

А.Г. Мусин✉

Е.Б. Татлыбаева

ООО «ЭйВи НутриСмарт», Оренбург,
Россия

✉ info@av-ns.com

Поступила в редакцию: 12.05.2026

Одобрена после рецензирования: 17.06.2026

Принята к публикации: 01.07.2026

© Мусин А.Г., Татлыбаева Е.Б.

Стабильность жирорастворимых витаминов в комбикормах с различными формами бензойной кислоты

РЕЗЮМЕ

В настоящей работе представлены результаты комплексной оценки стабильности жирорастворимых витаминов (А, Е) в составе полнорационного комбикорма для сельскохозяйственной птицы, содержащего различные формы бензойной кислоты в качестве антимикробного компонента. Исследование основано на сравнительном анализе характера химически индуцированной деградации активности указанных витаминов под воздействием двух форм бензойной кислоты — защищенной и незащищенной. Целью работы явилось установление степени влияния каждой из этих форм на сохранность исходной биологической активности витаминов в процессе хранения комбикорма. Исследование проводилось в динамике: на начальном этапе (непосредственно сразу после изготовления комбикорма) и по истечении его регламентированного срока хранения (3 месяца). Для определения уровня сохранности биологической активности жирорастворимых витаминов применялся метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Измерения проводились в контролируемых условиях микроклимата, моделирующих реальные режимы складского хранения комбикормов. Сравнительный анализ результатов между контрольной группой (без добавления бензойной кислоты) и опытными образцами показал, что введение в корм защищенной формы бензойной кислоты не сопровождается статистически достоверным усилением процессов окислительной деградации витаминов А и Е. Введение в корм бензойной кислоты в незащищенной форме сопряжено с интенсификацией процессов деградации витаминов А и Е в процессе хранения комбикорма относительно контроля. Отсутствие выраженного негативного влияния на витаминную стабильность позволяет позиционировать защищенную форму бензойной кислоты как предпочтительный вариант при разработке рецептур комбикормов для сельскохозяйственной птицы. Данное свойство обеспечивает более выраженную сохранность активности жирорастворимых витаминов (А, Е) в составе комбикормов на протяжении всего установленного срока годности, что имеет ключевое значение для обеспечения полноценного витаминного питания сельскохозяйственной птицы.

Ключевые слова: жирорастворимые витамины, органические кислоты, бензойная кислота, стабильность витаминов, производство комбикормов

Для цитирования: Мусин А.Г., Татлыбаева Е.Б. Стабильность жирорастворимых витаминов в комбикормах с различными формами бензойной кислоты. *Аграрная наука*. 2026; 408 (07): 90–98.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-408-07-90-98>

Research article

 creative commons
Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-408-07-90-98

Almaz G. Musin ✉

Elena B. Tatlybaeva

AVNutriSmart LLC, Orenburg, Russia

✉ info@av-ns.com

Received by the editorial office: 12.05.2026

Accepted in revised: 17.06.2026

Accepted for publication: 01.07.2026

© Musin A.G., Tatlybaeva E.B.

Stability of Fat-Soluble Vitamins in Compound Feeds Containing Different Forms of Benzoic Acid

ABSTRACT

The paper presents the results of a comprehensive evaluation of the stability of fat-soluble vitamins (A, E) in compound feed for poultry containing different forms of benzoic acid as an antimicrobial component. The study is based on a comparative analysis of the pattern of chemically induced degradation of the activity of these vitamins under the influence of two forms of benzoic acid — protected and unprotected. The aim of the study was to determine the degree of impact of each of these forms on the preservation of the initial biological activity of the vitamins during feed storage. The study was conducted longitudinally: at the initial stage (immediately after feed manufacture) and after the regulated storage period (3 months). High-performance liquid chromatography (HPLC) was used to determine the level of preservation of the biological activity of the fat-soluble vitamins. Measurements were performed under controlled microclimate conditions simulating real warehouse storage regimes for compound feeds. A comparative analysis of the results between the control group (without benzoic acid supplementation) and the experimental samples showed that the inclusion of the protected form of benzoic acid in the feed is not accompanied by a statistically significant enhancement of the oxidative degradation processes of vitamins A and E. The inclusion of the unprotected form of benzoic acid in the feed is associated with an intensification of the degradation processes of vitamins A and E during feed storage relative to the control. The absence of a pronounced negative effect on vitamin stability allows the protected form of benzoic acid to be positioned as the preferred option when formulating compound feeds for poultry. This property ensures greater preservation of the activity of fat-soluble vitamins (A, E) in compound feeds throughout the entire established shelf life, which is of key importance for ensuring adequate vitamin nutrition in poultry.

Key words: fat-soluble vitamins, organic acids, benzoic acid, vitamin stability, feed production

For citation: Musin A.G., Tatlybaeva E.B. Stability of Fat-Soluble Vitamins in Compound Feeds Containing Different Forms of Benzoic Acid. *Agrarian science*. 2026; 408 (07): 90–98 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-408-07-90-98>

Введение/Introduction

В последние десятилетия в мировом птицеводстве сформировалась устойчивая тенденция к полному или частичному отказу от применения антибиотиков в качестве стимуляторов роста, основными причинами которой являются рост антибиотикорезистентности патогенных микроорганизмов и потенциальный риск передачи резистентных штаммов от птицы человеку [1]. В связи с этим кормовая промышленность активно разрабатывает альтернативные стратегии, среди которых особое место занимают органические кислоты и их соли, способные подавлять развитие патогенной микрофлоры в желудочно-кишечном тракте без негативного воздействия на здоровье животных и безопасность продукции [2].

Одним из перспективных соединений является бензойная кислота, традиционно используемая в пищевой промышленности в качестве консерванта, а в животноводстве — в качестве кормовой добавки. Механизм ее действия включает снижение pH корма и содержимого пищеварительного тракта, бактериостатический и бактерицидный эффекты в отношении различных патогенов (*Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli* и др.), а также стимуляцию протеолиза и повышение переваримости белка и аминокислот [3]. Кроме того, бензойная кислота служит источником энергии для эпителиальных клеток кишечника, способствуя удлинению микроворсинок и снижению глубины крипт, что улучшает всасывание питательных веществ [4]. Дополнительным преимуществом является снижение продукции аммиака в кишечнике и положительное влияние на морфологию ворсинок [5].

Важной характеристикой, определяющей эффективность применения бензойной кислоты, является ее форма, традиционные (незащищенные) варианты характеризуются быстрым высвобождением активного вещества в просвете кишечника, тогда как защищенные (кишечнорастворимые) формы обеспечивают постепенное высвобождение в дистальных отделах, что позволяет пролонгировать антимикробное действие и повысить функциональную эффективность кишечника. Сравнительные исследования подтверждают, что защищенные формы демонстрируют более стабильные результаты, так, в модели некротического энтерита, индуцированного *Clostridium perfringens* и кокцидиями, применение комбинации бензойной кислоты с эфирными маслами и пробиотиками способствовало снижению стрессовой нагрузки и ускорению восстановления продуктивности кур-несушек [6].

Таким образом, использование бензойной кислоты в кормлении сельскохозяйственной птицы представляет собой актуальное и научно обоснованное направление в рамках стратегии замены антибиотиков-стимуляторов роста. Ключевым условием эффективности и безопасности при этом является выбор оптимальной формы: переход от незащищенной (быстро высвобождающейся) к защищенной (кишечнорастворимым) аналогам

позволяет минимизировать риск раздражения слизистых оболочек, обеспечить пролонгированное антибактериальное действие в толстом отделе кишечника, повысить переваримость и конверсию корма. В современных условиях, когда экономическая эффективность птицеводства напрямую зависит от состояния здоровья кишечника и эффективности конверсии корма, применение защищенных форм следует рассматривать как приоритетное.

Согласно имеющимся данным, бензойная кислота проявляет слабую антиоксидантную активность, она практически не связывается со свободными радикалами и почти не тормозит окислительные процессы непосредственно в кормовых средах (в отличие от таких распространенных синтетических фенольных антиоксидантов, как бутилгидрокситолуол или этоксикивин). В кормлении ее ценят в первую очередь за способность подавлять рост микроорганизмов и подкислять среду желудочно-кишечного тракта, в отдельных опытах на животных иногда фиксируют антиоксидантные эффекты, но они носят косвенный характер — достигаются через регуляцию микрофлоры кишечника, ослабление воспалительных процессов и активацию собственных ферментов защиты [7–10].

Тем не менее, при длительном хранении кормов сложного состава поведение бензойной кислоты может меняться, так как она обладает потенциальными прооксидантными свойствами, и в присутствии ионов металлов с переменной валентностью (железа или меди, которые вводятся в состав рецептуры в виде сульфатов или оксидов) нельзя исключить запуск процессов, влияющих на окислительно-восстановительный баланс среды. Это, в свою очередь, способно инициировать превращения перекисных соединений с образованием высокореакционных частиц, что чревато ускорением окисления других компонентов смеси [11].

Степень таких проявлений, вероятно, может определяться кислотностью среды, долей диссоциированной формы кислоты и ее доступностью внутри кормовой матрицы. Следовательно, применение свободной (незащищенной) бензойной кислоты в ряде случаев может стать фактором риска, ускоряющим разрушение жирорастворимых витаминов, особенно уязвимых для окисления, в процессе хранения.

В свою очередь, жирорастворимые витамины (A, D₃, E) оказывают комплексное влияние на организм животного, они участвуют в регуляции обмена веществ, поддерживают репродуктивную функцию, укрепляют иммунную защиту, обеспечивают антиоксидантный статус и сохраняют структурную целостность тканей. Кроме того, они способствуют повышению конверсии корма, продуктивности и качества продукции (толщины скорлупы, химического состава мяса и молока) [12–19].

Высокая чувствительность жирорастворимых витаминов к деградации обуславливает снижение их биологической активности при хранении

и производстве комбикормов. При этом степень воздействия на стабильность жирорастворимых витаминов может различаться в зависимости от формы применяемой бензойной кислоты. Поскольку жирорастворимые витамины отличаются высокой чувствительностью к деградации, в процессе производства и хранения комбикормов их биологическая активность закономерно снижается [20]. Обеспечение стабильности этих витаминов выступает ключевым фактором, определяющим как эффективность кормления, так и здоровье сельскохозяйственных животных и птицы. При этом важно учитывать, что характер воздействия на сохранность жирорастворимых витаминов может варьироваться в зависимости от того, в какой форме (свободной или модифицированной) используется бензойная кислота.

Результаты предшествующего исследования, посвященного оценке влияния бензойной кислоты на стабильность жирорастворимых витаминов (*A*, *D₃*, *E*) в составе премиксов для сельскохозяйственной птицы, продемонстрировали отсутствие негативного эффекта для обеих форм (защищенной и незащищенной). На основании полученных данных был сделан вывод о том, что в условиях хранения премиксов бензойная кислота в изученных формах не оказывает значимого влияния на степень деградации указанных витаминов.

Однако, учитывая, что премикс представляет собой лишь промежуточный продукт, а конечной средой применения является комбикорм, представлялось важным оценить аналогичные закономерности на уровне готового полнорационного комбикорма. Таким образом, логическим продолжением работы стал переход от модельных премиксных образцов к исследованию стабильности витаминов в условиях кормовой матрицы.

Бензойная кислота (*E210*) широко применяется в кормлении как антимикробный агент и подкислитель, однако ее влияние на сохранность витаминов в матрице полнорационного корма остается недостаточно изученным. В последние годы промышленность активно внедряет защищенные формы органических кислот, которые обеспечивают пролонгированное высвобождение и позволяют снизить дозировку при сохранении биологического эффекта. Тем не менее, сравнительные исследования, посвященные влиянию стандартной и защищенной форм бензойной кислоты на стабильность жирорастворимых витаминов в полнорационных комбикормах для сельскохозяйственной птицы с использованием биологически эквивалентных дозировок, в доступной литературе не носят фрагментарный характер.

В связи с этим актуальность настоящей работы определяется сравнительным изучением динамики содержания витаминов *A* и *E* в составе полнорационных комбикормов, содержащих незащищенную (800 г/т) и защищенную (300 г/т) бензойную кислоту, в условиях, моделирующих реальное складское хранение. Полученные результаты позволяют

обосновать целесообразность замены стандартной формы бензойной кислоты ее защищенной формой с точки зрения совместимости компонентов и сохранности витаминной ценности комбикорма.

Целью настоящего исследования явилась сравнительная оценка стабильности жирорастворимых витаминов *A* и *E* в составе полнорационного комбикорма для сельскохозяйственной птицы при использовании защищенной и незащищенной форм бензойной кислоты в физиологически эквивалентных дозировках.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Определить исходную концентрацию витаминов *A* и *E* в трех экспериментальных образцах комбикорма: контрольном (без бензойной кислоты), с защищенной формой бензойной кислоты (300 г/т) и с незащищенной формой бензойной кислоты (800 г/т).

2. Оценить степень деградации витаминов *A* и *E* в каждом из трех образцов после 3 месяцев хранения в контролируемых условиях (температура не выше 25°C, влажность не выше 80%).

3. Провести сравнительный статистический анализ потерь витаминов *A* и *E* между контрольной группой и опытными образцами для выявления достоверности межгрупповых различий.

4. Сравнить степень деградации витаминов *A* и *E* при использовании защищенной и незащищенной форм бензойной кислоты и определить форму, обеспечивающую максимальную сохранность жирорастворимых витаминов в условиях хранения комбикорма.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследование проводилось в период с февраля 2026 года по май 2026 года на базе производственной лаборатории премиксного завода ООО «ЭйВи НутриСмарт», г. Оренбург.

Экспериментальные образцы полнорационного комбикорма для кур-несушек в возрасте 46–65 недель замешивались в лабораторных условиях согласно рецептуре, состоящей из следующих сырьевых компонентов: пшеница, горох, соя полножирная СП 37%, жмых подсолнечный СП 36%, масло подсолнечное, L-лизин сульфат L-premiUM 80%, DL-Метионин 98,5%, L-Треонин 98%, сульфат натрия, соль поваренная, монокальцийфосфат кормовой, известняковая мука, бензойная кислота защищенная, бензойная кислота незащищенная, витамины *A*, *D₃*, *E*, *K₃*, *B₁*, *B₂*, пантотеновая кислота, *B₄*, никотиновая кислота, *B₆*, *B₁₂*, *Bc*, *H*, *Fe*, *Cu*, *Zn*, *Mn*, *Co*, *I*, *Se*, антиоксидант.

В качестве синтетических форм жирорастворимых витаминов для включения в модельную смесь корма использовались: витамин *A1000* — микрокапсулы (желатин), основное действующее вещество ретинола ацетат; витамин *E50* — порошок, основное действующее вещество dl- α -токоферол ацетат (носитель диоксид кремния). В качестве

образцов бензойной кислоты использовались: незащищенная бензойная кислота (содержание основного действующего вещества — ОДВ 99%) и защищенная бензойная кислота (содержание ОДВ 80%).

Для проведения эксперимента было сформировано три экспериментальных образца комбикорма: 1 — контрольный образец, без добавления бензойной кислоты; 2 — образец с добавлением незащищенной бензойной кислоты в концентрации 800 г/т корма; 3 — образец с добавлением защищенной бензойной кислоты в концентрации 300 г/т корма. Дозировки бензойной кислоты были выбраны на основании рекомендаций изготовителя: 800 г/т для незащищенной формы и 300 г/т для защищенной, поскольку данные количества признаны эквивалентными по физиологическому эффекту, оказываемому на организм животного.

Дозировка и смешивание компонентов осуществлялись в лабораторных условиях с использованием аналитического весоизмерительного оборудования *Mettler Toledo ME204* (Швейцария), обеспечивающего точность взвешивания до 0,01 г. После смешивания образцы помещались в сейф-пакеты, изготовленные из непрозрачного, химически нейтрального материала и хранились в комнате хранения образцов производственной лаборатории при температуре окружающей среды не выше 25 °С и влажности не выше 80%.

Исследование стабильности жирорастворимых витаминов (А, Е) в составе комбикорма проводилось сразу после смешивания образцов и по истечении регламентированного срока хранения (3 месяца для комбикормовой продукции, в состав которой введен антиоксидант, согласно ГОСТ 23462-2019 «Продукция комбикормовой промышленности. Правила приемки, упаковка, маркировка, транспортирование и хранение»). Определение активности жирорастворимых витаминов

осуществлялось методом высокоэффективной жидкостной хроматографии, в ходе проведения исследований использовался жидкостной хроматограф фирмы Shimadzu «Prominence-i» LC-2030 Plus со встроенным спектрофотометрическим детектором (Япония). Массовая доля витаминов определялась согласно методике М-02-1006-08 «Биологически активные добавки, премиксы, корма, комбикормовое сырьё. Методика выполнения измерений массовой доли жирорастворимых витаминов методом ВЭЖХ¹».

Целевой компонент выделяли из исследуемого образца через щелочной гидролиз навесок и экстракцию гексаном, полученную смесь разделяли методом градиентной хроматографии на колонке с обращенной фазой, детектирование искомых компонентов осуществляли спектрофотометрически (Shimadzu «Prominence-i» LC-2030 Plus со встроенным спектрофотометрическим детектором).

Сравнительный анализ активности жирорастворимых витаминов в составе комбикорма в двух временных точках (сразу и по истечении срока хранения) позволил достоверно оценить динамику деградации активности витаминов в заданных условиях и оценить значимость межгрупповых различий.

Статистическая обработка данных выполнялась в программе Microsoft Office Excel (США) с расчетом критериев Шапиро-Уилка (нормальность распределения) и t-критерия Стьюдента (достоверность различий).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В таблице 1 представлен характер деградации витамина А в присутствии различных форм бензойной кислоты в составе модельного образца корма. Как видно из представленных данных, исходная концентрация витамина А во всех образцах была сопоставимой, в контрольном

Таблица 1. Характер деградации витамина А в присутствии различных форм бензойной кислоты в комбикорме
Table 1. The degradation pattern of vitamin A in compound feed containing various forms of benzoic acid

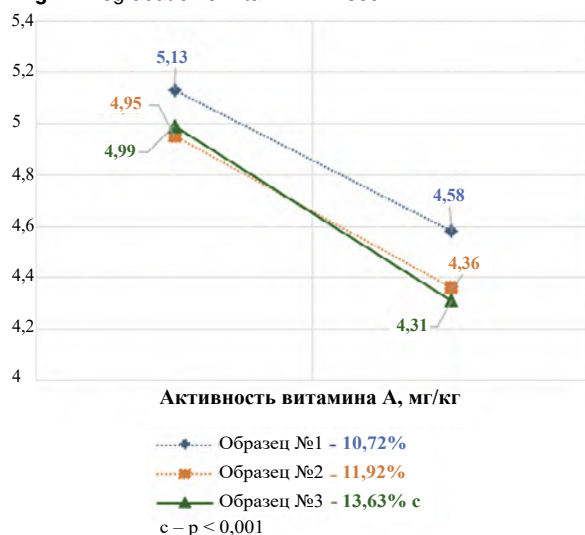
Показатель		Среднее значение ± СКО (n = 6), мг/кг	оСКО, %	Относительная суммарная погрешность метода (± 24%), мг/кг	Степень межгрупповых различий по % снижения на основе критерия Стьюдента
Образец №1 — Контрольный комбикорм без бензойной кислоты					
Витамин А	начальная концентрация	5,13 ± 0,03	0,68	± 1,54	–
	конечная концентрация	4,58 ± 0,04	0,91	± 1,37	–
	% снижения активности	10,72 °	–	–	–
Образец №2 — Комбикорм с включением защищенной формы бензойной кислоты					
Витамин А	начальная концентрация	4,95 ± 0,06	1,22	± 1,49	различия не достоверны относительно контроля (р > 0,05)
	конечная концентрация	4,36 ± 0,09	2,03	± 1,31	
	% снижения активности	11,92 °	–	–	
Образец №3 — Комбикорм с включением незащищенной формы бензойной кислоты					
Витамин А	начальная концентрация	4,99 ± 0,03	0,70	± 1,50	различия достоверны относительно контроля с* (р < 0,001)
	конечная концентрация	4,31 ± 0,03	0,67	± 1,29	
	% снижения активности	13,63 °	–	–	

Примечание: с — p < 0,001 — статистическая значимость различий между начальными и конечными показателями внутри группы; с* — степень межгрупповых различий относительно контроля

¹ М-02-1006-08 «Биологически активные добавки, премиксы, корма, комбикорма, комбикормовое сырьё Методика выполнения измерений массовой доли жирорастворимых витаминов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии», ООО «АНАЛИТ», Санкт-Петербург, 2008 г.

Рис. 1. Характер деградации витамина А в корме

Fig. 1. Degradation of vitamin A in feed



комбикорме №1 (без бензойной кислоты) она составила $(5,13 \pm 0,03)$ мг/кг, в комбикорме №2 (защищенная бензойная кислота) — $(4,95 \pm 0,06)$ мг/кг, в комбикорме №3 (незащищенная бензойная кислота) — $(4,99 \pm 0,03)$ мг/кг.

Через 3 месяца хранения во всех образцах комбикорма было отмечено статистически значимое ($p < 0,001$ для каждой группы) снижение активности витамина А по сравнению с исходным уровнем. В контрольном образце активность снизилась на 10,72% (до $4,58 \pm 0,04$ мг/кг), в образце с защищенной бензойной кислотой деградация составила 11,92% (до $4,36 \pm 0,09$ мг/кг), наиболее выраженная потеря витамина А была зафиксирована в образце с незащищенной бензойной кислотой, и составила 13,63% (до $4,31 \pm 0,03$ мг/кг).

Полученные данные свидетельствуют о том, что во всех трех образцах за 3 месяца хранения происходило достоверное снижение активности витамина А ($p < 0,001$). При этом в образце с добавлением защищенной бензойной кислоты процент деградации витамина А статистически достоверно

не превышал контрольные значения ($p > 0,05$), а добавление в корм незащищенной бензойной кислоты вызвало деградацию витамина А, достоверно превышающую аналогичный показатель в контрольной группе ($p < 0,001$) (рисунок 1).

В таблице 2 представлен характер деградации витамина Е в присутствии различных форм бензойной кислоты в составе модельного комбикорма. Как видно из представленных данных, исходная концентрация витамина Е во всех образцах также была сопоставимой, в контрольном комбикорме №1 (без бензойной кислоты) она составила $(178,26 \pm 4,50)$ мг/кг, в комбикорме №2 (защищенная бензойная кислота) — $(174,99 \pm 7,69)$ мг/кг, в комбикорме №3 (незащищенная бензойная кислота) — $(175,14 \pm 9,53)$ мг/кг.

Через 3 месяца хранения во всех образцах комбикорма аналогично было отмечено статистически значимое ($p < 0,001$ для каждой группы, внутригрупповое сравнение) снижение активности витамина Е по сравнению с исходным уровнем. В контрольном образце активность снизилась на 17,60% (до $146,88 \pm 0,88$ мг/кг), в образце с защищенной бензойной кислотой деградация составила 18,83% (до $142,04 \pm 4,93$ мг/кг), наиболее выраженная потеря витамина Е была зафиксирована в образце с незащищенной бензойной кислотой, и составила 23,71% (до $133,62 \pm 5,23$ мг/кг).

Полученные данные свидетельствуют о том, что во всех трех образцах за 3 месяца хранения происходит достоверное снижение активности витамина Е ($p < 0,001$). При этом в образце с добавлением защищенной бензойной кислоты процент деградации витамина Е статистически достоверно не превышал контрольные значения ($p > 0,05$), а добавление в корм незащищенной бензойной кислоты вызывал деградацию витамина Е, достоверно превышающую аналогичный показатель в контрольной группе ($p < 0,05$) (рисунок 2).

Таким образом, исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что незащищенная бензойная кислота (в дозировке 800 г/т) приводит

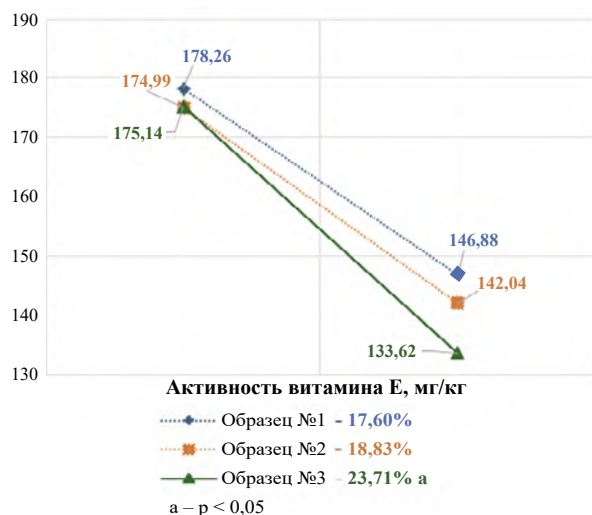
Таблица 2. Характер деградации витамина Е в присутствии различных форм бензойной кислоты в комбикорме

Table 2. The degradation pattern of vitamin E in compound feed containing various forms of benzoic acid

Показатель		Среднее значение ± СКО (n = 6), мг/кг	оСКО, %	Относительная суммарная погрешность метода (± 24%), мг/кг	Степень межгрупповых различий по % снижения на основе критерия Стьюдента
Образец №1 — Контрольный комбикорм без бензойной кислоты					
Витамин Е	начальная концентрация	178,26 ± 4,50	2,52	± 53	—
	конечная концентрация	146,88 ± 0,88	0,60	± 44	—
	% снижения активности	17,60 °	—	—	—
Образец №2 — Комбикорм с включением защищенной формы бензойной кислоты					
Витамин Е	начальная концентрация	174,99 ± 7,69	4,39	± 52	различия не достоверны относительно контроля (p > 0,05)
	конечная концентрация	142,04 ± 4,93	3,47	± 43	
	% снижения активности	18,83 °	—	-	
Образец №3 — Комбикорм с включением незащищенной формы бензойной кислоты					
Витамин Е	начальная концентрация	175,14 ± 9,53	5,44	± 53	a* (p < 0,05)
	конечная концентрация	133,62 ± 5,23	3,91	± 40	
	% снижения активности	23,71 °	—	—	

Примечание: с — $p < 0,001$ — статистическая значимость различий между начальными и конечными показателями внутри группы; a* — степень межгрупповых различий относительно контроля

Рис. 2. Характер деградации витамина *E* в корме
Fig. 2. Degradation of vitamin *E* in feed



к статистически значимым потерям жирорастворимых витаминов *A* и *E* в составе полнорационного корма для сельскохозяйственной птицы при его хранении в течение трех месяцев, что следует учитывать при расчете и формировании рецептур комбикормов. При этом защищенная форма бензойной кислоты (в дозировке 300 г/т) не вызывает значимого увеличения потерь витаминов по сравнению с контролем ($p > 0,05$) и может считаться более предпочтительной формой с точки зрения сохранности жирорастворимых витаминов в составе комбикормов.

Несмотря на то, что контрольный образец (без бензойной кислоты) демонстрирует наилучшую сохранность витаминов, использование в промышленном птицеводстве комбикормов данного состава нецелесообразно ввиду отсутствия целевого антимикробного компонента. В условиях обязательного включения антимикробного агента применение защищенной формы бензойной кислоты в данном случае является экономически и технологически предпочтительным, поскольку позволяет обеспечить более высокую стабильность жирорастворимых витаминов (*A*, *E*) по сравнению с незащищенной формой при сопоставимой физиологической эффективности.

Также стоит упомянуть о том, что при интерпретации полученных данных необходимо учитывать, что дозировки 2-х форм бензойной кислоты в эксперименте не были уравнены по массовой доле действующего вещества. Согласно рекомендациям производителя, биологически сопоставимый бактерицидный эффект достигается при введении в рацион 800 г/т незащищенной, либо 300 г/т защищенной бензойной кислоты. Такое различие обусловлено фармакокинетикой препарата — стандартная форма активна преимущественно в верхних отделах ЖКТ, где значительная часть вещества нейтрализуется или связывается компонентами корма, тогда как защищенная форма обеспечивает равномерное высвобождение в дистальных отделах кишечника и не подвержена

преждевременной инактивации. Выравнивание доз по чистому активному веществу привело бы к передозировке защищенной формы по эффекту, что не имело бы практического смысла. Важно также подчеркнуть, что основная задача исследования заключалась в оценке стабильности жирорастворимых витаминов в условиях, максимально приближенных к реальной практике производства премиксов и комбикормов, в связи с чем сравнивались коммерчески валидные, эквивалентные по целевому (физиологическому) эффекту дозировки.

Полученные экспериментальные данные соответствуют расчетным значениям концентрации компонентов (с учетом вклада погрешности метода выполнения измерений), заложенным в состав комбикорма, где расчетное содержание ретинола (витамин *A*) составило 4,47 мг/кг, α -токоферола (витамин *E*) — 161,7 мг/кг, из которых 90 мг/кг было введено через премиксную часть в виде синтетического α -токоферол ацетата, 71,7 мг/кг витамина *E* было представлено нативным токоферолом (пшеница, соя полножирная, жмых подсолнечный, масло подсолнечное).

Наблюдаемая тенденция к менее выраженному снижению активности жирорастворимых витаминов в образцах комбикорма с введением защищенной формы бензойной кислоты может быть обусловлена как эффектом химической (физической) защиты, так и несколько более низкой дозировкой ввода данного компонента. В целом полученные данные подтверждают хорошую технологическую совместимость защищенной формы бензойной кислоты с жирорастворимыми витаминами *A* и *E* в составе комбикормов.

Следует также отметить, что зафиксированная в настоящем исследовании интенсивность деградации жирорастворимых витаминов в составе полнорационного комбикорма (для витамина *A* потери составили 10,72–13,63%, для витамина *E* — 17,60–23,71% за 3 месяца хранения) заметно выше аналогичных показателей, установленных нами в предыдущих исследованиях премиксных смесей. Данный факт может объясняться комплексным воздействием факторов, присущих кормовой матрице. Комбикорм характеризуется более высокой равновесной влажностью по сравнению с премиксами (до 13% для рассыпного комбикорма), что создает условия для гидролитических процессов и повышает подвижность молекул компонентов, способствуя ускорению химических реакций окисления. Также в составе использованной рецептуры присутствуют «агрессивные» по отношению к витаминам компоненты: подсолнечное масло, монокальцийфосфат и др., при этом полиненасыщенные жирные кислоты подсолнечного масла являются субстратом для перекисного окисления липидов (ПОЛ), инициируя образование свободных радикалов, которые атакуют молекулы ретинола и токоферола. В свою очередь, монокальцийфосфат, обладающий кислотными свойствами и содержащий ионы кальция, может также катализировать

деструкцию витаминов. Также в составе комбикорма концентрация витаминов значительно ниже, чем в премиксе, что снижает вероятность столкновения молекул антиоксиданта со свободными радикалами и уменьшает общую буферную емкость системы по отношению к окислительному стрессу. Наконец, процессы перекисного окисления липидов в высокожирной среде комбикорма протекают более интенсивно, чем в премиксной основе, продукты этих реакций (гидроперекиси, альдегиды) выступают в роли инициаторов окисления и дополнительно ускоряют потерю биологической активности жирорастворимых витаминов.

Особого внимания заслуживает зафиксированный в настоящем исследовании уровень потерь витамина *E* (17,60–23,71% за 3 месяца хранения), который ожидаемо превышает аналогичные показатели для премиксных смесей, однако требует дополнительной интерпретации в контексте химической природы используемого токоферола. Полученные данные могут быть объяснены не только особенностями кормовой матрицы, но и наличием в рецептуре комбикорма двух принципиально различных форм витамина *E*, обладающих неодинаковой устойчивостью к окислительной деструкции.

Как известно, в натуральных кормовых компонентах витамин *E* присутствует в нативной форме, характеризующейся наличием свободной гидроксильной группы в хромановом кольце. Именно эта структурная особенность обеспечивает его высокую антиоксидантную активность, но одновременно обуславливает экстремальную лабильность: свободный токоферол легко окисляется под действием кислорода воздуха, инициируя образование токофероксильных радикалов и последующую цепную реакцию перекисного окисления. В противоположность этому, промышленно синтезируемый α -токоферола ацетат, в котором гидроксильная группа этерифицирована уксусной кислотой, полностью утрачивает антиоксидантные свойства *in vitro*, приобретая взамен значительно более высокую стабильность при хранении. Эфирная синтетическая форма устойчива к воздействию кислорода, влаги и тепла, а ее биологическая эффективность реализуется лишь после гидролиза в желудочно-кишечном тракте животного под действием ферментов.

В контексте исследования данный факт приобретает ключевое значение ввиду того, что полнорационный комбикорм, в отличие от премикса, содержит не только добавленную синтетическую форму витамина *E* (стабильный ацетат), но и значительные количества нативного токоферола, поступающего из растительных компонентов рецептуры — в первую очередь, из подсолнечного масла и зерновой части рациона. Именно эта нативная лабильная фракция становится первичной мишенью для окислительных процессов, инициируемых полиненасыщенными жирными кислотами, перекисями липидов и каталитически активными

ионами металлов. Зафиксированные потери витамина *E* (17,60–23,71%) следует интерпретировать как деградацию прежде всего его нативной, незащищенной формы, в то время как синтетическая ацетатная форма сохраняет свою биологическую доступность в значительно большей степени.

Следовательно, высокая интенсивность потерь витамина *E* в исследованном комбикорме не свидетельствует о недостаточной стабильности добавленного стабилизированного компонента, а отражает комплексную природу витаминного профиля кормовой смеси, включающего как устойчивую промышленно добавленную форму, так и чувствительную к окислению нативную часть. Этот факт должен учитываться при интерпретации результатов производственных испытаний и сравнительном анализе стабильности витаминов в различных типах кормовых систем.

Следует также отметить, что заложенный в дизайн настоящего исследования период хранения комбикорма (3 месяца) превышает реальный производственный цикл его оборота, который на практике, как правило, составляет 1–2 месяца. Тем не менее указанное расхождение является методически обоснованным и не снижает прикладной ценности полученных результатов. В рамках настоящего исследования трехмесячный период хранения признан достаточным для нивелирования вклада случайной составляющей погрешности анализа и обеспечения надежного выявления статистически значимых межгрупповых различий между образцами комбикорма, содержащими разные формы бензойной кислоты. Также полученные в работе данные следует рассматривать как консервативную оценку, так как деградация жирорастворимых витаминов в комбикормах характеризуется нелинейной кинетикой с ускорением процесса по мере накопления продуктов окисления. Следовательно, если в условиях удлиненного хранения защищенная форма бензойной кислоты демонстрирует достоверно меньшие потери витаминов по сравнению с незащищенной, то в реальном производственном цикле указанное преимущество не только сохранится, но и может быть экстраполировано как гарантия отсутствия критической деградации витаминов сверх допустимых норм.

Таким образом, выбор трехмесячного срока хранения усиливает практическую значимость выводов, позволяя рекомендовать защищенную форму бензойной кислоты как предпочтительную с точки зрения сохранности жирорастворимых витаминов в условиях реального производства.

Выводы/Conclusions

В результате проведенных исследований установлено, что характер сохранности жирорастворимых витаминов *A* и *E* в полнорационном комбикорме для сельскохозяйственной птицы зависит от применяемой формы бензойной кислоты. Добавление незащищенной формы бензойной

кислоты в дозировке 800 г/т сопровождается статистически подтвержденным ускорением окислительной деградации витаминов. Через три месяца хранения потери ретинола (витамина А) достигли 13,63%, а токоферола (витамина Е) — 23,71%, что значительно превышает контрольные показатели ($p < 0,001$ для витамина А и $p < 0,05$ для витамина Е). Напротив, использование защищенной формы бензойной кислоты в концентрации 300 г/т, признанной физиологически эквивалентной, не вызывает достоверного увеличения деградации витаминов: потери витамина А составили 11,92%, витамина Е — 18,83% против 10,72% и 17,60% в контрольной группе ($p > 0,05$).

Зафиксированная тенденция к несколько лучшей сохранности жирорастворимых витаминов в образцах с защищенной формой бензойной кислоты может интерпретироваться как следствие физической изоляции активного вещества, снижающей его контакт с витаминами, также в том числе и за счет относительно меньшей концентрации вносимого компонента (300 г/т против 800 г/т).

Таким образом, исходя из полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. В условиях 3-месячного хранения полнорационного комбикорма для кур-несушек в контролируемых условиях (температура не выше 25 °С, относительная влажность не выше 80%) во всех экспериментальных образцах происходит статистически значимое снижение содержания витаминов А и Е ($p < 0,001$ для внутригрупповых различий). В контрольном образце (без бензойной кислоты) потери витамина А составили 10,72%, витамина Е — 17,60%.

2. Введение незащищенной формы бензойной кислоты в дозировке 800 г/т ассоциировано с достоверно более высокой степенью деградации витаминов по сравнению с контрольной группой: потери витамина А достигли 13,63% ($p < 0,001$), витамина Е — 23,71% ($p < 0,05$). Данный результат свидетельствует о наличии влияния незащищенной формы на стабильность исследуемых жирорастворимых витаминов в кормовой матрице.

3. Применение защищенной формы бензойной кислоты в дозировке 300 г/т, признанной

производителем биологически эквивалентной по физиологическому эффекту, не сопровождается статистически значимым увеличением деградации витаминов относительно контрольных значений: потери витамина А составили 11,92% ($p > 0,05$ по сравнению с контролем), витамина Е — 18,83% ($p > 0,05$ по сравнению с контролем).

4. Сравнение двух форм бензойной кислоты между собой показывает, что защищенная форма обеспечивает достоверно лучшую сохранность как витамина А, так и витамина Е по сравнению с незащищенной формой. Данное различие может быть обусловлено как физической изоляцией активного вещества, снижающей его контакт с витаминами, так и меньшей массовой долей вносимого препарата (300 против 800 г/т) при сопоставимой физиологической эффективности.

5. Полученные данные по количественной оценке степени деградации витаминов А и Е могут быть использованы при разработке рецептур комбикормов для корректировки страховочных коэффициентов в зависимости от выбранной формы бензойной кислоты. При этом следует учитывать, что представленные в работе значения являются консервативной оценкой, поскольку экспериментальный срок хранения (3 месяца) превышает реальный производственный оборот комбикормов (1–2 месяца).

6. Интерпретация полученных результатов ограничена условиями проведенного эксперимента (рецептура комбикорма, срок хранения, контролируемые параметры микроклимата). Экстраполяция выводов на иные типы кормов, виды сельскохозяйственной птицы либо условия хранения требует проведения дополнительных исследований.

Таким образом, с позиции сохранности витаминов А и Е в течение регламентированного срока хранения комбикормов, учитывая меньшие потери витаминов при использовании защищенного варианта и его более высокую физиологическую эффективность в дистальных отделах кишечника, предпочтение при разработке рецептур следует отдавать защищенным формам бензойной кислоты.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Abreu R., Semedo-Lemsaddek T., Cunha E., Tavares L., Oliveira M. Antimicrobial Drug Resistance in Poultry Production: Current Status and Innovative Strategies for Bacterial Control. *Microorganisms*. 2023; 11(4): 953. <https://doi.org/10.3390/microorganisms111040953>
2. Khan R.U. *et al.* Prospects of organic acids as safe alternative to antibiotics in broiler chickens diet. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022; 29(22): 32594–32604. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19241-8>
3. Ogwuegbu M.C. *et al.* Effect of varying levels of benzoic acid on growth performance, haemato-biochemical indices, carcass traits, gut morphology and intestinal microbiota of broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*. 2025; 34(3): 100556. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2025.100556>
4. Gerzilov V., Hristakieva P. Organic acids supplementation in poultry nutrition: A review. *Open Veterinary Journal*. 2025; 15(8): 3448–3458. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2025.v15.i8.8>

REFERENCES

1. Abreu R., Semedo-Lemsaddek T., Cunha E., Tavares L., Oliveira M. Antimicrobial Drug Resistance in Poultry Production: Current Status and Innovative Strategies for Bacterial Control. *Microorganisms*. 2023; 11(4): 953. <https://doi.org/10.3390/microorganisms111040953>
2. Khan R.U. *et al.* Prospects of organic acids as safe alternative to antibiotics in broiler chickens diet. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022; 29(22): 32594–32604. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19241-8>
3. Ogwuegbu M.C. *et al.* Effect of varying levels of benzoic acid on growth performance, haemato-biochemical indices, carcass traits, gut morphology and intestinal microbiota of broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*. 2025; 34(3): 100556. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2025.100556>
4. Gerzilov V., Hristakieva P. Organic acids supplementation in poultry nutrition: A review. *Open Veterinary Journal*. 2025; 15(8): 3448–3458. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2025.v15.i8.8>

5. Olukosi O.A., Dono N. Modification of digesta pH and intestinal morphology with the use of benzoic acid or phytobiotics and the effects on broiler chicken growth performance and energy and nutrient utilization. *Journal of Animal Science*. 2014; 92(9): 3945–3953. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6368>
6. Zhang H. *et al.* Alleviating effect of dietary supplementation of benzoic acid, *Enterococcus faecium* and essential oil complex on coccidia and *Clostridium perfringens* challenge in laying hens. *Poultry Science*. 2022; 101(4): 101720. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101720>
7. He X., Wang Z., Han Q., Shi X., Dong X., Ma B. Dietary enteric-coated benzoic acid supplementation improved the intestinal antioxidant and digestive function in broilers. *Animal Advances*. 2025; 2: e009. <https://doi.org/10.48130/animadv-0025-0007>
8. Amaechi N., Anueyiagu C.F. The effect of dietary benzoic acid supplementation on growth performance and intestinal wall morphology of broilers. *Online Journal of Animal and Feed Research*. 2012; 1(5): 401–404.
9. Самович С.Н., Бринкевич С.Д., Едимечева И.П., Шадыро О.И. Антирадикальные и антиоксидантные свойства ароматических спиртов, альдегидов и кислот. *Свиридовские чтения. Сборник статей*. Минск: БГУ. 2012; 8: 216–224. EDN WGRJKA
10. Mao X., Yang Q., Chen D., Yu B., He J. Benzoic Acid Used as Food and Feed Additives Can Regulate Gut Functions. *BioMed Research International*. 2019; 2019: 5721585. <https://doi.org/10.1155/2019/5721585>
11. Harčárová P., Lomozová Z., Kallivretaki M., Karličková J., Kučera R., Mladěnka P. Different behavior of food-related benzoic acids toward iron and copper. *Food Chemistry*. 2025; 462: 141014. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141014>
12. Егоров И.А., Дядичкина Л.Ф., Шевяков А.Н. Критерии обеспеченности организма птицы витаминами и их влияние на инкубационные качества яиц. *Птицеводство*. 2017; (4): 14–20. EDN YLKCJX
13. Эрнандес Х.-М. и др. Различные метаболиты витамина D₃ в питании животных. *Комбикорма*. 2020; (5): 44–46. EDN BQXAMC
14. Молоканова О.В. Витамины и микроэлементы в кормлении птицы: важность рационального подхода. *Птицеводство*. 2024; (12): 31–36. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2024-73-12-31-36>
15. Казачкова Н.М., Картеков К.Ш., Дускаев Г.К. Использование биологически активных веществ в кормлении сельскохозяйственной птицы. *Аграрный вестник Урала*. 2024; 24 (8): 1037–1044. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-08-1037-1044>
16. Наумова Л.И., Асеева Т.А., Шукурова Е.Б. Эффективность применения экспериментальных образцов концентрата витамина А в кормлении кур-несушек. *Птицеводство*. 2024; (12): 37–43. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2024-73-12-37-43>
17. Шастак Е. Оптимальное количество витамина А в рационах птицы. *Комбикорма*. 2019; (1): 56–60. EDN SPGZWF
18. Околелова Т.М. и др. Водорастворимая форма витамина D₃ для нормализации минерального обмена у высокопродуктивных несушек. *Ветеринария и кормление*. 2019; (2): 38–40. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2019-2-14>
19. Иванова О.В. Биологически активные добавки в птицеводстве. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет. 2010; 141. ISBN 978-5-94617-195-3. EDN UFLZKN
20. Riaz M.N., Asif M., Ali R. Stability of Vitamins during Extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2009; 49(4): 361–368. <https://doi.org/10.1080/10408390802067290>
5. Olukosi O.A., Dono N. Modification of digesta pH and intestinal morphology with the use of benzoic acid or phytobiotics and the effects on broiler chicken growth performance and energy and nutrient utilization. *Journal of Animal Science*. 2014; 92(9): 3945–3953. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6368>
6. Zhang H. *et al.* Alleviating effect of dietary supplementation of benzoic acid, *Enterococcus faecium* and essential oil complex on coccidia and *Clostridium perfringens* challenge in laying hens. *Poultry Science*. 2022; 101(4): 101720. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101720>
7. He X., Wang Z., Han Q., Shi X., Dong X., Ma B. Dietary enteric-coated benzoic acid supplementation improved the intestinal antioxidant and digestive function in broilers. *Animal Advances*. 2025; 2: e009. <https://doi.org/10.48130/animadv-0025-0007>
8. Amaechi N., Anueyiagu C.F. The effect of dietary benzoic acid supplementation on growth performance and intestinal wall morphology of broilers. *Online Journal of Animal and Feed Research*. 2012; 1(5): 401–404.
9. Samovich S.N., Brinkevich S.D., Yedimecheva I.P., Shadyro O.I. Antiradical and Antioxidant Properties of Aromatic Alcohols, Aldehydes, and Acids. *Sviridov Readings. Collection of articles*. Minsk: Belarusian State University. 2012; 8: 216–224 (in Russian). EDN WGRJKA
10. Mao X., Yang Q., Chen D., Yu B., He J. Benzoic Acid Used as Food and Feed Additives Can Regulate Gut Functions. *BioMed Research International*. 2019; 2019: 5721585. <https://doi.org/10.1155/2019/5721585>
11. Harčárová P., Lomozová Z., Kallivretaki M., Karličková J., Kučera R., Mladěnka P. Different behavior of food-related benzoic acids toward iron and copper. *Food Chemistry*. 2025; 462: 141014. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141014>
12. Egorov I.A., Dyadichkina L.F., Shevyakov A.N. The Adequacy Criteria of Vitamin Nutrition in Poultry in Terms of the Quality of Incubation Eggs. *Ptitsevodstvo*. 2017; (4): 14–20 (in Russian). EDN YLKCJX
13. Hernandez J.-M. *et al.* Various metabolites of vitamin D₃ in animal nutrition. *Kombikorma*. 2020; (5): 44–46 (in Russian). EDN BQXAMC
14. Molokanova O.V. Vitamins and trace elements in poultry nutrition: the importance of a rational approach. *Ptitsevodstvo*. 2024; (12): 31–36 (in Russian). <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2024-73-12-31-36>
15. Kazachkova N.M., Kartekov K.Sh., Duskaev G.K. The use of biologically active substances in feeding poultry. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (8): 1037–1044 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-08-1037-1044>
16. Naumova L.I., Aseeva T.A., Shukurova E.B. The effectiveness of experimental samples of a vitamin A concentrate in diets for laying hens. *Ptitsevodstvo*. 2024; (12): 37–43 (in Russian). <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2024-73-12-37-43>
17. Shastak E. Optimal amount of vitamin A in poultry diets. *Kombikorma*. 2019; (1): 56–60 (in Russian). EDN SPGZWF
18. Okolelova T.M. *et al.* Water-soluble form of vitamin D₃ for the normalization of mineral metabolism in highly productive layers. *Veterinaria i kormlenie*. 2019; (2): 38–40 (in Russian). <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2019-2-14>
19. Ivanova O.V. Biologically active supplements in poultry farming. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University. 2010; 141 (in Russian). ISBN 978-5-94617-195-3. EDN UFLZKN
20. Riaz M.N., Asif M., Ali R. Stability of Vitamins during Extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2009; 49(4): 361–368. <https://doi.org/10.1080/10408390802067290>

ОБ АВТОРАХ

Алмаз Газнавиевич Мусин

кандидат сельскохозяйственных наук, генеральный директор
info@av-ns.com

<https://orcid.org/0009-0001-3977-624X>

Елена Батыровна Татлыбаева

инженер по качеству
e.tatlybaeva@av-ns.com

<https://orcid.org/0009-0001-2636-5601>

ООО «ЭйВи НутриСмарт»,

ул. Беляевская, д. 32, Оренбург, 460027, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Almaz Gaznavievich Musin

Candidate of Agricultural Sciences, General Director
info@av-ns.com

<https://orcid.org/0009-0001-3977-624X>

Elena Batyrovna Tatlybaeva

Quality Engineer
e.tatlybaeva@av-ns.com

<https://orcid.org/0009-0001-2636-5601>

AVNutriSmart LLC,

32 Belyaevskaya st., Orenburg, 460027, Russia