РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева. – Москва: РГАУ-МСХА, 2022. – 175 с.

14. Галкина, Е. А. Повышение показателей продуктивности и коррекция метаболизма цыплят-бройлеров с использованием электромагнитного излучения / Е. А. Галкина, Е. А. Мурадян, В. Г. Вертипрахов // Международный вестник ветеринарии. – 2025. – № 1. – С. 203–211. – DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.1.203.

15. Галкина, Е. А. Влияние дистанционного электромагнитного излучения на основные продуктивные показатели и биохимию крови цыплят-бройлеров / Е. А. Галкина, О. В. Овчинников, Е. В. Бондарчук, И. Ф. Турканов, В. Г. Грязнов, А. В. Партала, И. В. Кузьмина, В. Г. Зайнуллин // Птица и

птицепродукты. – 2024. – № 2. – С. 48–51. – DOI: 10.30975/2073-4999-2024-26-2-48-51.

16. Гласкович, М. А. Изучение фармакологической активности препаратов на основе продуктов пчеловодства с целью обеспечения безопасности и повышения эффективности бройлерного птицеводства / М. А. Гласкович, В. В. Великанов, С. А. Гласкович [и др.] // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2025. – № 4(59). – С. 14–18. – EDN LQGBZS.

17. Гончарова, А. В. Значение ультразвукографии в установлении сроков беременности у собак мелких пород / А. В. Гончарова, А. V. Goncharova, С. Ф. Назимкина [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2023. – № 10 (228). – С. 66–69. – ISSN 1996-4277.

18. Денисенко, В. Н. Белковые гидролизаты в ветеринарной медицине: учебно-методическое пособие / В. Н. Денисенко, П. Н. Абрамов, Р. В. Рогов. – Москва: МГАВМиБ им. К.И. Скрябина, 2013. – 62 с.

19. Добросмылова, И. А. Влияние электромагнитных излучений на организм птицы / И. А. Добросмылова, С. В. Леженина, И. В. Акулина, Л. И. Мухортова // Современные инновации в науке, образовании и технике : сборник научных трудов по материалам VIII Международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 14–21.

20. Егоров, И. А. Возрастные изменения секреторной функции поджелудочной железы и микрофлоры кишечника у цыплят родительских форм и гибридов мясных кур / И. А. Егоров, В. Г. Вертипрахов, А. А. Грозина [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – Т. 52, № 4. – С. 757–766. – DOI: 10.15389/agrobiology.2017.4.757rus.

21. Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и иных научных целей (ETS № 123). – Страсбург, 18 марта 1986 г.

22. Епимахова, Е. Э. Интенсивное кормление сельскохозяйственной птицы: учебное пособие / Е. Э. Епимахова, Н. В. Самокиш, Б. Т. Абилов. – 2-е изд., испр. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 92 с.

23. Журавлев, М. С. Сравнение подходов к усвояемости аминокислот на примере белка личинок мух / М. С. Журавлев, В. Г. Вертипрахов, Н. П. Буряков, А. Э. Японцев // Зоотехния. – 2022. – № 1. – С. 36–40. – DOI: 10.25708/ZT.2021.47.32.009.

24. Зеленовский, Н. В. Анатомия животных. Неврология. Органы чувств. Особенности строения домашней птицы. Практикум: учебное пособие для вузов / Н. В. Зеленовский, М. В. Щипакин, Д. С. Былинская. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – ISBN 978-5-507-47678-7.

25. Каратеев, А. Е. Оценка эффективности и безопасности магнитотерапии при остеоартрите. Результаты многоцентрового слепого плацебоконтролируемого исследования космо (клиническая оценка современной магнитотерапии при остеоартрите) / А. Е. Каратеев, Е. Ю. Погожева, М. Л. Сухарева [и др.] // Научно-практическая ревматология. – 2020. – Т. 58, № 1. – С. 42–52. – DOI: 10.14412/1995-4484-2020-42-52.

26. Кирасиров, К. В. Поиск современных иммуномодуляторов для использования в промышленном птицеводстве / К. В. Кирасиров, А. А. Кабалов // Ветеринарная патология. – 2006. – № 1 (16). – С. 57–61.

27. Кириллов, А. А. Показатели крови коров при болезнях печени / А. А. Кириллов, П. Н. Юшманов, А. Я. Батраков // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2015. – № 1. – С. 86–90. – ISSN 2072-6023.

28. Клетикова, Л. В. Выращивание яичной птицы в условиях промышленного птицеводства: проблемы адаптации: монография / Л. В. Клетикова. – Шуя: ШГПУ, 2012. – 147 с.

29. Ковалев, С. П. Клиническая диагностика внутренних болезней животных: учебник для вузов / С. П. Ковалев, А. П. Курдеко, Е. Л. Братушкина [и др.]; под общ. ред. С. П. Ковалева. – 3-е изд., испр. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 512 с. – ISBN 978-5-8114-1607-3.

30. Козлова, С. В. Анатомо-гистологические параметры печени бройлеров при стрессе / С. В. Козлова, Е. П. Краснолобова, С. А. Веремеева, Н.

А. Череменина // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2021. – № 5 (170). – С. 109–115.

31. Козлова, О. Н. Активность амилазы и щелочной фосфатазы в кишечнике цыплят-бройлеров / О. Н. Козлова, Э. А. Стоякова, К. С. Кухта; науч. рук. Е. Н. Кудрявцева // Студенты – науке и практике АПК: материалы 105-й Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов, Витебск, 20–21 мая 2020 г. / Витебская государственная академия ветеринарной медицины. – Витебск: ВГАВМ, 2020. – С. 187.

32. Копылова, А. С. Физиологическая оценка условий содержания кур в промышленном птицеводстве / А. С. Копылова, О. А. Драгич, К. А. Сидорова // Достижения молодежной науки для агропромышленного комплекса: сборник LVI научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Тюмень, 01 марта 2023 года. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2023. – С. 42–49. – EDN ATSFPY.

33. Крячко, О. В. Трансформация преподавания патологической физиологии с учетом гуманного отношения к животным / О. В. Крячко, Л. А. Лукоянова // Клиническая патофизиология. – 2025. – Т. 31, № S3. – С. 15. – EDN SOMWXI.

34. Косовский, Г. Ю. Хроническая фистула для изучения микробиома слепой кишки кролика / Г. Ю. Косовский, Е. С. Колесник, Д. В. Попов // Аграрный вестник Урала. – 2021. – № 10 (213). – С. 40–47. – DOI 10.32417/1997-4868-2021-213-10-40-47. – EDN MHEZDL.

35. Краснолобова, Е. П. Анатомо-гистологическая характеристика почек бройлеров кросса Arbor Acres+ при воздействии стресс-фактора / Е. П. Краснолобова, С. А. Веремеева, С. В. Козлова // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2021. – № 2 (65). – С. 114–118.

36. Кузнецов, С. И. Способ информационно-волновой коррекции продуктивности сельскохозяйственной птицы / С. И. Кузнецов, Р. Ю. Хохлов // Международная научно-производственная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения доктора биологических наук, профессора, заслуженного

деятеля науки Бурятской АССР и РСФСР Спирюхова Ивана Андреевича: сборник статей, Пенза, 17–18 октября 2007 года. – Пенза: Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, 2007. – С. 58–60. – EDN YGNISP.

37. Кузьмина, И. В. Влияние дистанционного электромагнитного излучения на морфологические и зоотехнические показатели цыплят-бройлеров / И. В. Кузьмина, О. В. Овчинников, Е. В. Бондарчук [и др.] // Птица и птицепродукты. – 2024. – № 1. – С. 48–51. – DOI 10.30975/2073-4999-2024-26-1-48-51.

38. Курдеко, А. П. Методы диагностики болезней сельскохозяйственных животных: учебное пособие для вузов / А. П. Курдеко, С. П. Ковалев, В. Н. Алешкевич [и др.]; под ред. А. П. Курдеко, С. П. Ковалева. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 448 с. – ISBN 978-5-507-47968-9.

39. Лазебник, Л. Б. Воздействие излучения ДМ диапазона на моторную функцию желудочно-кишечного тракта и желчевыводящих путей / Л. Б. Лазебник, А. Э. Лычкова // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. – 2013. – № 8. – С. 15–20.

40. Лукоянова, Л. А. Перспективы использования эксперимента и его значение в ветеринарном образовании в современных условиях / Л. А. Лукоянова, О. В. Крячко // Клиническая патофизиология. – 2025. – Т. 31, № S3. – С. 21. – EDN GSTHKO.

41. Матвеев, О. А. Морфометрические показатели органов пищеварения цыплят-бройлеров кросса Ross 308 / О. А. Матвеев, М. М. Жамбулов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 1 (63). – С. 119–122.

42. Мельников, А. В. Возможности низкочастотной транскраниальной электромагнитной стимуляции в получении эффектов безмедикаментозной седации у животных / А. В. Мельников, Е. В. Шарова, А. М. Ермаков // Ветеринарная патология. – 2011. – № 4. – С. 124–128.

43. Менькова, А. А. Влияние водорастворимой добавки «Алтавим-Реластим» на содержание общего белка и его фракций у цыплят-бройлеров / А. А. Менькова, И. М. Алейников, А. С. Кузнецов [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 1. – С. 115–118. – EDN XYJITF.

44. Менькова, А. А. Показатели естественной резистентности организма и сохранности цыплят / А. А. Менькова, Т. А. Казимирова, Е. М. Цыганков, И. М. Алейников // Инновации в отрасли животноводства и ветеринарии: сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, Брянск, 15–16 апреля 2021 года. Ч. 2. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2021. – С. 92–98. – EDN WLMEDJ.

45. Менькова, А. А. Влияние «Алтавим-Реластима» на гематологические показатели крови цыплят-бройлеров / А. А. Менькова, А. С. Кузнецов, Е. М. Цыганков, И. М. Алейников // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2022. – Т. 248, № 2. – С. 204–208.

46. Найденский, М. Влияние инфракрасной и ультрафиолетовой радиации на этолого-физиологические показатели цыплят / М. Найденский, Р. Каримов // Новое в кормлении и содержании сельскохозяйственной птицы: сборник статей. – Москва, 1982. – С. 108–112.

47. Нестеренко, А. А. Электромагнитная обработка мясного сырья как новый способ интенсификации технологических процессов / А. А. Нестеренко, А. И. Решетняк, Т. А. Сергиенко // Вестник Нижегородского государственного инженерно-экономического института. – 2011. – № 2 (3). – С. 143–151.

48. Плешакова, В. И. Влияние препарата «Ветостим» на некоторые продуктивные показатели цыплят-бройлеров / В. И. Плешакова, Н. А. Лещева, В. В. Балашов // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2014. – № 4 (16). – С. 41–44.

49. Позябин, С. В. Фиксация домашних животных в практике ветеринарной медицины: учебное пособие / С. В. Позябин, П. А. Руденко, А. А. Руденко, Н. И. Шумаков. – Москва: МГАВМиБ им. К.И. Скрябина, 2020. – 78 с.
50. Полухин, Ю. Н. Излучение электромагнитных волн: учебное пособие / Ю. Н. Полухин. – Самара: Издательство Самарского государственного аэрокосмического университета, 2016. – 156 с.
51. Пронина, Е. А. Изменение активности каталазы и супероксиддисмутазы бактерий при действии электромагнитного излучения на частоте молекулярного спектра поглощения и излучения атмосферного кислорода / Е. А. Пронина, Г. М. Шуб, А. П. Креницкий [и др.] // Проблемы особо опасных инфекций. – 2009. – № 1 (99). – С. 55–58. – DOI 10.21055/0370-1069-2009-1(99)-55-58.
52. Райкова, С. В. Влияние электромагнитных волн терагерцового диапазона на частотах оксида азота на фагоцитарную активность перитонеальных макрофагов белых мышей / С. В. Райкова, Е. А. Пронина, Г. М. Шуб // Иммунология. – 2009. – Т. 30, № 5. – С. 270–272. – EDN KZSXCV.
53. Саломатин, В. В. Изменение гематологических показателей у цыплят-бройлеров при введении в рационы селенсодержащих препаратов / В. В. Саломатин, А. Ф. Злепкин, В. А. Злепкин, В. О. Паршкова // Птицеводство. – 2019. – № 4. – С. 49–54.
54. Сахно, Н. В. Основы общей и ветеринарной экологии. Техногенные болезни животных: учебное пособие для вузов / Н. В. Сахно, О. В. Тимохин, Ю. А. Ватников [и др.]; под ред. Н. В. Сахно. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2025. – 288 с. – ISBN 978-5-507-52423-5.
55. Сепп, А. Л. Состояние мембранного пищеварения при экспериментальном дисбиозе кишечника у крыс / А. Л. Сепп, А. В. Яшин // Актуальные проблемы ветеринарной медицины: сборник научных трудов, посвященный 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, 2020. – Т. 151. – С. 52–55. – EDN VBJJMC.

56. Сидорова, К. А. Морфологические особенности печени лебедя-кликун и лебедя-шипун / К. А. Сидорова, Е. П. Краснолобова, С. А. Веремеева // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 3 (83). – С. 252–254.
57. Слесаренко, Н. А. Методология научных исследований в ветеринарии и зоотехнии: учебник для вузов / Н. А. Слесаренко, И. С. Ларионова, Е. Н. Борхунова [и др.]; под ред. Н. А. Слесаренко. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 352 с. – ISBN 978-5-507-51596-7.
58. Слесаренко, Н. А. Структурный контроль качества сырья и продуктов животного происхождения: учебник / Н. А. Слесаренко, Э. О. Оганов, В. В. Степанишин. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 256 с. – ISBN 978-5-8114-4319-2.
59. Смолин, С. Г. Физико-химические показатели и содержание ферментов панкреатического сока у кур, свиней и собак в сравнительно-видовом аспекте: автореферат дис. ... доктора биологических наук: 03.00.13 / С. Г. Смолин; Бурятская гос. сельскохозяйственная академия. – Улан-Удэ, 1998. – 42 с.
60. Соколов, В. Д. Оценка действия физических факторов на организм птицы / В. Д. Соколов, Н. Л. Андреева, А. В. Соколов // Ветеринария. – 1984. – № 5. – С. 22–24.
61. Стекольников, А. А. Практикум по общей хирургии: учебное пособие для вузов / А. А. Стекольников, Б. С. Семенов, О. К. Суховольский [и др.]; под ред. А. А. Стекольников. – Санкт-Петербург: Лань, 2013. – 240 с. – ISBN 978-5-8114-1502-1.
62. Степанишин, В. В. Научное исследование. Подготовка научно-исследовательской работы: учебно-методическое пособие / В. В. Степанишин, Г. В. Кондратов, А. М. Жариков. – Москва: МГАВМиБ им. К.И. Скрябина, 2021. – 47 с.
63. Татаринов, В. В. Введение в изучение УВЧ / В. В. Татаринов, Г. Л. Френкель. – Ленинград; Москва: Медгиз, 1939. – 108 с.
64. Теплякова, Д. В. Ишемическая болезнь мозга в условиях низкоуровневого радиационного воздействия: некоторые гематологические

аспекты. Сообщение 1. Особенности состояния системы гемостаза / Д. В. Теплякова, А. И. Тепляков, Н. Г. Кручинский, В. А. Остапенко // Эфферентная терапия. – 1999. – Т. 5, № 3. – С. 58–62.

65. Тюлина, В. В. Окислительный стресс в митохондриях при аутоиммунных заболеваниях / В. В. Тюлина, Е. И. Кабанова, Н. Ю. Сапего [и др.] // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2017. – № 11. – С. 70–76. – EDN ZTHSVT.

66. Фисинин, В. И. Кишечное пищеварение и биохимия крови у кур-несушек (*Gallus gallus* L.) при введении в рационы микродобавки хрома / В. И. Фисинин, В. Г. Вертипрахов, А. А. Грозина, И. В. Кислова, М. В. Кощеева // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54, № 4. – С. 810–819. – DOI 10.15389/agrobiology.2019.4.810rus.

67. Фисинин, В. И. Тепловой стресс у птицы. Сообщение I. Опасность, физиологические изменения в организме, признаки и проявления: обзор / В. И. Фисинин, А. Ш. Кавтрашвили // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50, № 2. – С. 162–171. – DOI 10.15389/agrobiology.2015.2.162rus.

68. Френкель, Г. Л. Электрическое поле УВЧ в биологии и экспериментальной медицине / Г. Л. Френкель, В. В. Татаринев. – Москва; Ленинград: Медгиз, 1940. – Вып. 1-4. – 114 с.

69. Харлап, С. Ю. Изменение активности аминотрансфераз и щелочной фосфатазы в ходе развития стресс-реакции / С. Ю. Харлап, М. А. Дерхо, Т. И. Середа // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 5 (55). – С. 102–105.

70. Чалисова, Н. И. Воздействие магнитных полей различной интенсивности и синтетических олигопептидов на клеточную регенерацию тканей / Н. И. Чалисова, С. С. Сурма, Б. А. Щеголев [и др.] // Интегративная физиология. – 2022. – Т. 3, № 2. – С. 254–264. – DOI 10.33910/2687-1270-2022-3-2-254-264.

71. Чуваев, И. В. Импульсная магнитотерапия при лечении мочекаменной болезни собак и кошек (клиническое исследование) / И. В. Чуваев,

П. Ю. Дарков, Ж. С. Будник, О. Н. Березина // Ветеринарная медицина. – 2023. – № 2. – С. 45–49.

72. Чуваев, И. В. Анализ использования низкочастотной импульсной магнитотерапии при лечении межпозвонкового остеохондроза у собак (клиническое исследование) / И. В. Чуваев, О. А. Соколова // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. – 2009. – № 3 (3). – С. 35–38.

73. Якоби, В. Э. Влияет ли радар на птиц / В. Э. Якоби // Русский орнитологический журнал. – 2019. – Т. 28, № 1807. – С. 3567–3570. (Первая публикация: Якоби В.Э. Влияет ли радар на птиц // Охота и охотничье хозяйство. – 1967. – № 4. – С. 30–31).

74. Яковлев, А. П. Оценка изменений параметров поведения серого тюленя при воздействии на него электромагнитных полей экстремально низких частот в диапазоне 0,01-36 Гц / А. П. Яковлев, А. Л. Михайлюк, В. Ф. Григорьев // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2016. – № 1–2. – С. 177–182.

75. Якубцевич, Р. Э. Возможности магнитной обработки крови и антипротеиназной гемоперфузии в коррекции нарушений кислотно-щелочного состояния крови у больных сепсисом, осложненным синдромом острого легочного повреждения / Р. Э. Якубцевич, В. В. Спас // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. – 2004. – № 3 (7). – С. 78–81.

76. Яшин, А. В. Незаразная патология крупного рогатого скота в хозяйствах с промышленной технологией: учебное пособие для СПО / А. В. Яшин, А. В. Прусаков, И. И. Калюжный [и др.]; под ред. А. В. Яшина. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 208 с. – ISBN 978-5-8114-7076-1.

77. Abdollahi, M. R. Feed intake response of broilers: Impact of feed processing / M. R. Abdollahi, F. Zaefarian, V. Ravindran // Animal Feed Science and Technology. – 2018. – Vol. 237. – P. 154–165. – DOI 10.1016/j.anifeedsci.2018.01.013.

78. Abidin, Z. Heat stress in poultry and the beneficial effects of ascorbic acid (vitamin C) supplementation during periods of heat stress / Z. Abidin, A. Khatoon //

World's Poultry Science Journal. – 2013. – Vol. 69, No. 1. – P. 135–152. – DOI 10.1017/S0043933913000123.

79. Altan, O. Effect of heat stress on oxidative stress, lipid peroxidation and some stress parameters in broilers / O. Altan, A. Pabuccuoglu, A. Altan, S. Konyalioglu, H. Bayraktar // British Poultry Science. – 2003. – Vol. 44, No. 4. – P. 545–550. – DOI 10.1080/00071660310001618334.

80. Amerah, A. Feed particle size: Implications on the digestion and performance in poultry / A. Amerah, V. Ravindran, R. G. Lentle // World's Poultry Science Journal. – 2007. – Vol. 63, No. 3. – P. 439–451. – DOI 10.1017/S0043933907001560.

81. Apajalahti, J. Microbes of the chicken gastrointestinal tract / J. Apajalahti, A. Kettunen // Avian Gut Function in Health and Disease / ed. by G. C. Perry. – Wallingford: CABI Publishing, 2006. – P. 124–137.

82. Aruwa, C. E. Poultry gut health – microbiome functions, environmental impacts, microbiome engineering and advancements in characterization technologies / C. E. Aruwa, C. Pillay, M. M. Nyaga, S. Sabiu // Journal of Animal Science and Biotechnology. – 2021. – Vol. 12. – Art. 119. – DOI 10.1186/s40104-021-00640-9.

83. Bäckhed, F. Host-bacterial mutualism in the human intestine / F. Bäckhed, R. E. Ley, J. L. Sonnenburg, D. A. Peterson, J. I. Gordon // Science. – 2005. – Vol. 307, No. 5717. – P. 1915–1920. – DOI 10.1126/science.1104816.

84. Bäckhed, F. Mechanisms underlying the resistance to diet-induced obesity in germ-free mice / F. Bäckhed, J. K. Manchester, C. F. Semenkovich, J. I. Gordon // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2007. – Vol. 104, No. 3. – P. 979–984. – DOI 10.1073/pnas.0605374104.

85. Bagnato, G. L. Pulsed electro-magnetic fields in knee osteoarthritis: a double blind, placebo-controlled, randomized clinical trial / G. L. Bagnato, G. Miceli, N. Marino, D. Sciortino, G. F. Bagnato // Rheumatology (Oxford). – 2016. – Vol. 55, No. 4. – P. 755–762. – DOI 10.1093/rheumatology/kev426.

86. Barua, M. An investigation into the influence of age on the standardized amino acid digestibility of wheat and sorghum in broilers / M. Barua, M.

R. Abdollahi, F. Zaefarian [et al.] // Poultry Science. – 2021. – Vol. 100, No. 9. – P. 101324. – DOI 10.1016/j.psj.2021.101324.

87. Bassett, C. A. L. A non-operative salvage of surgically-resistant pseudarthroses and non-unions by pulsing electromagnetic fields. A preliminary report / C. A. L. Bassett, A. A. Pilla, R. J. Pawluk // Clinical Orthopaedics and Related Research. – 1977. – No. 124. – P. 128–143.

88. Baumgard, L. H. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics / L. H. Baumgard, R. P. Rhoads // Annual Review of Animal Biosciences. – 2013. – Vol. 1. – P. 311–337. – DOI 10.1146/annurev-animal-031412-103644.

89. Baurhoo, B. Effects of diets containing different concentrations of mannanoligosaccharide or antibiotics on growth performance, intestinal development, cecal and litter microbial population and carcass parameters of broilers / B. Baurhoo, P. R. Ferket, X. Zhao // Poultry Science. – 2009. – Vol. 88, No. 11. – P. 2262–2272. – DOI 10.3382/ps.2008-00562

90. Bedford, M. R. Enzymes in Farm Animal Nutrition / ed. by M. R. Bedford, G. G. Partridge. – Wallingford, UK: CAB International, 2010. – 400 p.

91. Bernardy, P. Mitochondria and cell death. Mechanistic aspects and methodological issues / P. Bernardy, L. Scorrano, R. Colonna, V. Petronilli [et al.] // European Journal of Biochemistry. – 1999. – Vol. 264, No. 3. – P. 687–701. – DOI 10.1046/j.1432-1327.1999.00647.x.

92. Berridge, M. J. The AM and FM of calcium signaling / M. J. Berridge // Nature. – 1997. – Vol. 386, No. 6625. – P. 759–760. – DOI 10.1038/386759a0.

93. Bodamyali, T. Pulsed electromagnetic fields simultaneously induce osteogenesis and upregulate transcription of bone morphogenetic proteins 2 and 4 in rat osteoblasts in vitro / T. Bodamyali, B. Bhatt, F. J. Hughes, V. R. Winrow, J. M. Kanczler, B. Simon [et al.] // Biochemical and Biophysical Research Communications. – 1998. – Vol. 250, No. 2. – P. 458–461. – DOI 10.1006/bbrc.1998.9243.

94. Bogdan, C. Nitric Oxide and the immune response / C. Bogdan // *Nature Immunology*. – 2001. – Vol. 2, No. 10. – P. 907–916. – DOI 10.1038/ni1001-907.
95. Borges, S. A. Physiological responses of broiler chicken to heat stress and electrolyte balance (sodium plus potassium minus chloride, milliequivalent per kilogram) / S. A. Borges, A. V. Fischer DaSilva, A. Majorka, D. M. Hooge, K. R. Cummings // *Poultry Science*. – 2004. – Vol. 83, No. 9. – P. 1551–1558. – DOI 10.1093/ps/83.9.1551.
96. Bragin, D. E. Increases in microvascular perfusion and tissue oxygenation via pulsed electromagnetic fields in the healthy rat brain / D. E. Bragin, G. L. Statom, S. Hagberg, E. M. Nemoto // *Journal of Neurosurgery*. – 2014. – Vol. 121, No. 5. – P. 1239–1247. – DOI 10.3171/2014.7. JNS132766.
97. Brighton, C. T. Signal transduction in electrically stimulated bone cells / C. T. Brighton, W. Wang, R. Seldes, G. Zhang, S. R. Pollack // *The Journal of Bone and Joint Surgery. American volume*. – 2001. – Vol. 83-A, No. 10. – P. 1514–1523. – DOI 10.2106/00004623-200110000-00009.
98. Brugger, D. In-silico and in-vitro evaluation of the potential of maize kernels to inhibit trypsin activity / D. Brugger, P. Loibl, K. Schedle, W. M. Windisch, C. Fahn // *Animal Feed Science and Technology*. – 2015. – Vol. 207. – P. 289–294. – DOI 10.1016/j.anifeedsci.2015.06.017.
99. Byus, C. V. The effects of low-energy 60-Hz environmental electromagnetic fields upon the growth-related enzyme ornithine decarboxylase / C. V. Byus, S. E. Pieper, W. R. Adey // *Carcinogenesis*. – 1987. – Vol. 8, No. 10. – P. 1385–1389. – DOI 10.1093/carcin/8.10.1385.
100. Cahaner, A. Effects of high temperature on growth and efficiency of male and female broilers from lines selected for high weight gain, favorable feed conversion, and high or low-fat content / A. Cahaner, F. Leenstra // *Poultry Science*. – 1992. – Vol. 71, No. 7. – P. 1237–1250. – DOI 10.3382/ps.0711237.
101. Calabrese, V. Nitric Oxide in the central nervous system: neuroprotection versus neurotoxicity / V. Calabrese, C. Mancuso, M. Calvani, E. Rizzarelli, D. A.

Butterfield, A. M. Stella // *Nature Reviews Neuroscience*. – 2007. – Vol. 8, No. 10. – P. 766–775. – DOI 10.1038/nrn2214.

102. Calini, F. Breeder nutrition and offspring performance / F. Calini, F. Sirri // *Brazilian Journal of Poultry Science*. – 2007. – Vol. 9, No. 2. – P. 77–83. – DOI 10.1590/S1516-635X2007000200001.

103. Cao, C. The microbiota-gut-brain axis during heat stress in chickens: a review / C. Cao, V. S. Chowdhury, M. A. Cline, E. R. Gilbert // *Frontiers in Physiology*. – 2021. – Vol. 12. – Art. 752265. – DOI 10.3389/fphys.2021.752265.

104. Carrick, J. B. Peripheral blood leukocytes / J. B. Carrick, A. P. Begg // *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. – 2008. – Vol. 24, No. 2. – P. 239–259. – DOI 10.1016/j.cveq.2008.05.003.

105. Chamblee, T. N. Yolk sac absorption and initiation of growth in broilers / T. N. Chamblee, J. D. Brake, C. D. Schultz, J. P. Thaxton // *Poultry Science*. – 1992. – Vol. 71, No. 11. – P. 1811–1816. – DOI 10.3382/ps.0711811.

106. Cherian, G. Essential fatty acids and early life programming in meat-type birds / G. Cherian // *World's Poultry Science Journal*. – 2011. – Vol. 67, No. 4. – P. 599–614. – DOI 10.1017/S004393391100066X.

107. Cherian, G. Nutrition and metabolism in poultry: Role of lipids in early diet / G. Cherian // *Journal of Animal Science and Biotechnology*. – 2015. – Vol. 6, No. 1. – Art. 28. – DOI 10.1186/s40104-015-0029-9.

108. Cho, H. Neural stimulation on human bone marrow-derived mesenchymal stem cells by extremely low frequency electromagnetic fields / H. Cho, Y. K. Seo, H. H. Yoon, S. C. Kim, S. M. Kim, K. Y. Song [et al.] // *Biotechnology Progress*. – 2012. – Vol. 28, No. 5. – P. 1329–1335. – DOI 10.1002/btpr.1607.

109. Choct, M. The inhibition of nutrient digestion by wheat pentosans / M. Choct, G. Annison // *British Journal of Nutrition*. – 1992. – Vol. 67, No. 1. – P. 123–132. – DOI 10.1079/BJN19920015.

110. Choct, M. Effects of xylanase supplementation on between-bird variation in energy metabolism and the number of *Clostridium perfringens* in broilers fed a wheat-based diet / M. Choct, M. Sinlae, R. A. M. Aljassim, D. Pettersson

// Australian Journal of Agricultural Research. – 2006. – Vol. 57, No. 9. – P. 1017–1021. – DOI 10.1071/AR06033.

111. Clanton, T. L. Hypoxia-induced reactive oxygen species formation in skeletal muscle / T. L. Clanton // Journal of Applied Physiology. – 2007. – Vol. 102, No. 6. – P. 2379–2388. – DOI 10.1152/jappphysiol.01298.2006.

112. Cowieson, A. J. Meta-analysis of effect of a mono-component xylanase on the nutritional value of wheat supplemented with exogenous phytase for broiler chickens / A. J. Cowieson, W. Schliffka, I. Knap, F. F. Roos, R. Schoop, J. W. Wilson // Animal Production Science. – 2015. – Vol. 56, No. 12. – P. 2014–2022. – DOI 10.1071/AN15039.

113. Cricenti, A. Low-frequency electromagnetic field effects on functional groups in human skin keratinocytes cells revealed by IR-SNOM / A. Cricenti, R. Generosi, M. Luce, P. Perfetti, J. S. Sanghera, I. D. Aggarwal [et al.] // Journal of Microscopy. – 2008. – Vol. 229, Pt 3. – P. 551–554. – DOI 10.1111/j.1365-2818.2008.01942. x.

114. Crissey, S. D. Comparison of the sensitivities of growth and digestibility studies using intact, cecectomized, and cannulated roosters / S. D. Crissey, O. P. Thomas // Poultry Science. – 1987. – Vol. 66, No. 5. – P. 866–874. – DOI 10.3382/ps.0660866.

115. Davis, A. K. The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: a review for ecologists / A. K. Davis, D. L. Maney, J. C. Maerz // Functional Ecology. – 2008. – Vol. 22, No. 5. – P. 760–772. – DOI 10.1111/j.1365-2435.2008.01467. x.

116. Dibner, J. J. The digestive system: Challenges and opportunities / J. J. Dibner, J. D. Richards // The Journal of Applied Poultry Research. – 2004. – Vol. 13, No. 1. – P. 86–93. – DOI 10.1093/japr/13.1.86.

117. DiCarlo, A. L. Myocardial protection conferred by electromagnetic fields / A. L. DiCarlo, J. M. Farrell, T. A. Litovitz // Circulation. – 1999. – Vol. 99, No. 6. – P. 813–816. – DOI 10.1161/01.CIR.99.6.813.

118. Dmytriv, T. R. Intestinal barrier permeability: the influence of gut microbiota, nutrition, and exercise / T. R. Dmytriv, K. B. Storey, V. I. Lushchak

// *Frontiers in Physiology*. – 2024. – Vol. 15. – Art. 1380713. – DOI 10.3389/fphys.2024.1380713.

119. Donker, R. A. Heat-stress influences on antibody production in chicken lines selected for high and low immune responsiveness / R. A. Donker, M. G. Neeuwland, A. J. van der Zijpp // *Poultry Science*. – 1990. – Vol. 69, No. 4. – P. 599–607. – DOI 10.3382/ps.0690599.

120. Du, L. Extremely low frequency magnetic fields inhibit adipogenesis of human mesenchymal stem cells / L. Du, H. Fan, H. Miao, G. Zhao, Y. Hou // *Bioelectromagnetics*. – 2014. – Vol. 35, No. 7. – P. 519–530. – DOI 10.1002/bem.21873.

121. Duke, G. E. Studies of methods for in situ observation of gastric motility in domestic turkeys / G. E. Duke, H. E. Dziuk, O. A. Evanson, J. E. Miller // *Poultry Science*. – 1977. – Vol. 56, No. 5. – P. 1575–1578. – DOI 10.3382/ps.0561575.

122. Ebrahimi, M. R. The effects of extremely low-frequency electromagnetic field on depression, anxiety, thyroid hormones, and gene expression in mice / M. R. Ebrahimi, M. Seraj, A. K. Majidzadeh, A. Khoshdel, H. Shahmiri // *Activitas Nervosa Superior Rediviva*. – 2019. – Vol. 61, No. 1. – P. 33–39.

123. Ewing, W. N. *The Living Gut—An Introduction to Microorganisms in Nutrition* / W. N. Ewing, D. J. A. Cole. – Galway, UK: Context, 1994. – 250 p.

124. Fathi, E. Zinc sulphate mediates the stimulation of cell proliferation of rat adipose tissue-derived mesenchymal stem cells under high intensity of EMF exposure / E. Fathi, R. Farahzadi // *Biological Trace Element Research*. – 2018. – Vol. 184, No. 2. – P. 529–535. – DOI 10.1007/s12011-017-1199-4.

125. Fernie, K. J. *Effects of electric and magnetic fields on selected physiological and reproductive parameters of American kestrels: thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies and Research, Faculty of Agriculture and Environmental Sciences Macdonald Campus of McGill University* / K. J. Fernie. – Montreal: McGill University, 1998. – 185 p.

126. Fernie, K. J. Effects of Electromagnetic Fields on Body Mass and Food-Intake of American Kestrels / K. J. Fernie, D. M. Bird // *The Condor*. – 1999. – Vol. 101, No. 3. – P. 616–621. – DOI 10.2307/1370191.

127. Fernie, K. J. The effects of electromagnetic fields from power lines on avian reproductive biology and physiology: a review / K. J. Fernie, S. J. Reynolds // *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B: Critical Reviews*. – 2005. – Vol. 8, No. 2. – P. 127–140. – DOI 10.1080/10937400590909022.

128. Fernie, K. J. Behavior of free-ranging and captive American kestrels under electromagnetic fields / K. J. Fernie, N. J. Leonard, D. M. Bird // *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*. – 2000. – Vol. 59, No. 8. – P. 597–603. – DOI 10.1080/009841000156619.

129. Filho, A. L. B. M. Enrichment of the amnion with threonine in chicken embryos affects the small intestine development, ileal gene expression and performance of broilers between 1 and 21 days of age / A. L. B. M. Filho, P. R. Ferket, R. D. Malheiros [et al.] // *Poultry Science*. – 2019. – Vol. 98, No. 3. – P. 1363–1370. – DOI 10.3382/ps/pey461.

130. Foye, O. T. The effects of in ovo feeding arginine, β -hydroxy- β -methylbutyrate, and protein on jejunal digestive and absorption activity in embryonic and neonatal turkey poults / O. T. Foye, P. R. Ferket, Z. Uni // *Poultry Science*. – 2007. – Vol. 86, No. 11. – P. 2343–2349. – DOI 10.1093/ps/86.11.2343.

131. Garriga, C. Heat stress increases apical glucose transport in the chicken jejunum / C. Garriga, R. R. Hunter, C. Amat, J. M. Planas, M. A. Mitchell, M. Moretó // *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. – 2006. – Vol. 290, No. 1. – R195–R201. – DOI 10.1152/ajpregu.00393.2005.

132. Geletyuk, V. I. Dual effects of microwaves on single Ca^{2+} -activated K^{+} channels in cultured kidney cells Vero / V. I. Geletyuk, V. N. Kazachenko, N. K. Chemeris, E. E. Fesenko // *FEBS Letters*. – 1995. – Vol. 359, No. 1. – P. 85–88. – DOI 10.1016/0014-5793(94)01449-8.

133. Geraert, P. A. Nitrogen metabolism in genetically fat and lean chickens / P. A. Geraert, M. G. MacLeod, M. Larbier, B. Leclercq // Poultry Science. – 1990. – Vol. 69, No. 11. – P. 1911–1921. – DOI 10.3382/ps.0691911.

134. Geyra, A. Enterocyte Dynamics and Mucosal Development in the Posthatch Chick / A. Geyra, Z. Uni, D. Sklan // Poultry Science. – 2001. – Vol. 80, No. 6. – P. 776–782. – DOI 10.1093/ps/80.6.776.

135. Giersberg, M. F. Effects of hatching system on the welfare of broiler chickens in early and later life / M. F. Giersberg, R. Molenaar, I. C. de Jong, C. Souza da Silva, H. van den Brand, B. Kemp, T. B. Rodenburg // Poultry Science. – 2021. – Vol. 100, No. 3. – Art. 100946. – DOI 10.1016/j.psj.2020.12.043.

136. Glassman, L. S. Effect of external pulsing electromagnetic fields on the healing of soft tissue / L. S. Glassman, M. H. McGrath, C. A. L. Bassett // Annals of Plastic Surgery. – 1986. – Vol. 16, No. 4. – P. 287–295. – DOI 10.1097/00000637-198604000-00004.

137. Goel, A. Heat stress management in poultry / A. Goel // Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. – 2021. – Vol. 105, No. 6. – P. 1136–1145. – DOI 10.1111/jpn.13496.

138. Gonzalez-Rivas, P. A. Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: a review / P. A. Gonzalez-Rivas, S. S. Chauhan, M. Ha, N. Fegan, F. R. Dunshea, R. D. Warner // Meat Science. – 2020. – Vol. 162. – Art. 108025. – DOI 10.1016/j.meatsci.2019.108025.

139. Goodman, R. Increased levels of hsp70 transcripts are induced when cells are exposed to low frequency electromagnetic fields / R. Goodman, M. Blank, H. Lin, O. Khorkova, L. Soo, D. Weisbrot, A. Henderson // Bioelectrochemistry and Bioenergetics. – 1994. – Vol. 33, No. 1. – P. 115–120. – DOI 10.1016/0302-4598(94)87014-0.

140. Gous, R. M. Nutritional interventions in alleviating the effects of high temperatures in broiler production / R. M. Gous, T. R. Morris // World's Poultry Science Journal. – 2005. – Vol. 61, No. 3. – P. 463–475. – DOI 10.1079/WPS200568.

141. Guerriero, F. Extremely low frequency electromagnetic fields stimulation modulates autoimmunity and immune responses: a possible immuno-modulatory therapeutic effect in neurodegenerative diseases / F. Guerriero, G. Ricevuti // *Neural Regeneration Research*. – 2016. – Vol. 11, No. 12. – P. 1888–1895. – DOI 10.4103/1673-5374.195277.
142. Guo, L. Meta-analysis of clinical efficacy of pulsed radio frequency energy treatment / L. Guo, N. J. Kubat, T. R. Nelson, R. A. Isenberg // *Annals of Surgery*. – 2012. – Vol. 255, No. 3. – P. 457–467. – DOI 10.1097/SLA.0b013e3182447b1d.
143. Hajati, H. Application of organic acids in poultry nutrition / H. Hajati // *International Journal of Avian & Wildlife Biology*. – 2018. – Vol. 3, No. 4. – P. 00014. – DOI 10.15406/ijawb.2018.03.00114.
144. Haroon, E. Psychoneuroimmunology meets neuropsychopharmacology: translational implications of the impact of inflammation on behavior / E. Haroon, C. L. Raison, A. H. Miller // *Neuropsychopharmacology*. – 2012. – Vol. 37, No. 1. – P. 137–162. – DOI 10.1038/npp.2011.205.
145. Harrow, S. A. The influence of farming practices on ileal *Lactobacillus salivarius* populations of broiler chickens measured by real-time quantitative PCR / S. A. Harrow, V. Ravindran, R. C. Butler, J. Marshall, G. W. Tannock // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2007. – Vol. 73, No. 22. – P. 7123–7127. – DOI 10.1128/AEM.00919-07.
146. Havenstein, G. B. Growth, livability and feed conversion of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets / G. B. Havenstein, P. R. Ferket, M. A. Qureshi // *Poultry Science*. – 2003. – Vol. 82, No. 10. – P. 1500–1508. – DOI 10.1093/ps/82.10.1500.
147. Heden, P. Effects of pulsed electromagnetic fields on postoperative pain: a double-blind randomized pilot study in breast augmentation patients / P. Heden, A. A. Pilla // *Aesthetic Plastic Surgery*. – 2008. – Vol. 32, No. 4. – P. 660–666. – DOI 10.1007/s00266-008-9169-z.

148. Hendriksen, C. F. Replacement, reduction and refinement alternatives to animal use in vaccine potency measurement / C. F. Hendriksen // Expert Review of Vaccines. – 2009. – Vol. 8, No. 3. – P. 313–322. – DOI 10.1586/14760584.8.3.313.

149. Heuel, M. Black soldier fly larvae meal and fat can completely replace soybean cake and oil in diets for laying hens / M. Heuel, C. Sandrock, F. Leiber, A. Mathys [et al.] // Poultry Science. – 2021. – Vol. 100, No. 4. – Art. 101034. – DOI 10.1016/j.psj.2021.101034.

150. Hollenberg, A. M. Electromagnetic stimulation increases mitochondrial function in osteogenic cells and promotes bone fracture repair / A. M. Hollenberg, A. Huber, C. O. Smith, R. A. Eliseev // Scientific Reports. – 2021. – Vol. 11. – Art. 19114. – DOI 10.1038/s41598-021-98625-1.

151. Hu, T. Effects of low frequency electromagnetic field on the expression of osteopontin gene of the aortic vascular smooth muscle cells in rats / T. Hu, G. L. Jia, H.-C. Wang, W. Y. Guo, Y. J. Cao, X. Y. Wang [et al.] // Chinese Journal of Physical Medicine and Rehabilitation. – 2006. – Vol. 28, No. 2. – P. 91–94.

152. Huo, R. Noninvasive electromagnetic fields on keratinocyte growth and migration / R. Huo, Q. Ma, J. J. Wu, K. Chin-Nuke, Y. Jing, J. Chen [et al.] // Journal of Surgical Research. – 2010. – Vol. 162, No. 2. – P. 299–307. – DOI 10.1016/j.jss.2009.02.016.

153. Huyghebaert, G. An update on alternatives to antimicrobial growth promoters for broilers / G. Huyghebaert, R. Ducatelle, F. Van Immerseel // The Veterinary Journal. – 2011. – Vol. 187, No. 2. – P. 182–188. – DOI 10.1016/j.tvjl.2010.03.003.

154. Ibrahim, A. Effect of magnetic field on productive and physiological performance in broiler breeder / A. Ibrahim, K. Hassan // International Journal of Health Sciences. – 2022. – Vol. 6, Special Issue 5. – P. 2021–2028. – DOI 10.53730/ijhs.v6nS5.9070.

155. ICNIRP guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz) / International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

// Health Physics. – 2020. – Vol. 118, No. 5. – P. 483–524. – DOI 10.1097/HP.0000000000001210.

156. Ignarro, L. J. Biosynthesis and metabolism of endothelium-derived nitric oxide / L. J. Ignarro // *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*. – 1990. – Vol. 30. – P. 535–560. – DOI 10.1146/annurev.pa.30.040190.002535.

157. Ignarro, L. J. Endothelium-derived relaxing factor produced and released from artery and vein is nitric oxide / L. J. Ignarro, G. M. Buga, K. S. Wood, R. E. Byrns, G. Chaudhuri // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 1987. – Vol. 84, No. 24. – P. 9265–9269. – DOI 10.1073/pnas.84.24.9265.

158. Ignarro, L. J. Mechanism of vascular smooth muscle relaxation by organic nitrates, nitrites, nitroprusside and nitric oxide: evidence for the involvement of S-nitrosothiols as active intermediates / L. J. Ignarro, H. Lipperton, J. C. Edwards, W. H. Baricos, A. L. Hyman, P. J. Kadowitz, C. A. Gruetter // *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*. – 1981. – Vol. 218, No. 3. – P. 739–749.

159. Iji, P. A. Body and intestinal growth of broiler chicks on a commercial starter diet. 1. Intestinal weight and mucosal development / P. A. Iji, A. Saki, D. R. Tivey // *British Poultry Science*. – 2001. – Vol. 42, No. 4. – P. 505–513. – DOI 10.1080/00071660120073100.

160. Isaacson, R. The intestinal microbiome of the pig / R. Isaacson, H. B. Kim // *Animal Health Research Reviews*. – 2012. – Vol. 13, No. 1. – P. 100–109. – DOI 10.1017/S1466252312000084.

161. Isshiki, Y. An Easily-handled Method for Attaching an Artificial Anus by Partly Incising of the Rectum in Chickens / Y. Isshiki, Y. Nakahiro // *Japanese Poultry Science*. – 1988. – Vol. 25, No. 3. – P. 148–152. – DOI 10.2141/jpsa.25.148. – [Text in Japanese].

162. Isshiki, Y. Fistulation Technique for the Middle and Caudal Parts of the Jejunum and the Middle Part of the Ileum in Chickens / Y. Isshiki, Y. Nakahiro, K. Yamauchi, Zh. X. Zhou // *Japanese Poultry Science*. – 1989. – Vol. 26, No. 5. – P. 314–321. – DOI 10.2141/jpsa.26.314. – [Text in Japanese].

163. Ivaschuk, O. I. Exposure of nerve growth factor-treated PC12 rat pheochromocytoma cells to a modulated radiofrequency field at 836.55 MHz: effects on c-jun and c-fos expression / O. I. Ivaschuk, R. A. Jones, T. Ishida-Jones, W. R. Haggren, W. R. Adey, J. L. Phillips // *Bioelectromagnetics*. – 1997. – Vol. 18, No. 3. – P. 223–229. – DOI 10.1002/(SICI)1521-186X(1997)18:3<223:AID-BEM5>3.0.CO;2-2.

164. Jha, R. Probiotics (Direct-Fed Microbials) in Poultry Nutrition and Their Effects on Nutrient Utilization, Growth and Laying Performance, and Gut Health: A Systematic Review / R. Jha, R. Das, S. Oak, P. Mishra // *Animals*. – 2020. – Vol. 10, No. 10. – Art. 1863. – DOI 10.3390/ani10101863.

165. Jiang, Z. Effects of different levels of supplementary alpha-amylase on digestive enzyme activities and pancreatic amylase mRNA expression of young broilers / Z. Jiang, Y. Zhou, F. Lu, Z. Han, T. Wang // *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. – 2008. – Vol. 21, No. 1. – P. 97–102. – DOI 10.5713/ajas.2008.70062.

166. Johns, D. C. Comparison of several in vivo digestibility procedures to determine lysine digestibility in poultry diets containing heat treated meat and bone meals / D. C. Johns, C. K. Low, J. R. Sedcole, M. P. Gurnsey, K. A. James // *British Poultry Science*. – 1987. – Vol. 28, No. 3. – P. 397–406. – DOI 10.1080/00071668708416974.

167. Kogut, M. H. Editorial: Gut health: The new paradigm in food animal production / M. H. Kogut, R. J. Arsenault // *Frontiers in Veterinary Science*. – 2016. – Vol. 3. – Art. 71. – DOI 10.3389/fvets.2016.00071.

168. Koorakula, R. Metatranscriptomic Analysis of the Chicken Gut Resistome Response to In-Feed Antibiotics and Natural Feed Additives / R. Koorakula, M. Schiavinato, M. Ghanbari, G. Wegl, N. Grabner, A. Koestelbauer, V. Klose, J. C. Dohm, K. J. Domig // *Frontiers in Microbiology*. – 2022. – Vol. 13. – Art. 833790. – DOI 10.3389/fmicb.2022.833790.

169. Koshikawa, N. Expression of trypsin by epithelial cells of various tissues, leukocytes, and neurons in human and mouse / N. Koshikawa, S. Hasegawa, Y.

Nagashima, K. Mitsuhashi, Y. Tsubota, S. Miyata [et al.] // The American Journal of Pathology. – 1998. – Vol. 153, No. 3. – P. 937–944. – DOI 10.1016/S0002-9440(10)65635-0.

170. Krogdahl, A. Digestion and absorption of lipid in poultry / A. Krogdahl // The Journal of Nutrition. – 1985. – Vol. 115, No. 5. – P. 675–685. – DOI 10.1093/jn/115.5.675.

171. Kubat, N. J. Effect of pulsed electromagnetic field treatment on programmed resolution of inflammation pathway markers in human cells in culture / N. J. Kubat, J. Moffett, L. M. Fray // Journal of Inflammation Research. – 2015. – Vol. 8. – P. 59–69. – DOI 10.2147/JIR.S78631.

172. Kumar, M. Climate change and heat stress: Impact on production, reproduction and growth performance of poultry and its mitigation using genetic strategies / M. Kumar, P. Ratwan, S. P. Dahiya, A. K. Nehra // Journal of Thermal Biology. – 2021. – Vol. 97. – Art. 102867. – DOI 10.1016/j.jtherbio.2021.102867.

173. Kurth, F. Cell-Derived Vesicles as TRPC1 Channel Delivery Systems for the Recovery of Cellular Respiratory and Proliferative Capacities / F. Kurth, Y. K. Tai, D. Parate, M. van Oostrum, R. F. Schmid, S. J. Toh, J. L. Y. Yap, B. Wollscheid, A. Othman, P. S. Dittrich, A. Franco-Obregón // Advanced Biosystems. – 2020. – Vol. 4, No. 11. – Art. e2000146. – DOI 10.1002/adbi.202000146.

174. Li, S. Magnetic resonance spectroscopy for evaluating the effect of pulsed electromagnetic fields on marrow adiposity in postmenopausal women with osteopenia / S. Li, H. Jiang, B. Wang, M. Gu, X. Bi, Y. Yin [et al.] // Journal of Computer Assisted Tomography. – 2018. – Vol. 42, No. 5. – P. 792–797. – DOI 10.1097/RCT.0000000000000757.

175. Liang, Y. Sprinkler technology improves broiler production sustainability: From stress alleviation to water usage conservation: a mini review / Y. Liang, G. T. Tabler, S. Dridi // Frontiers in Veterinary Science. – 2020. – Vol. 7. – Art. 544814. – DOI 10.3389/fvets.2020.544814.

176. Lin, H. Strategies for preventing heat stress in poultry / H. Lin, H. C. Jiao, J. Buyse, E. Decuyper // *World's Poultry Science Journal*. – 2006. – Vol. 62, No. 1. – P. 71–86. – DOI 10.1079/WPS200585.
177. Liu, L. Biological Function of Short-Chain Fatty Acids and Its Regulation on Intestinal Health of Poultry / L. Liu, Q. Li, Y. Yang, A. Guo // *Frontiers in Veterinary Science*. – 2021. – Vol. 8. – Art. 736739. – DOI 10.3389/fvets.2021.736739.
178. Lu, D. Inhibitory effect of extremely low frequency-electromagnetic field combined with static magnetic field on tumor cell proliferation and the possible mechanism / D. Lu, L. Yuan, C. Wang, L. Tan, X. Chen // *Tumor*. – 2019. – Vol. 39, No. 12. – P. 973–984.
179. Lu, Q. Effect of chronic heat exposure on fat deposition and meat quality in two genetic types of chicken / Q. Lu, J. Wen, H. Zhang // *Poultry Science*. – 2007. – Vol. 86, No. 6. – P. 1059–1064. – DOI 10.1093/ps/86.6.1059.
180. Luo, W. Two types of protease-activated receptors (PAR-1 and PAR-2) mediate calcium signaling in rat retinal ganglion cells RGC-5 / W. Luo, Y. Wang, G. Reiser // *Brain Research*. – 2005. – Vol. 1047, No. 2. – P. 159–167. – DOI 10.1016/j.brainres.2005.04.040.
181. Lv, H. Magnetic fields as a potential therapy for diabetic wounds based on animal experiments and clinical trials / H. Lv, J. Liu, C. Zhen, Y. Wang, Y. Wei, W. Ren [et al.] // *Cell Proliferation*. – 2021. – Vol. 54, No. 3. – Art. e12982. – DOI 10.1111/cpr.12982.
182. Mahagna, M. Comparative development of digestive organs, intestinal disaccharidases and some blood metabolites in broiler and layer-type chicks after hatching / M. Mahagna, I. Nir // *British Poultry Science*. – 1996. – Vol. 37, No. 2. – P. 359–371. – DOI 10.1080/00071669608417867.
183. Mahagna, M. Effect of age and exogenous amylase and protease on development of the digestive tract, pancreatic enzyme activities and digestibility of nutrients in young meat-type chicks / M. Mahagna, I. Nir, M. Larbier, Z. Nitsan // *Reproduction, Nutrition, Development*. – 1995. – Vol. 35, No. 2. – P. 201–212. – DOI 10.1051/rnd:19950208.

184. Mahaki, H. The effects of extremely low-frequency electromagnetic fields on c-Maf, STAT6, and ROR α expressions in spleen and thymus of rat / H. Mahaki, N. Jabarivasal, K. Sardarian, A. Zamani // *Electromagnetic Biology and Medicine*. – 2019. – Vol. 38, No. 2. – P. 177–183. – DOI 10.1080/15368378.2019.1608832.

185. Manni, V. Effects of extremely low frequency (50 Hz) magnetic field on morphological and biochemical properties of human keratinocytes / V. Manni, A. Lisi, D. Pozzi, S. Rieti, A. Serafino, L. Giuliani [et al.] // *Bioelectromagnetics*. – 2002. – Vol. 23, No. 4. – P. 298–305. – DOI 10.1002/bem.10023.

186. Manni, V. Low electromagnetic field (50 Hz) induces differentiation on primary human oral keratinocytes (HOK) / V. Manni, A. Lisi, S. Rieti, A. Serafino, M. Ledda, L. Giuliani [et al.] // *Bioelectromagnetics*. – 2004. – Vol. 25, No. 2. – P. 118–126. – DOI 10.1002/bem.10158.

187. Markowiak, P. The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition / P. Markowiak, K. Śliżewska // *Gut Pathogens*. – 2018. – Vol. 10. – Art. 21. – DOI 10.1186/s13099-018-0250-0.

188. Martins, J. M. S. Productive and Economic Performance of Broiler Chickens Subjected to Different Nutritional Plans / J. M. S. Martins, C. M. C. Carvalho, F. Litz, M. M. Silveira, C. Moraes, M. C. A. Silva, N. Fagundes, E. Fernandes // *Revista Brasileira de Ciência Avícola*. – 2016. – Vol. 18, No. 2. – P. 209–216. – DOI 10.1590/1806-9061-2015-0037.

189. Mazzoni, M. Effect of chronic heat stress on gastrointestinal histology and expression of feed intake-regulatory hormones in broiler chickens / M. Mazzoni, M. Zampiga, P. Clavenzani, G. Lattanzio, C. Tagliavia, F. Sirri // *Animal*. – 2022. – Vol. 16, No. 6. – Art. 100600. – DOI 10.1016/j.animal.2022.100600.

190. McBurney, W. A culture-independent approach to the analysis of the gut microflora of broilers / W. McBurney, G. Tannock, V. Ravindran // *Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium*. – 2003. – Vol. 15. – P. 131–134.

191. Meseret, S. A review of poultry welfare in conventional production system / S. Meseret // *Livestock Research for Rural Development*. – 2016. – Vol. 28, No. 10. – Art. 201.

192. Mir, N. A. Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: a review / N. A. Mir, A. Rafiq, F. Kumar, V. Singh, V. Shukla // *Journal of Food Science and Technology*. – 2017. – Vol. 54, No. 10. – P. 2997–3009. – DOI 10.1007/s13197-017-2789-z.
193. Mishra, B. Oxidative stress in the poultry gut: Potential challenges and interventions / B. Mishra, R. Jha // *Frontiers in Veterinary Science*. – 2019. – Vol. 6. – Art. 60. – DOI 10.3389/fvets.2019.00060.
194. Moran, E. T., Jr. Digestion and absorption of carbohydrates in fowl and events through perinatal development / E. T. Moran, Jr. // *The Journal of Nutrition*. – 1985. – Vol. 115, No. 5. – P. 665–674. – DOI 10.1093/jn/115.5.665.
195. Moran, E. T., Jr. Nutrition of the developing embryo and hatchling / E. T. Moran, Jr. // *Poultry Science*. – 2007. – Vol. 86, No. 5. – P. 1043–1049. – DOI 10.1093/ps/86.5.1043.
196. Mujahid, A. Acute heat stress induces oxidative stress and decreases adaptation in young white leghorn cockerels by downregulation of avian uncoupling protein / A. Mujahid, Y. Akiba, M. Toyomizu // *Poultry Science*. – 2007. – Vol. 86, No. 2. – P. 364–371. – DOI 10.1093/ps/86.2.364.
197. Naga Raja Kumari, K. Ameliorative measures to counter heat stress in poultry / K. Naga Raja Kumari, D. Narendra Nath // *World's Poultry Science Journal*. – 2018. – Vol. 74, No. 1. – P. 117–130. – DOI 10.1017/S0043933917001003.
198. Nawaz, A. H. Poultry response to heat stress: Its physiological, metabolic, and genetic implications on meat production and quality including strategies to improve broiler production in a warming world / A. H. Nawaz, K. Amoah, Q. Y. Leng, J. H. Zheng, W. L. Zhang, L. Zhang [et al.] // *Frontiers in Veterinary Science*. – 2021. – Vol. 8. – Art. 699081. – DOI 10.3389/fvets.2021.699081.
199. Nelson, F. R. Non-invasive electromagnetic field therapy produces rapid and substantial pain reduction in early knee osteoarthritis: a randomized double-blind pilot study / F. R. Nelson, R. Zvirbulis, A. A. Pilla // *Rheumatology International*. – 2013. – Vol. 33, No. 8. – P. 2169–2173. – DOI 10.1007/s00296-013-2779-z.

200. Nir, I. Comparative growth and development of the digestive organs and of some enzymes in broiler and egg type chicks after hatching / I. Nir, Z. Nitsan, M. Mahagna // *British Poultry Science*. – 1993. – Vol. 34, No. 3. – P. 523–532. – DOI 10.1080/00071669308417608.

201. Nir, I. Effect of particle size on performance. 1. Corn / I. Nir, G. Shefet, Y. Aaroni // *Poultry Science*. – 1994. – Vol. 73, No. 1. – P. 45–49. – DOI 10.3382/ps.0730045.

202. Nitsan, Z. Growth and development of the digestive organs and some enzymes in broiler chicks after hatching / Z. Nitsan, G. Ben-Avraham, Z. Zoref, I. Nir // *British Poultry Science*. – 1991. – Vol. 32, No. 3. – P. 515–523. – DOI 10.1080/00071669108417376.

203. Nitsan, Z. Organ growth and digestive enzyme levels to fifteen days of age in lines of chickens differing in body weight / Z. Nitsan, E. A. Dunnington, P. B. Siegel // *Poultry Science*. – 1991. – Vol. 70, No. 10. – P. 2040–2048. – DOI 10.3382/ps.0702040.

204. Noy, Y. Digestion and absorption in the young chick / Y. Noy, D. Sklan // *Poultry Science*. – 1995. – Vol. 74, No. 2. – P. 366–373. – DOI 10.3382/ps.0740366.

205. Noy, Y. Nutrient use in chicks during the first week posthatch / Y. Noy, D. Sklan // *Poultry Science*. – 2002. – Vol. 81, No. 3. – P. 391–399. – DOI 10.1093/ps/81.3.391.

206. Noy, Y. Posthatch development in poultry / Y. Noy, D. Sklan // *The Journal of Applied Poultry Research*. – 1997. – Vol. 6, No. 4. – P. 344–354. – DOI 10.1093/japr/6.4.344.

207. Noy, Y. Utilisation of yolk in the newly-hatched chick / Y. Noy, Z. Uni, D. Sklan // *British Poultry Science*. – 1996. – Vol. 37, No. 5. – P. 987–996. – DOI 10.1080/00071669608417929.

208. Ozturk, H. Extremely low frequency electromagnetic fields exposure during the prenatal and postnatal periods alters pro-inflammatory cytokines levels by gender / H. Ozturk, D. Saribal, Y. M. Gelmez, G. Deniz, A. Yilmaz, A. Kirectepe [et

al.] // *Electromagnetic Biology and Medicine*. – 2022. – Vol. 41, No. 2. – P. 163–173. – DOI 10.1080/15368378.2022.2046045.

209. Panagopoulos, D. J. Mechanism for action of electromagnetic fields on cells / D. J. Panagopoulos, A. Karabarbounis, L. H. Margaritis // *Biochemical and Biophysical Research Communications*. – 2002. – Vol. 298, No. 1. – P. 95–102. – DOI 10.1016/S0006-291X(02)02393-8.

210. Pascual-Leone, A. Rapid-rate transcranial magnetic stimulation of left dorsolateral prefrontal cortex in drug-resistant depression / A. Pascual-Leone, B. Rubio, F. Pallardo, M. D. Catala // *The Lancet*. – 1996. – Vol. 348, No. 9022. – P. 233–237. – DOI 10.1016/S0140-6736(96)01219-6.

211. Pawlak, K. Effect of a 1800 MHz electromagnetic field emitted during embryogenesis on chick development and hatchability / K. Pawlak, Z. Nieckarz, A. Sechman, D. Wojtysiak, B. Bojarski, B. Tombarkiewicz // *Anatomia, Histologia, Embryologia*. – 2018. – Vol. 47, No. 3. – P. 222–230. – DOI 10.1111/ahe.12346.

212. Payen, C. Effects of Major Families of Modulators on Performances and Gastrointestinal Microbiota of Poultry, Pigs and Ruminants: A Systematic Approach / C. Payen, A. Kerouanton, J. Novoa, F. Pazos, C. Benito, M. Denis, M. Guyard, F. J. Moreno, M. Chemaly // *Microorganisms*. – 2023. – Vol. 11, No. 6. – Art. 1464. – DOI 10.3390/microorganisms11061464.

213. Pena-Philippides, J. C. Effect of pulsed electromagnetic field (PEMF) on infarct size and inflammation after cerebral ischemia in mice / J. C. Pena-Philippides, Y. Yang, O. Bragina, S. Hagberg, E. Nemoto, T. Roitbak // *Translational Stroke Research*. – 2014. – Vol. 5, No. 4. – P. 491–500. – DOI 10.1007/s12975-014-0335-0.

214. Peng, C. Effects of antibiotic growth promoter and its natural alternative on poultry cecum ecosystem: an integrated analysis of gut microbiota and host expression / C. Peng, M. Ghanbari, A. May, T. Abeel // *Frontiers in Microbiology*. – 2024. – Vol. 15. – Art. 1492270. – DOI 10.3389/fmicb.2024.1492270.

215. Petecchia, L. Electro-magnetic field promotes osteogenic differentiation of BM-hMSCs through a selective action on Ca²⁺-related mechanisms / L. Petecchia,

F. Sbrana, R. Utzeri, M. Vercellino, C. Usai, L. Visai, M. Vassalli, P. Gavazzo // Scientific Reports. – 2015. – Vol. 5. – Art. 13856. – DOI 10.1038/srep13856.

216. Petracci, M. Meat quality in fast-growing broiler chickens / M. Petracci, S. Mudalal, F. Soglia, C. Cavani // World's Poultry Science Journal. – 2015. – Vol. 71, No. 2. – P. 363–374. – DOI 10.1017/S0043933915000367.

217. Pilla, A. A. Nonthermal electromagnetic fields: from first messenger to therapeutic applications / A. A. Pilla // Electromagnetic Biology and Medicine. – 2013. – Vol. 32, No. 2. – P. 123–136. – DOI 10.3109/15368378.2013.776335.

218. Pinna, S. The effects of pulsed electromagnetic field in the treatment of osteoarthritis in dogs: Clinical Study / S. Pinna, F. Landucci, A. M. Tribuiani, F. Carli, A. Venturini // Pakistan Veterinary Journal. – 2012. – Vol. 33, No. 1. – P. 96–100.

219. Pirgozliev, V. R. Feeding dihydroquercetin and vitamin E to broiler chickens reared at standard and high ambient temperatures / V. R. Pirgozliev, C. A. Westbrook, S. L. Woods, S. C. Mansbridge, S. P. Rose, I. M. Whiting, D. G. Yovchev, A. G. Atanasov, K. Kljak, G. P. Staykova, S. G. Ivanova, M. R. Karageçili, F. Karadas, J. H. Stringhini // Archives of Animal Nutrition. – 2020. – Vol. 74, No. 6. – P. 496–511. – DOI 10.1080/1745039X.2020.1820807.

220. Rasouli, J. Attenuation of interleukin-1 β by pulsed electromagnetic fields after traumatic brain injury / J. Rasouli, R. Lekhraj, N. M. White, E. S. Flamm, A. A. Pilla, B. Strauch, D. Casper // Neuroscience Letters. – 2012. – Vol. 519, No. 1. – P. 4–8. – DOI 10.1016/j.neulet.2012.05.010.

221. Ravindran, V. Nutrition and Digestive Physiology of the Broiler Chick: State of the Art and Outlook / V. Ravindran, M. R. Abdollahi // Animals. – 2021. – Vol. 11, No. 10. – Art. 2795. – DOI 10.3390/ani11102795.

222. Ravindran, V. Feed enzymes: The science, practice, and metabolic realities / V. Ravindran // The Journal of Applied Poultry Research. – 2013. – Vol. 22, No. 3. – P. 628–636. – DOI 10.3382/japr.2013-00739. – (Presented as a part of the Informal Nutrition Symposium “Metabolic Responses to Nutrition and Modifiers” at the Poultry Science Association's annual meeting in Athens, Georgia, July 9, 2012).

223. Ravindran, V. Influence of whole wheat feeding on the development of digestive organs and performance of broiler chickens / V. Ravindran, Y. B. Wu, D. G. Thomas, P. C. H. Morel // *Australian Journal of Agricultural Research*. – 2006. – Vol. 57, No. 1. – P. 21–26. – DOI 10.1071/AR05155.

224. Renaudeau, D. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production / D. Renaudeau, A. Collin, S. Yahav, V. de Basilio, J. L. Gourdine, R. J. Collier // *Animal*. – 2012. – Vol. 6, No. 5. – P. 707–728. – DOI 10.1017/S1751731111002448.

225. Reyes-Guerrero, G. Extremely low frequency electromagnetic fields differentially regulate estrogen receptor α and β expression in the rat olfactory bulb / G. Reyes-Guerrero, C. Guzmán, D. E. García, I. Camacho-Arroyo, M. Vázquez-García // *Neuroscience Letters*. – 2010. – Vol. 471, No. 2. – P. 109–113. – DOI 10.1016/j.neulet.2010.01.021.

226. Rinttilä, T. Intestinal microbiota and metabolites—Implications for broiler chickens / T. Rinttilä, J. Apajalahti // *The Journal of Applied Poultry Research*. – 2013. – Vol. 22, No. 3. – P. 647–658. – DOI 10.3382/japr.2012-00711.

227. Robertson, J. A. The influence of extremely low frequency magnetic fields on cytoprotection and repair / J. A. Robertson, A. W. Thomas, Y. Bureau, F. S. Prato // *Bioelectromagnetics*. – 2007. – Vol. 28, No. 1. – P. 16–30. – DOI 10.1002/bem.20241.

228. Rodriguez De La Fuente, A. O. Effect of 60 Hz electromagnetic fields on the activity of hsp70 promoter: an in vitro study / A. O. Rodriguez De La Fuente, J. M. Alcocer-Gonzalez, J. A. Heredia-Rojas, I. Balderas-Candanosa, L. E. Rodriguez-Flores, C. Rodriguez-Padilla, R. S. Tamez-Guerra // *Cell Biology International*. – 2009. – Vol. 33, No. 4. – P. 419–423. – DOI 10.1016/j.cellbi.2009.01.006.

229. Rohde, C. Effects of pulsed electromagnetic fields on interleukin-1 beta and postoperative pain: a double-blind, placebo-controlled, pilot study in breast reduction patients / C. Rohde, A. Chiang, O. Adipoju, D. Casper, A. A. Pilla // *Plastic and Reconstructive Surgery*. – 2010. – Vol. 125, No. 6. – P. 1620–1629. – DOI 10.1097/PRS.0b013e3181d0aa5b.

230. Roland, D. Effects of pulsed magnetic energy on a microsurgically transferred vessel / D. Roland, M. Ferder, R. Kothuru, T. Faierman, B. Strauch // *Plastic and Reconstructive Surgery*. – 2000. – Vol. 105, No. 4. – P. 1371–1374. – DOI 10.1097/00006534-200004040-00010.

231. Rosado, M. M. Immune-modulating perspectives for low frequency electromagnetic fields in innate immunity / M. M. Rosado, M. Simko, M. O. Mattsson, C. Pioli // *Frontiers in Public Health*. – 2018. – Vol. 6. – Art. 85. – DOI 10.3389/fpubh.2018.00085.

232. Rosenvold, K. Factors of significance for pork quality — a review / K. Rosenvold, H. J. Andersen // *Meat Science*. – 2003. – Vol. 64, No. 3. – P. 219–237. – DOI 10.1016/S0309-1740(02)00186-9.

233. Ross, C. L. The Use of Pulsed Electromagnetic Field to Modulate Inflammation and Improve Tissue Regeneration: A Review / C. L. Ross, Y. Zhou, C. E. McCall, S. Soker, T. L. Criswell // *Bioelectricity*. – 2019. – Vol. 1, No. 4. – P. 247–259. – DOI 10.1089/bioe.2019.0026.

234. Rowland, I. Gut microbiota functions: metabolism of nutrients and other food components / I. Rowland, G. Gibson, A. Heinken [et al.] // *European Journal of Nutrition*. – 2018. – Vol. 57, No. 1. – P. 1–24. – DOI 10.1007/s00394-017-1445-8.

235. Saeed, M. Heat stress management in poultry farms: a comprehensive overview / M. Saeed, G. Abbas, M. Alagawany, A. A. Kamboh, M. E. Abd El-Hack, A. F. Khafaga [et al.] // *Journal of Thermal Biology*. – 2019. – Vol. 84. – P. 414–425. – DOI 10.1016/j.jtherbio.2019.07.025.

236. Sahin, K. Role of dietary zinc in heat-stressed poultry: a review / K. Sahin, N. Sahin, O. Kucuk, A. Hayirli, A. S. Prasad // *Poultry Science*. – 2009. – Vol. 88, No. 10. – P. 2176–2183. – DOI 10.3382/ps.2008-00560.

237. Schat, K. A. Avian intestinal immunity / K. A. Schat, T. J. Myers // *Critical Reviews in Poultry Biology*. – 1993. – Vol. 3. – P. 19–34.

238. Scheiber, A. R. Water ingestion and excretion in turkeys with a rectal fistula / A. R. Scheiber, H. E. Dziuk // *Journal of Applied Physiology*. – 1969. – Vol. 26, No. 3. – P. 277–281. – DOI 10.1152/jappl.1969.26.3.277.

239. Seid, M. Review on Effect of Stress on Animal Productivity and Response of Animal to Stressors / M. Seid, E. Ahmed // Journal of Animal, Veterinary and Animal Sciences. – 2021. – Vol. 20. – P. 1–14. – DOI 10.36478/javaa.2021.1.14.

240. Shakeri, M. Growth performance and characterization of meat quality of broiler chickens supplemented with betaine and antioxidants under cyclic heat stress / M. Shakeri, J. J. Cottrell, S. Wilkinson, H. H. Le, H. A. Suleria, R. D. Warner, F. R. Dunshea // Antioxidants. – 2019. – Vol. 8, No. 9. – Art. 336. – DOI 10.3390/antiox8090336.

241. Singh, V. Butyrate producers, "The Sentinel of Gut": Their intestinal significance with and beyond butyrate, and prospective use as microbial therapeutics / V. Singh, G. Lee, H. Son, H. Koh, E. S. Kim, T. Unno, J. H. Shin // Frontiers in Microbiology. – 2023. – Vol. 13. – Art. 1103836. – DOI 10.3389/fmicb.2022.1103836.

242. Strauch, B. Evidence-based use of pulsed electromagnetic field therapy in clinical plastic surgery / B. Strauch, C. Herman, R. Dabb, L. J. Ignarro, A. A. Pilla // Aesthetic Surgery Journal. – 2009. – Vol. 29, No. 2. – P. 135–143. – DOI 10.1016/j.asj.2009.02.001.

243. Sun, X. Effect of extremely low frequency electromagnetic fields on Bax and Bcl-2 expression in spermatogenic cells of rats / X. Sun, F. Duan, S. Kou, J. Liu, Y. Ma // Chinese Journal of Public Health. – 2009. – Vol. 25, No. 8. – P. 989–990.

244. Surai, P. F. Antioxidant defence systems and oxidative stress in poultry biology: an update / P. F. Surai, I. I. Kochish, V. I. Fisinin, M. T. Kidd // Antioxidants. – 2019. – Vol. 8, No. 7. – Art. 235. – DOI 10.3390/antiox8070235.

245. Svihus, B. Starch digestion capacity of poultry / B. Svihus // Poultry Science. – 2014. – Vol. 93, No. 10. – P. 2394–2399. – DOI 10.3382/ps.2014-03905.

246. Tako, E. Effects of in ovo feeding of carbohydrates and beta-hydroxy-beta-methylbutyrate on the development of chicken intestine / E. Tako, P. R. Ferket, Z. Uni // Poultry Science. – 2004. – Vol. 83, No. 12. – P. 2023–2028. – DOI 10.1093/ps/83.12.2023.

247. Tancharoenrat, P. Apparent metabolisable energy and total tract fat digestibility of different fat sources for broiler chickens / P. Tancharoenrat, V.

Ravindran, F. Zaefarian, G. Ravindran // *Animal Feed Science and Technology*. – 2013. – Vol. 186, No. 3-4. – P. 186–192. – DOI 10.1016/j.anifeedsci.2013.09.007.

248. Tarvid, I. The development of protein digestion in poultry / I. Tarvid // *Avian and Poultry Biology Reviews*. – 1995. – Vol. 6, No. 1. – P. 35–54.

249. Taylor, M. L. Comparison of broiler performance when fed diets containing corn grain with insect-protected (corn rootworm and European corn borer) and herbicide-tolerant (glyphosate) traits, control corn, or commercial reference corn / M. L. Taylor, G. Hartnell, M. Nemeth, K. Karunanandaa, B. George // *Poultry Science*. – 2005. – Vol. 84, No. 12. – P. 1893–1899. – DOI 10.1093/ps/84.12.1893. – (Corrected and republished from: *Poult. Sci.* 2005, 84(4), 587–593).

250. Teyssier, J-R. A review of heat stress in chickens. Part II: insights into protein and energy utilization and feeding / J-R. Teyssier, G. Brugaletta, F. Sirri, S. Dridi, S. J. Rochell // *Frontiers in Physiology*. – 2022. – Vol. 13. – Art. 943612. – DOI 10.3389/fphys.2022.943612.

251. Thiam, M. Heterophil/Lymphocyte Ratio Level Modulates Salmonella Resistance, Cecal Microbiota Composition and Functional Capacity in Infected Chicken / M. Thiam, Q. Wang, A. L. Barreto Sánchez, J. Zhang, J. Ding, H. Wang, Q. Zhang, N. Zhang, J. Wang, Q. Li, J. Wen, G. Zhao // *Frontiers in Immunology*. – 2022. – Vol. 13. – Art. 816689. – DOI 10.3389/fimmu.2022.816689.

252. Thomas, D. V. Nutrient utilisation of diets based on wheat, sorghum or maize by the newly hatched broiler chick / D. V. Thomas, V. Ravindran, G. Ravindran // *British Poultry Science*. – 2008. – Vol. 49, No. 4. – P. 429–435. – DOI 10.1080/00071660802251741.

253. Timbermont, L. Necrotic enteritis in broilers: an updated review on the pathogenesis / L. Timbermont, F. Haesebrouck, R. Ducatelle, F. Van Immerseel // *Avian Pathology*. – 2011. – Vol. 40, No. 4. – P. 341–347. – DOI 10.1080/03079457.2011.590967.

254. Tsai, M. T. Modulation of osteogenesis in human mesenchymal stem cells by specific pulsed electromagnetic field stimulation / M. T. Tsai, W. J. Li, R. S. Tuan,

W. H. Chang // Journal of Orthopaedic Research. – 2009. – Vol. 27, No. 9. – P. 1169–1174. – DOI 10.1002/jor.20862.

255. Tur, J. A. Ontogeny of the gastrointestinal motility in young broilers / J. A. Tur, R. V. Rial, S. Esteban, J. M. Rayo // Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology. – 1986. – Vol. 83, No. 1. – P. 61–65. – DOI 10.1016/0300-9629(86)90086-0.

256. Uni, Z. Posthatch development of mucosal function in the broiler small intestine / Z. Uni, S. Ganot, D. Sklan // Poultry Science. – 1998. – Vol. 77, No. 1. – P. 75–82. – DOI 10.1093/ps/77.1.75.

257. Uni, Z. Methods for early nutrition and their potential / Z. Uni, R. P. Ferket // World's Poultry Science Journal. – 2004. – Vol. 60, No. 1. – P. 101–111. – DOI 10.1079/WPS20038.

258. Uni, Z. Development of the small intestine in heavy and light strain chicks before and after hatching / Z. Uni, Y. Noy, D. Sklan // British Poultry Science. – 1996. – Vol. 37, No. 1. – P. 63–71. – DOI 10.1080/00071669608417838.

259. Uni, Z. Morphological, molecular, and functional changes in the chicken small intestine of the late-term embryo / Z. Uni, E. Tako, O. Gal-Garber, D. Sklan // Poultry Science. – 2003. – Vol. 82, No. 11. – P. 1747–1754. – DOI 10.1093/ps/82.11.1747.

260. Varani, K. Adenosine receptors as a biological pathway for the anti-inflammatory and beneficial effects of low frequency low energy pulsed electromagnetic fields / K. Varani, F. Vincenzi, A. Ravani, S. Pasquini, S. Merighi, S. Gessi, S. Setti, M. Cadossi, P. A. Borea, R. Cadossi // Mediators of Inflammation. – 2017. – Vol. 2017. – Art. 2740963. – DOI 10.1155/2017/2740963.

261. Vertiprakhov, V. The Correlation between the Activities of Digestive Enzymes in the Pancreas and Blood Serum in Chicken / V. Vertiprakhov, A. A. Grozina, V. Fisinin, I. Egorov // Open Journal of Animal Sciences. – 2018. – Vol. 8, No. 3. – P. 215–222. – DOI 10.4236/ojas.2018.83016.

262. Vertiprakhov, V. Trypsin cycling in poultry is associated with metabolic regulation / V. Vertiprakhov, V. Trukhachev, N. V. Ovchinnikova // *Frontiers in Physiology*. – 2023. – Vol. 14. – Art. 1226546. – DOI 10.3389/fphys.2023.1226546.

263. Vianale, G. Extremely low frequency electromagnetic field enhances human keratinocyte cell growth and decreases proinflammatory chemokine production / G. Vianale, M. Reale, P. Amerio, M. Stefanachi, D. Luzio, S. Muraro [et al.] // *British Journal of Dermatology*. – 2008. – Vol. 158, No. 6. – P. 1189–1196. – DOI 10.1111/j.1365-2133.2008.08540. x.

264. Wasti, S. Impact of heat stress on poultry health and performances, and potential mitigation strategies / S. Wasti, N. Sah, B. Mishra // *Animals*. – 2020. – Vol. 10, No. 8. – Art. 1266. – DOI 10.3390/ani10081266.

265. Weber, R. V. Pulsed magnetic fields applied to a transferred arterial loop support the rat groin composite flap / R. V. Weber, A. Navarro, J. K. Wu, H. L. Yu, B. Strauch // *Plastic and Reconstructive Surgery*. – 2004. – Vol. 114, No. 5. – P. 1185–1189. – DOI 10.1097/01.PRS.0000135949.32271.C1.

266. Xing, T. Stress effects on meat quality: a mechanistic perspective / T. Xing, F. Gao, R. K. Tume, G. H. Zhou, X. L. Xu // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2019. – Vol. 18, No. 2. – P. 380–401. – DOI 10.1111/1541-4337.12417.

267. Yahav, S. Alleviating heat stress in domestic fowl: different strategies / S. Yahav // *World's Poultry Science Journal*. – 2009. – Vol. 65, No. 4. – P. 719–732. – DOI 10.1017/S004393390900049X.

268. Yamauchi, K. Review of chicken intestinal villus histological alterations related with intestinal function / K. Yamauchi // *The Journal of Poultry Science*. – 2002. – Vol. 39, No. 4. – P. 229–242. – DOI 10.2141/jpsa.39.229.

269. Youn, D. H. Differential roles of signal transduction mechanisms in long-term potentiation of excitatory synaptic transmission induced by activation of group I mGluRs in the spinal trigeminal subnucleus oralis / D. H. Youn // *Brain Research Bulletin*. – 2014. – Vol. 108. – P. 37–43. – DOI 10.1016/j.brainresbull.2014.08.007.

270. Yousaf, S. A Review of Probiotic Applications in Poultry: Improving Immunity and Having Beneficial Effects on Production and Health / S. Yousaf, H. M. Nouman, I. Ahmed, S. Husain, M. Waseem, S. Nadeem, M. Tariq, O. Sizmaz, M. F. Z. Chudhry // *Advances in Microbiology*. – 2022. – Vol. 61, No. 3. – P. 115–123. – DOI 10.2478/am-2022.010.
271. Yunis, R. The effects of the naked neck (Na) and frizzle (F) genes on growth and meat yield of broilers and their interactions with ambient temperatures and potential growth rate / R. Yunis, A. Cahaner // *Poultry Science*. – 1999. – Vol. 78, No. 10. – P. 1347–1352. – DOI 10.1093/ps/78.10.1347.
272. Zelenka, J. Effect of age on digestibility of starch in chickens with different growth rate / J. Zelenka, Z. Ceresnakova // *Czech Journal of Animal Science*. – 2005. – Vol. 50, No. 9. – P. 411–415.
273. Zelenka, J. Apparent digestibility of fat and nitrogen retention in young chicks / J. Zelenka, E. Fajmonová, E. Blažková // *Czech Journal of Animal Science*. – 2000. – Vol. 45, No. 10. – P. 457–462.
274. Zhang, M. Effects of low frequency electromagnetic field on proliferation of human epidermal stem cells: an in vitro study / M. Zhang, X. Li, L. Bai, K. Uchida, W. Bai, B. Wu [et al.] // *Bioelectromagnetics*. – 2013. – Vol. 34, No. 1. – P. 74–80. – DOI 10.1002/bem.21747.
275. Zidan, N. The effect of electromagnetic fields on postoperative pain and locomotor recovery in dogs with acute, severe thoracolumbar intervertebral disc extrusion: a randomized placebo-controlled, prospective clinical trial / N. Zidan, J. Fenn, E. Griffith, P. J. Early, C. L. Mariani, K. R. Munana, J. Guevar, N. Olby // *Journal of Neurotrauma*. – 2018. – Vol. 35, No. 15. – P. 1726–1736. – DOI 10.1089/neu.2017.5485.
276. Zuidhof, M. J. Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978 and 2005 / M. J. Zuidhof, B. L. Schneider, V. L. Carney, D. R. Korver, F. E. Robinson // *Poultry Science*. – 2014. – Vol. 93, No. 12. – P. 2970–2982. – DOI 10.3382/ps.2014-04291.

8. ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Журнал регистрации параметров микроклимата интактных кур 3сод/инт КОНТРОЛЬ

Дата	Возраст, сут	Температура, °C		Влажность, %		Тепловой стресс, балл		Примечания
		Утро	Вечер	Утро	Вечер	Утро	Вечер	
05.07.2024	1	32	32	71	68	0	0	Заселение цыплят, активны
06.07.2024	2	32	33	70	65	0	1	Активны, пьют воду
07.07.2024	3	32	32	69	64	0	1	Небольшое учащение дыхания
08.07.2024	4	32	32	68	63	1	2	Жара усиливается
09.07.2024	5	32	32	71	68	1	2	Легкое учащение дыхания, повышена влажность
10.07.2024	6	32	32	72	65	1	2	Часть птицы с открытым клювом
11.07.2024	7	32	33	69	62	1	2	Вечером жарко
12.07.2024	8	30	31	67	60	1	2	Жара; рект. T = 41,8±0,3
13.07.2024	9	33	32	66	58	1	2	Птица вялая к вечеру
14.07.2024	10	32	32	64	59	2	2	Утром уже жарко
15.07.2024	11	30	34	65	55	2	3	Сильная жара, открытые клювы
16.07.2024	12	31	33	62	54	2	3	Пьют много воды
17.07.2024	13	31	33	64	58	2	2	Учащенное дыхание
18.07.2024	14	30	33	68	63	1	2	Птица вялая
19.07.2024	15	31	31	67	62	1	2	Взвешивание; рект. T = 41,9±0,2
20.07.2024	16	30	32	70	65	1	2	Птица вялая к вечеру
21.07.2024	17	30	33	71	64	1	2	Без особенностей
22.07.2024	18	30	32	70	61	1	2	Отбор крови
23.07.2024	19	30	33	68	60	1	2	Без особенностей
24.07.2024	20	30	33	67	63	1	2	Отбор будущей фистульной птицы
25.07.2024	21	29	33	69	64	1	2	Взвешивание
26.07.2024	22	26	30	72	68	0	2	Похолодание; рект. T = 41,7±0,3
27.07.2024	23	26	30	71	70	0	1	Без особенностей
28.07.2024	24	26	30	70	67	0	2	Без особенностей
29.07.2024	25	27	29	70	64	1	2	Без особенностей
30.07.2024	26	26	29	70	63	1	2	Без особенностей
31.07.2024	27	26	29	69	66	0	1	Без особенностей
01.08.2024	28	28	30	73	68	1	1	Дождливо
02.08.2024	29	26	28	73	69	1	1	Отбор крови, взвешивание
03.08.2024	30	27	30	70	70	0	1	Без особенностей
04.08.2024	31	25	28	73	71	0	1	Без особенностей
05.08.2024	32	26	28	68	73	1	1	Без особенностей
06.08.2024	33	26	29	69	74	0	1	Без особенностей
07.08.2024	34	21	24	73	76	0	0	Утром морось, туман
08.08.2024	35	25	29	81	77	0	0	Высокая влажность
09.08.2024	36	25	27	83	78	0	0	Ливень, гроза
10.08.2024	37	25	26	80	76	0	0	Без особенностей
11.08.2024	38	24	28	75	68	1	1	Без особенностей
12.08.2024	39	25	28	72	65	1	2	Без особенностей
13.08.2024	40	26	26	70	62	1	1	Без особенностей
14.08.2024	41	27	24	68	60	1	0	Подготовка к убою, взвешивание, отбор крови

Журнал регистрации параметров микроклимата интактных кур 4сод/инт ОПЫТ

Дата	Возраст, сут	Температура, °C		Влажность, %		Тепловой стресс, балл		Примечания
		Утро	Вечер	Утро	Вечер	Утро	Вечер	
05.07.2024	1	32	32	71	68	0	0	Заселение цыплят, активны
06.07.2024	2	32	33	70	65	0	1	Активны, пьют воду
07.07.2024	3	32	32	69	64	0	1	Небольшое учащение дыхания
08.07.2024	4	32	32	68	63	1	2	Жара
09.07.2024	5	32	32	71	68	1	2	Влажность повышена
10.07.2024	6	32	32	72	65	1	2	Птица вялая к вечеру
11.07.2024	7	32	33	69	62	1	2	Жара
12.07.2024	8	30	31	67	60	1	2	Жара; рект. T = 41,7±0,3
13.07.2024	9	33	32	66	58	1	2	Жара
14.07.2024	10	32	32	64	59	2	2	Пьют много воды
15.07.2024	11	30	34	65	55	2	3	Пьют много воды
16.07.2024	12	31	33	62	54	2	3	Сильная жара, открытые клювы
17.07.2024	13	31	33	64	58	2	2	Жара
18.07.2024	14	30	33	68	63	1	2	Жара
19.07.2024	15	31	31	67	62	1	2	Взвешивание; рект. T = 41,9±0,2
20.07.2024	16	30	32	70	65	1	2	Птица вялая к вечеру
21.07.2024	17	30	33	71	64	1	1	Без особенностей
22.07.2024	18	30	32	70	61	1	1	Отбор крови
23.07.2024	19	30	33	68	60	1	1	Без особенностей
24.07.2024	20	30	33	67	63	1	2	Отбор части птиц на фистулирование
25.07.2024	21	29	33	69	64	1	1	Взвешивание
26.07.2024	22	26	30	72	68	0	1	Без особенностей; рект. T = 41,8±0,3
27.07.2024	23	26	30	71	70	0	1	Без особенностей
28.07.2024	24	26	30	70	67	0	1	Без особенностей
29.07.2024	25	27	29	70	64	1	2	Без особенностей
30.07.2024	26	26	29	70	63	1	1	Без особенностей
31.07.2024	27	26	29	69	66	0	1	Без особенностей
01.08.2024	28	28	30	74	68	1	1	Дождь
02.08.2024	29	26	28	73	69	1	1	Отбор крови, взвешивание
03.08.2024	30	27	30	70	70	0	1	Без особенностей
04.08.2024	31	25	28	73	71	0	1	Без особенностей
05.08.2024	32	26	28	68	73	1	1	Без особенностей
06.08.2024	33	26	29	69	74	0	1	Без особенностей
07.08.2024	34	21	24	73	76	0	0	Утром туман
08.08.2024	35	25	29	81	77	0	0	Высокая влажность
09.08.2024	36	25	27	83	78	0	0	Гроза
10.08.2024	37	25	26	80	76	0	0	Без особенностей
11.08.2024	38	24	28	75	68	1	1	Без особенностей
12.08.2024	39	25	28	72	65	1	1	Без особенностей
13.08.2024	40	26	26	70	62	1	1	Без особенностей
14.08.2024	41	27	24	68	60	1	0	Отбор крови, взвешивание, подготовка к убою

Журнал регистрации параметров микроклимата фистульных кур 5сод/фис КОНТРОЛЬ

Дата	Возраст, сут	Температура, °C		Влажность, %		Тепловой стресс, балл		Примечания
		Утро	Вечер	Утро	Вечер	Утро	Вечер	
25.07.2024	21	25	27	68	67	0	1	Операция 1 день
26.07.2024	22	23	26	70	69	0	1	Операция 2 день
27.07.2024	23	24	26	72	70	0	1	Послеоперационное наблюдение
28.07.2024	24	24	25	74	74	0	0	Активность восстанавливается
29.07.2024	25	25	27	73	69	0	1	Без особенностей
30.07.2024	26	25	28	72	68	1	1	Без особенностей
31.07.2024	27	25	28	71	67	0	2	Без особенностей
01.08.2024	28	24	25	70	66	1	1	Дождь
02.08.2024	29	24	26	71	65	0	1	Без особенностей
03.08.2024	30	23	25	73	68	0	0	Без особенностей
04.08.2024	31	23	24	75	70	0	0	Без особенностей
05.08.2024	32	22	26	77	72	0	1	Без особенностей
06.08.2024	33	22	26	79	73	0	1	Начало отбора химуса
07.08.2024	34	21	23	81	75	0	0	Отбор химуса. Туман утром
08.08.2024	35	22	23	80	76	0	0	Отбор химуса
09.08.2024	36	21	23	83	78	0	0	Отбор химуса. Ливень, гроза
10.08.2024	37	22	23	80	75	0	0	Отбор химуса
11.08.2024	38	24	26	74	67	0	1	Отбор химуса
12.08.2024	39	25	27	72	64	1	2	Отбор химуса
13.08.2024	40	25	28	70	62	1	2	Отбор химуса, последний день
14.08.2024	41	25	28	68	60	2	2	Жарко
15.08.2024	42	26	28	66	59	2	3	Сильная жара вечером
16.08.2024	43	26	28	65	63	2	2	Убой

Показатели продуктивности цыплят кросса «Смена-9»

Показатели	Норматив кросса	Генетический потенциал
Срок откорма, дней	35	35
Живая масса, грамм	2270	2609
Среднесуточный привес, грамм	63,7	73,4
Конверсия корма, кг/кг	1,66	1,55
Сохранность, %	98,8	98,45
Индекс европейской продуктивности	386,0	473,5

Состав рациона для цыплят в Опыте 1

Компонент, %	Комбикорм		
	старт	рост	финиш
Пшеница	60,08	58,5	60,27
Соевый шрот	24,02	21,2	20,17
Жмых подсолнечный 32 %	4,00	7,63	7,78
Масло растительное	3,32	5,57	6,14
Мука рыбная	4,00	2,00	-
Патока	1,50	1,50	1,50
Монокальцийфосфат	1,21	1,03	1,28
Известняк	0,66	0,93	1,14
Премикс 0,5 %	0,50	0,50	0,50
Метионин	0,33	0,27	0,27
Лизин	0,53	0,49	0,54
Соль	0,27	0,29	0,32
Холин хлорид	0,08	0,08	0,08
Фекорд	0,01	0,01	0,01
Итого:	100,0	100,0	100,0
В 100 г комбикорма содержится, %			
Обменная энергия, ккал	300,0	305,0	315,0
Протеин сырой	22,00	20,50	19,00
Сырая клетчатка	4,00	4,50	4,50
Лизин усв.	1,23	1,09	1,02
Мет.+цист. усв	0,93	0,84	0,87
Треонин усв.	0,63	0,58	0,53
Кальций	0,96	0,90	0,90
Фосфор усв.	0,48	0,40	0,40

Кормление цыплят в Опыте 2 в зависимости от возраста

Корм СТАРТ ПК-5 для молодняка бройлеров 1-4 недели.

Показатели качества полнорационного комбикорма для молодняка бройлеров ПК-5			Дополнительно введено БАВ в 1 кг комбикорма, не менее		
Наименование	Ед. изм.		Наименование	Ед. изм.	
Обменная энергия птицы	ккал/100г	291	Ксиланаза	мг	1000
Сырой протеин	%	22,02	Фитаза	мг	100
Протеин, перевариваемый птицей	%	19,37	Антиоксидант	мг	125
Сырой жир	%	3,47	Витамин А	тыс. МЕ	15
Сырая клетчатка	%	2,9	Витамин В1	мг	3
Лизин	%	1,28	Витамин В2	мг	8
Метионин	%	0,61	Витамин В3	мг	15
Метионин+цистин	%	0,89	Витамин В4	мг	600
Триптофан	%	0,29	Витамин В5	мг	60
Аргинин	%	1,44	Витамин В6	мг	4
Треонин	%	0,83	Витамин Вс	мг	1,5
Лизин усвояемый	%	1,12	Витамин В12	мг	0,02
Метионин усвояемый	%	0,54	Витамин D3	тыс. МЕ	5
Метионин + цистин усвояемый	%	0,79	Витамин Е	мг	100
Триптофан усвояемый	%	0,24	Витамин Н	мг	0,2
Аргинин усвояемый	%	1,2	Витамин К3	мг	3
Треонин усвояемый	%	0,71	Кокцидиостатик	мг	500
Са	%	1,1	Железо	мг	60
Сl	%	0,2	Марганец	мг	80
К	%	0,83	Цинк	мг	80
Na	%	0,16	Медь	мг	10
Р	%	0,81	Йод	мг	1
Р доступный	%	0,51	Селен	мг	0,2
NaCl	%	0,2	Магний	мг	58

Корм РОСТ ПК-6 для молодняка бройлеров старше 5 недель

Показатели качества полнорационного комбикорма для молодняка бройлеров ПК-5			Дополнительно введено БАВ в 1 кг комбикорма, не менее		
Наименование	Ед. изм.		Наименование	Ед. изм.	
Обменная энергия птицы	ккал/100г	295	Ксиланаза	мг	100
Сырой протеин	%	19	Фитаза	мг	100
Сырой жир	%	4	Антиоксидант	мг	125
Сырая клетчатка	%	4	Витамин А	тыс. МЕ	12
Лизин	%	1,05	Витамин В1	мг	2,3
Метионин	%	0,65	Витамин В2	мг	6
Метионин+цистин	%	0,8	Витамин В3	мг	11
Триптофан	%	0,25	Витамин В4	мг	480
Треонин	%	0,65	Витамин В5	мг	45
Лизин усвояемый	%	0,9	Витамин В6	мг	3
Метионин усвояемый	%	0,55	Витамин Вс	мг	1,1
Метионин + цистин усвояемый	%	0,7	Витамин В12	мг	0,015
Триптофан усвояемый	%	0,2	Витамин D3	тыс. МЕ	4
Треонин усвояемый	%	0,55	Витамин Е	мг	75
Са	%	0,9	Витамин Н	мг	0,15
Сl	%	0,25	Витамин К3	мг	2,3
Na	%	0,15	Железо	мг	45
Р	%	0,75	Марганец	мг	60
Р доступный	%	0,45	Цинк	мг	60
			Медь	мг	7,5
			Йод	мг	0,75
			Селен	мг	0,2
			Магний	мг	40