

## Метаболизм и газообразование в рубце овец при использовании в питании различных источников жира

© 2025. Н. В. Боголюбова<sup>✉</sup>, В. А. Девяткин, Р. В. Некрасов

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, Московская область, Российская Федерация

*Цель работы – исследование влияния различных источников жира в питании овец на показатели рубцового пищеварения, выделение метана и углекислого газа методом *in vivo*. Эксперимент проведен в условиях физиологического двора ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста в 2024 году на баранах романовской породы и помесях с катадином с хроническими фистулами рубца методом групп-периодов. Животные в контрольный период получали основной рацион (ОР – сено и концентраты), в I опытный – ОР + пальмовое масло, во II опытный – ОР + подсолнечное масло, в III опытный – жир личинок мухи *Hermetia illucens* в дозировке 0,5 % от сухого вещества рациона (7,5 г в сутки). Суточное количество кормов животные получали в два приема. В конце каждого периода у всех животных исследовали показатели рубцового метаболизма в динамике, выделение газов *in vivo*. Дополнение различных источников жира в указанной дозировке не оказало отрицательного влияния на потребление основных кормов. Использование в питании овец жира личинок мухи способствовало повышению концентрации летучих жирных кислот на 29,0 % ( $p < 0,01$ ), снижению уровня аммонийного азота на 12,9 %. Использование пальмового и подсолнечного масла привело к снижению в рубце концентрации аммонийного азота по сравнению с контролем на 28,7 % ( $p < 0,05$ ) и 29,5 % ( $p < 0,05$ ) соответственно. В контрольный период из организма овец выделилось 20,66 л метана, в I опытный – меньше на 12,0 % (18,18 л), во II опытный – на 6,20 % (19,38 л), в III опытный – на 20,33 % (16,46 л) ( $p < 0,01$ ). Использование дополнительных источников жира в кормлении жвачных животных может быть эффективным способом снижения выделения парниковых газов.*

**Ключевые слова:** метан, углекислый газ, рубцовое пищеварение, рацион

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (регистрационный номер ЕГИСУ темы НИР ГЗ 124020200032-4).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Боголюбова Н. В., Девяткин В. А., Некрасов Р. В. Метаболизм и газообразование в рубце овец при использовании в питании различных источников жира. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):379–387. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.379-387>

Поступила: 05.02.2025

Принята к публикации: 28.03.2025

Опубликована онлайн: 29.04.2025

## Rumen metabolism and gas formation in sheep fed different fat sources

© 2025. Nadezhda V. Bogolyubov<sup>✉</sup>, Vladimir A. Devyatkin, Roman V. Nekrasov

Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy, Moscow region, Russian Federation

*The aim of the work was to study the effect of various fat sources in sheep nutrition on the indices of rumen digestion and the release of methane and carbon dioxide using the *in vivo* method. The experiment was conducted in the physiological yard of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry in 2024 on Romanov rams and crossbreeds with Katadin with chronic rumen fistulas using the group-period method. During the control period, animals received the main diet (hay and concentrates), in the I experimental period – in addition to it, palm oil, in the II experimental – sunflower oil, in the III experimental – fat from the larvae of the *Hermetia illucens* fly at a dosage of 0.5 % of the DM (dry matter) of the diet (7.5 g per day). Animals received the daily amount of feed in 2 doses. At the end of each period, all animals were examined for rumen metabolism dynamics and gas emission *in vivo*. Supplementation of various fat sources in the specified dosage did not have a negative effect on the consumption of basic feed. The use of fly larvae fat in sheep diet contributed to an increase in the concentration of VFA (volatile fatty acids) by 29 % ( $p < 0.01$ ), a decrease in the level of ammonia nitrogen by 12.91 %. The use of palm and vegetable fats led to a decrease in the concentration of ammonia nitrogen in the rumen by 28.7 % ( $p < 0.05$ ) and 29.5 % ( $p < 0.05$ ) compared to the control, respectively. During the control period, 20.66 l of methane were excreted from the sheep's body, in the I experimental period it was 12.0 % less (18.18 l), in the II experimental period – 6.20 % less (19.38 l), in the III experimental period – 20.33 % less (16.46 l) ( $p < 0.01$ ). Using additional fat sources in ruminant feed may be an effective way to reduce greenhouse gas emissions.*

**Keywords:** methane, carbon dioxide, rumen digestion, diet

**Acknowledgments:** the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst (registration number of the EGISU research topic 124020200032-4).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Bogolyubova N. V., Devyatkin V. A., Nekrasov R. V. Rumen metabolism and gas formation in sheep fed different fat sources. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):379–387. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.379-387>

Received: 05.02.2025

Accepted for publication: 28.03.2025

Published online: 29.04.2025

Парниковые газы (ПГ) – углекислый газ, метан и закись азота являются тремя наиболее значительными парниковыми газами, которые поглощают солнечное тепло и нагревают атмосферу, что имеет серьезные экологические последствия для окружающей среды [1]. Метан является вторым по значимости ПГ после углекислого газа. Кроме того, метан имеет в 28 раз больший потенциал глобального потепления (ПГП), чем углекислый газ за 100-летний период. Процесс ферментации в организме жвачных животных, производство риса и отходы животноводства являются основными источниками метана, обеспечивая около 40 % выбросов метана в сельском хозяйстве [2].

Кроме вклада в глобальное потепление, метан приводит к потере энергии у жвачных животных [3, 4]. Так, в зависимости от рациона организм жвачных затрачивает на образование метана до 15 % энергии, лошади – до 5 %, свиньи – до 2 % и птица – до 0,3 % [5, 6]. Отмечено, что более высокопродуктивные животные выделяют метана на единицу продукции меньше, чем низкопродуктивные. Разработка способов регуляции и снижения выработки метана жвачными животными не только существенно смягчит негативный экологический эффект от парниковых газов, но и сократит потери энергии, поступающей с пищей.

Имеется несколько подходов к сокращению образования метана у жвачных животных [7]. Было проведено статистическое исследование 430 рецензированных мировых изданий, в которых выделены 98 способов снижения выделения метана у жвачных животных [8]. Авторы установили, что все эти способы можно разделить на 3 группы: управление животными (генетика) и рационами; управление качеством кормов; управление рубцовым пищеварением. Увеличение уровня кормления, повышение качества объемистых кормов и снижение соотношения объемистых кормов к концентратам в рационе уменьшили выделение метана на единицу продукции в среднем на 12 %, увеличив при этом продуктивность скота

в среднем на 17 %. Использование в питании животных ингибиторов метана, дубильных веществ, поглотителей электронов, масел, жиров способствовало снижению абсолютных выбросов метана в среднем на 21 % [8].

Таким образом, кормовые добавки представляют собой ценный инструмент для более быстрого достижения целей по смягчению последствий. Было протестировано множество кормовых добавок, сообщается о сокращении выбросов метана с их применением [7, 9], включая лекарственные растения [10], масла [11], водоросли [12] сапонины и танины [13, 14], пробиотические препараты [15]. Многие из указанных добавок описаны в обзоре [16].

Появились данные, что влиять на метаногенез может изменение окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) рубца. Например, в исследовании *in vitro*, авторы показали, что повышение ОВП в рубцовой жидкости с помощью различных добавок, содержащих перекись водорода и не только, отмечено снижение метаногенеза не менее чем на 50 % [17].

Скармливание жиров традиционно используется для повышения энергетической ценности рациона высокопродуктивных жвачных животных. Использование кормовых жиров в целях снижения метаногенеза в организме жвачных изучалось на протяжении десятилетий [18, 19, 20, 21].

Добавление жиров в рацион не представляет риска для безопасности животных или человека, они широко доступны, имеют естественное происхождение в отличие от химических соединений, являются источником энергии, положительно влияют на жирнокислотный профиль мяса и молока [22], способствуют усилению вкусовых качеств корма. Впервые влияние среднецепочечных жирных кислот (СЦЖК) на снижение выбросов метана в пищеварительном тракте жвачных было отмечено К. Л. Блэкстер и Дж. Черкавски (K. L. Blaxter, J. Czerkawski) в 1966 году [18]. Источник жира оказывает большое влияние на эффективность выделения метана [23].

Считается, что механизм влияния жиров на метаногенез в организме жвачных заключается либо в проявлении жизнедеятельности некоторых метаногенов и простейших, либо в снижении переваримости кормов рациона за счет обволакивания частиц корма или в конкуренции за водород.

В последнее время интерес исследователей вызывает использование жира насекомых в питании животных [24], в том числе и для снижения метаногенеза [25, 26].

В исследовании А. Джаянегара с соавт. (A. Jayanegara et al.) [27] сделан вывод о том, что масла насекомых могут служить практической альтернативой соевому маслу, в первую очередь потому, что они не препятствуют ферментации рубца и могут снизить выбросы кишечного метана при добавлении в рационы, богатые концентратами. В исследовании *in vivo* установлено, что добавление масла личинок черной солдатской мухи и варьирование соотношения грубых кормов к концентратам увеличивает содержание пропионата и снижает выделение метана [25].

В работе при скармливании бычкам 1 %, 2 и 4 % от сухого вещества (СВ) рациона масла личинок черной солдатской мухи установлено, что включение 2 % в рацион питания привело к улучшению усвояемости и повышению концентрации пропионовой кислоты, а также к сокращению популяции простейших и метана. Линейное снижение содержания простейших наблюдали при повышении дозировки масла [28].

Исследования по влиянию жира насекомых немногочисленны и в основном проведены в условиях *in vitro*, сравнительного изучения различных жиров в таком аспекте не проводилось.

**Цель работы** – определение влияния различных источников жира в питании овец на показатели рубцового пищеварения, выделение метана и углекислого газа методом *in vivo*.

**Научная новизна** – проведение сравнительного изучения влияния жира различного происхождения, включаемого в сено-концентратный рацион овец, на процессы рубцового пищеварения и газообразования *in vivo*.

**Материал и методы.** Для установления дозировки включения жира в рацион овец были изучены источники литературы современных ученых и сделан вывод, что эффективность воздействия жирных кислот на процессы рубцового метаболизма и метаногенез зависит от насыщенности, длины цепи кислоты, дозировки ее включения в рацион, продолжительности скармливания [29, 30, 31]. В отделе физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста была проведена серия экспериментов *in vitro* и установлено, что дозировка 0,5 % жира от СВ рациона в наибольшей степени способствовала снижению образования метана в образцах рубцовой жидкости. На физиологическом дворе ФГБНУ ФНЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста на баранах романовской породы и помесях с катадином в возрасте 3 лет (средняя живая масса 50 кг) с хроническими фистулами рубца по Басову методом групп-периодов были проведены исследования (n = 4). Схема представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Схема физиологических исследований *in vivo* (n = 4) / Table 1 – Scheme of physiological studies *in vivo* (n = 4)

Период / Period	Продолжительность периода, дни / Duration of the period, days	Характеристика кормления / Feeding characteristics
Контрольный	31	Основной рацион (ОР) – сено злаково-разнотравное + концентраты ОК-80 / Basic diet (BD) – grass-grain hay + ОК-80 concentrates
I	31	ОР + Добавка пальмового масла 0,5 % от сухого вещества (СВ) рациона / BD + Palm oil supplement 0.5 % of the dry matter (DM) of the diet
II	31	ОР + Добавка подсолнечного масла 0,5 % от СВ рациона / BD + Sunflower oil supplement 0.5 % of the diet's dry matter
III	31	ОР+ Добавка жира личинок мухи <i>Hermetia illucens</i> 0,5 % от СВ рациона / BD + Addition of fat from larvae of the fly <i>Hermetia illucens</i> 0.5 % of the dry matter of the diet

Животные в контрольный период получали основной рацион (ОР), в I опытный – ОР + пальмовое масло, во II опытный – ОР +

подсолнечное масло, в III опытный – ОР + жир личинок мухи *Hermetia illucens* в дозировке 0,5 % от СВ рациона, что составило 7,5 г

в сутки. Суточное количество кормов животные получали в 2 приема – утром и вечером. Продолжительность каждого периода эксперимента состояла – 21 день предварительного (для адаптации микрофлоры к рациону питания), 3 дня учетного (для отбора проб рубцового содержимого и изучения газообразования) и 7 дней уравнивающего (для адаптации микрофлоры к проведению следующего периода, в это время бараны получали только основной рацион) периодов, итого 31 день. На 22-й день у всех животных взяты пробы рубцового содержимого в динамике (до кормления и через 3 часа после начала кормления), в которых определяли: рН, общее количество летучих жирных кислот (ЛЖК) – методом паровой дистилляции в аппарате Маркгама; аммиачный азот – микродиффузным методом по Конвею; амилалитическая активность – фотометрическим методом; биомасса простейших и бактерий – методом дифференцированного центрифугирования.

В конце каждого учетного периода животных на 2 суток помещали в респираторную метаболическую камеру открытого типа для изучения выделения газов.

Для реализации исследований использовали 3 источника жира, различающихся по степени насыщенности и доступности в рубце: пальмовое масло (растительного происхождения, импортный продукт); подсолнечное масло (растительного происхождения, отечест-

венный продукт); жир личинок мухи *Hermetia illucens* (животного происхождения, отечественный продукт). Пальмовое и подсолнечное масла являются источниками ненасыщенных жирных кислот, жир личинок мухи *Hermetia illucens* – источником в основном насыщенных жирных кислот, в частности лауриновой кислоты.

Математическую и статистическую обработки результатов проводили с применением программных пакетов Microsoft Office Excel 2003, STATISTICA 10 (Statistica 13RU, StatSoft, США) с использованием методов описательной статистики, однофакторного дисперсионного анализа (MANOVA). Данные были проверены на нормальность распределения по критериям Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Уилка. Рассчитывались средние значения (M), стандартные ошибки средних ( $\pm$ SEM), t-критерий Стьюдента. Отличия являлись статистически достоверными при  $p < 0,05$ , высокодостоверными – при  $p < 0,01$ ;  $p < 0,001$ .

**Результаты и их обсуждение.** В качестве основного рациона овцы получали сено злаково-разнотравное 1,5 кг и концентраты 0,4 кг. Ежедневный учет поедаемости кормов позволил установить, что концентраты животными поедались без остатков в отличие от грубых кормов (сена), в результате определено количество фактически потребленных питательных веществ животными (табл. 2).

**Таблица 2 – Питательность рациона овец по фактически потребленным кормам (данные только по питательности рациона), г /**

**Table 2 – Composition and nutrition of sheep diets consumed (the data is only on the nutritional value of the diet), g**

Питательность рациона / Nutritional value of the diet	Период / Period			
	контрольный	I	II	III
Сухое вещество / Dry matter	1191,4	1129,4	1243,0	1258,0
Органическое вещество / Organic matter	1035,7	1119	1141,4	1152,2
Сырой протеин / Crude protein	139,1	156,9	147,8	145,1
Сырой жир / Crude fat	28,42	36,6	45,4	44,7
Сырая клетчатка / Crude fiber	249,2	258,7	243,8	292,6
БЭВ / NFS	654,5	678,1	703,8	654,0

Данные таблицы 2 позволяют заключить, что количество потребленных питательных веществ незначительно различалось между периодами опыта и было примерно на одном уровне. Это указывает на тот факт, что добавление в рацион жира различного происхождения в дозе 0,5 % от СВ рациона не оказывает нега-

тивного влияния на потребление грубых кормов и не угнетает пищеварительную деятельность.

Для установления влияния разных источников жира на процессы пищеварения в рубце мы изучили некоторые характеристики ферментативных и микробиальных процессов в динамике (табл. 3, 4, 5). Измерение рН имеет

решающее значение, поскольку дает ценную информацию о внутреннем равновесии среды. Так, показатели кислотности среды рубца как до кормления, так и через 3 часа после его начала имели тенденцию к снижению у овец, получавших дополнительно жиры различного происхождения. С этими тенденциями взаимосвязано некоторое повышение концентрации

ЛЖК у овец, получавших добавки жира. Достоверное повышение наблюдали до приема корма у овец, получавших жир личинок мухи *Hermetia illucens*. Так, концентрация ЛЖК в III опытном периоде составила 10,08 мМ/100 мл, что на 29 % выше, чем в контрольном при  $p < 0,01$  (табл. 3).

Таблица 3 – Динамика показателей рубцового метаболизма (n = 4) /  
Table 3 – Dynamics of rumen metabolism indicators (n = 4)

Период / Period	Время отбора проб / Sampling time	
	до кормления / before feeding	через 3 часа после кормления / 3 hours after feeding
рН в рубцовом содержимом / pH in rumen contents		
Контрольный	6,49±0,07	6,08±0,03
I	6,39±0,24	5,85±0,14
II	6,56±0,14	5,94±0,06
III	6,39±0,22	5,89±0,09
ЛЖК в рубцовой жидкости (Ммоль/100 мл) / VFA in rumen fluid (mmol/100ml)		
Контрольный	7,80±0,35	10,72±0,96
I	9,46±0,27	12,59±1,58
II	8,46±0,37	11,89±0,95
III	10,08±0,46**	12,60±0,36
Аммиак в рубцовой жидкости (мг%) / Ammonia in rumen fluid (mg%)		
Контрольный	15,88±0,30	21,49±1,20
I	11,33±0,54*	17,99±1,55
II	11,19±1,64*	18,33±1,87
III	13,83±1,74	18,60±1,59
Амилолитическая активность после кормления (Е/мл) / Amylolytic activity after feeding (U/ml)		
Контрольный	17,40±0,65	
I	19,10±0,29	
II	17,52±0,64	
III	19,32±0,29*	

\*Достоверно по сравнению с контролем при  $p < 0,05$ ; \*\* при  $p < 0,01$  /  
\*Statistically significant compared to the control at  $p < 0.05$ ; \*\* at  $p < 0.01$

Обратную тенденцию наблюдали в отношении концентрации аммонийного азота. Этот показатель в рубце овец, получавших добавки жира различного происхождения, снижался как до, так и после кормления по сравнению с контролем. До приема корма в контрольный период концентрация аммонийного азота составила 15,88 мг%, в I опытный – 11,33 мг%, или на 28,7 % ниже ( $p < 0,05$ ). Разница между

контрольным и II опытным периодом составила 29,5 % ( $p < 0,05$ ), между контрольным и III опытным – 12,91 %.

Другие исследователи также наблюдали снижение уровня аммиака и выделения метана в эксперименте *in vitro* при инкубации полножирных кормов из личинок насекомых [26]. Г. Эрвас с соавт. (G. Hervás et al.) показали, что добавление в рацион жвачных животных масла

солдатской мухи не оказывает негативного влияния на образование аммиака у овец [32]. По данным А. Джаянегара с соавт. (A. Jayanegara et al.), которые также исследовали кормление маслом насекомых и его влияние на ферментацию бычьего рубца *in vitro*, образование аммиака осталось без изменений [27]. При добавлении в основной рацион овцам пальмового масла и жира личинок мухи наблюдали повышение амилитической активности на 9,8 и 11,0 % соответственно ( $p < 0,05$ ).

Анализ микробиальных процессов показал, что при использовании в питании овец жира

различного происхождения выявлена тенденция к снижению количества инфузорий, особенно выраженная после кормления. Что касается массы сухого вещества бактерий, то при одинаковом уровне этого показателя во все периоды эксперимента до приема корма, через 3 часа после кормления у овец, получавших пальмовое масло и жир личинок *Hermetia illucens*, был выше по сравнению с контролем. Разница между контрольным и I опытным периодом составила 21,4 %, а между контрольным и III опытным – 39,0 % ( $p < 0,05$ ) (табл. 4).

**Таблица 4 – Содержание микробиальной массы в рубцовом содержимом (n = 4) / Table 4 – Content of microbial mass in ruminal contents (n = 4)**

Период / Period	В 100 мл рубцового содержимого, г / In 100 ml of ruminal contents, g					
	до кормления / before feeding			через 3 часа после кормления / 3 hours after feeding		
	инфузории / protozoa	бактерии / bacteria	всего / sum	инфузории / protozoa	бактерии / bacteria	всего / sum
Контрольный	0,435±0,04	0,322±0,03	0,757±0,07	0,617±0,09	0,295±0,02	0,912±0,10
I	0,403±0,04	0,305±0,03	0,708±0,07	0,535±0,12	0,358±0,04	0,893±0,03
II	0,400±0,10	0,278±0,04	0,678±0,14	0,460±0,10	0,295±0,03	0,755±0,10
III	0,350±0,010	0,325±0,04	0,675±0,04	0,563±0,06	0,410±0,03*	0,973±0,04

\*Различия по сравнению с контролем статистически достоверны при  $p < 0,05$  /

\* Differences are statistically significant compared to the control at  $p < 0.05$

В таблице 5 представлены данные по выделению парниковых газов от овец, определенных *in vivo*, которые получены по фактическому выделению метана и углекислого газа, подсчитано количество выделенных газов на кг потребленного СВ рациона. Из данных таблицы 5 можно сделать вывод о том, что дополнительное включение в сено-концентратный рацион овец 0,5 % жиров растительного (пальмовое и растительное масло) и животного

(жир личинок мухи *Hermetia illucens*) происхождения вызывает некоторое снижение выделения метана. Так, в контрольный период из организма овец выделилось 20,66 л метана, в I опытный – 18,18 л, во II опытный – 19,38 л, в III опытный – 16,46 л. Максимальную разницу с контролем наблюдали при добавлении в рацион овец жира насекомых (20,33 % при  $p < 0,01$ ). Обратная тенденция отмечена в выделении углекислого газа.

**Таблица 5 – Выделение парниковых газов от животных (n = 4) / Table 5 – Greenhouse gas emissions from animals (n = 4)**

Период / Period	За сутки, л / Per day, l		На 1 кг ПСВ, л / Per 1 kg DMC, l	
	метан / methane	углекислый газ / carbon dioxide	метан / methane	углекислый газ / carbon dioxide
Контрольный	20,66±1,25	319,06±29,21	17,34	267,80
I	18,18±0,72	390,87±48,63	16,10	346,09
II	19,38±0,46	404,40±7,54	15,59	325,30
III	16,46±0,44**	342,51±34,58	13,08	272,27

Примечания: ПСВ – потребленное сухое вещество. \*\* Различия по сравнению с контролем статистически достоверны при  $p < 0,01$  /

Notes: CDM – consumed dry matter. \*\*Differences are statistically significant compared to the control at  $p < 0.01$

Как абсолютное выделение метана, так и его количество на 1 кг потребленного сухого вещества рациона было несколько ниже в опытные периоды эксперимента – в контрольный выделилось 17,34 л, в I опытный – 16,10 л, во II опытный – 15,59 л, а в III опытный – 13,08 л.

Эти данные согласуются с результатами, полученными другими авторами. Так, исследователи отмечали, что жирные кислоты со средней длиной цепи обладают определенной токсичностью по отношению к целлюлозолитическим микроорганизмам, что способствует ферментации пропионата в рубце и ингибирует выбросы метана [33].

С. Грейнджер и К. Бошемин (С. Grainger и К. Beauchemin) [34] также сообщили, что добавление жира часто снижает ферментацию углеводов из-за его токсического воздействия на целлюлозолитические бактерии и простейшие, в то время как ферментация крахмала остается неизменной. В эксперименте на коровах голштинско-фризской породы, которые выпасались на пастбище, скармливалось дополнительно 4 кг концентратов, содержащих либо стеариновую кислоту (насыщенная), льняное масло (источник ненасыщенных ЖК) или соевое масло (источник ненасыщенных ЖК). Выбросы метана (245 против 293, 289 г/сут, 12,4 против 15,7, 14,8 г/кг молока и 165 против 207, 195 г/кг сухого вещества молока) были ниже у коров, получавших льняное масло, чем у животных, которым давали другие источники липидов. Численность *Methanobrevibacter ruminantium* была снижена у коров, получавших льняное масло по сравнению со стеариновой кислотой [35].

**Заключение.** Таким образом, в эксперименте *in vivo* использование в кормлении

фистульных овец в дополнение к основному рациону пальмового, подсолнечного масел и жира личинок мухи *Hermetia illucens* в дозировке 0,5 % от СВ не оказало отрицательного влияния на потребление основных кормов рациона. Использование в питании овец инсектожира способствовало большему сдвигу в ферментативных процессах по сравнению с контролем, что проявлялось в повышении концентрации ЛЖК на 29 % ( $p < 0,01$ ), снижении уровня аммонийного азота на 12,91 %. Использование пальмового и подсолнечного масел приводило к снижению в рубце концентрации аммонийного азота на 28,7 % ( $p < 0,05$ ) и 29,5 % ( $p < 0,05$ ) соответственно по сравнению с контролем. Использование в рационах овец 0,5 % жира разного происхождения способствовало снижению выделения метана. В контрольный период из организма овец выделилось 20,66 л метана, в I опытный – на 12,00 % меньше (18,18 л), во II опытный – на 6,20 % меньше (19,38 л), в III опытный – на 20,33 % меньше (16,46 л) ( $p \leq 0,01$ ). Это было взаимосвязано со снижением количества простейших, особенно выраженным после кормления. При этом масса сухого вещества бактерий через 3 часа после кормления в рубце овец, получавших пальмовое масло и жир личинок, была выше по сравнению с контролем на 21,4 и 39,0 % (при  $p < 0,05$ ) соответственно. Таким образом, использование дополнительных источников жира в кормлении жвачных животных может быть эффективным способом снижения выделения парниковых газов. При этом важно учитывать дозировку жира, исключая негативное влияние на рубцовое пищеварение и поддерживая оптимальный уровень переваримости питательных веществ.

#### References

1. Calabrò P. S. Greenhouse gases emission from municipal waste management: The role of separate collection. *Waste Management*. 2009;29(7):2178–2187. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.02.011>
2. Patra A. K. Enteric methane mitigation technologies for ruminant livestock: A synthesis of current research and future directions. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2012;184:1929–1952. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2090-y>
3. Palangi V., Macit M. Indictable mitigation of methane emission using some organic acids as additives towards a cleaner ecosystem. *Waste and Biomass Valorization*. 2021;12:4825–4834. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01347-8>
4. Palangi V., Lackner M. Management of enteric methane emissions in ruminants using feed additives: A review. *Animals*. 2022;12(24):3452. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12243452>
5. Гриднева Т. Т. Эмиссия вредных газов при производстве животноводческой продукции. *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2012;(4(8)):61–69.
6. Gridneva T. T. Emission of harmful gases livestock product. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2012;(4(8)):61–69. (In Russ.).
7. Hristov A. N., Firkins J., Oh J., Dijkstra J., Kebreab E., Waghorn G., et al. Special topics–Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science*. 2013;91(11):5045–5069. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6583>

7. Palangi V., Taghizadeh A., Abachi S., Lackner M. Strategies to mitigate enteric methane emissions in ruminants: A review. *Sustainability*. 2022;14(20):13229. DOI: <https://doi.org/10.3390/su142013229>
8. Arndt C., Hristov A. N., Price W. J., McClelland S. C., Pelaez A. M., Cueva S. F., et al. Full adoption of the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can help meet the 1.5 C target by 2030 but not 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2022;119(20):e2111294119. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2111294119>
9. Sun J., Zhao G., Li M. M. Using nutritional strategies to mitigate ruminal methane emissions from ruminants. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. 2023;10(3):390–402. DOI: <https://doi.org/10.15302/j-fase-2023504>
10. Lambo M. T., Ma H., Liu R., Dai B., Zhang Y., Li Y. Mechanism, effectiveness, and the prospects of medicinal plants and their bioactive compounds in lowering ruminants' enteric methane emission. *Animal*. 2024;18(4):101134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101134>
11. Palmquist D. L., Jenkins T. C. A 100-year review: Fat feeding of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(12):10061–10077. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12924>
12. Roque B. M., Venegas M., Kinley R. D., de Nys R., Duarte T. L., Yang X., Kebreab E. Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by over 80 percent in beef steers. *PLoS ONE*. 2021;16(3):e0247820. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247820>
13. Ramos-Morales E., de la Fuente G., Duval S., Wehrli C., Bouillon M., Lahmann M., et al. Antiprotozoal effect of saponins in the rumen can be enhanced by chemical modifications in their structure. *Frontiers of Microbiology*. 2017;8:399. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00399>
14. Vasta V., Daghighi M., Cappucci A., Buccioni A., Serra A., Viti C., Mele M. Invited review: Plant polyphenols and rumen microbiota responsible for fatty acid biohydrogenation, fiber digestion, and methane emission: Experimental evidence and methodological approaches. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(5):3781–3804. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14985>
15. Jia P., Dong L. F., Tu Y., Diao Q. Y. *Bacillus subtilis* and *Macleaya cordata* extract regulate the rumen microbiota associated with enteric methane emission in dairy cows. *Microbiome*. 2023;11(1):229. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40168-023-01654-3>
16. Króliczewska B., Pecka-Kiełb E., Bujok J. Strategies used to reduce methane emissions from ruminants: Controversies and issues. *Agriculture*. 2023;13(3):602. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13030602>
17. Graham A., Thorn C., McDonagh M., O'Donnell C., Nolan S., Kirwan S. F., et al. Development and *in vitro* assessment of novel oxygen-releasing feed additives to reduce enteric ruminant methane emissions. *Science of the total environment*. 2025;963:177598. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177598>
18. Blaxter K. L., Czerkawski J. Modification of the methane production of the sheep by supplementation of ITS diet. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1966;17(9):417–421. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740170907>
19. Patra A. K. A meta-analysis of the effect of dietary fat on enteric methane production, digestibility and rumen fermentation in sheep, and a comparison of these responses between cattle and sheep. *Livestock Science*. 2014;162:97–103. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.007>
20. Toprak N. N. Do fats reduce methane emission by ruminants? – A review. *Animal Science Papers and Reports*. 2015;33(4):305–321. URL: [https://www.researchgate.net/publication/284803844\\_Do\\_fats\\_reduce\\_methane\\_emission\\_by\\_ruminants\\_-\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/284803844_Do_fats_reduce_methane_emission_by_ruminants_-_A_review)
21. Szczechowiak J., Szkudelska K., Szumacher-Strabel M., Sadkowski S., Gwozdz K., El-Sherbiny M., et al. Blood hormones, metabolic parameters and fatty acid proportion in dairy cows fed condensed tannins and oils blend. *Annals of Animal Science*. 2018;18(1):155–166. DOI: <https://doi.org/10.1515/aoas-2017-0039>
22. Vargas J. E., Andrés S., López-Ferreras L., Snelling T. J., Yáñez-Ruiz D. R., García-Estrada C., Lópezet S. Dietary Supplemental Plant Oils Reduce Methanogenesis From Anaerobic Microbial Fermentation in the Rumen. *Scientific Reports*. 2020;10:1613. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58401-z>
23. Yanza Y., Szumacher-Strabel R. M., Jayanegara A., Kasenta A. M., Gao M., Huang H., et al. The effects of dietary medium-chain fatty acids on ruminal methanogenesis and fermentation *in vitro* and *in vivo*: A meta-analysis. *Journal of animal physiology and animal nutrition*. 2021;105(5):874–889. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.13367>
24. Nekrasov R. V., Ivanov G. A., Chabaev M. G., Zelenchenkova A. A., Bogolyubova N. V., Nikanova D. A., et al. Effect of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* L.) Fat on Health and Productivity Performance of Dairy Cows. *Animals*. 2022;12(16):2118. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12162118>
25. Prachumchai R., Cherdthong A. Black Soldier Fly Larva Oil in Diets with Roughage to Concentrate Ratios on Fermentation Characteristics, Degradability, and Methane Generation. *Animals*. 2023;13(15):2416. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13152416>
26. Renna M., Coppa M., Lussiana C., Le Morvan A., Gasco L., Maxin G. Full-fat insect meals in ruminant nutrition: *in vitro* rumen fermentation characteristics and lipid biohydrogenation. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2022;13(1):138. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00792-2>
27. Jayanegara A., Gustanti R., Ridwan R., Widyastuti Y. Fatty acid profiles of some insect oils and their effects on *in vitro* bovine rumen fermentation and methanogenesis. *Italian Journal of Animal Science*. 2020;19(1):1310–1317. DOI: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1841571>

28. Prachumchai R., Suntara C., Kanakai N., Cherdthong A. Inclusion of Black Soldier Fly Larval Oil in Ruminant Diets Influences Feed Consumption, Nutritional Digestibility, Ruminal Characteristics, and Methane Estimation in Thai-Indigenous Steers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2025;1–9. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.14101>
29. Beck M., Thompson L., Williams G., Place S., Gunter S., Reuter R. Fat supplements differing in physical form improve performance but divergently influence methane emissions of grazing beef cattle. *Animal Feed Science and Technology*. 2019;254:114210. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114210>
30. Drehmel O., Brown-Brandl T., Judy J., Fernando S. C., Miller P. S., Hales K., Kononoff P. J. The influence of fat and hemicellulose on methane production and energy utilization in lactating Jersey cattle. *Journal of Dairy Science*. 2018;101(9):7892–7906. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13822>
31. Beauchemin K. A., Ungerfeld E. M., Eckard R. J., Wang M. Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation. *Animal*. 2020;14(S1):s2–s16. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731119003100>
32. Hervás G., Boussalia Y., Labbouz Y., Della Badia A., Toral P. G., Frutos P. Insect oils and chitosan in sheep feeding: effects on in vitro ruminal biohydrogenation and fermentation. *Animal Feed Science and Technology*. 2022;285:115222. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115222>
33. Min B. R., Solaiman S., Waldrip H. M., Parker D., Todd R. W., Brauer D. Dietary mitigation of enteric methane emissions from ruminants: a review of plant tannin mitigation options. *Animal Nutrition*. 2020;6(3):231–246. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.05.002>
34. Grainger C., Beauchemin K. A. Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? *Animal Feed Science and Technology*. 2011;166-167:308–320. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.021>
35. Boland T. M., Pierce K. M., Kelly A. K., Kenny D. A., Lynch M. B., Waters S. M., Whelan S. J., McKay Z. C. Feed intake, methane emissions, milk production and rumen methanogen populations of grazing dairy cows supplemented with various C 18 fatty acid sources. *Animals*. 2020;10(12):2380. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10122380>

#### *Сведения об авторах*

✉ **Боголюбова Надежда Владимировна**, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: [vijinfo@yandex.ru](mailto:vijinfo@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0520-7022>, e-mail: [bogolubova@vij.ru](mailto:bogolubova@vij.ru)

**Девяткин Владимир Анатольевич**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: [vijinfo@yandex.ru](mailto:vijinfo@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2362-0291>

**Некрасов Роман Владимирович**, доктор с.-х. наук, профессор РАН, заведующий отделом кормления сельскохозяйственных животных, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: [vijinfo@yandex.ru](mailto:vijinfo@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4242-2239>

#### *Information about the authors*

✉ **Nadezhda V. Bogolyubova**, DSc in Biological Science, leading researcher, Head of the Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: [vijinfo@yandex.ru](mailto:vijinfo@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0520-7022>, e-mail: [bogolubova@vij.ru](mailto:bogolubova@vij.ru)

**Vladimir A. Devyatkin**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: [vijinfo@yandex.ru](mailto:vijinfo@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2362-0291>

**Roman V. Nekrasov**, DSc in Agricultural Science, professor of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Feeding Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: [vijinfo@yandex.ru](mailto:vijinfo@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4242-2239>

✉ – Для контактов / Corresponding author