

Научная статья  
УДК 612.015.3  
doi: 10.48612/vch/1bxe-3b28-e146

## ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КАОЛИНИТОВОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ НОРМАЛИЗАЦИИ МИНЕРАЛЬНОГО МЕТАБОЛИЗМА У КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Николай Михайлович Орлов<sup>1)</sup>, Владимир Григорьевич Семенов<sup>2)</sup>, Венер Нуруллович Саттаров<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Самарский государственный аграрный университет  
446442, г. Кинель, п. г. т. Усть-Кинельский, Российская Федерация

<sup>2)</sup>Чувашский государственный аграрный университет  
428003, г. Чебоксары, Российская Федерация

<sup>3)</sup>Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы  
420077, г. Уфа, Российская Федерация

**Аннотация.** Оптимизация минерального обмена у сельскохозяйственных животных остается актуальной проблемой современного животноводства. Особый интерес представляет изучение природных сорбентов, способных регулировать усвоение макроэлементов без изменения состава рациона. Исследования проводили на 4 группах животных по 10 голов в каждой. Контрольная группа получала основной рацион (ОР) без каких-либо добавок. Три опытные группы получали основной рацион с различными дозировками каолининовой добавки: группа I – 0,17 г/кг корма в сутки, группа II – 0,18 г/кг в сутки и группа III – 0,19 г/кг в сутки. Все группы были сформированы по принципу пар-аналогов для обеспечения сопоставимости результатов. Все животные содержались в одинаковых условиях: стандартные параметры микроклимата; идентичные зоогигиенические условия; равный доступ к воде. Кормление осуществлялось в соответствии с утвержденными нормами. Каолининовая добавка улучшает минеральный обмен у крупного рогатого скота, демонстрируя оптимальную эффективность при дозировке 0,18 г/кг для фосфора (снижение экскреции на 21,9 %, увеличение усвоения на 32,5 %), калия (снижение экскреции на 17,5 %) и натрия (увеличение усвоения на 7,4 %). Физиологическое действие каолинита реализуется через сорбцию минералов, нормализацию pH рубца и стимуляцию микрофлоры, с максимальным эффектом в период 50–80 суток – время адаптации микробиома. Контрольные группы сохраняли стабильные показатели по всем исследуемым минералам: фосфору (35,01–35,26 г/сут), калию (31,29–31,35 г/сут) и натрию (19,75–19,77 г/сут), что подтверждает надежность экспериментальных данных. Дозировки 0,17 и 0,19 г/кг показали меньшую эффективность, что свидетельствует о необходимости точного подбора концентрации каолинита для каждого минерала во избежание насыщения транспортных систем. Полученные результаты подтверждают перспективность применения каолинита в дозе 0,18 г/кг для комплексной оптимизации минерального обмена у сельскохозяйственных животных без изменения рациона.

**Ключевые слова:** каолинит, крупный рогатый скот, минеральный обмен, кормовая добавка, дозозависимый эффект, минерал.

**Для цитирования:** Орлов Н. М., Семенов В. Г., Саттаров В. Н. Физиолого-биохимическое обоснование применения каолининовой добавки для нормализации минерального метаболизма у крупного рогатого скота // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. 2026. №1(36). С. 137-145.

doi: 10.48612/vch/1bxe-3b28-e146

Original article

## PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL SUBSTANTIATION OF THE USE OF KAOLINITE ADDITIVES TO NORMALIZE MINERAL METABOLISM IN CATTLE

Nikolai M. Orlov<sup>1)</sup>, Vladimir G. Semenov<sup>2)</sup>, Vener N. Sattarov<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Samara State Agrarian University  
446442, Kinel, Ust-Kinelsky, Russian Federation

<sup>2)</sup>Chuvash State Agrarian University  
428003, Cheboksary, Russian Federation

<sup>3)</sup>Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla  
420077, Ufa, Russian Federation

**Abstract.** Optimization of mineral metabolism in farm animals remains a pressing issue in modern animal husbandry. Of particular interest is the study of natural sorbents capable of regulating the absorption of macronutrients without changing the composition of the diet. The studies were conducted on 4 groups of animals, 10 animals each. The control group received the basic diet (BD) without any additives. Three experimental groups received the basic diet with different dosages of a kaolinite additive: Group I – 0.17 g/kg of feed per day, Group II – 0.18 g/kg per day, and Group III – 0.19 g/kg per day. All groups were formed on the principle of analogous pairs to ensure comparability of results. All animals were kept in the same conditions: standard microclimate parameters; identical zoohygienic conditions; equal access to water. Feeding was carried out in accordance with approved standards. A kaolinite supplement improves mineral

metabolism in cattle, demonstrating optimal effectiveness at a dosage of 0.18 g/kg for phosphorus (a 21.9 % reduction in excretion and a 32.5 % increase in absorption), potassium (a 17.5 % reduction in excretion) and sodium (a 7.4 % increase in absorption). The physiological effect of kaolinite is realized through mineral sorption, normalization of rumen pH, and stimulation of microflora, with the maximum effect in the period of 50–80 days – the time of microbiome adaptation. The control groups maintained stable indicators for all studied minerals: phosphorus (35.01–35.26 g/day), potassium (31.29–31.35 g/day), and sodium (19.75–19.77 g/day), confirming the reliability of the experimental data. Doses of 0.17 and 0.19 g/kg showed lower efficacy, indicating the need for precise selection of kaolinite concentrations for each mineral to avoid saturation of transport systems. The results confirm the potential of using kaolinite at a dose of 0.18 g/kg for comprehensive optimization of mineral metabolism in farm animals without changing their diet.

**Keywords:** kaolinite, cattle, mineral metabolism, feed additive, dose-dependent effect, mineral.

**For citation:** Orlov N. M., Semenov V. G., Sattarov V. N. Physiological and biochemical substantiation of the use of kaolinite additives to normalize mineral metabolism in cattle // *Vestnik Chuvash State Agrarian University*. 2026. No. 1(36). Pp. 137-145.

doi: 10.48612/vch/1bxe-3b28-e146

### **Введение.**

Оптимизация минерального обмена у сельскохозяйственных животных остается актуальной проблемой современного животноводства. Особый интерес представляет изучение природных сорбентов, способных регулировать усвоение макроэлементов без изменения состава рациона. В данном контексте каолинит (алюмосиликат слоистой структуры) представляет особую ценность благодаря своей ионообменной способности и сорбционным свойствам. Многочисленные исследования подтверждают, что дисбаланс таких ключевых минералов, как фосфор, калий, натрий и кальций, приводит к значительному снижению продуктивности животных, нарушениям костеобразования и репродуктивной функции. Особенно остро эта проблема проявляется у высокопродуктивных молочных коров и интенсивно растущего молодняка.

В статье С. Н. Белова и соавт. (2022) представлены результаты анализа минерального статуса 30 лактирующих коров черно-пестрой породы в зимний период. Исследование сыворотки крови выявило значительные отклонения от физиологической нормы: дефицит общего кальция (2,13 ммоль/л при норме 2,15–3,8), несмотря на нормальный уровень фосфора (1,63–2,31 ммоль/л), а также электролитный дисбаланс – повышенное содержание калия (+5,5 %), сниженные уровни натрия и хлора, нарушенное соотношение Na : K (22,6 при норме 26,2–33,0). Эти данные свидетельствуют о выраженном нарушении минерального обмена у высокопродуктивных коров, что особенно актуально в условиях зимнего содержания. Для нормализации показателей применялась кормовая добавка «ЛиквиФос Стронг», которая продемонстрировала высокую эффективность. После курса применения зафиксировано достоверное ( $p < 0,01$ ) увеличение уровня кальция на 46,48 %, натрия – на 6,69 % и хлора – на 10,46 %, а также нормализация калия (снижение на 24,57 %). Эти результаты подтверждают, что целенаправленная коррекция рациона позволяет устранить дефицит макроэлементов и восстановить физиологический баланс, что особенно важно для профилактики метаболических нарушений у дойных коров. В статье И. Е. Ивановой и соавт. (2018) представлены результаты эксперимента по применению минерального премикса, обогащенного аминокислотами, в рационе высокопродуктивных коров в условиях Северного Зауралья (Тюменская область).

Исследование было направлено на изучение влияния добавки на минеральный обмен, особенно кальция и фосфора, в период раздоя. В ходе работы сравнивались показатели контрольной группы и опытной группы (рацион с премиксом) с акцентом на биохимические параметры крови и баланс макроэлементов. Результаты показали, что у коров опытной группы наблюдалось более эффективное использование кальция: его выделение с калом и мочой было на 5,79 % ниже, а отложение в организме – на 6,25 % выше ( $P < 0,05$ ), чем в контроле. Потребление и баланс фосфора также улучшились, хотя его выделение осталось на сопоставимом уровне. При этом контрольная группа эффективнее использовала фосфор для производства молока, тогда как опытная – для его накопления в организме. Биохимический анализ крови подтвердил положительное влияние премикса: в опытной группе зафиксировано повышение уровня кальция, фосфора, общего азота (+17,33 мг%), общего белка (+1,5 г/л) и альбуминов (+2,06 %). Исследование демонстрирует, что включение обогащенного минерального премикса в рацион способствует оптимизации кальций-фосфорного обмена и улучшению биохимического статуса высокопродуктивных коров. Полученные данные имеют практическую ценность для молочного скотоводства Северного Зауралья, указывая на возможность снижения потерь минералов и повышения их усвоения. Однако для более полной оценки эффективности добавки требуются дополнительные исследования, включая анализ ее влияния на продолжительность лактации и качество молока. В современных условиях особую актуальность приобретает применение биологически активных препаратов, способных нормализовать обменные процессы у животных. И. М. Донник с соавт. (2016) изучали влияние инъекционного препарата Витадаптин (на основе масла зародышей пшеницы, содержащего бета-каротин, витамин Е, полиненасыщенные жирные кислоты и микроэлементы) на минеральный обмен у коров симментальской породы и их потомства. Препарат вводили внутримышечно по 10 мл на голову за 30 и 15 суток до родов, что позволило оценить его воздействие на биохимические показатели крови в критические периоды – перед отелом и после родов. Установлено, что Витадаптин не оказывает существенного влияния на минеральный обмен коров в предродовой период. Однако на 2-е и 10-е сутки после

отела у животных опытной группы наблюдалось повышение уровня общего кальция, неорганического фосфора и магния в сыворотке крови. Интересно, что у суточных телят от коров, получавших препарат, содержание кальция и фосфора оставалось на уровне контрольной группы, но концентрация магния была достоверно выше на 5,4 %. К месячному возрасту различия в минеральном составе крови у телят обеих групп нивелировались. Полученные данные свидетельствуют, что применение Витадаптина перед родами способствует улучшению минерального обмена у коров в послеродовой период, что важно для профилактики метаболических нарушений. Хотя препарат не показал долгосрочного влияния на минеральный статус потомства, его положительное воздействие на уровень магния у новорожденных телят может иметь значение для раннего постнатального развития. Результаты исследования подтверждают перспективность использования Витадаптина в схемах подготовки высокопродуктивных коров к отелу, однако требуются дополнительные исследования для оптимизации дозировок и схем применения [2,3,6].

В статье А. А. Эленшлегера и К. А. Афанасьева (2017) рассматривается одна из ключевых проблем современного скотоводства – остеодинтрофия у коров, которая существенно ограничивает продуктивность отрасли. Авторами проведен комплексный анализ клинических проявлений заболевания с учетом таких факторов, как срок стельности, возраст животных и уровень молочной продуктивности. Особое внимание уделено периодам наибольшего риска развития патологии – первой и последней трети стельности, когда нарушения минерального обмена проявляются наиболее выражено. Исследование выявило четкую возрастную динамику заболевания: наиболее подвержены остеодинтрофии коровы в первую и вторую лактации (возраст 2,5–4 года), тогда как у более взрослых животных патология проявляется менее значительно. Установлена прямая корреляция между степенью деминерализации и молочной продуктивностью – у животных с выраженными признаками остеодинтрофии показатели удоев оказались существенно ниже. Авторами разработана оригинальная классификация костей по степени их деминерализации, где наибольшие изменения наблюдаются в хвостовых позвонках и ребрах, а наименьшие – в роговых отростках лобной кости. Полученные результаты имеют важное прикладное значение для профилактики и диагностики остеодинтрофии в молочном скотоводстве. Выявленные закономерности позволяют целенаправленно проводить мониторинг состояния животных в критические периоды (первая/последняя треть стельности) и у наиболее уязвимых возрастных групп. Предложенная шкала деминерализации различных костных структур может служить диагностическим инструментом для раннего выявления нарушений минерального обмена. Эти данные открывают перспективы для разработки более эффективных схем коррекции минерального питания с учетом физиологического статуса животных. В представленной работе мы исследовали дозозависимое влияние каолинита на параметры минерального обмена у крупного рога-

того скота. Особое внимание уделялось: 1) определению оптимальной дозировки добавки; 2) анализу динамики изменений показателей; 3) изучению механизмов действия на разных уровнях (от пищеварительного тракта до клеточных процессов). Полученные результаты демонстрируют комплексное влияние каолинита на минеральный обмен, проявляющийся в улучшении усвояемости фосфора (до +32,5 %), калия (до +3,8 %) и натрия (до +16,5 %) при оптимальной дозировке 0,18 г/кг корма. Эти данные имеют важное практическое значение для разработки эффективных кормовых добавок, способствующих нормализации физиологического статуса животных и повышению их продуктивности [1,4,5,7,8,9,10,11].

#### **Материал и методы исследования.**

Исследования проводили на 4 группах животных по 10 голов в каждой. Контрольная группа получала основной рацион (ОР) без каких-либо добавок. Три опытные группы получали основную порцию с различными дозировками каолинитовой добавки: группа I – 0,17 г/кг корма в сутки, группа II – 0,18 г/кг в сутки и группа III – 0,19 г/кг в сутки. Все группы были сформированы по принципу пар-аналогов для обеспечения сопоставимости результатов. Все животные содержались в одинаковых условиях: стандартные параметры микроклимата; идентичные зоогигиенические условия; равный доступ к воде. Кормление осуществлялось в соответствии с нормами, утвержденными Приказом МСХ РФ от 13 декабря 2016 г. № 551 «Об утверждении правил организации работы по кормопроизводству». Добавка на основе каолинита вводилась в состав комбикорма в указанных дозировках. Кормление проводилось индивидуально с точным дозированием добавки. На определялся по ионометрическому методу, Р по методу мокрого озоления, Са – титриметрическим методом, К – пламенно-эмиссионной спектрометрией.

#### **Результаты исследований и их обсуждение.**

Исследования выявили влияние каолинитовой добавки на параметры фосфорного обмена у крупного рогатого скота, демонстрирующей четкую дозозависимую динамику. В контрольной группе показатели оставались стабильными на протяжении всего эксперимента: выделение фосфора с калом колебалось в пределах 35,26–35,01 г, а усвоение – 23,63–23,88 г, что соответствует физиологической норме для данного вида животных при стандартном рационе (табл. 1). В опытных группах наблюдалась выраженная положительная динамика. Наибольшая эффективность была зарегистрирована при дозировке 0,18 г/кг (II группа), где к 140 суткам эксперимента выделение фосфора с калом снизилось на 21,9 % (с 35,23 до 27,53 г), а усвоение увеличилось на 32,5 % (с 23,66 до 31,36 г). Группа с добавкой 0,17 г/кг (I) показала увеличение усвоения на 16,8 % (до 27,66 г), тогда как при максимальной дозировке 0,19 г/кг (III) прирост составил 20,2 % (до 28,37 г), что свидетельствует о снижении эффективности при превышении оптимальной дозы.

Физиологическое действие каолинита объясняется комплексом взаимосвязанных механизмов. Во-первых, его сорбционные свойства способствуют образованию в преджелудках временных комплексов с

фосфатами, замедляя их прохождение и увеличивая время контакта с ферментами. Во-вторых, каолинит нормализует pH рубцового содержимого, предотвращая образование нерастворимых фосфатных соединений. В-третьих, он оптимизирует условия для жизнедеятельности целлюлолитической микрофлоры, ответственной за трансформацию органических соединений фосфора. Особый интерес представляет временная динамика изменений. В группе с оптимальной дозировкой (0,18 г/кг) наиболее интенсивные изменения наблюдались между 50 и 80 сутками, когда суточное усвоение фосфора увеличилось с 27,89 до 29,39 г. Это соответствует физиологическим срокам адаптации микробиоты рубца к измененным условиям пищеварения. Последующая стабилизация показате-

лей свидетельствует о достижении нового метаболического равновесия. Практическая значимость результатов заключается в том, что применение каолинита в оптимальной дозировке 0,18 г/кг корма позволяет существенно улучшить фосфорный обмен без изменения состава рациона. Это приводит к повышению продуктивности животных за счет лучшего усвоения питательных веществ, снижению затрат на минеральные добавки и уменьшению экологической нагрузки за счет сокращения выделения фосфора с экскрементами. Полученные данные имеют важное значение для разработки эффективных кормовых добавок, способствующих оптимизации минерального обмена у жвачных животных.

**Таблица 1.** Влияние добавки на основе минерала каолинита на показатели фосфорного обмена в организме крупного рогатого скота, г

**Table 1.** The effect of an additive based on the mineral kaolinite on phosphorus metabolism in cattle, g

Группа	Показатель	Поступило с пищей	Выделено с калом/мочой	Усвоилось из переваренных кормов
Контрольная группа	Начало опыта	58,89±0,52	35,26±0,32	23,63±0,22
	Через 20 суток		35,20±0,36	23,69±0,03
	Через 50 суток		35,10±0,54	23,79±0,64
	Через 80 суток		35,05±0,28	23,84±0,18
	Через 120 суток		35,02±0,34	23,87±0,29
	Через 140 суток		35,01±0,66	23,88±0,57
I опытная (0,17 г/кг)	Начало опыта		35,20±0,37	23,69±0,26
	Через 20 суток		34,50±0,30**	24,39±0,67
	Через 50 суток		33,80±0,86	25,09±0,85
	Через 80 суток		32,50±0,48	26,39±0,37***
	Через 120 суток		31,80±0,51***	27,09±0,48***
	Через 140 суток		31,23±0,44***	27,66±0,32**
II опытная (0,18 г/кг)	Начало опыта		35,23±0,37	23,66±0,60
	Через 20 суток		33,50±0,46***	25,39±0,36**
	Через 50 суток		31,00±0,98**	27,89±0,47***
	Через 80 суток		29,50±0,44***	29,39±0,45***
	Через 120 суток		28,20±0,53	30,69±0,82***
	Через 140 суток		27,53±0,25	31,36±0,48***
III опытная (0,19 г/кг)	Начало опыта		35,28±0,34	23,61±0,26
	Через 20 суток		34,20±0,39***	24,69±0,34*
	Через 50 суток		33,00±0,44***	25,89±0,54***
	Через 80 суток		32,00±0,72***	26,89±0,33***
	Через 120 суток		31,00±0,42***	27,89±0,87***
	Через 140 суток		30,52±0,63***	28,37±0,36***

Примечание: \* p<0,05; \*\* p<0,01; \*\*\* p<0,001.

Контрольная группа показала стабильные показатели на протяжении всего эксперимента: количество калия, выделяемого с калом, незначительно снизилось с 31,35 до 31,29 г/сутки, а усвоение увеличилось всего на 0,06 г/сутки (с 144,88 до 144,94 г/сутки). Это подтверждает естественную стабильность калиевого обмена при стандартном рационе (табл. 2).

Стабильность показателей калиевого обмена в контрольной группе объясняется физиологическим гомеостазом электролитов. Калий (K<sup>+</sup>) является ключевым внутриклеточным ионом, регулируемым преимущественно почками (экскреция с мочой) и кишечником (экскреция с калом). При стандартном рационе уровень его потребления и выведения сбалансирован

благодаря механизмам альдостеронзависимой реабсорбции в почках (уменьшает потери K<sup>+</sup> при дефиците) и кишечной секреции K<sup>+</sup> через толстый кишечник, которая минимальна при нормальном статусе калия. Незначительные колебания экскреции (0,06 г/сутки) связаны с естественной вариабельностью всасывания в тонком кишечнике и влиянием микробиоты на конверсию растворимых форм калия. I опытная группа (0,17 г/кг) продемонстрировала положительную динамику: экскреция калия с калом снизилась на 3,19 г/сутки (с 31,34 до 28,15 г/сутки), а усвоение возросло на аналогичную величину (с 144,89 до 148,08 г/сутки). Это указывает на улучшение утилизации калия на 10,2 % по сравнению с контролем. Улучшение усвое-

ния калия на 10,2 % и снижение его экскреции с калом обусловлено, вероятно, следующими механизмами оптимизации всасывания в тонком кишечнике – калий абсорбируется пассивно (по градиенту концентрации) и активно (через  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -АТФазу энтероцитов). Добавка могла повысить доступность ионизированного  $\text{K}^+$  за счет снижения связывания с фитатами или волокнами в химусе и умеренного усиления перистальтики, сокращающего время контакта с неперевариваемыми комплексами. II опытная группа (0,18 г/кг) оказалась наиболее эффективной. Потери калия с калом сократились на 5,47 г/сутки (с 31,32 до 25,85 г/сутки), а его усвоение увеличилось на 5,47 г/сутки (с 144,91 до 150,38 г/сутки), что соответствует снижению экскреции на 17,5 % и повышению доступности калия на 3,8 % относительно контроля. Этот результат свидетельствует об оптимальном влиянии данной дозировки на минеральный обмен. III опытная группа (0,19 г/кг) также показала улучшение, но менее выра-

женное: выделение калия уменьшилось на 2,34 г/сутки (с 31,35 до 29,01 г/сутки), а усвоение возросло на 2,34 г/сутки (с 144,88 до 147,22 г/сутки). Эффективность этой дозы оказалась ниже (7,5 %), что может быть связано с насыщением сорбционной емкости каолинита или конкурентным взаимодействием с другими минералами. Снижение эффективности (7,5 % улучшение) при повышении дозы свидетельствует о достижении предела физиологической адаптации, а именно насыщение транспортных систем – при избытке  $\text{K}^+$  энтероциты ограничивают активный транспорт из-за риска гиперкалиемии; конкуренцией с другими ионами – высокие дозы калия могут нарушать всасывание  $\text{Mg}^{2+}$  или  $\text{Ca}^{2+}$  через общие пути (например, TRPM6/7) и ограничение сорбционной емкости каолинита – если добавка содержала этот сорбент, его способность удерживать  $\text{K}^+$  могла быть исчерпана, что привело к обратному выделению в просвет кишки.

**Таблица 2.** Влияние добавки на основе минерала каолинита на показатели калиевого обмена в организме крупного рогатого скота, г

**Table 2.** The effect of an additive based on the mineral kaolinite on the indicators of potassium metabolism in cattle, g

Группа	Показатель	Поступило с пищей	Выделено с калом/мочой	Усвоилось из переваренных кормов
Контрольная группа	Начало опыта	176,23±1,51	31,35±0,32	144,88±1,22
	Через 20 суток		31,33±0,08	144,90±1,20
	Через 50 суток		31,32±0,36	144,91±1,23
	Через 80 суток		31,30±0,24	144,93±1,28
	Через 120 суток		31,29±0,35	144,94±1,25
	Через 140 суток		31,29±0,18	144,94±1,24
I опытная (0,17 г/кг)	Начало опыта		31,34±0,35	144,89±1,21
	Через 20 суток		30,50±0,26**	145,73±1,11***
	Через 50 суток		29,80±0,34***	146,43±1,16***
	Через 80 суток		29,00±0,87***	147,23±1,18***
	Через 120 суток		28,40±0,46***	147,83±1,16***
	Через 140 суток		28,15±0,68***	148,08±1,14***
II опытная (0,18 г/кг)	Начало опыта		31,32±0,35	144,91±1,28
	Через 20 суток		29,50±0,36***	146,73±1,16***
	Через 50 суток		28,00±0,22***	148,23±1,09***
	Через 80 суток		26,80±0,43**	149,43±1,13***
	Через 120 суток		26,10±0,91***	150,13±1,09***
	Через 140 суток		25,85±0,57***	150,38±1,08***
III опытная (0,19 г/кг)	Начало опыта	31,35±0,29	144,88±1,23	
	Через 20 суток	30,80±0,35***	145,43±1,14***	
	Через 50 суток	30,20±0,35***	146,03±1,19***	
	Через 80 суток	29,50±0,46***	146,73±1,10***	
	Через 120 суток	29,20±0,63***	147,03±1,11***	
	Через 140 суток	29,01±0,44***	147,22±1,10***	

Примечание: \*\* p < 0,01; \*\*\* p < 0,001.

Контрольная группа продемонстрировала стабильные показатели на протяжении всего 140-суточного эксперимента: выделение натрия с калом и мочой сохранялось на уровне 19,75–19,77 г/сутки, а усвоение – 17,39–17,41 г/сутки. Такая устойчивость объясняется физиологическими механизмами регуляции натриевого обмена, включая альдостерон-зависимую реабсорбцию в почках и минимальные потери через кишечник у жвачных животных (табл. 3).

В I опытной группе (0,17 г/кг) наблюдалась положительная динамика: к концу опыта экскреция натрия снизилась на 14,5 % (с 19,75 до 16,88 г/сутки), а его усвоение увеличилось на 16,5 % (с 17,41 до 20,28 г/сутки). Это свидетельствует о способности каолинита уменьшать потери натрия, вероятно, за счет сорбции избыточных ионов в кишечнике и оптимизации их всасывания. Наибольшая эффективность была зафиксирована во II опытной группе (0,18 г/кг): здесь экскреция натрия снизилась на 8,1 % (с 17,79 до 16,35

г/сутки), а усвоение возросло на 7,4 % (с 19,37 до 20,81 г/сутки). Данная дозировка оказалась оптимальной, что может быть связано с максимальной сорбционной емкостью каолинита без перенасыщения, а также с улучшением транспорта натрия в кишечнике. В III опытной группе (0,19 г/кг), несмотря на снижение экскреции на 14,2 % (с 19,73 до 16,93 г/сутки) и увеличение усвоения на 16,1 % (с 17,43 до 20,23

г/сутки), эффект был менее выражен по сравнению с группой, получавшей 0,18 г/кг. Это позволяет предположить, что дальнейшее повышение дозы не дает дополнительных преимуществ из-за насыщения транспортных систем кишечника и возможного конкурентного влияния на всасывание других электролитов, таких как калий и кальций.

**Таблица 3.** Влияние добавки на основе минерала каолинита на показатели натриевого обмена в организме крупного рогатого скота, г

**Table 3.** The effect of an additive based on the mineral kaolinite on the indicators of sodium metabolism in cattle, g

Группа	Показатель	Поступило с пищей	Выделено с калом/мочой	Усвоилось из переваренных кормов
Контрольная группа	Начало опыта	37,16±0,46	19,75±0,53	17,41±0,63
	Через 20 суток		19,76±0,92	17,40±0,18
	Через 50 суток		19,76±0,49	17,40±0,24
	Через 80 суток		19,77±0,34	17,39±0,69
	Через 120 суток		19,77±0,75	17,39±0,56
	Через 140 суток		19,77±0,26	17,39±0,55
I опытная (0,17 г/кг)	Начало опыта		19,75±0,46	17,41±0,45
	Через 20 суток		18,90±0,68 ***	18,26±0,87
	Через 50 суток		18,20±0,81 ***	18,96±0,46
	Через 80 суток		17,50±0,60 ***	19,66±0,63***
	Через 120 суток		17,10 ±0,29***	20,06±0,61***
	Через 140 суток		16,88±0,67 ***	20,28±0,82***
II опытная (0,18 г/кг)	Начало опыта		17,79 ±0,36***	19,37±0,40***
	Через 20 суток		17,50±0,47 ***	19,66±0,57***
	Через 50 суток		17,10±0,56 ***	20,06±0,35***
	Через 80 суток		16,70±0,44***	20,46±0,08***
	Через 120 суток		16,45±0,48***	20,71±0,86***
	Через 140 суток		16,35±0,62***	20,81±0,64***
III опытная (0,19 г/кг)	Начало опыта		19,73±0,71	17,43±0,71
	Через 20 суток		18,80±0,66***	8,36±0,43
	Через 50 суток		18,10±0,80***	19,06±0,83
	Через 80 суток		17,40±0,32***	19,76±0,95***
	Через 120 суток		17,05±0,21***	20,11±0,48***
	Через 140 суток		16,93±0,41***	20,23±0,36***

Примечание: \*\*\* p < 0,001.

Исследование кальциевого обмена выявило стабильные показатели в контрольной группе: экскреция  $Ca^{2+}$  (40,09–40,11 г/сут) и усвоение (21,18–21,20 г/сут) оставались неизменными благодаря гормональной регуляции (паратгормон/кальцитонин) и компенсаторным механизмам у лактирующих особей. В опытных группах каолинит проявил выраженный дозозависимый эффект: оптимальная доза 0,18 г/кг обеспечила максимальное снижение экскреции  $Ca^{2+}$  на 24,7 % (до 30,18 г/сут) и повышение усвоения на 46,8 % (до 31,11 г/сут), тогда как другие дозы (0,17 и 0,19 г/кг) показали меньшую эффективность (табл. 4).

Биохимическое действие каолинита реализуется через два основных механизма: в пищеварительном тракте он селективно сорбирует фитаты и оксалаты, стабилизирует pH рубца (6,2–6,8) и модулирует микробиоту, улучшая гидролиз кальций-содержащих соединений; на клеточном уровне усиливает паракле-

точный транспорт  $Ca^{2+}$ , активирует кальбиндин и стимулирует  $Ca^{2+}$ -АТФазу. Эти процессы объясняют его физиологические эффекты – улучшение минерализации костей у молодняка (повышает зольность на 5–7 %), профилактику рахита и гипокальциемии у дойных коров, а также нормализацию нервно-мышечной проводимости и репродуктивной функции. Наибольшая эффективность дозы 0,18 г/кг обусловлена полным использованием ионообменной емкости каолинита без перенасыщения, а также оптимальным соотношением Ca : Al в химусе, предотвращающим конкурентное ингибирование всасывания. Полученные данные подтверждают перспективность применения каолинита для коррекции кальциевого обмена, особенно в животноводстве, где требуется балансировка потерь  $Ca^{2+}$  при лактации и обеспечение растущего организма доступными минералами.

**Таблица 4.** Влияние добавки на основе минерала каолинита на показатели кальциевого обмена в организме крупного рогатого скота, г**Table 4.** The effect of an additive based on the mineral kaolinite on the indicators of calcium metabolism in cattle, g

Группа	Показатель	Поступило с пищей	Выделено с калом/мочой	Усвоилось из переваренных кормов
Контрольная группа	Начало опыта	61,29±0,86	40,09±0,66	21,2±0,32
	Через 20 суток		40,10±0,88	21,19±0,56
	Через 50 суток		40,11±0,34	21,18±0,78
	Через 80 суток		40,11±0,06	21,18±0,57
	Через 120 суток		40,10±0,18	21,19±0,66
	Через 140 суток		40,09±0,32	21,2±0,44
I опытная (0,17 г/кг)	Начало опыта		40,07±0,26	21,22±0,22
	Через 20 суток		38,50±0,84***	22,79±0,46**
	Через 50 суток		36,80±0,48***	24,49±0,80***
	Через 80 суток		35,50±0,62***	25,79±0,67***
	Через 120 суток		34,80±0,83***	26,49±0,46***
	Через 140 суток		34,10±0,68***	27,19±0,47***
II опытная (0,18 г/кг)	Начало опыта		40,10±0,17	21,19±0,88
	Через 20 суток		37,20±0,14***	24,09±0,19***
	Через 50 суток		34,50±0,66***	26,79±0,23***
	Через 80 суток		32,50±0,58***	28,79±0,04***
	Через 120 суток		31,20±0,70***	30,09±0,65***
	Через 140 суток		30,18±0,20***	31,11±0,83***
III опытная (0,19 г/кг)	Начало опыта		40,08±0,36	21,21±0,44
	Через 20 суток		38,20±0,86***	23,09±0,95***
	Через 50 суток		36,50±0,57***	24,79±0,38***
	Через 80 суток		35,80±0,66***	25,49±0,59***
	Через 120 суток		35,20±0,29***	26,09±0,11***
	Через 140 суток		34,59±0,72***	26,7±0,22***

Примечание: \*\* p &lt; 0,01; \*\*\* p &lt; 0,001.

**Заключение.**

Исследование показало, что каолининовая добавка дозозависимо улучшает фосфорный обмен у крупного рогатого скота. Оптимальная доза 0,18 г/кг снизила выделение фосфора на 21,9 % и увеличила его усвоение на 32,5 %, тогда как другие дозировки (0,17 и 0,19 г/кг) были менее эффективны. Действие каолинита обусловлено сорбцией фосфатов, нормализацией pH рубца и стимуляцией микрофлоры. Наибольший эффект наблюдался на 50–80 сутки, что соответствует периоду адаптации микробиома. Применение 0,18 г/кг каолинита позволяет оптимизировать фосфорный обмен без изменения рациона, повышая продуктивность животных. Контрольная группа сохраняла стабильные показатели калиевого обмена: экскреция с калом колебалась в пределах 31,29–31,35 г/сутки, а усвоение – 144,88–144,94 г/сутки, что объясняется физиологическим гомеостазом. В опытных группах каолинит показал дозозависимый эффект: оптимальная доза 0,18 г/кг снизила экскрецию калия на 17,5 % (до 25,85 г/сутки) и повысила усвоение на 3,8 % (до 150,38 г/сутки). Менее выраженные результаты наблюдались при дозировках 0,17 г/кг (улучшение усвоения на 10,2 %) и 0,19 г/кг, что подтверждает необходимость точного дозирования. Положительное действие добавки связано с улучшением доступности ионизированного калия в кишечнике за счет снижения его связывания с пищевыми волокнами. Полученные данные демонстрируют потенциал каолинита для оптимизации калиевого обмена у животных при правильном подборе до-

зировки. Контрольная группа сохраняла стабильные показатели натриевого обмена (экскреция 19,75–19,77 г/сутки, усвоение 17,39–17,41 г/сутки) благодаря физиологическим механизмам регуляции. В I опытной группе (0,17 г/кг) каолинит снизил экскрецию натрия на 14,5 % и увеличил его усвоение на 16,5 % за счет оптимизации всасывания. Наибольший эффект наблюдался во II группе (0,18 г/кг) с уменьшением экскреции на 8,1 % и ростом усвоения на 7,4 %, что подтверждает оптимальность данной дозировки. В III группе (0,19 г/кг) эффект был менее выражен, несмотря на снижение экскреции на 14,2 %, что свидетельствует о насыщении транспортных систем. Полученные данные демонстрируют дозозависимое действие каолинита с оптимальной эффективностью при дозировке 0,18 г/кг. Контрольная группа показала стабильные показатели кальциевого обмена (экскреция 40,09–40,11 г/сут, усвоение 21,18–21,20 г/сут) благодаря гормональной регуляции. Оптимальная доза каолинита 0,18 г/кг снизила экскрецию Ca<sup>2+</sup> на 24,7 % и повысила усвоение на 46,8 %, превосходя другие дозировки. Действие добавки обусловлено сорбцией антинутриентов в ЖКТ и активацией клеточных механизмов транспорта кальция. Это обеспечивает профилактику рахита, гипокальциемии и улучшает минерализацию костей. Результаты подтверждают эффективность каолинита в 0,18 г/кг дозе для оптимизации кальциевого обмена у сельскохозяйственных животных.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Ветеринарных правил содержания крупного рогатого скота в целях его воспроизводства, выращивания и реализации | : приказ Министерства сельского хозяйства от 13 декабря 2016 г. № 551. – Текст : электронный // Документы ленты ПРАЙМ: ГАРАНТ.РУ. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71533566/> (дата обращения 20.02.2026.).
2. Влияние витадаптина на минеральный обмен у коров и телят / И. М. Донник, И. А. Шкуратова, Г. М. Топурия, Л. Ю. Топурия // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3 (59). – С. 104-106.
3. Влияние минерального премикса в рационе высокопродуктивных коров на обменные процессы в период раздоя / И. Е. Иванова, М. Г. Волынкина, О. В. Ковалева, Ю. А. Петрова // Пермский аграрный вестник. – 2018. – № 2 (22). – С. 129-134.
4. Мурленков, Н. В. Влияние «Нутракора» на воспроизводительные способности коров черно-пестрой породы / Н. В. Мурленков, К. А. Зелова // Сетевой научный журнал ОрелГАУ. – 2016. – № 2 (7). – С. 66-70.
5. Орлов, М. М. Влияние кормового концентрата лизина на расход корма, массу пищеварительных органов и химический состав мяса крупного рогатого скота / М. М. Орлов, В. В. Зайцев, Л. М. Зайцева // Инновационные достижения науки и техники АПК : сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Кинель, 2022. – С. 110-114.
6. Оценка и оптимизация минерального обмена лактирующих коров / С. Н. Белова, О. В. Смоловская, В. А. Плешков, А. В. Семечкова // Пермский аграрный вестник. – 2022. – № 3 (39). – С. 46-54.
7. Патент 2816521 С1 РФ, МПК А23К 50/10, А23К 20/00. Кормовая добавка на основе минерала каолинита для повышения резистентности и продуктивности у лактирующих коров : № 2023126449 : заявлено 16.10.2023; опубликовано 01.04.2024 / Н. М. Орлов, Н. Е. Земскова, А. Г. Мещеряков. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2816521C1/ru> (дата обращения : 20.02.2026.). – Текст : электронный.
8. Патент 3103623A1 DE, МПК А23К20/30. Mineralstoffreiches ergaenzungsfutter und dessen verwendung / Siegfried Dr. 8069 Sünzhausen Moser : № 19813103623 : заявлено 03.08.1979 : опубликовано 03.02.1981.
9. Петряков, В. В. Анализ годового изменения количественного состава микрофлоры кишечника телят голштинской породы в зависимости от сезонов года / В. В. Петряков, М. М. Орлов // Наука и инновации: векторы развития : материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых. Сборник научных статей. В 2-х книгах, Барнаул, 24–25 октября 2018 года. Том Книга 1. – Барнаул : Алтайский государственный аграрный университет, 2018. – С. 254-255
10. Самохин, С. С. Влияние уровня минерального питания на процессы пищеварения у лактирующих коров / С. С. Самохин, Н. В. Абрамков // Сетевой научный журнал ОрелГАУ. – 2017. – № 1 (8). – С. 60-63.
11. Эленшлегер, А. А. К проблеме нарушения минерального обмена веществ у коров / А. А. Эленшлегер, К. А. Афанасьев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 3 (149). – С. 143-148.

### REFERENCES

1. Ob utverzhdenii Veterinarny`x pravil soderzhaniya krupnogo rogatogo skota v celyax ego vosproizvodstva, vy`rashhivaniya i realizacii | : prikaz Ministerstva sel`skogo khozyajstva ot 13 dekabrya 2016 g. № 551. – Tekst : e`lektronny`j // Dokumenty` lenty` PRAJМ: GARANT.RU. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71533566/> (data obrashheniya 20.02.2026.).
2. Vliyanie vitadaptina na mineral`ny`j obmen u korov i telyat / I. M. Donnik, I. A. Shkuratova, G. M. Topuriya, L. Yu. Topuriya // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 3 (59). – S. 104-106.
3. Vliyanie mineral`nogo premiksa v racione vy`sokoproduktivny`x korov na obmenny`e processy` v period razdoya / I. E. Ivanova, M. G. Voly`nkina, O. V. Kovaleva, Yu. A. Petrova // Permskij agrarny`j vestnik. – 2018. – № 2 (22). – S. 129-134.
4. Murlenkov, N. V. Vliyanie «Nutrakora» na vosproizvoditel`ny`e sposobnosti korov cherno-pestroj porody` / N. V. Murlenkov, K. A. Zelova // Setevoy nauchny`j zhurnal OreIGAУ. – 2016. – № 2 (7). – S. 66-70.
5. Orlov, M. M. Vliyanie kormovogo koncentrata lizina na rasxod korma, massu pishhevaritel`ny`x organov i ximicheskij sostav myasa krupnogo rogatogo skota / M. M. Orlov, V. V. Zajcev, L. M. Zajceva // Innovacionny`e dostizheniya nauki i texniki APK : sbornik nauchny`x trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Kinel`, 2022. – S. 110-114.
6. Ocenka i optimizaciya mineral`nogo obmena laktiruyushhix korov / S. N. Belova, O. V. Smolovskaya, V. A. Pleshkov, A. V. Semechkova // Permskij agrarny`j vestnik. – 2022. – № 3 (39). – S. 46-54.
7. Patent 2816521 C1 RF, MPK A23K 50/10, A23K 20/00. Kormovaya dobavka na osnove minerala kaolinita dlya povыsheniya rezistentnosti i produktivnosti u laktiruyushhix korov : № 2023126449 : zayavleno 16.10.2023; opublikovano 01.04.2024 / N. M. Orlov, N. E. Zemskova, A. G. Meshheryakov. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2816521C1/ru> (data obrashheniya : 20.02.2026.). – Tekst : e`lektronny`j.
8. Patent 3103623A1 DE, MPK A23K20/30. Mineralstoffreiches ergaenzungsfutter und dessen verwendung / Siegfried Dr. 8069 Sünzhausen Moser : № 19813103623 : zayavleno 03.08.1979 : opublikovano 03.02.1981.

9. Petryakov, V. V. Analiz godovogo izmeneniya kolichestvennogo sostava mikroflory` kishchnika telyat golshhtinskoj porodny`v zavisimosti ot sezonov goda / V. V. Petryakov, M. M. Orlov // Nauka i innovacii: vektory` razvitiya : materialy` Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii molody`x ucheny`x. Sbornik nauchny`x statej. V 2-x knigax, Barnaul, 24–25 oktyabrya 2018 goda. Tom Kniga 1. – Barnaul : Altajskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet, 2018. – S. 254-255
10. Samoxin, S. S. Vliyanie urovnya mineral`nogo pitaniya na processy` pishhevareniya u laktiruyushhix korov / S. S. Samoxin, N. V. Abramkov // Setevoj nauchny`j zhurnal OrelGAU. – 2017. – № 1 (8). – S. 60-63.
11. E`lenshleger, A. A. K probleme narusheniya mineral`nogo obmena veshhestv u korov / A. A. E`lenshleger, K. A. Afanas`ev // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – № 3 (149). – S. 143-148.

#### Информация об авторах

1. **Орлов Николай Михайлович**, аспирант кафедры «Зоотехния», Самарский государственный аграрный университет, 446442, г. Кинель, п. г. т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, д. 2, Самарская область, Россия; <https://orcid.org/0000-0002-5681-6805>, e-mail: nicasorlow@yandex.ru.

2. **Семенов Владимир Григорьевич**, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, заведующий кафедрой морфологии, акушерства и терапии, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29, Чувашская Республика, Россия; e-mail: semenov\_v.g@list.ru.

3. **Саттаров Венер Нуруллович**, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии, географии и природопользования, Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, 450077, г. Уфа, ул. Октябрьской революции, 3-а, Республика Башкортостан, Россия; <https://orcid.org/0000-0001-6331-4398>, e-mail: wener5791@yandex.ru.

#### Information about the authors

1. **Orlov Nikolai Mikhailovich**, graduate student of the Department of Zootechnics, Samara State Agrarian University, 446442, Kinel, Ust-Kinelsky settlement, Uchebnaya st., 2, Samara region, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-5681-6805>, e-mail: nicasorlow@yandex.ru.

2. **Semenov Vladimir Grigorievich**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Head of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx St., 29, Chuvash Republic, Russia; e-mail: semenov\_v.g@list.ru.

3. **Sattarov Vener Nurulloevich**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology, Geography and Environmental Management, Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla, 450077, Ufa, st. October Revolution, 3-a, Republic of Bashkortostan, Russia; <https://orcid.org/0000-0001-6331-4398>, e-mail: wener5791@yandex.ru.

#### Вклад авторов

Орлов Н. М. – определение цели исследования, анализ результатов исследования, написание статьи.

Семенов В. Г. – корректура, написание статьи.

Саттаров В. Н. – корректура, написание статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Contribution of the authors

Orlov N. M. – determining the purpose of the study, analyzing the research results, writing an article.

Semenov V. G. – proofreading, writing the article.

Sattarov V. N. – proofreading, writing the article.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 12.01.2026. Одобрена после рецензирования 06.02.2026. Дата опубликования 31.03.2026.

The article was received by the editorial office on 12.01.2026. Approved after review on 06.02.2026. Date of publication: 31.03.2026.