

Галкина Екатерина Анатольевна

**Применение электромагнитного излучения для коррекции
метаболических процессов у цыплят-бройлеров**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата ветеринарных наук

Санкт-Петербург – 2026

Работа выполнена на кафедре физиологии и биохимии животных
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева»

Научный руководитель:	Вертипрахов Владимир Георгиевич, доктор биологических наук, доцент
Официальные оппоненты:	Новикова Оксана Борисовна – доктор ветеринарных наук, профессор кафедры птицеводства и мелкого животноводства им. П.П. Царенко Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».
	Севостьянова Ольга Игоревна – кандидат биологических наук, доцент кафедры терапии и фармакологии, заместитель директора по учебной работе института ветеринарии и биотехнологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет».
Ведущая организация:	Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства - ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста».

Защита диссертации состоится «10» ноября 2026 г. в 11.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.034.02 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины» по адресу: 196084, г. Санкт-Петербург, ул. Черниговская, д. 5, тел: 8(812)388-36-31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины» по адресу: 196084, Санкт-Петербург, ул. Черниговская, д. 5, и на официальном сайте: <https://www.spbguv.m.ru>

Автореферат разослан «___» _____ 2026 года

Ученый секретарь
диссертационного совета

Хватов
Виктор Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Мясное птицеводство генерирует значительные прибыли и обеспечивает высококачественную продукцию (Копылова, А. С., Драгич, О. А., Сидорова К. А., 2022) не только для питания людей (Епимахова, Е. Э., Закотин, В. Е., Скрипкин, В. С., 2025), но и для производства кормов (Абрамов П. Н., Слесаренко, Н. А., Позябин С. В. и др., 2022). Тем не менее, несмотря на достигнутые успехи, в условиях современной интенсивной технологии все еще существует множество нерешенных вопросов (Денисенко, В. Н. и др., 2025). Высокая концентрация поголовья негативно сказывается на физиологическом статусе птицы, провоцируя метаболические нарушения и снижая качество мяса, что напрямую связано с технологией кормления и условиями содержания (Плешакова, И. И. и др., 2014; Dobrosmyslova et al., 2018). Значительная концентрация животных в помещениях негативно сказывается на их здоровье (Яшин, А. В., Прусаков А. В., Калюжный И. И. и др., 2021), создает благоприятные условия для накопления и циркуляции патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, выступая в качестве хронического стресс-фактора и нарушая обменные процессы у птиц, что в конечном итоге приводит к снижению качества мяса (Менькова, А. А. и др., 2021).

Пищеварение бройлеров является лимитирующим фактором реализации их генетического потенциала роста. Пищеварительная система бройлеров имеет свои особенности (Зеленевский, Н. В. и др., 2024), которые необходимо учитывать при создании условий содержания и кормления птицы. Несмотря на научный интерес к воздействию физических факторов на физиологию, применение электромагнитных излучений в птицеводстве остается слабо изученным. Актуальность таких исследований обусловлена антибиотикорезистентностью и потребностью в экологически безопасных технологиях содержания животных (Гласкович, М. А., Гласкович, С. А., Карпенко, Л. Ю. и др., 2025). Исследование механизмов влияния электромагнитного излучения на пищеварение бройлеров имеет междисциплинарное значение и направлено не только на решение прикладных задач по повышению эффективности производства, но и на углубление теоретических представлений о взаимодействии электромагнитных полей с организмом, что в конечном итоге способствует научно-технологическому прогрессу в агросфере и укреплению продовольственной безопасности.

Степень разработанности темы. В настоящее время активно ведутся исследования по применению электромагнитных полей в медицине, ветеринарии и животноводстве. Эффективность электромагнитного излучения доказана в лечении остеоартрита у собак (Pinna et al., 2012), при мочекаменной болезни у собак и кошек (Чуваев, И. О. и др., 2023). Также многочисленные исследования (Kurth et al., 2020; Kubat et al., 2015; и Добросмыслова, И. О. и др., 2018) выделяют потенциал электромагнитного излучения для регуляции воспаления, улучшения регенерации тканей (Стекольников, А. А., Семенов, Б. С., Суховольский, О. К. и др., 2013) и повышения резистентности организма.

Однако тема терапевтического влияния электромагнитных волн на организм бройлеров в условиях производственных стрессов раскрыта в литературе слабо, также при изучении литературных источников не было обнаружено сведений о дистанционном влиянии электромагнитных волн на повышение продуктивности.

Цель и задачи исследования. Цель настоящей работы – изучить активность пищеварительных ферментов в химусе и крови птицы, морфологических и биохимических показателей крови и морфофункционального строения органов и тканей бройлеров кросса «Смена 9» под влиянием электромагнитной обработки при тепловом стрессе и в нормальных условиях содержания. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

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

2. Изучить ферментативную активность и минеральный состав дуоденального содержимого у цыплят-бройлеров 20-40-дневного возраста на фоне стресса при облучении электромагнитными волнами аппарата электромагнитной терапии «ТОР»;

3. Исследовать метаболизм ферментов и биохимические показатели 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 и ценность полученных результатов. Полученные новые фундаментальные знания о физиологических и молекулярных процессах в метаболизме мясных кур при использовании электромагнитных волн позволят создать базис для улучшения технологических процессов и условий содержания птицы отечественных кроссов. Впервые были изучены эффекты дистанционного воздействия электромагнитных волн 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. 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 электромагнитного излучения определенной мощности аппарата электромагнитной терапии «ТОР», 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.

Результаты исследований использованы 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».

Методология и методы исследования. Для реализации поставленных задач диссертационной работы применяли физиологические, биохимические, микробиологические, зоотехнические и статистические методы оценки. При выполнении исследований использовалось современное сертифицированное оборудование кафедры физиологии, этологии и биохимии животных, а также Центра коллективного пользования «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений» РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева.

Основные 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.

Степень достоверности и апробация полученных результатов. В ходе проведения экспериментов было получено достаточное количество материала. Статистическую обработку результатов проводили при помощи программы Excel при расчете среднего значения (М) и стандартной ошибки среднего значения ($\pm$ SEM), указывая достоверность значений по t-критерию Стьюдента. Принимали во внимание статистические различия при $p \leq 0,05$. 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.

Публикации результатов исследований. 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).

Личный вклад. Диссертационная работа является результатом исследований, проводимых в период 2023-2026 гг. Соискателем при поддержке научного руководителя Вертипрахова В. Г. были сформированы цель и задачи исследования, составлен план проведения работы, самостоятельно изучены литературные данные, осуществлено исследование, произведен анализ полученных данных, написание научных статей и выступление на конференциях. Статьи опубликованы совместно с соавторами, которые не возражают против использования данных результатов. Личный вклад составляет 90 %.

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

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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы исследований

Работа выполнена в 2023–2025 гг. на двух экспериментальных площадках:

1. Учебно-производственный птичник и лаборатория физиологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева – этап изучения действия излучения на пищеварение цыплят при тепловом стрессе.

2. Виварий Селекционно-генетического центра «Загорское экспериментальное племенное хозяйство» (филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства») и лаборатория физиологии ФНЦ «ВНИТИП» – этап скрининга режимов и оценки безопасности.

Таблица 1 - Общая схема исследования

Этап	I этап (скрининговый и оценка безопасности)	II этап (изучение 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.
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).
Исучаемые показатели	• Зоотехнические: живая масса, сохранность, потребление корма, конверсия в динамике. • Морфология крови: эритроциты, лейкоциты, гемоглобин, гематокрит, лейкоцитарная формула, индекс Г/Л. • Биохимия крови: общий белок, кальций, фосфор, холестерин, триглицериды, щелочная фосфатаза. • Анатомическое вскрытие: масса тушки, убойный выход, масса внутренних органов, абдоминальный жир. • Гистология: сердце, печень, почки.	• Зоотехнические: живая масса, сохранность, потребление корма, конверсия в динамике • Исследование химуса: активность трипсина, амилазы, липазы, щелочной фосфатазы; содержание кальция и фосфора. • Биохимия крови: те же показатели, что на I этапе, а также активность трипсина, амилазы, липазы, мочева кислота.

Объект исследований. Цыплята-бройлеры кросса «Смена 9» обоих полов. Общее количество использованной птицы – 160 голов. В каждом

эксперименте цыплята были разделены на две группы (контрольную и опытную) методом групп-аналогов по 40 голов в каждой.

Все эксперименты проведены в соответствии с нормами Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых в научных целях (Страсбург, 1986), и протоколом № 15-065-А, утвержденным Институциональным комитетом по уходу и использованию животных (OLAW № D16-00214) от 31. 10. 2015, с соблюдением принципов гуманного обращения.

Дизайн и хронология исследований. I этап (скрининговый, 2023 г.). Цель: первичная оценка влияния различных режимов электромагнитного излучения на ростовые показатели, сохранность и морфо-биохимический статус птицы в нормальных условиях содержания; подбор эффективной и безопасной экспозиции; верификация безопасности выбранных режимов путём гистологического анализа внутренних органов. Продолжительность выращивания – 56 суток (до убойного возраста).

II этап (изучение воздействия электромагнитных волн, 2024 г.). Цель: оценка корригирующего действия электромагнитного излучения при моделировании теплового стресса и исследование активности пищеварительных ферментов в дуоденальном химусе с использованием фистульной технологии. Продолжительность выращивания – 43 суток (до убойного возраста).

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

Характеристика электромагнитного воздействия. В работе использован медицинский аппарат электромагнитной терапии «ТОР» (регистрационное удостоверение № РЗН 2021/15459 от 23. 09. 2021). Принцип действия основан на генерации слабого неионизирующего импульсного электромагнитного излучения нетепловой интенсивности. Излучение генерируется высоковольтными импульсами (5–8 кВ, частота следования 100–150 Гц), формирующими волновые пакеты с частотными модами, кратными 25 кГц. Потребляемая мощность прибора менее 80 Вт, что позволяет оказывать дистанционное воздействие на физико-химические параметры сред (например, рН растворов) на расстоянии до 700 м.

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

1. 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 отмечено выраженное угнетение: цыплята становились вялыми, скупивались по углам клетки, у них снижалась двигательная и

кормовая активность по сравнению с контролем. Данная реакция расценена как проявление стресса, вызванного чрезмерной интенсивностью или длительностью экспозиции для организма первых суток жизни. Воздействие было немедленно прекращено.

2. Корректирующий перерыв: для нормализации состояния птицы 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.

3. Режим 2 (адаптированный, для раннего возраста): начиная с 3-х суток и до 21-х суток жизни 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 отмечено улучшение аппетита, более активное поведение и лучшее оперение по сравнению с контролем.

4. Режим 3 (основной, для периода интенсивного роста): учитывая положительную динамику и отсутствие негативных эффектов на раннем этапе, а также возрастающие метаболические 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 (или 43) *сутки*: режим 3 мин / 27 мин (усиленный режим).

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) была применена в полном объёме для изучения корректирующего действия электромагнитного излучения в условиях теплового стресса.

Моделирование теплового стресса (II этап). 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, температурный режим внутри клеток поддерживали на уровне +28,5...30,5 °С (в отдельные дни до 32,5 °С), что соответствует

условиям острого теплового стресса для бройлеров. Относительная влажность воздуха составляла 65–70 %. Параметры микроклимата контролировали ежедневно с помощью цифровых термогигрометров, размещённых на уровне нахождения птицы.

О развитии теплового стресса судили по комплексу поведенческих, физиологических и продуктивных признаков. Клинические признаки: учащённое дыхание (полипноэ), раскрытие клюва, опускание крыльев, повышенное потребление воды, снижение двигательной активности, скучивание у вентиляции. 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 $41,9 \pm 0,2$ °C, что превышает верхнюю границу физиологической нормы (41,5 °C) и подтверждает наличие гипертермии.

Для количественной оценки интенсивности теплового стресса использовали балльную шкалу: 0 баллов – отсутствует: птица активна, равномерно распределена, дыхание ровное; 1 балл – лёгкий: птица немного вялая, крылья слегка опущены, отдельные особи дышат с открытым клювом; 2 балла – умеренный: большинство птиц дышит с открытым клювом, крылья опущены, скучивание у вентиляции; 3 балла – тяжёлый: птица вялая, отказ от корма, обильное слюнотечение, судороги.

В контрольной группе на протяжении первых трёх недель ежедневно регистрировали стресс интенсивностью 1–2 балла, в опытной – 0–1 балл.

Условия содержания и кормления. В обоих опытах цыплята содержались в клеточных батареях, имели свободный доступ к воде и корму. Кормление осуществляли полнорационными комбикормами, сбалансированными по основным питательным веществам и энергии в соответствии с возрастом. В опыте I использовали корма производства ОАО «Мелькомбинат» (г. Тверь), в опыте II – корма ООО «Агроцентр» (Московская обл.). Схема кормления включала три периода: стартовый (0–10 сутки), ростовой (15–21 сутки) и финишный (с 22 сутки до убоя). Состав и питательность рационов для контрольной и опытной групп были идентичными в пределах каждого опыта.

До 7-суточного возраста цыплят содержали в брудерах (температура 32–33 °C), затем пересаживали в клеточные батареи. В 22-суточном возрасте из каждой группы методом аналогов по массе сформировали подгруппу ($n=10$) из наименее крупных особей для проведения фистульной операции; этих цыплят разместили в изолированном помещении с теми же параметрами микроклимата.

Методы исследований:

Зоотехнические: индивидуальное взвешивание птицы в контрольные возрастные точки (точность ± 1 г); учёт потребления корма (ежедневно); расчёт среднесуточного прироста, конверсии корма, сохранности поголовья.

Анатомические: вскрытие и разделка тушек по стандартной методике ($n=6$ в 36 и 56 сутки) с определением массы потрошёной тушки, убойного

выхода, массы внутренних органов (печень, сердце, желудок), доли абдоминального жира.

Хирургические (фистульная технология): 20 цыплятам (опыт II) в возрасте 20–22 суток под общей анестезией наложена дуоденальная фистула по авторской методике В. Г. Вертипрахова. 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. Фиксацию канюли проводили двойным кисетным швом, дополнительно фиксируя к брюшной стенке. Послеоперационный уход включал суточную голодную диету с последующим переходом на нормированное кормление, ежедневный контроль состояния раны и пассажа химуса.

Лабораторные: Кровь для анализа отбирали из подкрыльцовой вены в вакуумные пробирки (с активатором свёртывания для получения сыворотки и с гепарином для получения плазмы). Сыворотку/плазму получали центрифугированием при 5000 об/мин в течение 5 мин (Eppendorf MiniSpin plus). В опыте I морфологический анализ проводили в возрасте 1, 8, 15, 22, 29, 36, 43, 50, 56 суток (n=5 из группы), биохимический – в 36 и 56 суток. В опыте II биохимический анализ выполняли на 18, 29 и 41 сутки у 10 птиц из каждой группы. Сбор химуса осуществляли ежедневно с 33 по 40 сутки через 1 и 2 ч после утреннего кормления.

– *Морфология крови:* содержание эритроцитов, лейкоцитов, гемоглобина, гематокрит, лейкоцитарная формула (анализатор DF-50, КНР). Дополнительно рассчитывали индекс гетерофилы/лимфоциты (Г/Л).

– *Биохимия крови и химуса:* активность трипсина, амилазы, липазы, щелочной фосфатазы; содержание кальция, фосфора, общего белка, глюкозы, холестерина, триглицеридов, мочевой кислоты. Анализы выполнены на полуавтоматических анализаторах (Biochem SA, BS-3000M, HTI BioChem FC-120, SINNOWA BS-3000P) с использованием коммерческих наборов реагентов.

Гистологические: образцы сердца, печени, почек (n=6, 56 сутки) фиксировали в 10% формалине, заливали в парафин, окрашивали гематоксилин-эозином и на нейтральные липиды (жировой красный по Лилли). Микроскопия – Nikon Eclipse 55i.

Статистическая обработка: Microsoft Excel, Past. Рассчитывали среднее (M) и стандартную ошибку среднего ($\pm$ SEM). Достоверность различий оценивали по t-критерию Стьюдента ($p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$).

Результаты исследований

Результаты I этапа (скрининг режимов и оценка безопасности)

Подбор режима воздействия. Применение 15-минутного воздействия в 1-е сутки жизни вызвало у цыплят опытной группы угнетение (вялость, скучивание, снижение активности). После 24-часового перерыва поведенческие реакции нормализовались. Переход на щадящий режим (3/57 мин) в возрасте 3–21 суток не вызывал негативных реакций; напротив, отмечены улучшение аппетита и активности. С 22 суток до конца

выращивания использован усиленный режим (3/27 мин), обеспечивший устойчивый положительный эффект.

Продуктивные показатели. Сохранность поголовья составила 100% в контрольной группе и 97,1% в опытной (один цыплёнок пал по причине, не связанной с экспериментом). Динамика живой массы представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Динамика живой массы и конверсии корма ($M \pm SEM$, $n=40$)

Возраст, сутки	Живая масса, г		Среднесуточный прирост, г		Конверсия корма	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
1	42,2 $\pm$ 0,33	41,8 $\pm$ 0,29	-	-	-	-
8	231,9 $\pm$ 3,79	239,0 $\pm$ 4,08	27,10	28,17	1,37	1,32
22	1134,4 $\pm$ 13,0	1154,5 $\pm$ 13,7	52,01	52,99	1,67	1,62
36	2499,1 $\pm$ 19,9	2589,0 $\pm$ 22,2	72,20	72,78	1,99	1,85
56	4301,6 $\pm$ 101,8	4496,8 $\pm$ 107,6	77,44	81,00	1,99	1,91

Из таблицы видно, что стабильное преимущество опытной группы по живой массе начало формироваться с 22-суточного возраста и к 56 суткам достигло 4,55 %. Среднесуточный прирост за весь период был выше в опыте на 3,6–4,6 %. При этом конверсия корма в опытной группе улучшилась на 3–7 % в разные возрастные периоды, а к 56 суткам затраты корма на 1 кг прироста были ниже на 4,02 %. Потребление корма в опыте было несколько ниже в возрасте 22–43 суток, что при большей массе указывает на более эффективное использование питательных веществ.

Морфологические показатели крови. Все параметры находились в пределах физиологической нормы. Результаты представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Основные гематологические показатели ($M \pm SEM$, $n=5$)

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

*Примечание: * – $p \leq 0,05$

Динамика лейкоцитов в обеих группах носила волнообразный характер, что связано с возрастными изменениями и вакцинациями. В опытной группе в отдельные периоды (8, 22, 36 сутки) отмечены достоверные различия, однако все значения оставались в пределах референсных интервалов.

Таблица 4 – Лейкоцитарная формула и индекс гетерофилы/лимфоциты (Г/Л) ($M \pm SEM$, $n=5$)

Возраст, сутки	Группа	Гетерофилы, %	Лимфоциты, %	Моноциты, %	Эозинофилы, %	Индекс Г/Л
1		32,8 $\pm$ 6,08	57,4 $\pm$ 6,25	0,8 $\pm$ 0,33	1,5 $\pm$ 0,22	0,56
8	Контроль	9,7 $\pm$ 1,91	89,8 $\pm$ 2,04	0,1 $\pm$ 0,03	0,3 $\pm$ 0,09	0,11
	Опыт	11,7 $\pm$ 2,14	87,4 $\pm$ 2,32	0,2 $\pm$ 0,06	0,6 $\pm$ 0,18	0,13
15	Контроль	29,7 $\pm$ 2,69	68,5 $\pm$ 2,96	0,3 $\pm$ 0,08	1,3 $\pm$ 0,30	0,43
	Опыт	24,3 $\pm$ 2,45	74,0 $\pm$ 2,65	0,04 $\pm$ 0,017	1,5 $\pm$ 0,21	0,33
22	Контроль	40,9 $\pm$ 1,95	55,7 $\pm$ 2,39	0,4 $\pm$ 0,11	2,9 $\pm$ 0,39	0,73
	Опыт	30,9 $\pm$ 1,16*	66,7 $\pm$ 1,08*	0,1 $\pm$ 0,01	2,2 $\pm$ 0,40	0,46
29	Контроль	37,2 $\pm$ 1,72	60,1 $\pm$ 1,78	0,2 $\pm$ 0,04	2,2 $\pm$ 0,20	0,61
	Опыт	29,8 $\pm$ 2,24	68,2 $\pm$ 2,50	0,2 $\pm$ 0,03	1,8 $\pm$ 0,34	0,44
36	Контроль	33,7 $\pm$ 2,99	63,6 $\pm$ 3,37	0,1 $\pm$ 0,04	2,4 $\pm$ 0,37	0,53
	Опыт	33,4 $\pm$ 1,56	63,4 $\pm$ 1,95	0,2 $\pm$ 0,05	2,8 $\pm$ 0,39	0,53
43	Контроль	40,7 $\pm$ 2,38	52,1 $\pm$ 3,67	1,7 $\pm$ 0,78	4,8 $\pm$ 0,76	0,78
	Опыт	29,5 $\pm$ 2,45	67,9 $\pm$ 2,76	0,1 $\pm$ 0,03	2,3 $\pm$ 0,27	0,43
50	Контроль	41,8 $\pm$ 2,26	50,4 $\pm$ 2,78	0,3 $\pm$ 0,04	7,2 $\pm$ 0,76	0,83
	Опыт	41,5 $\pm$ 3,05	51,9 $\pm$ 3,82	0,5 $\pm$ 0,16	6,0 $\pm$ 0,83	0,80
56	Контроль	50,8 $\pm$ 3,72	41,8 $\pm$ 4,39	0,2 $\pm$ 0,06	6,6 $\pm$ 0,70	1,21
	Опыт	40,2 $\pm$ 2,04	55,4 $\pm$ 1,83	0,1 $\pm$ 0,01	4,1 $\pm$ 0,25	0,73

*Примечание: * – $p \leq 0,05$

В опытной группе отмечен более низкий индекс Г/Л в заключительный период выращивания (0,73 против 1,21 в контроле к 56 суткам), что свидетельствует о лучшей стрессоустойчивости и стабильном иммунном статусе.

Биохимические показатели. Представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Биохимические показатели плазмы крови ($M \pm SEM$, $n=5$)

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

*Примечание: * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,001$

В 36 суток у опытных цыплят отмечено достоверное снижение уровня общего белка (на 6,2 %), холестерина (на 28,6 %) и триглицеридов (на 31,8 %) при сохранении нормальных значений кальция и фосфора. К 56 суткам картина изменилась: содержание общего белка и холестерина в опыте превысило контроль (на 5,5 % и 22,9 % соответственно), тогда как уровень фосфора стал ниже на 17,8 %. Активность щелочной фосфатазы в оба срока была практически одинаковой в группах, что указывает на сходную интенсивность костного метаболизма.

Анатомические показатели. К 56 суткам убойный выход потрошённой тушки в опытной группе был выше на 3,4% (72,1 % против 69,7%), масса тушки – на 10,4% (3945±56,7 г против 3573±46,2 г, $p \leq 0,05$) при тенденции к снижению доли абдоминального жира (таблица 6).

Таблица 6 – Показатели анатомического вскрытия ($M \pm SEM$, $n=6$)

Показатель	36 суток		56 суток	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
Убойный выход, %	72,08	72,84	69,7	72,1
Масса потрошённой тушки, г	1875±84,5	1837±73,2	3573±46,2	3945±56,7*
Абдоминальный жир, %	1,66	1,64	2,17	2,10
Масса печени, г	58±5,2	62±4,4	84,7±5,08	94,7±4,17
Масса сердца, г	10,5±0,27	11,7±1,00	18,7±0,42	23,0±1,50*
Масса желудка, г	20,3±1,91	21,5±0,91	29,0±1,50	29,7±0,83

*Примечание: * – $p \leq 0,05$

Это свидетельствует о более эффективном использовании питательных веществ на прирост мышечной ткани, а не на жиросотложение.

Гистологическая оценка безопасности. Гистологическое исследование сердца, печени и почек не выявило специфических патологических изменений, которые можно было бы связать с действием электромагнитного излучения. В обеих группах наблюдались сходные фоновые изменения: мелкие кровоизлияния, очаговая лимфомакрофагальная инфильтрация, умеренная гидропическая дистрофия гепатоцитов в контроле (в опыте выражена слабее), полнокровие сосудов. В опытной группе отмечена лишь тенденция к менее выраженной гидропической дистрофии печени. Таким образом, применённый режим электромагнитного излучения не оказывает повреждающего действия на гистологическую структуру внутренних органов.

Результаты II этапа (исследование корректирующего действия электромагнитного излучения при тепловом стрессе)

Характеристика модели теплового стресса. Поддержание температуры на уровне +30°C в течение первых трёх недель вызвало у цыплят контрольной группы классические признаки теплового стресса: полипноэ, раскрытие клюва, опускание крыльев, снижение двигательной активности, повышение потребления воды, скучивание у вентиляции. Ректальная температура на 15 сутки составила 41,9±0,2 °C (выше верхней границы нормы 41,5 °C).

Потребление корма в контрольной группе было ниже нормативов на 12–15 %. В опытной группе клинические признаки стресса были выражены слабее: птица сохраняла более высокую активность, полипноэ возникало позже и было менее интенсивным.

Продуктивные показатели. Представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Зоотехнические показатели при тепловом стрессе ($M \pm SEM$)

Возраст, сутки	Живая масса, г		Среднесуточный прирост, г		Конверсия корма	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
1	41,05±0,61	41,08±0,59	-	-	-	-
8	134,1±2,36	132,1±2,10	13,29	13,00	1,66	1,70
21	701,5±13,9	788,6±14,4*	33,02	37,38	1,82	1,61
29	1111,7±23,3	1279,2±28,5*	38,24	44,22	2,03	1,84
41	1795,5±25,6	2146,3±40,4*	43,86	52,63	2,11	1,93

*Примечание: * – $p \leq 0,05$

Начиная с 21-суточного возраста, опытная группа достоверно превосходила контроль по живой массе. К 41 суткам разница достигла 19,5 % (2146 г против 1795 г). Среднесуточный прирост в опыте был выше на 13–20% в разные периоды. Конверсия корма улучшилась на 8,5–11,5%. Потребление корма в опытной группе после 21 суток было выше на 5–9%, что указывает на стимуляцию аппетита.

У прооперированных цыплят (с дуоденальной фистулой) к 43 суткам живая масса опытной группы также превышала контроль на 13,4% (1602,0±63,0 г против 1413,0±66,2 г, $p \leq 0,05$) при одинаковом потреблении корма, что подтверждает повышение эффективности пищеварения.

Активность пищеварительных ферментов в химусе. Установлено, что под влиянием электромагнитного излучения происходит активация всех ключевых ферментов. Результаты представлены в таблицах 8-11.

Таблица 8 – Активность трипсина в химусе, ед/л ($M \pm SEM$, $n=10$)

Возраст, сутки	1 ч после кормления		2 ч после кормления	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
33	144,29±6,16	131,01±16,09	223,91±4,85	193,04±11,07*
34	185,01±2,68	193,55±2,61*	146,74±5,5	124,39±17,01
35	147,17±18,95	132,48±13,46	113,24±11,37	129,12±13,92
36	90,42±4,96	171,98±28,78*	129,27±4,53	105,99±2,28**
37	118,82±21,01	160,96±25,62	130,25±11,34	163,40±23,68
38	67,39±7,00	126,29±17,23**	116,63±6,34	146,28±11,47*
39	106,27±3,98	127,35±16,07	186,65±0,95	161,56±22,39
40	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: * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,001$

Таблица 9 – Активность амилазы в химусе, ед/л (M±SEM, n=10)

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

*Примечание: * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,001$

Таблица 10 – Активность липазы в химусе, ед/л (M±SEM, n=10)

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

*Примечание: * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,001$

Таблица 11 – Активность щелочной фосфатазы в химусе, ед/л (M±SEM, n=10)

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

*Примечание: * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,001$

Наибольшие различия отмечены для щелочной фосфатазы (превышение на 72 % через 1 ч и на 86 % через 2 ч после кормления) и амилазы (превышение на 69 и 121 % соответственно). Активность липазы в опыте была выше на 50 % (1 ч) и 46 % (2 ч), трипсина – на 19 % (1 ч), причём через 2 ч

различия нивелировались, что указывает на активацию ранней фазы панкреатической секреции.

Минеральный состав химуса. Результаты определения кальция и фосфора представлены в таблицах 12 и 13. В опытной группе отмечена тенденция к снижению уровня кальция (на 11 % через 1 ч). Более низкое содержание кальция коррелировало с более высокой активностью трипсина, что согласуется с данными о его ингибирующем влиянии на этот фермент.

Через 2 ч после кормления содержание фосфора в опытной группе возрастало на 18 %, что связано с активацией щелочной фосфатазы и усилением всасывания. Соотношение Са/Р в опыте через 2 ч снижалось до 1,09 против 1,40 в контроле, отражая более интенсивные метаболические процессы.

Таблица 12 – Содержание кальция в химусе, ммоль/л ($M \pm SEM$, n=10)

Возраст, сутки	1 ч после кормления		2 ч после кормления	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
33	3,18 $\pm$ 0,05	2,95 $\pm$ 0,06**	2,38 $\pm$ 0,33	2,80 $\pm$ 0,14
34	3,98 $\pm$ 0,27	2,86 $\pm$ 0,23**	3,31 $\pm$ 0,11	3,09 $\pm$ 0,11
35	2,88 $\pm$ 0,02	3,01 $\pm$ 0,14	3,16 $\pm$ 0,13	2,87 $\pm$ 0,12
36	2,42 $\pm$ 0,11	2,10 $\pm$ 0,28	2,36 $\pm$ 0,11	1,61 $\pm$ 0,06**
37	2,35 $\pm$ 0,16	1,96 $\pm$ 0,10**	2,19 $\pm$ 0,07	1,86 $\pm$ 0,03**
38	2,84 $\pm$ 0,02	3,06 $\pm$ 0,06	3,44 $\pm$ 0,23	3,07 $\pm$ 0,39
39	2,33 $\pm$ 0,05	1,83 $\pm$ 0,09**	1,68 $\pm$ 0,01	2,12 $\pm$ 0,03**
40	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: * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,001$

Таблица 13 – Содержание фосфора в химусе, ммоль/л ($M \pm SEM$, n=10)

Возраст, сутки	1 ч после кормления		2 ч после кормления	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
33	1,63 $\pm$ 0,25	1,46 $\pm$ 0,05	1,7 $\pm$ 0,03	1,81 $\pm$ 0,04
34	1,76 $\pm$ 0,04	1,89 $\pm$ 0,01	2,62 $\pm$ 0,03	2,3 $\pm$ 0,03
35	2,72 $\pm$ 0,03	1,93 $\pm$ 0,02	2,55 $\pm$ 0,05	2,61 $\pm$ 0,03
38	1,33 $\pm$ 0,00	1,65 $\pm$ 0,02**	1,23 $\pm$ 0,01	1,98 $\pm$ 0,01**
39	2,45 $\pm$ 0,03	1,55 $\pm$ 0,04**	1,83 $\pm$ 0,01	2,72 $\pm$ 0,03**
40	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: * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,001$

Биохимические показатели крови. Результаты биохимического анализа сыворотки крови представлены в таблицах 14 и 15.

В опытной группе отмечена тенденция к повышению активности трипсина (на 5–10 %), более высокое содержание липазы (на 8–9 %) и значимо более низкая активность щелочной фосфатазы (на 17–41 %), что контрастирует с её повышением в химусе и может указывать на снижение стрессовой нагрузки на печень и костную ткань.

В опытной группе наблюдалось повышение уровня глюкозы (в среднем на 4,8 %) и триглицеридов (на 36,4 %) при снижении мочевой кислоты (на 6,5 %), что отражает усиление энергетического обмена и более эффективное использование азотистых веществ.

Таблица 14 – Активность ферментов и минеральный состав сыворотки крови ($M \pm SEM$, $n=10$)

Показатель	18 суток		29 суток		41 сутки	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
Трипсин, г/л	65,5 $\pm$ 4,2	69,3 $\pm$ 5,4	61,5 $\pm$ 4,1	67,6 $\pm$ 3,3	80,3 $\pm$ 1,1	86,8 $\pm$ 1,1
Амилаза, ед/л	409 $\pm$ 32	529 $\pm$ 39*	604 $\pm$ 24	671 $\pm$ 26	877 $\pm$ 36	649 $\pm$ 24**
Липаза, ммоль/л	84,4 $\pm$ 1,8	91,8 $\pm$ 5,3	85,1 $\pm$ 1,9	93,2 $\pm$ 5,2	98,9 $\pm$ 1,7	107,7 $\pm$ 5,3
Щелочная фосфатаза, ед/л	1861 $\pm$ 137	1093 $\pm$ 67**	3010 $\pm$ 36	2960 $\pm$ 37	6403 $\pm$ 309	4002 $\pm$ 129**
Кальций, ммоль/л	2,37 $\pm$ 0,02	2,54 $\pm$ 0,03**	4,05 $\pm$ 0,03	4,02 $\pm$ 0,07	2,42 $\pm$ 0,02	2,70 $\pm$ 0,02
Фосфор, ммоль/л	2,31 $\pm$ 0,06	2,26 $\pm$ 0,08	2,93 $\pm$ 0,01	2,76 $\pm$ 0,04**	2,61 $\pm$ 0,03	2,84 $\pm$ 0,04**

*Примечание: * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,001$

Таблица 15 – Метаболические показатели сыворотки крови ($M \pm SEM$, $n=10$)

Показатель	18 суток		29 суток		41 сутки	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
Общий белок, г/л	43,0 $\pm$ 0,3	41,7 $\pm$ 0,6	40,6 $\pm$ 0,5	37,7 $\pm$ 1,0	42,9 $\pm$ 0,4	43,8 $\pm$ 0,6
Глюкоза, ммоль/л	12,78 $\pm$ 0,14	13,72 $\pm$ 0,14**	11,50 $\pm$ 0,05	12,60 $\pm$ 0,07**	14,26 $\pm$ 0,68	14,07 $\pm$ 0,32
Триглицериды, ммоль/л	0,60 $\pm$ 0,05	0,78 $\pm$ 0,05	0,46 $\pm$ 0,03	0,54 $\pm$ 0,07	0,58 $\pm$ 0,04	0,92 $\pm$ 0,06**
Холестерин, ммоль/л	4,00 $\pm$ 0,35	4,76 $\pm$ 0,37	4,00 $\pm$ 0,04	3,50 $\pm$ 0,15*	4,00 $\pm$ 0,24	4,75 $\pm$ 0,20*
Мочевая кислота, ммоль/л	200 $\pm$ 4,5	183 $\pm$ 4,9*	115,8 $\pm$ 13,3	114,8 $\pm$ 13,8	211,8 $\pm$ 20,0	195,7 $\pm$ 65,5
Общий белок, г/л	2,31 $\pm$ 0,06	2,26 $\pm$ 0,08	2,93 $\pm$ 0,01	2,76 $\pm$ 0,04**	2,61 $\pm$ 0,03	2,84 $\pm$ 0,04**

*Примечание: * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,001$

Сравнительный анализ эффективности электромагнитного излучения в нормальных условиях и при тепловом стрессе. Для оценки влияния теплового стресса на выраженность ответной реакции организма на электромагнитное излучение мы сопоставили ключевые продуктивные показатели, полученные в I и II этапах исследований. Поскольку дизайн экспериментов различался

(разные сроки выращивания, отсутствие данных по химусу в I этапе), сравнение проводили по относительным величинам – преимуществу опытной группы над контролем в каждой из ситуаций.

Динамика живой массы. В нормальных условиях (I этап) применение электромагнитного излучения обеспечило стабильное, но умеренное превышение живой массы над контролем, которое к 56 суткам составило 4,55 %. В условиях теплового стресса (II этап) эффект был выражен значительно сильнее: уже к 21 суткам разница достигла 12,4 %, а к моменту убоя (41 сутки) – 19,5 % (табл. 16).

Таблица 16 – Сравнение преимущества опытной группы по живой массе в разных условиях

Возраст, сутки	Превышение над контролем, %	
	I этап (норма)	II этап (стресс)
21–22	+1,8	+12,4
29	+2,6	+15,1
35–36	+3,6	+17,2
41–43	+4,2	+19,5
56	+4,6	–

Конверсия корма. Улучшение использования корма под влиянием электромагнитного излучения также было более заметным при стрессе. В нормальных условиях затраты корма на 1 кг прироста снизились на 3–7 % в разные периоды, достигнув к 56 суткам уровня на 4,0% ниже контроля. При тепловом стрессе конверсия корма улучшилась на 8,5–11,5 %, а у прооперированных цыплят (с фистулой) – даже на 18 % (табл. 7).

Потребление корма. В норме опытные цыплята потребляли корма несколько меньше контроля (на 3–4 % в возрасте 22–43 суток), тогда как при стрессе, напротив, потребление корма в опыте было выше на 5–9 % после 21-суточного возраста. Это указывает на то, что электромагнитное излучение не только улучшает усвоение питательных веществ, но и стимулирует аппетит, частично компенсируя его стресс-индуцированное снижение.

Биохимические показатели крови. Сопоставление доступных данных по щелочной фосфатазе (табл. 4 и 14) показывает, что в нормальных условиях активность этого фермента в крови опытной и контрольной групп была практически одинаковой (3830 и 3829 ед/л в 36 суток). При тепловом стрессе в контроле активность ЩФ резко возрастала (6403 ед/л в 41 сутки), что, вероятно, отражает стресс-индуцированную нагрузку на печень и костную ткань. В опытной группе при стрессе активность ЩФ оставалась существенно ниже (4002 ед/л), что свидетельствует о снижении системного стрессового ответа под влиянием электромагнитного излучения.

Полученные данные позволяют заключить, что электромагнитное излучение проявляет свойства адаптогена: его положительное действие значительно усиливается в условиях патологии (теплового стресса) по сравнению с нормой. Если в оптимальных условиях содержания

электромагнитное излучение даёт относительно небольшой прирост продуктивности (4–5 %), то при стрессовой нагрузке оно позволяет компенсировать до 70–80 % потерь, вызванных гипертермией, приближая показатели роста к нормативным значениям.

В результате исследований обоснована двухфазная схема применения электромагнитного излучения аппарата «ТОР» (3 мин воздействия / 57 мин перерыва в 1–21 сутки и 3 мин / 27 мин с 22 суток до убоя), не вызывающая негативных реакций и обеспечивающая повышение продуктивности цыплят-бройлеров как в норме, так и при тепловом стрессе. Установлено, что механизм действия электромагнитного излучения связан с активацией пищеварительных ферментов (трипсина, амилазы, липазы, щелочной фосфатазы) в дуоденальном химусе, оптимизацией минерального обмена и интенсификацией метаболических процессов в крови. Гистологическими исследованиями подтверждена безопасность предложенного метода. Наиболее выраженный эффект отмечен в условиях теплового стресса, что позволяет рассматривать электромагнитное излучение как эффективное средство компенсации негативного влияния гипертермии на продуктивность птицы и подтверждает целесообразность применения разработанного метода именно в неблагоприятных производственных условиях.

Выводы

1. Прирост живой массы у цыплят-бройлеров, получавших сеанс электромагнитного облучения при стрессе, был выше, начиная с 21-суточного возраста на 12,4 % по сравнению с контрольной группой, в 29-суточном возрасте различия между опытной и контрольной группой увеличивались до 15,0 %, в 35 суток прирост массы был выше на 17,2 %, в 41-суточном возрасте – на 19,5 %. В результате более эффективного роста конверсия корма снижалась и составила, соответственно, на 11,5 %, 9,3 %, 7,8 % и 8,5 % ниже контрольной группы. Сохранность в группах была 100,0 %.

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.

3. Активность пищеварительных ферментов в сыворотке крови при действии электромагнитного излучения также изменяется: наблюдается тенденция увеличения активности трипсина на 7,8 % ($p>0,05$), активность амилазы у цыплят опытной группы на 18 и 29 сутки выше, чем в контрольной (на 29,5 и 11,1 %, соответственно), однако к 41 дню демонстрирует тенденцию к снижению, активность липазы в сыворотке крови опытных цыплят выше на

8,7 % по сравнению с контролем. Это указывает на повышение метаболизма в организме опытных цыплят-бройлеров при тепловом стрессе под воздействием электромагнитного излучения.

4. Применение электромагнитного излучения при выращивании цыплят-бройлеров при нормальных условиях содержания повышало прирост массы на 3,6 % по сравнению с контролем в 36-суточном возрасте, при этом морфобиохимические показатели крови не выходили за пределы физиологической нормы, что свидетельствует о безопасности действия излучения на организм птицы и более эффективном действии на метаболизм птицы при нарушении условий содержания.

5. Выход потрошённой тушки у цыплят-бройлеров в 56-суточном возрасте увеличивался после воздействия электромагнитного излучения на 3,4 %. Гистологический анализ не обнаружил изменений в структуре тканей и органов у цыплят, которые подвергались воздействию электромагнитного излучения. Использование аппарата «ТОР» при выращивании цыплят-бройлеров не оказывает негативного влияния на внутренние органы и, следовательно, безопасно для применения.

Практические предложения

Внедрить использование аппаратов с электромагнитными волнами на стадиях выращивания цыплят в критические периоды роста цыплят с целью стимуляции ферментной активности и обменных процессов цыплят в условиях нарушения условий содержания, особенно при наличии теплового стресса.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

Для дальнейшего развития технологии электромагнитной стимуляции в птицеводстве необходимо оптимизировать параметры воздействия и провести долгосрочные производственные испытания для оценки стабильности эффекта и безопасности на всех этапах выращивания. Также требуется углубить изучение молекулярных механизмов действия излучения и исследовать синергию с кормовыми добавками, сопровождая это комплексной эколого-экономической оценкой внедрения. Реализация этих направлений позволит превратить технологию в устойчивый и высокоэффективный инструмент для агропромышленного комплекса.

Публикация результатов исследования

Публикации в рецензируемых научных журналах согласно перечню ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ

1. 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.
2. Галкина, Е. А. Воздействие электромагнитного излучения на внутренние органы цыплят-бройлеров: морфологические и гистологические изменения / Е. А. Галкина, И. В. Кузьмина, И. Ф. Турканов [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 2 (82). – С. 125-136.
3. Галкина, Е. А. Особенности активности ферментов в дуоденальном химусе и крови цыплят-бройлеров и их влияние на метаболизм в условиях теплового стресса при ЭМИ-обработке / Е. А. Галкина, И. В. Кузьмина // Вестник аграрной науки. – 2025. – № 5 (116). – С. 51-61.
4. Галкина, Е. А. Влияние электромагнитной обработки цыплят-бройлеров на активность пищеварительных ферментов в дуоденальном содержимом при тепловом стрессе / Е. А. Галкина, И. В. Кузьмина // Вестник аграрной науки. – 2025. – № 6 (117). – С. 47-55.

Основные публикации в журналах, сборниках и материалах конференций:

5. Кузьмина, И. В. Влияние неионизирующего нетеплового слабого электромагнитного излучения на морфологические и зоотехнические показатели цыплят-бройлеров / И. В. Кузьмина, О. В. Овчинников, Е. А. Галкина [и др.] // Научные труды IX Международного конгресса «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине». – СПб. : ГУАП, 2024. – С. 143-146.
6. Галкина, Е. А. Электромагнитное излучение и метаболизм ферментов у бройлеров при стрессе / Е. А. Галкина, В. Г. Вертипрахов // Достижения и перспективы развития птицеводства: Материалы II международной научно-практической конференции. – СПб. : СПбГАУ, 2025. – С. 70-74.
7. Галкина, Е. А. Влияние электромагнитной обработки на активность пищеварительных ферментов в дуоденальном содержимом и показатели продуктивности бройлеров / Е. А. Галкина [и др.] // IV Международная молодежная конференция «Генетические и радиационные технологии в сельском хозяйстве». – Обнинск: НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ, 2025. – С. 91-94.
8. Кузьмина, И. В. Влияние слабого нетеплового электромагнитного излучения на цыплят-бройлеров: гематологические, биохимические и зоотехнические изменения / И. В. Кузьмина, В. Г. Грязнов, Е. А. Галкина // IV Международная молодежная конференция «Генетические и радиационные технологии в сельском хозяйстве». – Обнинск: НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ, 2025. – С. 103-106.

9. 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 др.] // Птица и птицепродукты. – 2024. – № 2. – С. 48-51.

10. 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.

11. Kuzmina, I. Hematological, Biochemical and Zootechnical Changes of Broiler-Chickens Treated Distantly by Weak Non-Thermal Pulsed Electromagnetic Fields / I. Kuzmina, E. Galkina, E. Bondarchuk et al. // Acta Scientific Veterinary Sciences. – 2025. – Vol. 7, No. 10. – P. 18-29.