

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 4. С. 310-319.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No. 4. P. 310-319.

Научная статья
УДК 636.5:591.11:631.576.4
doi:10.33284/2658-3135-108-4-310

Зоотехнические характеристики и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров при использовании кавитированных пшеничных отрубей в рационе

Святослав Валерьевич Лебедев¹, Ирина Владимировна Шаврина², Алексей Николаевич Здоров³
^{1,2,3}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹lsv74@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9485-7010>

²ira.shavrina.00@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1477-4480>

³leha.zdorov.03@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0001-7168-736X>

Аннотация. Целью настоящего исследования являлась оценка включения в рацион кавитированных пшеничных отрубей на продуктивность и биохимический статус крови цыплят-бройлеров. Объект исследования: цыплята-бройлеры кросса «Росс 308» (n=40). До двухнедельного возраста птица находилась в режиме подготовительного периода и получала основной рацион (ОР). Начиная с 15-суточного возраста, птица опытных групп I, II и III получала ОР с заменой 3 %, 6 % и 9 % зерновой части на кавитированные пшеничные отруби соответственно. Продолжительность учетного периода составляла 28 суток. Результаты исследования свидетельствуют о целесообразности включения 6 % кавитированных пшеничных отрубей в рацион бройлеров. Эффективность применения подтверждается сохранением высоких темпов роста живой массы, оптимизацией затрат корма и выраженным гипохолестеринемическим действием, которое проявлялось в достоверном снижении уровня холестерина в крови на 35 % (p=0,002). Напротив, увеличение содержания отрубей до 9 % сопровождалось снижением темпов роста (на 9 %, p=0,04), увеличением затрат корма и метаболическими сдвигами, проявляющимися в снижении уровня общего белка (на 10 %, p=0,02) и повышении активности АСТ (на 66 %, p=0,002).

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, пшеничные отруби, клетчатка, пищевые волокна, кавитация, продуктивность, метаболизм

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 25-16-00259.

Для цитирования: Лебедев С.В., Шаврина И.В., Здоров А.Н. Зоотехнические характеристики и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров при использовании кавитированных пшеничных отрубей в рационе // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 4. С. 310-319. [Lebedev SV, Shavrina IV, Zdorov AN. Zootechnical characteristics and biochemical parameters of broiler chicken blood fed with cavitated wheat bran. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(4):310-319. (In Russ)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-4-310>

Original article

Zootechnical characteristics and biochemical parameters of broiler chicken blood fed with cavitated wheat bran

Svyatoslav V Lebedev¹, Irina V Shavrina², Alexey N Zdorov³

^{1,2,3}Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹lsv74@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9485-7010>

²ira.shavrina.00@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1477-4480>

³leha.zdorov.03@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0001-7168-736X>

Abstract. The aim of this study was to evaluate the effect of including cavitated wheat bran in the diet on the productivity and blood biochemistry of broiler chickens. The object of the study: broiler chick-

ens of the Ross 308 cross ($n=40$). Until two weeks of age, the birds were in the preparatory period and received the basic diet (BD). Starting from the age of 15 days, the birds of experimental groups I, II and III received BD with 3%, 6% and 9% of the grain portion replaced by cavitated wheat bran, respectively. The duration of the accounting period was 28 days. The results of the study indicate the feasibility of including 6% cavitated wheat bran in the broiler diet. The effectiveness of the use is confirmed by maintaining high rates of live weight growth, optimization of feed costs and a pronounced hypocholesterolemic effect, which is manifested in a reliable decrease in blood cholesterol levels by 35% ($p=0.002$). On the contrary, an increase in bran content to 9% was accompanied by a decrease in growth rates (by 9%, $p=0.04$), an increase in feed costs and metabolic shifts, manifested in a decrease in the level of total protein (by 10%, $p=0.02$) and an increase in AST activity (by 66%, $p=0.002$).

Keywords: broiler chickens, wheat bran, fiber, dietary fiber, cavitation, productivity, metabolism

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 25-16-00259.

For citation: Lebedev SV, Shavrina IV, Zdorov AN. Zootechnical characteristics and biochemical parameters of broiler chicken blood fed with cavitated wheat bran. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(4):310-319. (In Russ). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-4-310>

Введение.

Максимальная реализация генетически обусловленного потенциала современных высокопродуктивных кроссов сельскохозяйственной птицы достижима исключительно при условии обеспечения сбалансированных рационов, характеризующихся оптимальным соотношением всех необходимых питательных веществ (Пономаренко Ю.А. и др., 2024; Lebedev SV et al., 2024). В условиях интенсификации птицеводства приоритетное значение приобретает расширение спектра используемых кормовых ресурсов (Голубев И.Г. и др., 2011; Bist RB et al., 2024). Одним из актуальных направлений в данном контексте является использование вторичного сырья, в частности зерноперерабатывающей промышленности (Гречкина В.В. и др., 2021; Витол И.С. и Мелешкина Е.П., 2025).

Согласно данным Всероссийского научно-исследовательского института экономики сельского хозяйства, ежегодный объем вторичных сырьевых ресурсов и отходов, образующихся в России при переработке зерна, превышает 5 млн тонн, в то время как общемировой объем, по оценкам специалистов, составляет более 230 млн тонн (Алтухов А.И., 2015; Salami SA et al., 2018). Как известно, основными видами вторичных сырьевых ресурсов данной отрасли являются мелкое зерно, кормовой зернопродукт, отруби, мучка, зародыши, лузга, кормовая дробленка и др. (Salami SA et al., 2018). Указанный объем отходов представляет собой значительный потенциал для их рециклирования и последующего использования в качестве ингредиентов при производстве кормосмесей и комбикормов (Голубев И.Г. и др., 2011).

Применяемая методика открывает путь к организации экологически безопасного и безотходного технологического цикла на предприятиях мукомольно-крупяной промышленности. Ключевыми аспектами являются экономное расходование первичных ресурсов, глубокая переработка вторичного сырья с конверсией в новые виды полезной продукции и сохранение большей части исходных питательных веществ (Куликов Д.А., 2013). Наряду с этим продукты переработки зерна представляют собой важные источники питательных веществ, включая пищевые волокна (растворимая и нерастворимая клетчатка), незаменимые аминокислоты (лизин, лейцин, треонин и др.), ряд витаминов (A, E, PP, группы B), макро- (P, K, S) и микроэлементов (Fe, Mn, Cu, Zn), комплексное воздействие которых способствует оптимизации функционального состояния желудочно-кишечного тракта; модуляции иммунного, антиоксидантного и минерального статусов сельскохозяйственных животных, что, в свою очередь, благоприятно отражается на продуктивности и качественных характеристиках продукции (Sadeghi A et al., 2015; Tejeda OJ and Kim WK, 2020; Zhang C et al., 2023). Помимо этого внедрение данной стратегии обеспечивает повышение экономической эффективности птицеводческой отрасли за счет снижения себестоимости кормов и частичной за-

мены традиционных, более дорогих, компонентов, что согласуется с концепцией экономики замкнутого цикла и способствует повышению устойчивости производства (Vlaicu PA et al., 2024).

Вместе с тем следует констатировать, что в настоящее время отмечается недостаточно данных в научной литературе, касающихся биологических эффектов применения вторичных сырьевых ресурсов зерноперерабатывающей промышленности, подвергнутых различным видам обработки, включая кавитацию, в кормлении сельскохозяйственной птицы.

Цель исследования.

Изучить влияние кавитированных пшеничных отрубей в рационе на зоотехнические характеристики и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Цыплята-бройлеры кросса «Росс 308» (ЗАО «Птицефабрика Оренбургская»).

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств "Об обращении с животными", ст. 20 (постановление МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.), протоколы Женевской конвенции и принципы надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009), Руководство по работе с лабораторными животными (http://fnccbst.ru/?page_id=3553). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов. Все процедуры над животными осуществляли в соответствии с правилами Комитета по биоэтике Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий РАН, г. Оренбург, Россия (протокол № 4 от 30.09.2024 г.).

Схема эксперимента. Работу проводили в условиях экспериментально-биологической клиники ФНЦ БСТ РАН (г. Оренбург) в октябре 2024 г. Для проведения эксперимента было отобрано 40 суточных цыплят-бройлеров кросса «Росс 308», смешанных по полу. До двухнедельного возраста птица находилась в режиме подготовительного периода и получала основной рацион (ОР) с учетом рекомендаций ВНИТИП (Егоров И.А. и др., 2019). Начиная с 15-суточного возраста, бройлеры контрольной группы (n=10) получали ОР, сбалансированный по всем питательным веществам соответственно возрастным периодам; птица I опытной группы (n=10) – ОР с заменой 3 % зерновой части на кавитированные пшеничные отруби (КПО); II опытной группы (n=10) – ОР с заменой 6 % зерновой части на КПО; III опытной группы (n=10) – ОР с заменой 9 % зерновой части на КПО. Длительность эксперимента составила 28 суток. Кавитационную обработку сырья проводили с помощью ультразвукового диспергатора.

Условия содержания контрольной и опытных групп были идентичными и соответствовали зоотехническим нормам. Температурный режим контролировался в диапазоне +23...+26 °C с помощью регулятора температуры в помещении RTR-B («S+S Regeltechnik», Германия). Режим освещения – 24 часа. Доступ к воде и корму был неограничен.

Рост цыплят оценивался на протяжении всего эксперимента путем индивидуального еженедельного взвешивания утром перед кормлением. Учет поедаемости кормов осуществляли ежедневно. На основании полученных результатов рассчитывался среднесуточный прирост, потребление корма и расход корма.

Материалом для биохимического анализа служили образцы периферической крови, которую отбирали из подкрыльевой вены (n=10) на 42-е сутки. Их отбирали в стерильные вакуумные пробирки, содержащие активатор свертывания крови («Greiner Bio-One International AG», Австрия). Образцы доставляли в лабораторию при температуре от +4 до +8 °C в течение 1 ч. Сыворотку получали центрифугированием крови при комнатной температуре (+20...+22 °C) в течение 10 мин при 1000 g.

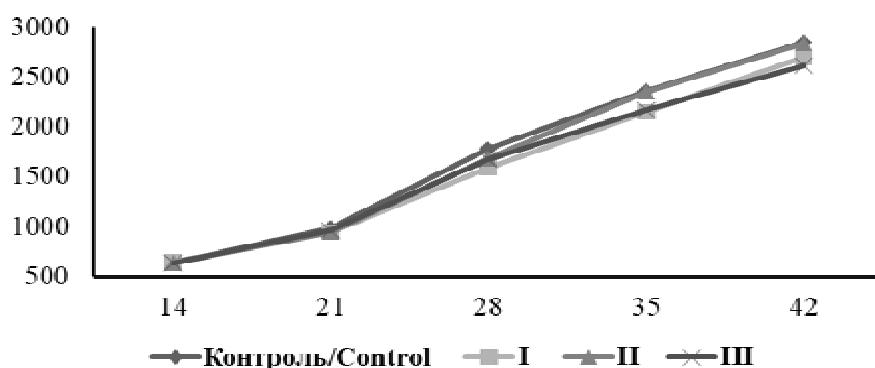
Оборудование и технические средства. Исследования выполнены с использованием приборной базы ЦКП БСТ РАН (г. Оренбург) (<http://цкп-bst.рф>). Биохимические анализы сыворотки крови проводили с использованием коммерческих реагентов в соответствии с надлежащей лабораторной практикой на анализаторе CS-T240 (Китай). Использовали ультразвуковой диспергатор Scientz-CF (Китай). Измеряли содержание глюкозы, общего белка, холестерина, аланинаминотрансферазы (АЛТ), аспартатаминотрансферазы (АСТ).

Статистическая обработка. Обработку полученных данных проводили методами вариационной статистики с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) и обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США). Проверку соответствия полученных данных нормальному закону распределения осуществляли при помощи критерия согласия Колмогорова. Гипотеза о принадлежности данных нормальному распределению была отклонена во всех случаях с вероятностью 95 %, что обосновало возможность применения непараметрических процедур обработки статистических совокупностей (U-критерий Манна-Уитни). Полученные данные представлены в виде медианы (Me) и 25-75-го квартилей (Q₂₅-Q₇₅). При всех процедурах статистического анализа рассчитывали достигнутый уровень значимости (P), критическим принимали P≤0,05.

Результаты исследования.

В ходе проведенного эксперимента не было выявлено ни одного случая падежа, сохранность птиц составила 100 % во всех исследуемых группах. Все цыплята-бройлеры были клинически здоровы, хорошо потребляли корм и воду.

На протяжении всего периода выращивания осуществлялся мониторинг динамики изменения живой массы тела цыплят-бройлеров (рис. 1).



Примечание: ** – P≤0,01 по сравнению с контролем; на рисунке представлены данные, выраженные в виде медианных значений

Note: ** – P≤0,01 compared to the control; the figure shows data expressed as median values

Рисунок 1. Динамика изменения живой массы тела цыплят-бройлеров в ходе выращивания
Figure 1. Dynamics of changes in the live body weight of broiler chickens during the growing period

В ходе анализа полученных результатов не было установлено статистически значимых различий в живой массе цыплят-бройлеров при замене зерновой части рациона на кавитированные пшеничные отруби, что позволило сделать вывод об эквивалентном влиянии данных рационов на ростовые показатели птицы. Исключением явилась опытная группа III — живая масса цыплят-бройлеров на 42-е сутки развития была статистически значимо меньше, чем в контроле на 9 % (p=0,04); абсолютный прирост был статистически значимо меньше на 12 % (p=0,05) (табл. 1).

Таблица 1. Зоотехнические показатели цыплят-бройлеров
 Table 1. Zootechnical indicators of broiler chickens

Возраст, сут / Age, day	Группа / Group			
	контроль / Control	I (3 %)	II (6 %)	III (9 %)
Абсолютный прирост, г / Absolute weight gain, g				
14-42	2 193,0 (2 008,0-2 229,0)	2 149,0 (1 869,0-2 366,0)	2 195,5 (2 019,5-2 218,0)	1 934,0 (1 861,0-2 009,0)*
Среднесуточный прирост, г/сут / Average daily weight gain, g/day				
14-42	78,3 (71,7-79,6)	78,1 (66,7-84,5)	78,4 (72,1-79,2)	69,0 (66,4-71,7)

Примечание: данные представлены в виде Me (Q₂₅-Q₇₅); * – P≤0,05 по сравнению с контролем
 Note: data are presented as Me (Q₂₅-Q₇₅); * – P≤0.05 compared to the control

Наблюдаемые отличия позволили предположить, что замена 9 % зерновой части рациона на пшеничные отруби оказывает неблагоприятное воздействие на физиологические процессы, определяющие рост и развитие цыплят-бройлеров. Анализ динамики живой массы показал высокую и соответствующую стандарту кросса интенсивность прироста у цыплят-бройлеров как в контрольной, так и в опытных группах I и II.

Учитывая высокую долю кормов в структуре себестоимости продукции птицеводства, в ходе исследования был проведен ежедневный мониторинг потребления корма цыплятами-бройлерами с целью оценки эффективности его использования (табл. 2).

Таблица 2. Потребление кормов при выращивании цыплят-бройлеров
 Table 2. Feed consumption during the rearing of broiler chickens

Возраст, сут / Age, day	Группа / Group			
	контроль / Control	I (3 %)	II (6 %)	III (9 %)
Фактическое потребление корма за период выращивания, г/гол. / Actual feed consumption during the growing period, g/head				
14-42	3994,5	4069,5	3665,0	3620,5
Затраты корма на 1 кг прироста, кг / Feed costs per 1 kg of growth, kg				
14-42	1,82	1,89	1,66	1,87

Полученные результаты показали, что замена 6 % зерновой части корма на кавитированные пшеничные отруби позволила снизить затраты на кормление при выращивании цыплят-бройлеров, повышая экономическую эффективность производства (на 8 %). В противоположность, введение пшеничных отрубей в рацион цыплят-бройлеров в концентрациях 3 % и 9 % сопровождалось увеличением затрат корма на 1 кг прироста.

С целью анализа функционального состояния органов и систем птиц на фоне введения в рацион кавитированных пшеничных отрубей был проведен биохимический анализ крови (табл. 3). Анализ углеводного и белкового обменов показал, что уровень глюкозы и общего белка в сыворотке крови у птиц всех исследуемых групп находились в пределах физиологической нормы и не имели статистически значимых отличий от контрольной группы. Исключение составила опытная группа III, в которой уровень общего белка был статистически значимо ниже, чем в контроле на 10 % (p=0,02).

Таблица 3. Биохимические показатели крови цыплят-бройлеров
Table 3. Biochemical parameters of broiler chicken blood

Показатели / Indicators	Группа / Group			
	контроль / Control	I (3 %)	II (6 %)	III (9 %)
Глюкоза, ммоль/л / <i>Glucose, mmol/l</i>	11,2 (11,08-12,02)	11,46 (10,92-12,22)	10,56 (10,1-11,16)	11,33 (10,78-11,67)
Общий белок, г/л / <i>Total protein, g/l</i>	36,79 (35,11-37,95)	36,0 (32,55-39,32)	37,54 (35,94-38,14)	33,06 (30,42-34,31)*
Холестерин, ммоль/л / <i>Cholesterol, mmol/l</i>	2,87 (2,66-3,82)	2,41 (1,96-3,18)	1,86 (1,74-1,97)**	2,81 (2,32-3,35)
АЛТ, Ед/л / <i>ALT, unit/l</i>	25,2 (22,3-29,2)	26,3 (23,0-30,4)	24,9 (18,9-33,4)	21,07 (18,3-26,9)
АСТ, Ед/л / <i>AST, unit/l</i>	137,1 (121,3-151,2)	157,5 (138,6-215,9)	173,7 (142,8-205,5)*	228,0 (212,4-247,2)**

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$ по сравнению с контролем

Note: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$ compared to the control

Проведенное исследование подтверждает общеизвестный гипохолестеринемический эффект отрубей, выраженный снижением уровня холестерина у цыплят-бройлеров опытной группы I на 16 % при сравнении с контролем, у птиц опытной группы II – на 35 % ($p=0,002$).

При исследовании активности АЛТ и АСТ в сыворотке крови птиц всех групп отклонений от физиологической нормы выявлено не было. Однако при сравнении с контролем было установлено, что активность фермента АСТ была статистически значимо больше у цыплят-бройлеров опытных групп II и III на 27 % ($p=0,04$) и 66 % ($p=0,002$) соответственно. Такое изменение активности АСТ на фоне повышенного потребления пищевых волокон (6 % и 9 %), при условии сохранения значений в пределах референта, вероятнее всего, отражает адаптационные процессы в организме цыплят, связанные с изменением рациона питания и его влиянием на микробиоту кишечника.

Обсуждение полученных результатов.

Проведенные исследования подтвердили экономическую целесообразность применения 6 % кавитированных пшеничных отрубей для частичной замены зерновых кормов в рационе бройлеров, что позволяет оптимизировать затраты на кормление и повысить рентабельность птицеводческого предприятия. Особенно актуальным представляется использование пшеничных отрубей в зерновых областях, где пшеница различных сортов занимает большую часть посевных площадей, а продукты ее переработки, включая отруби, широко доступны (Поспелова И.Н., 2020). Следует отметить, что пшеничные отруби являются богатым источником нерастворимой клетчатки (преимущественно целлюлозы, лигнина и нерастворимой гемицеллюлозы, включая арабиноксиланы) (Cui SW et al., 2013). Несмотря на то, что нерастворимая клетчатка долгое время рассматривалась как антипитательный компонент в рационах птицы, современные исследования, напротив, отмечают положительные эффекты, которые определяются комплексом физико-химических характеристик и дозировкой (Pourazadi Z et al., 2020; Shang Q et al., 2020; Feng Y et al., 2024;). Вследствие этого в последнее время научный интерес сместился в сторону технологий модификации клетчатки, где ключевое положение занимает кавитационная обработка. Данный процесс основан на физическом воздействии на кормовое сырье, приводящем к изменению структуры растительных компонентов и стерилизации готового продукта. Преобразованная в результате кавитации структура делает питательные вещества и микроэлементы растительного сырья более биодоступными, что способствует их усвоению, а также улучшает органолептические свойства и поедаемость корма.

(Bykov A et al., 2019). Важно отметить, что пшеничные отруби являются также источником растворимой клетчатки, представленной в виде бета-глюканов и растворимых форм гемицеллюлозы, которые обладают пребиотическим потенциалом и оказывают модулирующее действие на микробиоту кишечника (Shang QH et al., 2020; Kulathunga J and Islam S, 2025). Предполагается, что гипохолестеринемический эффект пищевых волокон обусловлен связыванием желчных кислот в кишечнике и увеличением их экскреции, что стимулирует синтез желчных кислот из холестерина в печени (Massa M et al., 2022). Наиболее важным практическим результатом этого является положительное влияние на продуктивные показатели, прежде всего на живую массу и среднесуточные приrostы птицы, через улучшение усвояемости корма, липидного обмена и состояния кишечника (Bakr AF and Farag MA, 2023).

Заключение.

Проведенные исследования подтвердили эффективность частичной замены зерновых компонентов рациона кавитированными пшеничными отрубями в бройлерном птицеводстве. Установлено, что введение 6% отрубей обеспечивает: сохранение плановых показателей суточного привеса, оптимизацию кормозатрат, а также выраженный гипохолестеринемический эффект, проявляющийся в достоверном снижении уровня холестерина в крови на 35 % ($p=0,002$). Увеличение содержания в рационе отрубей до 9 %, напротив, приводит к снижению темпов роста (на 9 %, $p=0,04$), увеличению затрат корма, и метаболическим сдвигам, проявляющимся в снижении уровня общего белка (на 10 %, $p=0,02$). При сравнении с контролем активность АСТ была выше на 27 % ($p=0,04$) в опытной группе II и на 66 % ($p=0,002$) – в опытной группе III.

Список источников

1. Алтухов А.И. Зерноперерабатывающая промышленность России: проблемы и пути их решения // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 5. С. 2-10. [Altukhov AI. Zernopererabatyvayushchaya promyshlennost Rossii: problemy i puti ikh resheniya. Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi selskokhozyaistvennoi akademii. 2015;5:2-10. (In Russ.)].
2. Витол И.С., Мелешкина Е.П. Ферментативные гидролизаты зерна и продуктов его переработки. Обзор предметного поля // Пищевые системы. 2025. Т. 8. № 1. С. 144-152. [Vitol IS, Meleshkina EP. Enzymatic hydrolysates of grain and products of its processing. A review of the subject field. Food Systems. 2025;8(1):144-152. (In Russ.)]. doi: 10.21323/2618-9771-2025-8-1-144-152
3. Влияние химической обработки на повышение питательности веществ какаовеллы, модель «*in vitro*» / В.В. Гречкина, С.А. Медведев, С.В. Лебедев, Е.В. Шейда, И.В. Маркова // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104. № 3. С. 104-113. [Grechkina VV, Medvedev SA, Lebedev SV, Sheida EV, Markova IV. The effect of chemical treatment on increasing the nutritional value of cocoa husks in "in vitro" model. Animal Husbandry and Fodder Production. 2021;104(3):104-113. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-104-3-104
4. Куликов Д.А. Перспективные направления применения побочных продуктов переработки крупяных культур // Cloud of science. 2013. № 2. С. 29-32. [Kulikov DA. Perspektivnye napravleniya primeneniya pobochnykh produktov pererabotki krupyanikh kul'tur. Cloud of Science. 2013;(2):29-32. (In Russ.)].
5. Пономаренко Ю.А., Фисинин В.И., Егоров И.А. Научные основы сбалансированного кормления животных. М.: «Издательство «Перо», 2024. 692 с. [Ponomarenko YuA, Fisinin VI, Egorov IA. Nauchnye osnovy sbalansirovannogo kormleniya zhivotnykh. Moscow: Izdatelstvo «Pero»; 2024:692 p. (In Russ.)].
6. Поспелова И.Н. Типы развития зерновой отрасли по регионам России // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2020. Т. 49. № 10-2. С. 154-157. [Pospelova IN. Types of development of the grain industry in the regions of Russia. International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2020;49(10-2):154-157. (In Russ.)]. doi: 10.24411/2500-1000-2020-11137

7. Рециклинг отходов в АПК: справочник / И.Г. Голубев, И.А. Шванская, Л.Ю. Коноваленко, М.В. Лопатников. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. 296 с. [Golubev IG, Shvanskaya IA, Konovalenko LYu, Lopatnikov MV. Retsikling otkhodov v APK: spravochnik. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh»; 2011:296 p. (*In Russ.*)].
8. Руководство по кормлению сельскохозяйственной птицы: метод. руководство / И.А. Егоров, В.А. Манукян, Т.Н. Ленкова и др. Сергиев Посад: ФНЦ «ВНИТИП» РАН, 2019. 215 с. [Egorov IA, Manukyan VA, Lenkova TN et al. Rukovodstvo po kormleniyu selskokhozyaistvennoi ptitsy: metod. rukovodstvo. Sergiev Posad: FNTs «VNITIP» RAN; 2019:215 p. (*In Russ.*)].
9. Bakr AF, Farag MA. Soluble dietary fibers as antihyperlipidemic agents: a comprehensive review to maximize their health benefits. *ACS Omega*. 2023;8(28):24680-24694. doi: 10.1021/acsomega.3c01121
10. Bist RB, Bist K, Poudel S, et al. Sustainable poultry farming practices: a critical review of current strategies and future prospects. *Poultry Science*. 2024;103(12):104295. doi: 10.1016/j.psj.2024.104295
11. Bykov A, Kvan O, Gavrish I, et al. Cavitation treatment as a means of modifying the antibacterial activity of various feed additives. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2019;26(3):2845-2850. doi: 10.1007/s11356-018-3828-7
12. Cui SW, Wu Y, Ding H. The range of dietary fibre ingredients and a comparison of their technical functionality. In: Delcour J, Poutanen K, editors. *Fibre-Rich and Wholegrain Foods: Improving Quality*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition; 2013:96-119. doi: 10.1533/9780857095787.1.96
13. Feng Y, Jiao S, Zhang Y, et al. Compositional variations in wheat bran influence growth performance, nutrient retention, and cecal microbiome in broilers. *Animals*. 2024;14(23):3407. doi: 10.3390/ani14233407
14. Kulathunga J, Islam S. Wheat arabinoxylans: Insight into structure-function relationships. *Carbohydrate Polymers*. 2025;348(Pt B):122933. doi: 10.1016/j.carbpol.2024.122933
15. Lebedev SV, Kazakova TV, Marshinskaya OV, et al. Study into the effect of a combination of biocoordination compounds and a water-based probiotic on the performance of broiler chickens. *Russian Agricultural Sciences*. 2024;50(2):190-196. doi: 10.3103/S1068367424700095
16. Massa M, Compari C, Fisicaro E. On the mechanism of the cholesterol lowering ability of soluble dietary fibers: Interaction of some bile salts with pectin, alginate, and chitosan studied by isothermal titration calorimetry. *Frontiers in Nutrition*. 2022;9:968847. doi: 10.3389/fnut.2022.968847
17. Pourazadi Z, Salari S, Tabandeh MR, et al. Effect of particle size of insoluble fibre on growth performance, apparent ileal digestibility and caecal microbial population in broiler chickens fed barley-containing diets. *British Poultry Science*. 2020;61(6):734-745. doi: 10.1080/00071668.2020.1799329
18. Sadeghi A, Toghyani M, Gheisari A. Effect of various fiber types and choice feeding of fiber on performance, gut development, humoral immunity, and fiber preference in broiler chicks. *Poultry Science*. 2015;94(11):2734-2743. doi: 10.3382/ps/pev292
19. Salami SA, Agbonlahor EM, Salako AO, et al. Nutritive values of wheat bran-based broiler diet supplemented with different classes of enzymes. *Tropical Agriculture*. 2018;95(3):245-256.
20. Shang Q, Wu D, Liu H, et al. The impact of wheat bran on the morphology and physiology of the gastrointestinal tract in broiler chickens. *Animals*. 2020;10(10):1831. doi: 10.3390/ani10101831
21. Shang QH, Liu SJ, He TF, et al. Effects of wheat bran in comparison to antibiotics on growth performance, intestinal immunity, barrier function, and microbial composition in broiler chickens. *Poultry Science*. 2020;99(10):4929-4938. doi: 10.1016/j.psj.2020.06.031
22. Tejeda OJ, Kim WK. The effects of cellulose and soybean hulls as sources of dietary fiber on the growth performance, organ growth, gut histomorphology, and nutrient digestibility of broiler chickens. *Poultry Science*. 2020;99(12):6828-6836. doi: 10.1016/j.psj.2020.08.081
23. Vlaicu PA, Untea AE, Oancea AG. Sustainable poultry feeding strategies for achieving zero hunger and enhancing food quality. *Agriculture*. 2024;14(10):1811. doi: 10.3390/agriculture14101811

24. Zhang C, Hao E, Chen X, et al. Dietary fiber level improve growth performance, nutrient digestibility, immune and intestinal morphology of broilers from day 22 to 42. *Animals.* 2023;13(7):1227. doi: 10.3390/ani13071227

References

1. Altukhov AI. Grain processing industry of Russia: problems and solutions // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2015;5:2-10.
2. Vitol IS, Meleshkina EP. Enzymatic hydrolysates of grain and products of its processing. Scoping review. *Food Systems.* 2025;8(1):144-152. doi: 10.21323/2618-9771-2025-8-1-144-152
3. Grechkina VV, Medvedev SA, Lebedev SV, Sheida EV, Markova IV. The effect of chemical treatment on increasing the nutritional value of cocoa husks in "in vitro" model. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2021;104(3):104-113. doi: 10.33284/2658-3135-104-3-104
4. Kulikov DA. Promising areas of application of by-products of cereal processing. *Cloud of Science.* 2013;2:29-32.
5. Ponomarenko YuA, Fisinin VI, Egorov IA. Scientific foundations of balanced animal feeding. Moscow: Publishing house «Pero»; 2024:692 p.
6. Pospelova IN. Types of development of the grain industry in the regions of Russia. *International Journal of Humanities and Natural Sciences.* 2020;49(10-2):154-157. doi: 10.24411/2500-1000-2020-11137
7. Golubev IG, Shvanskaya IA, Konovalenko LYu, Lopatnikov MV. Waste recycling in the agro-industrial complex: reference book. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh»; 2011:296 p.
8. Egorov IA, Manukyan VA, Lenkova TN et al. Guide to feeding agricultural poultry: method. Manual. Sergiev Posad: FNC «VNITIP» RAS; 2019:215 p.
9. Bakr AF, Farag MA. Soluble dietary fibers as antihyperlipidemic agents: a comprehensive review to maximize their health benefits. *ACS Omega.* 2023;8(28):24680-24694. doi: 10.1021/acsomega.3c01121
10. Bist RB, Bist K, Poudel S, et al. Sustainable poultry farming practices: a critical review of current strategies and future prospects. *Poultry Science.* 2024;103(12):104295. doi: 10.1016/j.psj.2024.104295
11. Bykov A, Kvan O, Gavrilish I, et al. Cavitation treatment as a means of modifying the antibacterial activity of various feed additives. *Environmental Science and Pollution Research International.* 2019;26(3):2845-2850. doi: 10.1007/s11356-018-3828-7
12. Cui SW, Wu Y, Ding H. The range of dietary fibre ingredients and a comparison of their technical functionality. In: Delcour J, Poutanen K, editors. *Fibre-Rich and Wholegrain Foods: Improving Quality.* Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition; 2013:96-119. doi: 10.1533/9780857095787.1.96
13. Feng Y, Jiao S, Zhang Y, et al. Compositional variations in wheat bran influence growth performance, nutrient retention, and cecal microbiome in broilers. *Animals.* 2024;14(23):3407. doi: 10.3390/ani14233407
14. Kulathunga J, Islam S. Wheat arabinoxylans: Insight into structure-function relationships. *Carbohydrate Polymers.* 2025;348(Pt B):122933. doi: 10.1016/j.carbpol.2024.122933
15. Lebedev SV, Kazakova TV, Marshinskaya OV, et al. Study into the effect of a combination of biocoordination compounds and a water-based probiotic on the performance of broiler chickens. *Russian Agricultural Sciences.* 2024;50(2):190-196. doi: 10.3103/S1068367424700095
16. Massa M, Compari C, Fisicaro E. On the mechanism of the cholesterol lowering ability of soluble dietary fibers: Interaction of some bile salts with pectin, alginate, and chitosan studied by isothermal titration calorimetry. *Frontiers in Nutrition.* 2022;9:968847. doi: 10.3389/fnut.2022.968847
17. Pourazadi Z, Salari S, Tabandeh MR, et al. Effect of particle size of insoluble fibre on growth performance, apparent ileal digestibility and caecal microbial popula-

- tion in broiler chickens fed barley-containing diets. *British Poultry Science*. 2020;61(6):734-745. doi: 10.1080/00071668.2020.1799329
18. Sadeghi A, Toghyani M, Gheisari A. Effect of various fiber types and choice feeding of fiber on performance, gut development, humoral immunity, and fiber preference in broiler chicks. *Poultry Science*. 2015;94(11):2734-2743. doi: 10.3382/ps/pev292
19. Salami SA, Agbonlahor EM, Salako AO, et al. Nutritive values of wheat bran-based broiler diet supplemented with different classes of enzymes. *Tropical Agriculture*. 2018;95(3):245-256.
20. Shang Q, Wu D, Liu H, et al. The impact of wheat bran on the morphology and physiology of the gastrointestinal tract in broiler chickens. *Animals*. 2020;10(10):1831. doi: 10.3390/ani10101831
21. Shang QH, Liu SJ, He TF, et al. Effects of wheat bran in comparison to antibiotics on growth performance, intestinal immunity, barrier function, and microbial composition in broiler chickens. *Poultry Science*. 2020;99(10):4929-4938. doi: 10.1016/j.psj.2020.06.031
22. Tejeda OJ, Kim WK. The effects of cellulose and soybean hulls as sources of dietary fiber on the growth performance, organ growth, gut histomorphology, and nutrient digestibility of broiler chickens. *Poultry Science*. 2020;99(12):6828-6836. doi: 10.1016/j.psj.2020.08.081
23. Vlaicu PA, Untea AE, Oancea AG. Sustainable poultry feeding strategies for achieving zero hunger and enhancing food quality. *Agriculture*. 2024;14(10):1811. doi: 10.3390/agriculture14101811
24. Zhang C, Hao E, Chen X, et al. Dietary fiber level improve growth performance, nutrient digestibility, immune and intestinal morphology of broilers from day 22 to 42. *Animals*. 2023;13(7):1227. doi: 10.3390/ani13071227

Информация об авторах:

Святослав Валерьевич Лебедев, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертизы, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8-912-345-87-38.

Ирина Владимировна Шаврина, лаборант-исследователь Испытательного центра ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 8-922-885-64-74.

Алексей Николаевич Здоров, лаборант-исследователь Испытательного центра ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 8-987-87-41-23.

Information about the authors:

Svyatoslav V Lebedev, Dr. Sci. (Biology), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Leading Researcher, Laboratory Biological Tests and Examinations, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 460000, Orenburg, 29, 9 Yanvarya St., tel.: 8-912-345-87-38.

Irina V Shavrina, Laboratory researcher of the Common Use Center, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, cell.: 8-922-885-64-74.

Alexey N Zdorov, Laboratory researcher of the Common Use Center, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, cell.: 8-987-87-41-23.

Статья поступила в редакцию 27.10.2025; одобрена после рецензирования 24.11.2025; принятая к публикации 15.12.2025.

The article was submitted 27.10.2025; approved after reviewing 24.11.2025; accepted for publication 15.12.2025.