

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОММЕРЧЕСКИХ ЗАЩИЩЕННЫХ ФОРМ ЛИЗИНА И МЕТИОНИНА ПО ДАННЫМ *in situ* и *in vitro*

Резюме. Серия исследований защищенных от разложения в рубце кормовых добавок, содержащих лизин и метионин, была посвящена оценке их «bypass» свойств. Истинную рубцовую переваримость определяли двумя методами: *in situ* на корове с рубцовой фистулой и *in vitro* на установке «искусственный рубец» Анкот Daisy II. Установлено, что среди представленных на рынке защищенных форм лизина и метионина лишь ограниченное их количество соответствует оптимальному диапазону переваримости (20–25%), при котором обеспечивается эффективная доставка аминокислот в тонкий отдел кишечника. Получены сопоставимые результаты ($r = 0,95–0,99$) при оценке истинной рубцовой переваримости разными методами оценки (*in vitro* и *in situ*).

Представленные данные могут служить ориентиром для выбора поставщиков защищенных лизина и метионина, корректировки рационов кормления жвачных животных с целью повышения эффективности использования аминокислот.

Ключевые слова: защищенные от разложения в рубце аминокислоты, истинная рубцовая переваримость, метод *in situ*, метод *in vitro*, установка «искусственный рубец», Анкот Daisy II.

COMPARATIVE EVALUATION OF THE EFFICACY OF COMMERCIAL PROTECTED FORMS OF LYSINE AND METHIONINE BASED ON *in situ* and *in vitro* TESTS

Abstract. The series of studies of commercial rumen-protected lysine and methionine feed additives was conducted to evaluate their bypass properties. True rumen digestibility was assessed using two methods: *in situ* testing on a cow with the rumen fistula and *in vitro* testing using the Ankot Daisy II «artificial rumen» system. The tests revealed that among the protected forms of lysine and methionine available on the market, only a limited number of samples meet the optimal digestibility range (20–25%), which ensures effective delivery of amino acids to the small intestine. Comparable results ($r = 0.95–0.99$) were found when assessing true rumen digestibility using different *in vitro* and *in situ* methods.

These data can serve as the basis for selecting suppliers and adjusting feed formulations to improve the efficiency of using protected amino acids in ruminant diets.

Key words: rumen-protected amino acid feed additives, true rumen digestibility (IVTD), *in situ* method, *in vitro* method, artificial rumen setup, Ankot Daisy II.

УДК 636.2.087.74:591-133

Научная статья

DOI 10.69539/2413-287X-2026-07-3-278

ВАСИЛИЙ ГЕНРИХОВИЧ ФРИЗЕН¹,

кандидат экономических наук,
генеральный директор
ORCID: 0009-0008-7750-4000

E-mail: frizen@megamix.ru

АРСЕНИЙ СЕРГЕЕВИЧ ВЛАСОВ²,

кандидат сельскохозяйственных наук,
генеральный директор
ORCID: 0009-0002-1188-2582

E-mail: vlasov.a@megamix.ru

ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ ГРИГОРЬЕВ¹,

кандидат сельскохозяйственных наук,
заместитель генерального директора
ORCID: 0009-0002-8071-0389

E-mail: grygoriev.d@megamix.ru

ДМИТРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ ПИРОГОВ¹,

кандидат сельскохозяйственных наук,
коммерческий директор
ORCID: 0009-0009-7356-4206

E-mail: pirogov.dmitry@megamix.ru

ЭЛЬВИРА ВАСИЛЬЕВНА ФРИЗЕН¹,

маркетинговый аналитик
ORCID: 0009-0008-7999-5333

E-mail: frizen.e@megamix.ru

¹ООО «МераМикс»

400123, г. Волгоград, ул. Хрустальная, 107

²ООО «МераМикс Центр»

399540, Липецкая область, с. Тербуны,
ул. Дорожная, 5г

Поступила в редакцию: 02.06.2026

Одобрена после рецензирования: 29.06.2026

Принята в публикацию: 06.07.2026

UDC 636.2.087.74:591-133

Research article

DOI 10.69539/2413-287X-2026-07-3-278

VASILY G. FRIZEN¹,

Candidate of Economic Sciences, General Director
ORCID: 0009-0008-7750-4000

E-mail: frizen@megamix.ru

ARSENIY S. VLASOV²,

Candidate of Agricultural Sciences, General Director
ORCID: 0009-0002-1188-2582

E-mail: vlasov.a@megamix.ru

DMITRY YU. GRIGORYEV¹,

Candidate of Agricultural Sciences,
Deputy General Director
ORCID: 0009-0002-8071-0389

E-mail: grygoriev.d@megamix.ru

DMITRY A. PIROGOV¹,

Candidate of Agricultural Sciences,
Commercial Director
ORCID: 0009-0009-7356-4206

E-mail: pirogov.dmitry@megamix.ru

ELVIRA V. FRIZEN¹,

Marketing Analyst
ORCID: 0009-0008-7999-5333

E-mail: frizen.e@megamix.ru

¹MegaMix, LLC

400123, Volgograd, Khristalnaya Street, 107

²MegaMix Center, LLC

399540, Lipetsk Oblast, Terbuny village,
Dorozhnaya Street, 5g

Received by editor office: 06.02.2026

Approved in revised: 06.29.2026

Accepted for publication: 07.06.2026

ВВЕДЕНИЕ

Потребность в незаменимых аминокислотах у высокопродуктивных коров часто не покрывается за счет микробного белка и кормового обходного протеина, который не подвергся распаду в рубце. Способность рубцовой микрофлоры синтезировать полноценный по аминокислотному составу микробный белок ограничено энергетическим и протеиновым питанием, а при высоких удоях или интенсивном росте животные испытывают дефицит метионина и лизина — первых лимитирующих аминокислот для молочного скота. Исследования показали, что даже при сбалансированном по сырому протеину и энергии рационе до 30–50% аминокислот, поступающих с кормом, разрушается в рубце под действием микроорганизмов, что делает невозможным эффективное использование дорогостоящих белковых кормов без специальной защиты. Однако при высокой скорости распада протеина в рубце (высокая растворимость, отсутствие защиты) аминокислоты не достигают кишечника в количестве, достаточном для удовлетворения потребностей животного. Особенно критична потеря метионина и лизина, поскольку в микробном белке они содержатся в относительно низких концентрациях, а их добавление в виде свободных форм бесполезно из-за быстрой деградации.

Для преодоления рубцовой деградации были разработаны технологии «рубцово-защищенных» аминокислот (Rumen Protected Amino Acids, RPAA). Цель таких технологий — обеспечить прохождение аминокислоты через рубец без потерь с последующим высвобождением в сычуге и тонком отделе кишечника под действием кислой среды (при низком уровне pH) или протеолитических ферментов.

Эффективность защищенных форм определяется двумя ключевыми показателями: устойчивостью к разрушению в рубце — доля аминокислоты, не разрушенная в рубце; кишечная доступность — способность высвобождаться и всасываться в кишечнике. Оптимальный баланс между этими свойствами достигается при уровне переваримости в рубце (по данным *in situ* и *in vitro*) около 20–25%, что соответствует минимальной потере в рубце и максимальной доступности в кишечнике.

Для оценки защиты от деградации в рубце применяются два основных метода — *in situ* и *in vitro*. *In situ* (фистульные животные) считается «золотым стандартом», так как позволяет оценить динамику деградации в реальных условиях рубца. Его недостатками являются трудоемкость, этические ограничения и вариабельность между животными. Метод *in vitro* (Ankom Daisy II и аналоги) имитирует рубцовую ферментацию в лабораторных условиях. Он стандартизирован, позволяет проводить массовые скрининги и дает воспроизводимые результаты при соблюдении протокола. Сравнительные исследования показывают хорошую корреляцию между этими методами при ранжировании образцов, однако абсолютные значения могут различаться, что подчеркивает необходимость комбинированной оценки.

Рынок защищенных аминокислот активно развивается, но качество продуктов варьируется в зависимости от используемого покрытия (гидрогенизированные жиры, полимеры, соли жирных кислот, pH-чувствительные матрицы) и технологии нанесения. Многие кормовые аминокислоты, заявляемые как защищенные, в реальности либо слишком быстро разрушаются в рубце (недозащищены), либо не высвобождаются в кишечнике (перезащищены), что снижает экономическую эффективность их применения.

Таким образом, независимые сравнительные испытания современными методами *in situ* и *in vitro* являются необходимым инструментом для объективной оценки доступных на рынке продуктов и формирования научно обоснованных рекомендаций для животноводческих хозяйств.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования семи образцов защищенных аминокислот (три образца лизина и четыре — метионина) различных производителей проводились в Научно-исследовательском центре питания жвачных животных «МегаМикс» на базе ФГБОУ ВО МГАВМиБ — МВА имени К. И. Скрябина.

Согласно процедуре метода *in situ* взвешенные навески образцов помещали в нейлоновые мешки с порами размером 40–50 мкм. Мешки инкубировались в рубце фистулированных коров в течение 24 ч. После извлечения их промывали и высушивали для определения остаточной массы. Данный метод позволяет оценить динамику деградации аминокислот в рубце с учетом реальных условий рубцовой ферментации. Однако содержание животных с фистулами для сбора рубцовой жидкости может представлять логистические, технологические и этические проблемы. Альтернативные источники инокулята, такие как рубцовая жидкость, полученная через желудочный зонд, могут вызывать стресс у животных и могут быть загрязнены слюной, потенциально изменяя микробный состав.

В настоящее время истинную рубцовую переваримость все чаще определяют методом *in vitro* (IVTD — In Vitro True Digestibility) с помощью «искусственного рубца» (аппарат Ankom Daisy II). Данный метод позволяет оценить качество кормов и прогнозировать продуктивность жвачных животных. При этом выявляется доля корма, которая действительно деградируется микрофлорой рубца, в отличие от кажущейся переваримости, которая учитывает бактериальные остатки [7]. Метод *in vitro* с применением аппарата Ankom Daisy II является стандартизированным подходом к оценке переваримости кормов. Его сущность заключается в инкубации образцов в синтетической среде, имитирующей условия рубца, с использованием рубцовой жидкости в качестве источника микроорганизмов.

Анализ включал следующие этапы. Навески образцов помещали в специальные фильтрующие мешки (F57, Ankom Technology). Инкубацию проводили в течение 24 ч при температуре 39°C в буферном растворе с добавлением рубцо-

вой жидкости. По окончании инкубации мешки извлекали, промывали и высушивали для определения потери массы.

Согласно данным международного коллаборативного исследования метод Ankom Daisy II характеризуется высокой повторяемостью (коэффициент вариации от 3,34 до 5,79% в зависимости от типа корма) и приемлемой воспроизводимостью (от 5,93 до 8,94%) при соблюдении стандартизированной процедуры. Вклад лабораторного эффекта в общую дисперсию результатов составляет около 24%, что подтверждает относительную воспроизводимость метода при строгом соблюдении протокола. Каждый препарат защищенной аминокислоты разделяли на три параллельных образца, которые исследовали независимо. Полученные данные обрабатывали методами вариационной статистики.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оптимальным диапазоном переваримости для рубцезащищенных форм аминокислот признан интервал 20–25%. Этот диапазон основан на следующем. Значения ниже 20% свидетельствуют о перезащищенности: аминокислота не высвобождается в достаточном количестве в тонком отделе кишечника из-за избыточной устойчивости к рубцовой деградации. Значения выше 25% указывают на недозащищенность: аминокислота преждевременно высвобождается в рубце и не достигает тонкого кишечника.

Приведенные в таблицах 1 и 2 данные свидетельствуют об определенных различиях между результатами, полученными методами *in vitro* (Ankom Daisy II) и *in situ*. В ряде случаев наблюдается тенденция к более высоким значениям переваримости *in vitro* по сравнению с *in situ* (например, для образца 4: 37,60% против 15,90%), что согласуется с данными других исследователей. Так, согласно Tassone и соавт. (2020) значения переваримости, полученные *in vitro*

с использованием Ankom Daisy II, могут быть ниже показателей *in vivo*, однако метод корректно ранжирует образцы по степени переваримости. В то же время прогностическая способность метода *in vitro* в отношении абсолютных значений переваримости ограничена, что указывает на необходимость комплексной оценки с применением обоих методов.

Существенные различия в показателях переваримости между образцами могут быть обусловлены несколькими факторами. Во-первых, типом защитного покрытия. Rossi и соавт. (2003) показали, что различные матрицы покрытия (жирные кислоты с длинной цепью, триглицериды, кальциевые соли жирных кислот, pH-чувствительные полимеры) существенно влияют на степень рубцовой защиты и последующее высвобождение аминокислот в кишечнике. В их исследовании наименьшая рубцовая деградация метионина наблюдалась при pH-чувствительном полимерном покрытии. Во-вторых, межлабораторной вариабельностью. Estes и соавт. (2022) выявили значительные различия в оценках переваримости одного и того же образца при анализе в разных лабораториях, что подчеркивает важность стандартизации методик. Коэффициент вариации для образцов защищенного лизина в пределах одной лаборатории достигал 34%. В-третьих, взаимодействием с рубцовой микробиотой. Исследования показывают, что защищенные формы аминокислот могут влиять на состав рубцовой микробиоты и параметры ферментации, что в свою очередь может влиять на их собственную деградацию.

Таким образом, полученные в исследовании данные позволяют сформулировать следующие выводы. Образец защищенного лизина под номером 3 лишь один соответствовал оптимальному диапазону переваримости (21,09%), а переваримость кормового метионина, представленного

Таблица 1. Сравнительный анализ образцов защищенного лизина

Образец / Процент защищенного в рубце лизина	Способ защиты	Деградация в рубце, %		Среднее значение переваримости <i>in vitro</i> / <i>in situ</i>	Оценка защищенности от деградации в рубце
		(Ankom Daisy II) <i>in vitro</i>	(фистула) <i>in situ</i>		
Образец 1 / 55%	жировая матрица	54,5 ± 1,92	48,65 ± 1,85	51,58	недозащищен
Образец 2 / 70%	жировая матрица	88,98 ± 1,60	83,11 ± 0,50	86,05	недозащищен
Образец 3 / 40%	жировая матрица	21,33 ± 0,29	20,85 ± 0,38	21,09	оптимальный

Примечание. Коэффициент корреляции между результатами *in vitro* и *in situ* составляет $r = 0,99$, что свидетельствует о высокой взаимосвязи между методами.

Таблица 2. Сравнительный анализ образцов защищенного метионина

Образец / Процент защищенного в рубце лизина	Способ защиты	Деградация в рубце, %		Среднее значение переваримости <i>in vitro</i> / <i>in situ</i>	Оценка защищенности от деградации в рубце
		(Ankom Daisy II) <i>in vitro</i>	(фистула) <i>in situ</i>		
Образец 1 / 60%	жировая матрица	8,03 ± 0,42	2,05 ± 0,25	5,04	перезащищен
Образец 2 / 75%	жировая матрица	11,64 ± 2,69	7,66 ± 2,72	9,65	перезащищен
Образец 3 / 70%	жировая матрица	69,61 ± 7,56	67,59 ± 1,47	68,60	недозащищен
Образец 4 / 70%	жировая матрица	37,60 ± 1,02	15,90 ± 4,00	26,75	защищен

Примечание. Коэффициент корреляции между результатами *in vitro* и *in situ* составляет $r = 0,95$, что свидетельствует о высокой взаимосвязи между методами.

образцом 4, продемонстрировала значения, наиболее близкие к оптимальным (26,75%), что позволяет рекомендовать эти продукты для использования в рационах высокопродуктивных коров. Добавки аминокислот, образцы которых показали значения переваримости ниже 10%, не могут быть рекомендованы для эффективного использования в кормлении жвачных животных.

ВЫВОДЫ

Среди представленных на рынке защищенных форм лизина и метионина лишь ограниченное количество образцов соответствует оптимальному диапазону пере-

варимости (20–25%), обеспечивающему эффективную доставку аминокислот в тонкий отдел кишечника. Выявлены сопоставимые результаты ($r = 0,95–0,99$) при оценке истинной рубцовой переваримости разными методами оценки (*in vitro* и *in situ*), хотя в некоторых случаях наблюдаются расхождения данных, что указывает на необходимость комплексного подхода к оценке качества защищенных аминокислот.

Представленные данные могут служить основой для выбора поставщиков и корректировки рецептур кормления с целью повышения эффективности использования защищенных аминокислот в рационах жвачных животных.

Литература/Literature

1. Tassone, S. Comparison of *In Vivo* and *In Vitro* Digestibility in Donkeys / S. Tassone, R. Fortina, E. Valle [et al.] // *Animals*. — 2020. — 10 (11). — 2100. — DOI: 10.3390/ani10112100.
2. Rossi, F. Rumen degradation and intestinal digestibility of rumen protected amino acids: comparison between *in situ* and *in vitro* data / F. Rossi, M. Maurizio, M. Francesco, C. Giovanna, P. Gianfranco // *Animal Feed Science and Technology*. — 2003. — 108 (1). — P. 223–229. — DOI: 10.1016/S0377-8401(03)00131-7.
3. Estes, K. A. An evaluation of the validity of an *in vitro* and an *in situ/in vitro* procedure for assessing protein digestibility of blood meal, feather meal and a rumen-protected lysine prototype / K. A. Estes, P. S. Yoder, C. M. Stoffel, M. D. Hanigan // *Translational Animal Science*. — 2022. — 6 (2). — txac039. — DOI: 10.1093/tas/txac039.
4. Camacho, L. F. A Standard Procedure for *In Vitro* Digestion Using Rumen Fermenters: A Collaborative Study / L. F. Camacho [et al.] // *Animals*. — 2022. — 12 (20). — 2842. — DOI: 10.3390/ani12202842.
5. An, J. Comparison of the effects of rumen-protected and unprotected L-leucine on fermentation parameters, bacterial composition, and amino acids metabolism in *in vitro* rumen batch cultures / J. An, W. Shen, H. Liu [et al.] // *Frontiers in Microbiology*. — 2023. — 14. — 1282767. — DOI: 10.3389/fmicb.2023.1282767.
6. Earing, J. E. Comparison of *in vitro* digestibility estimates using the Daisy II incubator with *in vivo* digestibility estimates in horses / J. E. Earing, B. D. Cassill, S. H. Hayes, E. S. Vanzant, L. M. Lawrence // *Journal of Animal Science*. — 2010. — 88 (12). — P. 3954–3963. — DOI: 10.2527/jas.2010-3141.
7. Rigney, D. N. 356 Effects of rumen fluid preservation methods on *in vitro* true digestibility / D. N. Rigney, K. Mullenix, W. B. Smith // *Journal of Animal Science*. — October, 2025. — Vol. 103. — Issue Supplement_3. — P. 288–289. — <https://doi.org/10.1093/jas/skaf300.336/>
8. Рядчиков, В. Г. Факториальная модель определения потребности лактирующих коров в незаменимых аминокислотах / В. Г. Рядчиков [и др.]. — Труды Кубанского государственного аграрного университета. ■

