

Научная статья

УДК 636.3:591.132

EDN PХНМН

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-56-62>

### Особенности минерального обмена у овец при введении в рацион продуктов переработки сои

Светлана Владимировна Карамушкина<sup>1</sup>, Алексей Валерьевич Жевнеров<sup>2</sup><sup>1,2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева Москва, Россия, [sveta.vetmed@mail.ru](mailto:sveta.vetmed@mail.ru)

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследований особенностей минерального обмена у овец при введении в рацион продуктов переработки сои: соевых бобов, соевого жмыха, соевого фуража и соевого шрота. Проведен сравнительный анализ биодоступности кальция и фосфора в рубцовой жидкости, дуоденальном химусе и сыворотке крови овец породы Куйбышевская на сенно-концентратном рационе, где 15 % концентратной части заменяли указанными соевыми продуктами. Использован метод хронического физиологического эксперимента с фистульными технологиями для оценки метаболизма макроэлементов в пищеварительном тракте. Установлено, что рубцовая микрофлора, выделяющая фермент фитазу, повышает биодоступность фосфора, тогда как кислая среда двенадцатиперстной кишки способствует всасыванию кальция. Рационы с соей и жмыхом увеличивают содержание кальция в рубцовой жидкости на 26,7 и 40 % соответственно по сравнению с основным рационом, тогда как фураж снижает его на 18 %; фосфор во всех соевых рационах снижается на 2–11 %. В дуоденальном химусе кальций-фосфорное соотношение составляет 2:1, но содержание кальция ниже в сравнении с основным рационом на 5–11 % в зависимости от продукта. В сыворотке крови оптимальное соотношение кальция и фосфора (2:1,2–2:1,5) сохраняется, за исключением рациона с соей (2:1,8). Наибольшая биодоступность кальция в крови наблюдается при использовании жмыха (2,62±0,11 ммоль/л), фосфора – при использовании сои (2,06±0,11 ммоль/л). Рацион с фуражом характеризуется наименьшей концентрацией кальция в рубце, рацион со шротом – снижением минералов в крови из-за образования нерастворимых соединений. Результаты подчеркивают влияние технологической обработки соевых продуктов на растворимость фитатов и оксалатов и могут быть использованы для оптимизации рационов в овцеводстве.

**Ключевые слова:** минеральный обмен веществ, овцы, продукты переработки сои, физиологические исследования, пищеварение, биологическая доступность

**Для цитирования:** Карамушкина С. В., Жевнеров А. В. Особенности минерального обмена у овец при введении в рацион продуктов переработки сои // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 3. С. 56–62. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-56-62>.

Original article

### Features of mineral metabolism in sheep when soybean processing products are introduced into the diet

Svetlana V. Karamushkina<sup>1</sup>, Alexey V. Zhevnerov<sup>2</sup><sup>1,2</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy Moscow, Russian Federation, [sveta.vetmed@mail.ru](mailto:sveta.vetmed@mail.ru)

**Abstract.** This article presents the findings of a study on the peculiarities of mineral metabolism in sheep when incorporating soybean processing products (soybeans, soybean cake, soybean forage, and soybean meal) into their diet. A comparative analysis of calcium and phosphorus bioavailability was conducted in rumen fluid, duodenal chyme, and blood serum of Kuibyshev sheep

fed a hay-concentrate diet, with 15% of the concentrate portion replaced by the specified soybean products. The chronic physiological experiment method with fistulation techniques was employed to assess macronutrient metabolism across the digestive tract. It was found that rumen microflora, producing the enzyme phytase, enhances phosphorus bioavailability, while the acidic environment of the duodenum facilitates calcium absorption. Diets with soybeans and soybean cake increase calcium levels in rumen fluid by 26.7% and 40%, respectively, compared to the control diet, while forage reduces it by 18%; phosphorus levels decrease by 2–11% across all soybean diets. In duodenal chyme, the calcium-to-phosphorus ratio is 2:1, but calcium content is 5–11% lower than the control diet depending on the product. In blood serum, the optimal calcium-to-phosphorus ratio (2:1.2–2:1.5) is maintained, except for the soybean diet (2:1.8). The highest calcium bioavailability in blood is observed with soybean cake (2.62±0.11 mmol/l), and phosphorus peaks with soybeans (2.06±0.11 mmol/l). The forage diet shows the lowest calcium concentration in the rumen, while the meal diet reduces mineral levels in blood due to the formation of insoluble compounds. The results highlight the impact of soybean product processing on phytate and oxalate solubility and provide insights for optimizing sheep diets.

**Keywords:** mineral metabolism, sheep, soybean products, physiological studies, digestion, bioavailability

**For citation:** Karamushkina S. V., Zhevnerov A. V. Features of mineral metabolism in sheep when soybean processing products are introduced into the diet. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;3:56–62. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-3-56-62>.

**Введение.** Минеральный обмен у жвачных животных зависит не только от количества минеральных веществ, поступающих с кормом, но и от их биологической доступности для организма. Сложно устроенный желудок и наличие дополнительной обработки корма симбиотной микрофлорой оказывают значительное влияние на биологическую доступность минеральных веществ корма [1–3].

Большая часть кальция усваивается в двенадцатиперстной кишке, чему способствует относительно кислая рН химуса, за счет которой происходит растворение оксалатов и кальций переходит в свободное состояние [4]. Для усвоения фосфора оптимальным значением рН является слабощелочная среда, поэтому основное всасывание фосфора происходит в подвздошной кишке [5].

Помимо кислотности, на интенсивность всасывания многих минеральных веществ влияет состояние энтероцитов кишечной стенки, а именно белков, входящих в состав клеточной мембраны и участвующих в активном транспорте макроэлементов в кровь. Кальбиндин-D9k обеспечивает активный транспорт кальция, а натрий-фосфатные котранспортеры (NaPi-IIIb) отвечают за транспорт фосфора [6].

В соевых продуктах кальций и фосфор находятся в связанном состоянии в виде нерастворимых соединений фитатов и оксалатов [7]. Этот факт ограничивает

их доступность для организма животных. Однако в рубце жвачных под действием фермента фитазы, вырабатываемой симбиотной микрофлорой, значительная часть кальция и фосфора высвобождается и способна усвоиться организмом [8].

Исследовать биодоступность кальция и фосфора в различных отделах пищеварительного тракта дает возможность метод хронического физиологического эксперимента с применением фистульных технологий.

**Цель работы** – исследовать биодоступность кальция и фосфора в различных отделах пищеварительного тракта овец при введении в рацион продуктов переработки сои.

**Методы исследований.** Исследования проводились на кафедре физиологии, этологии и биохимии Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К. А. Тимирязева с ноября 2024 г. по апрель 2025 г. Материал для исследований получали через фистулу рубца и фистулу двенадцатиперстной кишки у овец. Опыт проводили с соблюдением требований гуманного отношения к экспериментальным животным.

В эксперимент участвовало 4 головы овец Куйбышевской породы, мясо-шерстного направления продуктивности. Масса животных составляла 69±6,8 кг, их возраст достигал 1,5 года.

Животные содержались на зоостанции в индивидуальных боксах, согласно зооветеринарным нормам. Овцы находились на сенно-концентратном типе кормления. В основной рацион входили 2 кг сена, 0,5 кг комбикорма марки ОК-80.

В экспериментальных рационах 15 % концентратной части заменяли на соевые продукты (соевые бобы, соевый фураж, соевый шрот, соевый жмых). Опыт проводили методом групп-периодов. В контрольный период животным скармливался основной рацион, в опытные периоды кормили экспериментальным рационом, содержащим один из соевых продуктов (табл. 1). Между опытными периодами животные получали основной рацион. Каждый период длился 10 дней.

Баланс кальция и фосфора исследовали в рубцовой жидкости, дуоденальном химусе и сыворотке крови, полученныхми натошак (после 12-часовой голодной диеты). Макроэлементы определяли на полуавтоматическом биохимическом анализаторе BS-3000M (Sinnowa, Китай) с использованием наборов биохимических реагентов для ветеринарии ДиаВетТест («Диавет», Россия). В сыворотке крови макроэлементы определяли на автоматическом биохимическом анализаторе BioChem FC-120 (High Technology, Inc., США) с набором реактивов указанной компании.

Полученные результаты обрабатывали методом вариационной статистики с помощью программы Microsoft Excel. Для статистической оценки результатов использовался *t*-критерий Стьюдента. Результаты считались достоверно значимыми при  $p < 0,05$ .

**Результаты исследований.** Для анализа минерального обмена в пищеварительном тракте при введении в рацион овец продуктов переработки сои рассмотрим показатели кальция и фосфора в рубцовой жидкости и дуоденальном химусе.

Из таблицы 2 видим, что в рубцовой жидкости соотношение кальция и фосфора при введении в рацион сои и соевого жмыха составляет 1:3,6; при введении соевого фуража уровень фосфора превышает кальций в 5,4 раза, а при использовании соевого шрота – в 4,5 раза. При этом при использовании в качестве белковой добавки сои и соевого жмыха уровень кальция в рубцовой жидкости достоверно выше контрольного периода (основной рацион) соответственно на 26,7 и 40 %. Введение в рацион соевого фуража снижает содержание кальция в рубцовой жидкости на 18 %. Содержание фосфора при введении в рацион соевых продуктов напротив понижается по сравнению с контрольным кормом на 2–11 %.

В дуоденальном химусе кальций-фосфорное соотношение составляет 2:1. При использовании продуктов переработки сои содержание кальция достоверно ниже основного рациона в первом опытном периоде (соевые бобы) на 5 %; во втором (жмых) – на 11 %; в третьем (фураж) – на 8 % и в четвертом (шрот) – на 10 %. Концентрация фосфора в дуоденальном химусе при замене части рациона на соевые продукты достоверно не изменяется, за исключением второго опытного периода, где фосфор по сравнению с контрольным периодом ниже на 13 %.

Дальнейшее усвоение минеральных веществ из пищеварительного тракта в

**Таблица 1 – Содержание кальция и фосфора в экспериментальных компонентах рациона**

**Table 1 – The content of calcium and phosphorus in the experimental components of the diet**  
В процентах (in percent)

Экспериментальные компоненты рациона	Кальций	Фосфор
Комбикорм ОК-80	0,60	0,80
Соевые бобы	0,48	0,71
Соевый шрот	0,43	0,60
Соевый фураж	0,32	0,57
Соевый жмых	0,26	0,60

**Таблица 2 – Показатели кальция и фосфора в пищеварительном тракте овец при введении в рацион продуктов переработки сои**

**Table 2 – Indicators of calcium and phosphorus in the digestive tract of sheep when soybean products are introduced into the diet**

Периоды	Рубцовая жидкость			Дуоденальный химус		
	Са	Р	Са:Р	Са	Р	Са:Р
Контрольный (основной рацион)	2,66±0,114	12,74±0,356	1:4,8	20,03±0,504	10,40±0,664	2:1,0
Первый опытный (соя)	3,37±0,260*	12,21±0,390	1:3,6	19,08±0,873*	10,01±0,503	2:1,1
Второй опытный (жмых)	3,74±0,064*	11,39±0,242*	1:3,6	17,93±1,273*	9,02±0,738*	2:1,1
Третий опытный (фураж)	2,19±0,147*	11,78±0,144*	1:5,4	18,43±1,552*	10,35±0,509	2:1,1
Четвертый опытный (шрот)	2,63±0,299	11,81±0,256*	1:4,5	17,99±0,658*	10,03±0,235	2:1,2
* $p < 0,05$ уровень достоверности при сравнении с контрольным периодом.						

кровь характеризуется концентрацией кальция и фосфора в сыворотке крови.

Анализируя данные гистограммы (рис. 1), можно отметить, что как при использовании основного рациона, так и при введении соевых продуктов кальций-фосфорное соотношение приближено к оптимальному и соответствует 2:1,2–2:1,5. Исключением является отношение кальция к фосфору при замене части рациона нативными соевыми бобами (2:1,8). Наиболее высокий уровень кальция в крови регистрируется при введении в рацион соевого жмыха (2,62±0,11 ммоль/л). В первый опытный период (соя) в сыворотке крови овец наблюдается максимальная концентрация фосфора (2,06±0,11 ммоль/л).

**Обсуждение результатов.** У овец, как модельных жвачных животных, предварительная обработка корма в преджелудках влияет на метаболизм минеральных веществ и биодоступность их для организма.

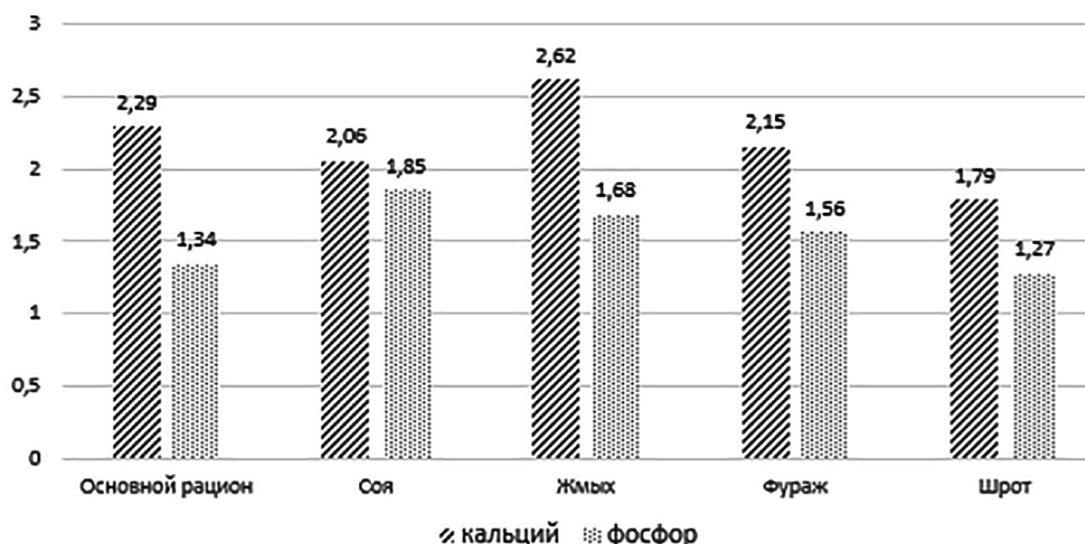
При 15-процентной замене концентратной части рациона овец продуктами переработки сои содержание кальция в рубцовой жидкости ниже концентрации фосфора в 4–5 раз; соответственно кальций-фосфорное соотношение составляет 1:3,6–1:5,4. Такое высокое содержание фосфора объясняется выработкой микробного фермента фитазы, которая разрушает нерастворимые соединения фитаты и переводит фосфор в доступную для организма форму. Концентрация кальция

в рубцовой жидкости понижена, так как его соли в слабощелочной среде рубцовой жидкости малорастворимы, что снижает его биологическую доступность [9].

В дуоденальном химусе уровень кальция возрастает по сравнению с рубцовой жидкостью при введении в рацион сои в 5,7 раза, соевого жмыха в 4,8 раза, соевого фуража в 8,4 раза и соевого шрота в 6,8 раза. Повышение биодоступности кальция объясняется сдвигом pH среды в двенадцатиперстной кишке в более кислую сторону, что способствует растворению солей кальция и одновременно снижению биодоступности фосфора, соли которого хорошо растворяются при слабощелочной среде [10].

В продуктах переработки сои и в самих соевых бобах содержится значительное количество кальция и фосфора, однако их биодоступность для моногастричных животных снижается из-за нерастворимых соединений фитатов и оксалатов. В рубце жвачных микрофлора выделяет особый фермент фитазу, которая переводит кальций и фосфор в доступную для организма форму [11].

На усвоение минеральных веществ из пищеварительного тракта в кровь влияет кислотность среды и функциональное состояние энтероцитов. Основное всасывание кальция в кровь происходит из полости двенадцатиперстной кишки, в то время как фосфор усваивается в нижележащих отделах тонкого кишечника (под-



**Рисунок 1 – Показатели кальция и фосфора в сыворотке крови овец при введении в рацион продуктов переработки сои, ммоль/л**

**Figure 1 – Indicators of calcium and phosphorus in sheep blood serum when soybean products are introduced into the diet, mmol/l**

вздошная кишка), где показатели рН сдвигаются в щелочную сторону.

Уровень кальция и фосфора в сыворотке крови повышается при введении в рацион соевого жмыха, который в результате своей переработки увеличивает их биодоступность [12], в то время как шрот снижает количество кальция и фосфора. Возможно предположить, что в процессе технологической обработки образуются нерастворимые соединения этих минералов, которые снижают их биодоступность. Несмотря на достоверную разницу показателей концентрации кальция и фосфора с контрольным периодом (основной рацион), в сыворотке крови сохраняется оптимальное соотношение этих макроэлементов (рис. 1). При введении в рацион сои кальций-фосфорное соотношение составляет 2:1,8. Можно сказать, что в данном экспериментальном периоде биодоступность кальция снижается, тогда как фос-

фора увеличивается. Данный факт можно объяснить тем, что соя не проходит предварительной обработки и вводится в корм животным в нативном виде [13].

**Заключение.** На основании полученных результатов можно сделать вывод, что особенности строения пищеварительного тракта жвачных животных оказывают определенное влияние на обработку и усвоение кальция и фосфора из продуктов переработки сои.

Условия в рубце положительно влияют на биодоступность фосфора, в то время как в полости двенадцатиперстной кишки увеличивается биодоступность кальция. Из всех рассмотренных экспериментальных соевых продуктов наиболее доступный кальций и фосфор содержится в соевом жмыхе, что обеспечивает оптимальное соотношение минералов в сыворотке крови при достоверно высоком уровне концентрации.

#### Список источников

1. Волнин А. А. Физиолого-биохимические особенности межвидовых гибридов овец романовской породы и архара : дис. ... канд. биол. наук. Боголюбово, 2019. 150 с. EDN UUMPML.
2. Боголюбова Н. В., Багиров В. А., Зиновьева Н. А. Особенности минерального обмена у гибридных овец романовской породы с архаром (*Ovis ammon*) // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 7. С. 52–55. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10712. EDN XYUKGD.

3. Карамушкина С. В., Вадько А. В. Перспективы использования отходов производства сои в овцеводстве // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : материалы всерос. науч.-практ. конф. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2021. С. 52–55. EDN HDIAIH.
4. Köhler O., Grünberg W., Schnepel N., Muscher-Banse A., Rajaeerad A., Hummel J. [et al.]. Dietary phosphorus restriction affects bone metabolism, vitamin D metabolism and rumen fermentation traits in sheep // *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2020. Vol. 104. Iss. 6. P. 1902–1914. doi: 10.1111/jpn.13449.
5. Vötterl J., Klinsoda J., Zebeli Q., Hennig-Pauka I., Kandler W., Metzler-Zebeli B. Dietary phytase and lactic acid-treated cereal grains differently affected calcium and phosphorus homeostasis from intestinal uptake to systemic metabolism in a pig model // *Nutrients*. 2020. Vol. 12. Iss. 5. P. 1542. doi: 10.3390/nu12051542.
6. Kızılaslan M., Arzik Y., Behrem S., Yavuz E., White S., Cinar M. Unravelling the genetic architecture of serum biochemical indicators in sheep // *Genes*. 2024. Vol. 15. Iss. 8. P. 990. doi: 10.3390/genes15080990.
7. Литвиненко О. В., Корнева Н. Ю., Кодирова Г. А., Кубанкова Г. В. Результаты сравнительного изучения сортов сои по показателям биохимического состава зерна // *Агронаука*. 2023. Т. 1. № 4. С. 62–70. doi: 10.24412/2949-2211-1-4-62-70. EDN ALUMFX.
8. Tapia J., Leib S., Marini P., Fischman M. Effect of mineral supplementation on the macromineral concentration in blood in pre- and postpartum blackbelly sheep // *Animals*. 2020. Vol. 10. Iss. 7. P. 1206. doi: 10.3390/ani10071206.
9. Toral P., Hervás G., Frutos P., Yáñez-Ruiz D., Belenguer A., Bati M. Impact of oxalic acid on rumen function and bacterial community in sheep // *Animal*. 2013. Vol. 7. Iss. 6. P. 940–947. doi: 10.1017/S1751731112002455.
10. Spears J., Brandao V., Guimaraes O., Wagner J., Engle T. Trace mineral source influences digestion, ruminal fermentation, and ruminal copper, zinc, and manganese distribution in steers fed a diet suitable for lactating dairy cows // *Animal*. 2022. Vol. 16. Iss. 4. P. 100500. doi: 10.1016/j.animal.2022.100500.
11. Gbamwuan D., Francis A., Tsenum J. Evaluation of soybean varieties for oxalate, phytate and polyunsaturated fatty acids content // *Science Open Preprints*. 2020. No. 12. P. 1–67. doi: 10.14293/S2199-1006.1.SOR-.PPPZPXC.v1.
12. Waldron K., Arrutia F., Williams P., Binner E. Oilseeds beyond oil: Press cakes and meals supplying global protein requirements // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Vol. 100. P. 336–348. doi: 10.1016/j.tifs.2020.03.044.
13. Zhang R., Gao K., Shi J., Xue S., Sun H., Di D. [et al.]. Exploring the dual role of anti-nutritional factors in soybeans: a comprehensive analysis of health risks and benefits // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2024. No. 11. P. 1–18. doi: 10.1080/10408398.2024.2430757.

## References

1. Volnin A. A. Physiological and biochemical characteristics of interspecific hybrids of Romanov sheep and argali. *Candidate's thesis*. Bogolyubovo, 2019, 150 p. (in Russ.).
2. Bogolyubova N. V., Bagirov V. A., Zinovieva N. A. Features of mineral metabolism in hybrid sheep of Romanov breed with argali (*Ovis ammon*). *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2018;32;7:52–55. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10712. EDN XYUKGD (in Russ.).
3. Karamushkina S. V., Vadko A. V. Prospects for the use of soybean production waste in sheep farming. Proceedings from Agro-industrial complex: problems and prospects of development: *Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 52–55), Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2021 (in Russ.).
4. Köhler O., Grünberg W., Schnepel N., Muscher-Banse A., Rajaeerad A., Hummel J. [et al.]. Dietary phosphorus restriction affects bone metabolism, vitamin D metabolism and rumen fermentation traits in sheep. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2020; 104;6:1902–1914. doi: 10.1111/jpn.13449.
5. Vötterl J., Klinsoda J., Zebeli Q., Hennig-Pauka I., Kandler W., Metzler-Zebeli B. Dietary phytase and lactic acid-treated cereal grains differently affected calcium and phosphorus homeostasis from intestinal uptake to systemic metabolism in a pig model. *Nutrients*, 2020;12;5: 1542. doi: 10.3390/nu12051542.

6. Kızılaslan M., Arzik Y., Behrem S., Yavuz E., White S., Cinar M. Unravelling the genetic architecture of serum biochemical indicators in sheep. *Genes*, 2024;15;8:990. doi: 10.3390/genes15080990.
7. Litvinenko O. V., Korneva N. Yu., Kodirova G. A., Kubankova G. V. Results of comparative study of soybean varieties by biochemical composition of grain. *Agronauka*, 2023;1;4:62–70. doi: 10.24412/2949-2211-1-4-62-70. EDN ALUMFX (in Russ.).
8. Tapia J., Leib S., Marini P., Fischman M. Effect of mineral supplementation on the macromineral concentration in blood in pre- and postpartum blackbelly sheep. *Animals*, 2020;10;7:1206. doi: 10.3390/ani10071206.
9. Toral P., Hervás G., Frutos P., Yáñez-Ruiz D., Belenguer A., Bati M. Impact of oxalic acid on rumen function and bacterial community in sheep. *Animal*, 2013;7;6:940–947. doi: 10.1017/S1751731112002455.
10. Spears J., Brandao V., Guimaraes O., Wagner J., Engle T. Trace mineral source influences digestion, ruminal fermentation, and ruminal copper, zinc, and manganese distribution in steers fed a diet suitable for lactating dairy cows. *Animal*, 2022;16;4:100500. doi: 10.1016/j.animal.2022.100500.
11. Gbamwuam D., Francis A., Tsenum J. Evaluation of soybean varieties for oxalate, phytate and polyunsaturated fatty acids content. *Science Open Preprints*, 2020;12:1–67. doi: 10.14293/S2199-1006.1.SOR-.PPPZPXC.v1.
12. Waldron K., Arrutia F., Williams P., Binner E. Oilseeds beyond oil: Press cakes and meals supplying global protein requirements. *Trends in Food Science & Technology*, 2020;100:336–348. doi: 10.1016/j.tifs.2020.03.044.
13. Zhang R., Gao K., Shi J., Xue S., Sun H., Di D. [et al.]. Exploring the dual role of anti-nutritional factors in soybeans: a comprehensive analysis of health risks and benefits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2024;11:1–18. doi: 10.1080/10408398.2024.2430757.

© Карамушкина С. В., Жевнеров А. В., 2025

Статья поступила в редакцию 14.07.2025; одобрена после рецензирования 29.08.2025; принята к публикации 01.09.2025.

The article was submitted 14.07.2025; approved after reviewing 29.08.2025; accepted for publication 01.09.2025.

### **Информация об авторах**

**Карамушкина Светлана Владимировна**, кандидат биологических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, ORCID: 0009-0009-6485-7146, Author ID: 337761, [sveta.vetmed@mail.ru](mailto:sveta.vetmed@mail.ru);

**Жевнеров Алексей Валерьевич**, кандидат химических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, ORCID: 0000-0003-1658-762X, Author ID: J-4346-2013

### **Information about the authors**

**Svetlana V. Karamushkina**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ORCID: 0009-0009-6485-7146, Author ID: 337761, [sveta.vetmed@mail.ru](mailto:sveta.vetmed@mail.ru);

**Alexey V. Zhevnerov**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ORCID: 0000-0003-1658-762X, Author ID: J-4346-2013

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.**