

Биодоступность нутриентов рационов приматов на основе люпина белого

Н. В. Гапонов

Всероссийский НИИ люпина – филиала ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», п. Мичуринский,
Брянская область, Россия
E-mail: nv.1000@bk.ru

Аннотация. Цель – изучить биохимический состав белого люпина (*Lupinus albus* L.) сорта Дега и провести сравнительный анализ с основными культурами семейства бобовых (*Fabaceae*) как источников с высоким содержанием растительного протеина. **Методы исследования.** В статье поднимается актуальный вопрос применения альтернативного источника протеина из белого люпина (*Lupinus albus* L.) с высокой биологической ценностью для кормления приматов (*Macaca mulatta*) в современных экономических условиях. **Научная новизна** заключается в том, что белый люпин благодаря своим питательным свойствам и в сочетании с другими ингредиентами комбикорма способствует созданию высококачественного корма, эффективному преобразованию питательных веществ и улучшению экономических результатов при содержании приматов. **Результаты.** Результатами эксперимента подтверждается, что применение белого люпина в структурах полнорационных комбикормов позволяет улучшить питательную ценность рационов. Особое внимание уделено оценке биодоступности питательных веществ белого люпина (*Lupinus albus* L.) в организме приматов *M. mulatta*. Установлено, что включение в структуру рациона белого люпина в количестве 10 % позволило улучшить переваримость сырого протеина на 5,5 %, сырого жира – на 0,99 %, сырой клетчатки – на 1,84 %. Включение в структуру рациона белого люпина в количестве 20 % позволило улучшить переваримость сырого протеина на 9,28 %, сырого жира – на 6,5 %, сырой клетчатки – на 5,98 %. Экономический эффект также значителен: включение 10 % люпина снижает стоимость комбикорма на 4,35 %, а при содержании в 20 % экономия достигает 14,49 % на 1 кг полнорационного комбикорма. В экспериментах с приматами использование белого люпина показало существенное сокращение затрат питательных веществ на 1 гол.: в группе с 20 % люпина расходы энергии, сырого и переваримого протеина снизились соответственно на 48,8 %, 47,22 % и 51,3 %, а при содержании 10 % – на 25 %, 26,38 % и 39,2 %. Таким образом, интеграция белого люпина в рационы нечеловекообразных приматов демонстрирует существенное повышение питательной ценности и снижение расходов на их содержание, не нарушая физиологический статус *M. mulatta*.

Ключевые слова: белый люпин, приматы, алкалоидность, питательность, биодоступность, обменная энергия, переваримость, экстраполяция

Для цитирования: Гапонов Н. В. Биодоступность нутриентов рационов приматов на основе белого люпина // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 06. С. 887–899. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-887-899>.

Дата поступления статьи: 12.02.2025, **дата рецензирования:** 31.03.2025, **дата принятия:** 21.05.2025.

Bioavailability of nutrients in primate diets based on white lupine

N. V. Gaponov

All-Russian Lupine Scientific Research Institute – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Michurinskiy settlement, Bryansk region, Russia

E-mail: nv.1000@bk.ru

Abstract. The purpose is to study the biochemical composition of white lupine (*Lupinus albus* L.) of the Degas variety and to conduct a comparative analysis with the main crops of the legume family (Fabaceae) as sources with a high content of vegetable protein. To study the bioavailability of nutrients of white lupine in the composition of complete compound feeds for non-human primates - rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) – and to estimate the cost of production of complete compound feed based on lupine, as well as the cost of metabolic energy and other essential nutrients per 1 head per day. **Research methods.** The article raises the urgent issue of using an alternative protein source from white lupine (*Lupinus albus* L.) with high biological value for feeding primates (*Macaca mulatta*) in modern economic conditions. **The scientific novelty** lies in the fact that white lupine, due to its nutritional properties and in combination with other feed ingredients, contributes to the creation of high-quality feed, effective nutrient conversion and improved economic results in breeding primates. **Results.** In the current conditions, it is important to optimize diets using white lupine as the main source of plant protein with high biological availability and its effect on the physiological status of primates. **The results** of the experiment confirm that the use of white lupine in the structures of complete compound feeds can improve the nutritional value of diets. Special attention is paid to the assessment of the bioavailability of nutrients of white lupine (*Lupinus albus* L.) in the body of *M. mulatta* primates. It was found that when white lupine was included in the diet structure in an amount of 10 %, it improved the digestibility of crude protein relative to the control group by 5.5 %, crude fat by 0.99 %, and crude fiber by 1.84 %. When white lupine was included in the diet structure in an amount of 20 %, it improved the digestibility of crude protein relative to the control group by 9.28 %, crude fat by 6.5 %, and crude fiber by 5.98 %. The economic effect is also significant: the inclusion of 10 % lupine reduces the cost of compound feed by 4.35 %, and with a 20 % content, savings reach 14.49 % per 1 kg of complete compound feed. In experiments with primates, the use of white lupine showed a significant reduction in nutrient costs by 1 head: in the group with 20 % lupine, energy, raw and digestible protein costs decreased by 48.8 %, 47.22 % and 51.3 %, respectively, and with a content of 10 % – by 25 %, 26.38 % and 39.2 %. Thus, the integration of white lupine into the diets of non-human primates demonstrates a significant increase in nutritional value and a reduction in maintenance costs, without violating the physiological status of *M. mulatta*.

Keywords: white lupine; primates; alkaloidity; nutritional value; bioavailability; metabolic energy; digestibility; extrapolation

For citation: Gaponov N. V. Bioavailability of nutrients in primate diets based on white lupine. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (06): 887–899. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-887-899>. (In Russ.)

Date of paper submission: 12.02.2025, **date of review:** 31.03.2025, **date of acceptance:** 21.05.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

На текущий момент фактически отсутствует актуальная информация о применении белого люпина в полнорационных комбикормах для приматов. Важной особенностью этих млекопитающих является разнообразие строения их пищеварительной системы, что у приматов отличается особой уникальностью и вариативностью даже внутри одного вида. Например, макаки-резусы (*Macaca mulatta*) характеризуются смешанным типом питания, сочетая признаки как фругофагов, так и всеядных (*frugivores* и *omnivores*) [1–3]. Лабораторные нечеловекообразные приматы благодаря способности

к всеядному питанию представляют значительный интерес в научных исследованиях в качестве биологических моделей, поскольку их пищевые предпочтения и особенности пищеварения схожи с человеческими. Это позволяет экстраполировать результаты использования люпина в кормлении приматов на питание человека, что важно, поскольку внедрение белого люпина в пищевую промышленность сталкивается с препятствиями из-за того, что эта культура считается относительно новой и не включена в нормативные документы, такие как СанПиН 2.3.2.1078-03 и действующие технические регламенты [4; 5].

Люпин выделяется среди бобовых (Fabaceae, или Leguminosae) своей высокой питательной ценностью. Белый люпин сорта Дега превосходит кормовые бобы, горох и вику по содержанию белка на 10 % и более, что делает его ценным компонентом в рационах для приматов [6; 7].

Создание рационов кормления для приматов (например, макак, таких как (*Macaca mulatta*) требует изучения их естественной кормовой базы в дикой природе. Это необходимо для разработки полнорационных комбикормов и рационов кормления, максимально соответствующих их естественным потребностям. В последнее время на основе международных исследований, включая собственные работы автора настоящей статьи, стали разрабатываться комбикорма из сельскохозяйственных культур, способные заменить естественные рационы, обеспечивая оптимальное сбалансированное кормление в неволе [8–11].

Биодоступность питательных веществ в кормах – сложный процесс, подверженный множеству влияний различных физико-химических, биологических и технологических факторов. Для оптимизации биодоступности необходимо проводить комплексные исследования и применять современные технологии обработки кормов, а также учитывать индивидуальные особенности пищеварения. Исследования показывают, что обработка и хранение люпина (*Lupinus albus* L.) существенно меняют его питательную ценность и усвояемость. Различия в биодоступности питательных веществ наблюдаются и у разных видов животных, что зависит от возраста, пола, физиологического состояния и других факторов. Каждый вид приматов имеет свои особенности пищеварительной системы, что влияет на эффективность усвоения различных кормов и питательных веществ. Например, некоторые приматы являются травоядными и обладают специализированными микробиомами, которые помогают им переваривать клетчатку и другие сложные углеводы, поступающие с растительной пищей. Так, биодоступность углеводов, белков, жиров, витаминов и минералов может варьироваться, что требует точного учета их реактивности и присутствия в рационах. Вопрос о необходимости точной оценки биодоступности питательных веществ рационов остается актуальным: важно ли знать абсолютные значения или достаточно относительной оценки по биохимическому составу? Ответ на этот вопрос однозначен: для обеспечения здоровья и нормального функционирования организма животных и человека необходимо проводить точные количественные измерения. Это критически важно как для расчета суточной потребности в нутриентах, так и для компенсации естественных потерь [12–14].

В связи с изложенным актуальность данного исследования заключается в значительном на-

учном потенциале и практической ценности для подтверждения рациональности включения белого люпина, содержащего 0,02 % алкалоидов, в состав полноценных комбикормов для приматов – макак-резусов (*Macaca mulatta*), рассматриваемых как биологические модели для исследований.

Цель исследования – изучить биохимический состав белого люпина (*Lupinus albus* L.) сорта Дега и провести сравнительный анализ с основными культурами семейства бобовых (*Fabaceae*) как источников с высоким содержанием растительного протеина; изучить биодоступность питательных веществ белого люпина в составе полнорационных комбикормов для нечеловекообразных приматов – макак-резусов (*Macaca mulatta*) – и оценить себестоимость производства полнорационного комбикорма на основе люпина, а также расходы обменной энергии и других основных питательных веществ на 1 голову в сутки.

Методология и методы исследования (Methods)

Эксперимент проводился на приматах вида *Macaca mulatta* в условиях ФГБНУ «НИИ медицинской приматологии» (г. Сочи, Краснодарский край). Объектами исследования являлись макаки-резусы из питомника обезьян данного института. Для опытов использовали конвенциональных животных (категория I), содержащихся в открытой системе. Для эксперимента сформировали три группы по пять особей каждая, схожих по виду, происхождению, возрасту и полу согласно общепринятым методам проведения научных исследований. Группы различались рационами кормления, приматы содержались в индивидуальных приматологических клетках (рис. 1).

Макак-резусов (*Macaca mulatta*) кормили полнорационными комбикормами, питательность которых была рассчитана в соответствии с ГОСТ 34566-2019. Концентрации питательных веществ в рационах основывались на собственных исследованиях автора, а также на зарубежных работах, проведенных на других видах приматов [15; 16]. Балансовые опыты позволили определить переваримость питательных веществ и усвояемость корма. При проведении исследований были учтены следующие показатели:

- зоотехнические: сохранность поголовья, живая масса животных за весь период опыта, расход кормов;
- физиолого-биохимические аспекты: биохимический состав кормов, содержание азота и других веществ в кале, обменная энергия.

Эксперименты на нечеловекообразных приматах (рис. 2) проводились в соответствии с требованиями руководства по содержанию лабораторных животных, Хельсинкской декларации (2000) и Директивы ЕС 2010/63/ЕС. Исследование было одобрено биоэтической комиссией ФГБНУ «НИИ медицинской приматологии».



Рис. 1. Приматологические клетки
Fig. 1. Primatological cells



Рис. 2. Экспериментальное животное
Fig. 2. Experimental animal

Контрольная группа получала комбикорм собственного производства, использовавшийся в ФГБНУ «НИИ медицинской приматологии». В опытных рационах часть кормов растительного и животного происхождения была заменена нативным белым люпином (*Lupinus albus* L.).

Во второй опытной группе в структуре полнорационного комбикорма нативный белый люпин содержался в количестве 10 %. Замещены нативным люпином шрот соевый и подсолнечниковый на 50 %.

В третьей опытной группе доля включения нативного белого люпина составила уже 20 % от общего объема комбикорма. Замещены нативным люпином жмых соевый, подсолнечниковый и кукуруза на 50 %, рыбная мука и сухое молоко – на 50 % (таблица 1).

Содержание алкалоидов в зерне белого люпина сорта Дега определяли в лаборатории физиологии

растений ВНИИ люпина – филиала ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса».

Чтобы изучить процесс усвоения питательных веществ, был проведен балансовый (физиологический) эксперимент по оценке переваримости рационов на основе люпина.

В физиологическом эксперименте исследовались биодоступность питательных веществ и скорость роста самцов макак-резусов. Эксперимент был разделён на два периода.

На первом этапе в течение 5 дней проводилось подготовка животных к содержанию в клетках. Клетки равномерно расставляли по всей длине вивария, оставляя технологические проходы между ними. Помещение было продезинфицировано и тщательно просанировано перед размещением *Macaca mulatta*. Режим кормления приматов в опытной и контрольных группах был одинаковым.

Таблица 1
Схема научного опыта

Группа	Структура рецептов корма
1 – контрольная	ОР – основной рацион
2 – опытная	ОР – люпин белый 10 %. Замещены люпином шрот соевый и подсолнечниковый на 50 %
3 – опытная	ОР – люпин белый 20 %. Замещены люпином жмых соевый, подсолнечниковый и кукуруза на 50 %, рыбная мука и сухое молоко – на 50 %

Table 1
The scheme of scientific experience

Group	The structure of feed recipes
1 – control	BD – basic diet
2 – experienced	BD – white lupine is 10 %. Replaced with lupine: soybean meal and sunflower meal by 50 %
3 – experienced	BD – white lupine is 20 %. Replaced with lupine: soy cake, sunflower and corn by 50 %, fish meal and milk powder by 50 %

На втором этапе на протяжении 5 дней подробно учитывались потребление корма и выделения. Кал собирали ежедневно утром и вечером, взвешивали и гомогенизировали. Из каждой порции бралось по 50 % для анализа; образцы кала хранились в холодильнике. По окончании учетного периода определялась исходная влажность высушенных проб при температуре 60–70 °C до постоянной массы. Остатки корма регулярно подсчитывали, из них формировали среднюю пробу размером в 5 %, после чего проводился биохимический анализ для определения уровня питательной ценности. При этом уровень полезных веществ в данной остаточной массе существенно отличался от заявленного состава основного корма. Эти данные использовались для расчета общих затрат корма и содержания протеина, жира, клетчатки, БЭВ (безазотистых экстрактивных веществ), кальция (Ca) и фосфора (P) на весь эксперимент.

Для оценки химического состава белого люпина и полнорационного комбикорма были проведены биохимические исследования на двух устройствах: автоматизированном жидкостном хроматографе Agilent 1100 с детектором на основе диодной матрицы (производства Agilent Technologies, США) и спектральном анализаторе кормов ИНФРАСКАН-М 4200, разработанном российским производителем ООО «ЭКАН» НПП (Санкт-Петербург). Принцип работы последнего заключается в измерении интенсивности отраженного оптического излучения от образца, расчете спектральных показателей отражения и последующем определении массовых долей компонентов.

Полученные данные подвергли статистической обработке в программном обеспечении GraphPad Prism 8.0 (США), представляя результаты в виде средних значений и соответствующих стандартных ошибок. Для определения статистической значимости различий между группами использовали однофакторный дисперсионный анализ с последующим

применением коррекций Бонферрони (по методу Тьюки) и коррекций Сидака для множественных сравнений. Уровень статистической значимости был установлен на $p < 0,05$.

Результаты (Results)

В качестве белкового компонента в комбикормах используются зернобобовые культуры: соя, люпин, горох, вику и кормовые бобы. По сравнению с злаковыми культурами они отличаются значительным содержанием протеина и жиров; уступают лишь по уровню углеводов.

Изучение биохимического состава белого люпина и основных источников растительного протеина бобовых культур, представленных в таблице 2, позволило установить, что содержание сухого вещества в белом люпине, как и в кормовых бобах, вике яровой, горохе и сое, было примерно на одном уровне. Содержание сырого протеина в белом люпине оказалось выше, чем в кормовых бобах, вике яровой, горохе и сое, на 12,78 %, 13,68 %, 16,48 % и 5,88 % соответственно. Содержание сырого жира в зерне белого люпина было многократно больше, чем в кормовых бобах, вике яровой и горохе, в 5–6 раз, но по отношению к сое содержание жира было меньше на 7,71 %. Содержание линолевой кислоты в люпине превышало аналогичный показатель в кормовых бобах и вике яровой на 0,94 % по отношению к гороху – больше на 0,83 %, в то время как по отношению к сое содержание линолевой кислоты было меньше в 5,9 раза. Содержание сырой клетчатки в зерне белого люпина превысило таковое в кормовых бобах, вике яровой, горохе и сое на 8,48 %, 7,61 %, 7,41 % и 6,21 % соответственно. Высокое содержание клетчатки в зерне белого люпина негативно сказывается на переваримости питательных веществ в рационах. Поэтому при включении люпина в состав полнорационных комбикормов для моногастричных необходимо контролировать и не допускать превышения ее концентрации. Перед использованием люпина в рационах рекомендуется

подвергать его технологической обработке и снижать оболочку, что позволяет в большем объеме включать люпин в структуру рационов кормления моногастричных. Содержание крахмала в белом люпине было меньше, чем в кормовых бобах, вике яровой и горохе, на 30,47 %, 27,53 % и 18,17 % соответственно, но по отношению к сое содержание крахмала в люпине было выше на 8,41 %. В структуре зерна люпина содержание сахара было выше по сравнению с кормовыми бобами и викой яровой на 2,81 % и 3,08 % соответственно, но по сравнению с горохом и соей содержание сахара было меньше на 2,11 % и 1,89 % соответственно. Содержание неорганической части (сырой золы, кальция, калия и фосфора) в белом люпине находилось примерно на одном уровне с показателями представленных бобовых культур. Содержание обменной энергии в белом люпине было выше, чем в кормовых бобах, вике яровой, горохе и сое, на 20,93 %, 18,83 %, 15,94 % и 5,94 % соответственно. Высокая энергетическая питательность белого люпина связана с лучшей биодоступностью питательных веществ из рациона, что и подтверждает наш эксперимент. По данным некоторых авторов, переваримость люпина и рыбной муки сопоставима [17–19].

Проведенный сравнительный анализ полученных данных биохимического состава бобовых культур (Fabaceae) свидетельствует о том, что содержание протеина и иных нутриентов в белом люпине значительно выше по сравнению с другими бобовыми культурами. Такая особенность делает люпин перспективным компонентом для использования в структуре полнорационных комбикормов, способным обеспечивать до 90 % общей потребности приматов в качественном протеине растительного происхождения.

Понимание процессов переваривания и усвоения питательных веществ, а также особенности различных видов приматов позволяют организовать рацион, способствующий их здоровью и оптимизации экономических показателей содержания. Важным аспектом является создание сбалансированного рациона, который обеспечивает достаточное количество питательных элементов. Для этого следует включать в рационы разнообразные виды кормов и добавок, что позволяет избежать дефицита отдельных микро- и макроэлементов и делает питание более сбалансированным и полноценным, как показано в таблице 3.

Таблица 2
Химический состав и энергетическая ценность зернобобовых культур % ($X \pm Se$)

Показатели	Люпин белый (Дега)	Бобы кормовые	Вика яровая	Горох	Соя
Сухое вещество	87,00 ± 0,81	87,00 ± 0,87	86,00 ± 1,02	88,00 ± 1,10	86,00 ± 0,98
Сырой протеин	37,78 ± 0,27	25,00 ± 0,28	24,10 ± 0,35	21,30 ± 0,12	31,90 ± 0,54
Сырой жир	8,89 ± 0,26	1,50 ± 0,05	1,50 ± 0,08	1,80 ± 0,10	16,60 ± 0,21
Линолевая кислота	1,39 ± 0,11	0,45 ± 0,07	0,45 ± 0,01	0,56 ± 0,01	8,25 ± 0,26
Сырая клетчатка	13,21 ± 0,36	4,73 ± 0,50	5,60 ± 0,26	5,80 ± 0,30	7,00 ± 0,11
Сырая зола	3,93 ± 0,28	3,27 ± 0,22	3,40 ± 0,15	3,10 ± 0,17	4,20 ± 0,08
Крахмал	10,77 ± 0,29	41,24 ± 0,37	38,30 ± 0,12	28,94 ± 0,33	2,36 ± 0,12
Сахар	6,61 ± 0,22	3,80 ± 0,30	3,53 ± 0,16	8,72 ± 0,20	8,50 ± 0,14
Кальций	0,22 ± 0,05	0,11 ± 0,02	0,15 ± 0,01	0,13 ± 0,05	0,22 ± 0,01
Фосфор	0,35 ± 0,01	0,50 ± 0,02	0,39 ± 0,03	0,38 ± 0,02	0,64 ± 0,01
Калий	1,35 ± 0,07	1,20 ± 0,05	0,96 ± 0,01	1,02 ± 0,01	1,50 ± 0,14
ОЭ, МДж/кг	11,99 ± 0,23	9,92 ± 0,24	10,09 ± 0,01	10,34 ± 0,11	11,32 ± 0,12

Примечание. Данные приведены в виде среднего значения и стандартной ошибки.

Table 2
Chemical composition and energy value of leguminous crops % ($X \pm Se$)

Indicators	White lupine (Degas)	Beans	Spring vetch	Spring peas	Soy
Dry matter	87.00 ± 0.81	87.00 ± 0.87	86.00 ± 1.02	88.00 ± 1.10	86.00 ± 0.98
Crude protein	37.78 ± 0.27	25.00 ± 0.28	24.10 ± 0.35	21.30 ± 0.12	31.90 ± 0.54
Raw fat	8.89 ± 0.26	1.50 ± 0.05	1.50 ± 0.08	1.80 ± 0.10	16.60 ± 0.21
Linoleic acid	1.39 ± 0.11	0.45 ± 0.07	0.45 ± 0.01	0.56 ± 0.01	8.25 ± 0.26
Raw fiber	13.21 ± 0.36	4.73 ± 0.50	5.60 ± 0.26	5.80 ± 0.30	7.00 ± 0.11
Raw ash	3.93 ± 0.28	3.27 ± 0.22	3.40 ± 0.15	3.10 ± 0.17	4.20 ± 0.08
Starch	10.77 ± 0.29	41.24 ± 0.37	38.30 ± 0.12	28.94 ± 0.33	2.36 ± 0.12
Sugar	6.61 ± 0.22	3.80 ± 0.30	3.53 ± 0.16	8.72 ± 0.20	8.50 ± 0.14
Calcium	0.22 ± 0.05	0.11 ± 0.02	0.15 ± 0.01	0.13 ± 0.05	0.22 ± 0.01
Phosphorus	0.35 ± 0.01	0.50 ± 0.02	0.39 ± 0.03	0.38 ± 0.02	0.64 ± 0.01
Potassium	1.35 ± 0.07	1.20 ± 0.05	0.96 ± 0.01	1.02 ± 0.01	1.50 ± 0.14
OE, MJ/kg	11.99 ± 0.23	9.92 ± 0.24	10.09 ± 0.01	10.34 ± 0.11	11.32 ± 0.12

Note. The data is given as an average value and a standard error.

Таблица 3

Питательность полнорационных комбикормов

Показатели	Полнорационный комбикорм, (ПК)	ПК с белым люпином – 10%	ПК с белым люпином – 20 %
ОЭ, МДж	12,30	12,30	12,30
Сухое вещество, г	792,50	795,67	805,10
Сырой протеин, г	229,32	228,26	228,09
Переваримый протеин, г	206,00	200,68	199,78
Лизин, г	96,50	96,37	96,20
Метионин + цистин, г	6,53	6,68	7,19
Триптофан, г	3,35	3,09	2,94
Сырой жир, г	37,87	32,12	27,35
Сырая клетчатка, г	31,29	29,98	35,87
Кальций, г	11,99	15,21	16,79
Фосфор, г	5,07	4,24	3,06
Магний, г	2,80	2,85	3,07
Калий, г	4,61	3,51	2,85
Сера, г	2,48	3,22	4,16
Железо, мг	54,51	33,68	27,72
Медь, мг	18,20	23,05	28,76
Цинк, мг	21,27	17,74	13,72
Марганец, мг	19,75	20,71	24,01
Кобальт, мг	16,08	17,24	18,40
Йод, мг	0,28	0,26	0,18
Каротин, мг	0,64	0,47	0,38

Table 3
Nutritional value of complete compound feeds

Indicators	Complete feed, (CF)	CF with white lupine – 10 %	CF with white lupine – 20 %
OE, MJ	12.30	12.30	12.30
Dry matter, g	792.50	795.67	805.10
Crude protein, g	229.32	228.26	228.09
Digestible protein, g	206.00	200.68	199.78
Lysine, g	96.50	96.37	96.20
Methionine + lysine, g	6.53	6.68	7.19
Tryptophan, g	3.35	3.09	2.94
Crude fat, g	37.87	32.12	27.35
Crude fiber, g	31.29	29.98	35.87
Calcium, g	11.99	15.21	16.79
Phosphorus, g	5.07	4.24	3.06
Magnesium, g	2.80	2.85	3.07
Potassium, g	4.61	3.51	2.85
Sulfur, g	2.48	3.22	4.16
Iron, mg	54.51	33.68	27.72
Copper, mg	18.20	23.05	28.76
Zinc, mg	21.27	17.74	13.72
Manganese, mg	19.75	20.71	24.01
Cobalt, mg	16.08	17.24	18.40
Iodine, mg	0.28	0.26	0.18
Carotene, mg	0.64	0.47	0.38

Контрольная группа на протяжении 35 дней получала оптимизированный полнорационный комбикорм с доминирующей долей пшеницы (34,10 %). В его состав входили жмых соевый и подсолнечниковый, кукуруза и глютен – каждый по 10 %. Источниками животного белка служили

рыбная мука (6 %), яичный порошок (2 %) и сухое молоко (4 %). Для сбалансированности рациона добавлялись подсолнечное масло в объеме 0,3 % и сахар – 6 %. Дефицит кальция и фосфора восполнялся трикальцийфосфатом на уровне 3 %, а также премиксом (3,6 %).

Таблица 4

Переваримость питательных веществ корма % ($X \pm Se$)

Показатели	Группа		
	1 – контрольная	2 – опытная	3 – опытная
Протеина	49,34 ± 0,26	54,84 ± 0,53**	58,62 ± 0,17**
Жира	39,10 ± 0,28	40,09 ± 0,03	45,60 ± 0,08*
Клетчатки	19,18 ± 0,31	21,02 ± 0,18*	25,16 ± 0,28*
БЭВ	70,12 ± 1,12	78,11 ± 2,03	72,90 ± 2,03
Золы	39,23 ± 0,30	43,90 ± 0,29*	50,51 ± 0,37**
Кальция (Ca)	40,17 ± 1,94	47,16 ± 1,58*	50,10 ± 1,96
Фосфора (P)	49,19 ± 0,03	50,21 ± 0,37	57,87 ± 0,66*

Примечание. Данные получены путем усреднения 5 измерений для каждого животного и среднего значения для группы ($n = 5$).

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ по сравнению с контрольной группой. Данные приведены в виде среднего значения и стандартной ошибки.

БЭВ – безазотистые экстрактивные вещества.

Table 4

Digestibility of feed nutrients % ($X \pm Se$)

Indicators	Group		
	1 – control	2 – experienced	3 – experienced
The protein	49.34 ± 0.26	54.84 ± 0.53**	58.62 ± 0.17**
Fat	39.10 ± 0.28	40.09 ± 0.03	45.60 ± 0.08*
Fiber	19.18 ± 0.31	21.02 ± 0.18*	25.16 ± 0.28*
Nitrogen-free extractive substances	70.12 ± 1.12	78.11 ± 2.03	72.90 ± 2.03
Ashes	39.23 ± 0.30	43.90 ± 0.29*	50.51 ± 0.37**
Calcium (Ca)	40.17 ± 1.94	47.16 ± 1.58*	50.10 ± 1.96
Phosphorus (P)	49.19 ± 0.03	50.21 ± 0.37	57.87 ± 0.66*

Note. The data were obtained by averaging of 5 measurements for each animal and the average value for the group ($n = 5$).

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ compared with the control group. The data is presented as an average value and a standard error.

2-я опытная группа использовала идентичный контрольному рацион по основным компонентам. Однако в него включили белый люпин – 10 %. Это привело к частичной замене соевого и подсолнечного шрота на 50 % при сохранении остальных элементов.

3-я опытная группа: включение белого люпина (20 %) повлекло за собой значительные изменения: замещение растительных кормов – жмыха соевого, подсолнечникового и кукурузы на 50 %, а также пшеницы на 0,3 %. Кроме того, животные компоненты – рыбная мука и сухое молоко – сократились вдвое (на 50 %). Увеличение уровня обменной энергии потребовало уменьшения растительного масла до 1,2 % от общего объема. Остальной состав соответствовал контрольному варианту.

Экспериментальные группы демонстрировали различные подходы к интеграции белого люпина в кормовые смеси с целью оптимизации протеиновой и энергетической составляющей рационов, сохраняя при этом баланс основных питательных веществ.

При организации полноценного кормления приматов необходимо учитывать переваримость питательных веществ; ассимиляция питательных веществ начинается с их первоначального расщепления. Ежедневный контроль над потреблением кормов животными и химический анализ этих кормов дали возможность точно определить суточное потребление питательных веществ. Аналогично из-

учение кала и его химического состава позволило выявить объем переваренных питательных элементов и рассчитать коэффициенты их переваримости. Анализ представленных данных в таблице 4 показывает, что наивысший уровень переваримости основных питательных веществ рационов наблюдается среди приматов из опытных групп. В частности, в группе 2, где в качестве экспериментального корма использовался белый люпин, коэффициент переваримости сырого протеина превысил показатели контрольной группы на 5,5 %. В группе 3, где в рационе животных проводилось частичное замещение высокопротеиновых кормов (как животного, так и растительного происхождения) белым люпином, эффективность усвоения протеина оказалась на 9,28 % выше по сравнению с контрольной группой.

В группе приматов, участвовавших в третьем опыте, отмечается наиболее высокая переваримость сырого жира, которая на 6,5 % выше, чем в контрольной группе. Вторая опытная группа показала улучшение данного коэффициента на 0,99 % по сравнению с контрольной. В обеих опытных группах (второй и третьей) наблюдается увеличение переваримости сырой клетчатки на 1,84 % и 5,98 % соответственно. В рамках исследования было установлено, что приматы второй опытной группы усваивали БЭВ на 7,99 % эффективнее, чем контрольная группа. В третьей опытной группе коэффициент переваримости БЭВ превысил показа-

тели контрольной на 2,78 %. Также стоит отметить улучшение усвоения сырой золы в опытных группах: на 4,67 % и 11,28 % соответственно. Использование макроэлементов кальция (Ca) и фосфора (P) в опытных группах также было значительно выше. В частности, коэффициент усвоения кальция во второй группе вырос на 6,99 %, а фосфора – на 1,02 %. В третьей группе показатели составили 9,93 % для кальция и 8,68 % для фосфора.

Таким образом, включение белого люпина в состав полнорационных комбикормов для макак-резусов (*M. mulatta*) в качестве основного источника растительного протеина привело к значительному повышению переваримости основных питательных веществ. Адаптационные и протекторные свойства

организма макак-резусов (*M. mulatta*) после включения белого люпина в структуру рациона оценивались методом биохимического анализа крови по окончании эксперимента. Данные о физиологическом статусе приматов, полученные на основе результатов исследования, опубликованы в работе [20].

Было выявлено, что рост тела существенно зависит от внешних факторов в питании; ключевым показателем благоприятного воздействия люпина признается прирост живой массы приматов. После добавления белого люпина в состав полнорационных кормов отмечен значительный рост: 2-я группа показывала увеличение на треть (33,30 %) относительно контрольной группы; для 3-й опытной этот показатель составил впечатляющие 95 %.

Таблица 5
Стоимость полнорационных комбикормов, 1 кг/руб

Показатели	Группы					
	1 – контрольная		2 – опытная		3 – опытная	
	г	руб.	г	руб.	г	руб.
Жмых соевый	95	6,12	41	2,64	40	2,58
Кукуруза	100	2,66	100	2,66	51	1,36
Пшеница	331	8,20	335	8,30	337	8,35
Молоко сухое обезжиренное	30	7,26	30	7,26	10	2,42
Жмых подсолнечный	110	2,94	50	1,34	50	1,34
Глютен кукурузный	90	5,55	90	5,55	90	5,55
Сахар	85	3,38	85	3,38	84	3,34
Яичный порошок	10	3,49	10	3,49	10	3,49
Масло растительное	11	0,81	11	0,81	10	0,73
Премикс	36	3,83	36	3,83	36	3,83
Витамин С стабилизированный	6	4,05	6	4,05	6	4,05
Трикальций фосфат	30	0,74	30	0,74	30	0,74
Соль	4	0,04	4	0,04	4	0,04
Рыбная мука	62	3,10	61	3,05	30	1,50
Белый люпин	–	–	111	2,78	212	5,30
ИТОГО	1000	52,17	1000	49,90	1000	44,61

Table 5
The cost of complete feed, 1 kg/rub

Indicators	Group					
	1 – control		2 – experienced		3 – experienced	
	gr	rubles	g	rubles	g	rubles
Soy cake	95	6.12	41	2.64	40	2.58
Corn	100	2.66	100	2.66	51	1.36
Wheat	331	8.20	335	8.30	337	8.35
Skimmed milk powder	30	7.26	30	7.26	10	2.42
Sunflower cake	110	2.94	50	1.34	50	1.34
Corn gluten	90	5.55	90	5.55	90	5.55
Sugar	85	3.38	85	3.38	84	3.34
Egg powder	10	3.49	10	3.49	10	3.49
Vegetable oil	11	0.81	11	0.81	10	0.73
Premix	36	3.83	36	3.83	36	3.83
Vitamin C stabilized	6	4.05	6	4.05	6	4.05
Tricalcium phosphate	30	0.74	30	0.74	30	0.74
Salt	4	0.04	4	0.04	4	0.04
Fish meal	62	3.10	61	3.05	30	1.50
White lupine	–	–	111	2.78	212	5.30
TOTAL	1000	52.17	1000	49.90	1000	44.61

Для оценки экономической целесообразности применения люпина были рассчитаны соотношения кормовых компонентов в полнорационных комбикормах и их стоимость, что позволило определить себестоимость 1 кг комбикорма.

В составе 1 кг полнорационного комбикорма первой контрольной группы, как указано в таблице 5, пшеница фуражная занимает лидирующее положение, составляя 34,1 % (331 г) с себестоимостью 8 рублей 20 копеек за 1 кг. Основными растительными источниками белка являются соевый жмых с долей 10 % (6,12 руб.), подсолнечниковый жмых (10 %, 2,94 руб.) и кукурузный глютен (10 %, 5,55 руб.). Высокопротеиновые корма животного происхождения, несмотря на их незначительное присутствие, оказались самыми дорогими: сухое обезжиренное молоко (4 %, 7,26 руб.), яичный порошок (2 %, 3,49 руб.) и рыбная мука (6 %, 3,10 руб.) существенно влияли на общую стоимость, которая составила 52,17 руб. за 1 кг комбикорма.

Во втором опытном варианте рецептуры полнорационного комбикорма произошли изменения: ввели белый люпин, заменив 50 % соевого и подсолнечникового жмыха, что позволило снизить стоимость до 49,90 руб. за 1 кг, сохранив остальные компоненты на уровне контрольной группы.

В третьей опытной группе для макак *M. mulatta* использовали комбикорм со значительными изменениями: белый люпин заменил 50 % всех растительных и животных высокопротеиновых кормов, включая соевый и подсолнечниковый жмыхи, кукурузу, рыбную муку и сухое молоко. В итоге доля белого люпина в комбикорме составила 20 %, а стоимость 1 кг снизилась до 44,61 руб.

Большое значение в себестоимости содержания приматов имеет определение оплаты корма природом: необходимо рассчитать, сколько обменной энергии и протеина потребовала одна особь за экспериментальный период.

Таблица 6
Затраты корма на 1 гол. ($X \pm Se$)

Показатели	Группы		
	1 – контрольная	2 – опытная	3 – опытная
Живая масса, кг:			
в начале опыта	9,85 ± 1,25	9,25 ± 0,07	10,27 ± 0,85
в конце опыта	10,30 ± 1,16	9,85 ± 0,71	11,15 ± 1,18**
Стоимость кормов, 1 кг/руб	52,17	49,90	44,61
% к контролю	100	-4,35	-14,49
Затраты на 1 гол., МДж	956,70	717,5	489,21
% к контролю	100	-25,00	-48,80
Сырого протеина, кг	18,00	13,25	9,50
% к контролю	100	-26,38	-47,22
Переваримого протеина, кг	16,10	9,78	7,83
% к контролю	100	-39,20	-51,30

Примечание. Данные $p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$, по сравнению с контрольной группой. Данные приведены в виде среднего значения и стандартной ошибки.

Table 6
Feed costs per 1 head ($X \pm Se$)

Indicators	Group		
	1 – control	2 – experienced	3 – experienced
Live weight, kg:			
at the beginning of the experience	9.85 ± 1.25	9.25 ± 0.07	10.27 ± 0.85
at the end of the experience	10.30 ± 1.16	9.85 ± 0.71	11.15 ± 1.18**
The cost of feed, 1 kg/rub	52.17	49.90	44.61
% to control	100	-4.35	-14.49
Costs per 1 heab.	956.70	717.5	489.21
MJ	100	-25.00	-48.80
Crude protein, kg	18.00	13.25	9.50
% to control	100	-26.38	-47.22
Digestible protein, kg	16.10	9.78	7.83
% to control	100	-39.20	-51.30

Note. Data $p < 0.05^*$, $p < 0.01^{**}$, compared with the control group. The data is presented as an average value and a standard error.

Анализ представленных в таблице 6 данных свидетельствует о благоприятном воздействии включения белого люпина в рационы подопытных макак-резусов. В частности, самцы всех групп потребляли одинаковые объемы корма и питательных веществ на единицу массы тела в сутки, однако в опытных группах, где применялся люпин, наблюдалось значительное снижение затрат на прирост массы тела. Люпин оказал положительное влияние на обмен энергии: в третьей опытной группе затраты снизились на 48,80 % по обменной энергии, на 47,22 % по сырому протеину и на 51,3 % по переваримому протеину, что является наиболее существенным результатом. Во второй опытной группе аналогичные показатели снижения составили 25,00 %, 26,38 % и 39,20 % соответственно.

При включении белого люпина в состав полнорационных комбикормов для второй экспериментальной группы произошло значительное уменьшение стоимости 1 кг корма – на 2,27 руб. по сравнению с первой контрольной группой. В третьей опытной группе это снижение составило 7,56 руб.

Себестоимость обменной энергии также изменилась: от 3,95 руб. за 1 МДж в контрольной группе до 3,78 руб. во 2-й и 3,37 руб. в 3-й группе. Аналогичная тенденция наблюдается и в себестоимости протеина: от 0,23 руб. за 1 г в контрольной группе до 0,21 руб. во 2-й и 0,19 руб. в 3-й группе.

Таким образом, использование белого люпина в рационах самцов макак-резусов способствует существенному уменьшению потребления пита-

тельных веществ и корма на единицу прироста массы тела, что подтверждает его экономическую эффективность.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Данные, полученные в результате эксперимента, убедительно доказывают, что включение белого люпина (*Lupinus albus* L.) с алкалоидностью 0,02 % в структуру полнорационного комбикорма для нечеловекообразных приматов оказало положительное влияние на биодоступность питательных веществ рациона и привело к значительному повышению переваримости основных питательных веществ. Изученные адаптационные и протекторные свойства организма макак-резусов (*Macaca mulatta*) свидетельствуют о хорошем физиологическом статусе приматов. Использование белого люпина в рационе позволяет заменить часть белков животного происхождения растительным протеином и сбалансировать рацион по питательным веществам. Это обеспечит снижение себестоимости получаемых кормов и одновременно улучшит питательность используемых рационов. Себестоимость обменной энергии уменьшилась: от 3,95 руб. за 1 МДж в контрольной группе до 3,78 руб. во 2-й и 3,37 руб. в 3-й. Аналогичная тенденция наблюдается и в себестоимости протеина: от 0,23 руб. за 1 г в контрольной группе до 0,21 руб. во 2-й и 0,19 руб. в 3-й. Использование белого люпина позволяет снизить издержки при содержании приматов и увеличить рентабельность данного процесса. Следовательно, применение белого люпина в структуре рационов кормления приматов является целесообразным.

Библиографический список

1. Ballester D. R., Brunser O., Saitua M. T., Egana J. I., Yanez E. O., Owen D. F. Safety assessment of sweet lupine (*Lupinus albus* cv. Multolupa). II. Nine month feeding, multi-generation study in rats // Food and Chemical Toxicology. 2022. Vol. 22. Pp. 45–48.
2. Van Barneveld R. J. Understanding the nutritional chemistry of lupine (*Lupinus* spp.) seeds to improve animal husbandry efficiency // Nutrition Research Reviews. 2000. Vol. 12. Pp. 203–230.
3. Eggum B. O., Tomes G., Beams R. M., and Dutta F. U. Protein and energy estimates from rat seeds from lupine cultivars // Animal Feed Science and Technology. 2023. Vol. 43. Pp. 109–119.
4. Gaponov N. V., Yagovenko G. L. The lupine significance for forage production: lupin-and-rape concentrate as a source of valuable nutrients for animal feeding // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Agriculture, Field Cultivation, Animal Husbandry, Forestry and Agricultural Products. 2021. Vol. 723. Article number 022005. DOI: 10.1088/1755-1315/723/2/022005.
5. Гапонов Н. В. Белый люпин в полнорационных комбикормах // Адаптивное кормопроизводство. 2021. № 3. С. 60–70. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2021-3-60-70.
6. Гапонов Н. В., Анишко М. Ю., Мисникова Н. В. Питательность зерносенажной массы бинарных ценозов узколистного люпина с овсом // Кормопроизводство. 2025. № 3. С. 17–21. DOI: 10.30906/1562-0417-2025-3-17-21.
7. Chivers D. J., Hladik C. M. Morphology of the gastrointestinal tract of primates comparisons with other mammals in relation to diet // Journal of Morphology. 2023. Pp. 337–386.
8. Chen Y., Qin S., Ding Y., Wei L., Zhang J., Li H., Bu H., Lu Y., Cheng J. Reference values of clinical chemistry and hematology parameters in rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) // Xenotransplantation. 2021. Vol. 16. Pp. 496–501.

9. Grant G., Dorward P. M., Buchan W. C., Armor J. C., Pusztai A. Consumption of diets containing raw soybeans (*Glycine max*), beans (*Phaseolus vulgaris*), cowpeas (*Vigna unguiculata*) or lupine seeds (*Lupinus angustifolius*) in rats up to 700 days: effects on body composition // *British Journal of Nutrition*. 2022. Vol. 73. Pp. 17–29.
10. Mariotti F., Pueyo M. E., Tomé D. I., Mahe S. The bioavailability and postprandial uses of sweet lupine (*Lupinus albus*) flour protein similar to purified soy protein in human subjects: a study using internally ¹⁵N-labeled proteins // *The British Journal of Nutrition*. 2021. Vol. 87 (4). Pp. 315–323.
11. Millward D. J., Pacy P. J. Postprandial protein use and assessment of protein quality in humans // *Clinical Science (Colch)*. 2022. Vol. 88. Pp. 597–606.
12. Stephanie J. B., Howard B. Hematologic and serum biochemical and electrolyte values in clinically normal domestically bred rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) according to age, sex, and gravidity // *American Association for Laboratory Animal Science*. 2021. Vol 47, No 5. Pp. 528–533.
13. Guide for the care and use of laboratory animals [Электронный ресурс]. 8th ed. National Academies Press (US), 2021. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK54050> (дата обращения: 01.02.2025).
14. Duane E. U., Mary E. A., Lynne M. A., Nancy L. C., Mark S. E. Nutrient requirements of nonhuman primates. 2nd ed. 2023. Washington, D. C.: The National Academies Press, 2003. 286 p. DOI: 10.17226/9826.
15. Koo B. S., Lee D. H., Kang P., et al. Reference values of hematological, biochemical parameters in young-adult cynomolgus monkey (*Macaca fascicularis*), and rhesus monkey (*Macaca mulatta*) anesthetized with ketamine hydrochloride. // *Laboratory Animal Research*. 2021. Vol. 35, No. 1. DOI: 10.1186/s42826-019-0006-0.
16. Gaponov N. V., Nersesyan J. L., Neverova O. P. White lupine as a way to improve the biochemical and economic indicators of diets of non-great apes // *E3S Web of Conferences: International Conference “Ensuring Food Security in the Context of the COVID-19 Pandemic” (EFSC2021)*. Doushanbe, Republic of Tadjikistan, 2021. Vol. 282. Pp. 04–12.
17. Ленкова Т. Н., Зевакова В. К. Питательная ценность и антипитательные факторы семян люпина // *Птицеводство*. 2022. № 1. С. 21–23.
18. Патент № 2733291 С1 Российская Федерация, МПК А23К 10/22, А23К 40/10, А23К 50/00. Способ оптимизации полнорационного комбикорма рыбной мукой для снижения себестоимости содержания приматов: № 2019144389 / Н. В. Гапонов. Заявл. 24.12.2019; опубл. 01.10.2020.
19. Гапонов Н. В., Пигарева С. А. Влияние технологических обработок кормов их люпина на химический состав и переваримость питательных веществ дыльками бройлерами // *РацВетИнформ*. 2010. № 7. С. 22–26.
20. Гапонов Н. В. Вариабельность биохимических маркеров и показателей крови приматов при коррективке рационов кормления // *Биотехнология*. 2025. Т. 41, № 2. С. 38–47. DOI: 10.56304/S0234275825020036.

Об авторе:

Николай Васильевич Гапонов, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский НИИ люпина – филиала ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», п. Мичуринский, Брянская область, Россия; ORCID 0000-0002-5086-7943, AuthorID 1038189. E-mail: nv.1000@bk.ru

References

1. Ballester D. R., Brunser O., Saitua M. T., Egana J. I., Yanez E. O., Owen D. F. Safety assessment of sweet lupine (*Lupinus albus* cv. Multolupa). II. Nine month feeding and multi-generation study in rats. *Food and Chemical Toxicology*. 2022; 22: 45–48.
2. Van Barneveld R. J. Understanding the nutritional chemistry of lupine (*Lupinus* spp.) seeds to improve animal husbandry efficiency. *Nutrition Research Reviews*. 2000; 12: 203–230.
3. Eggum B. O., Tómes G., Beams R. M., Dutta F. U. Protein and energy estimates from rat seeds from lupine cultivars. *Animal Feed Science and Technology*. 2023; 43: 109–119.
4. Gaponov N. V., Yagovenko G. L. The lupine significance for forage production: lupin-and-rape concentrate as a source of valuable nutrients for animal feeding. *IOP conference series: earth and environmental science: Agriculture, field cultivation, animal husbandry, forestry and agricultural products Ser. 2*. Smolensk, 2021. Vol. 723. Article number 022005. DOI: 10.1088/1755-1315/723/2/022005.
5. Gaponov N. V. White lupine in whole-grain compound feeds. *Adaptive Fodder Production*. 2021; 3: 60–70. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2021-3-60-70. (In Russ.)
6. Gaponov N. V., Anishko M. Yu., Misnikova N. V. Nutritional value of the grain-bearing mass of binary cenoses of narrow-leaved lupine with oats. *Kormoproizvodstvo*. 2025; 3: 17–21. DOI: 10.30906/1562-0417-2025-3-17-21. (In Russ.)
7. Chivers D. J., Hladik C. M. Morphology of the gastrointestinal tract of primates. Comparisons with other mammals in relation to diet. *Journal of Morphology*. 2023: 337–386.

8. Chen Y., Qin S., Ding Y., Wei L., Zhang J., Li H., Bu H., Lu Y., Cheng J. Reference values of clinical chemistry and hematology parameters in rhesus monkeys (*Macaca mulatta*). *Xenotransplantation*. 2021; 16: 496–501.
9. Grant G. Dorward P. M., Buchan W. C., Armor J. C. and Pusztai A. Consumption of diets containing raw soybeans (*Glycine max*), beans (*Phaseolus vulgaris*), cowpeas (*Vigna unguiculata*) or lupine seeds (*Lupinus angustifolius*) in rats up to 700 days: effects on body composition. *British Journal of Nutrition*. 2022; 73: 17–29.
10. Mariotti F., Pueyo M. E., Tomé D. I., Mahe S. The bioavailability and postprandial uses of sweet lupine (*Lupinus albus*) flour protein similar to purified soy protein in human subjects: a study using internally ¹⁵N-labeled proteins. *The British Journal of Nutrition*. 2021; 87 (4): 315–323.
11. Millward D. J., Pacy P. J. Postprandial protein use and assessment of protein quality in humans. *Clinical Science (Colch)*. 2022; 88: 597–606.
12. Stephanie J. B., Howard B. Hematologic and serum biochemical and electrolyte values in clinically normal domestically bred rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) according to age, sex, and gravidity. *American Association for Laboratory Animal Science*. 2021; 47 (5): 528–533.
13. Guide for the care and use of laboratory animals [Internet] [cited 2025 Feb 01]. 8th ed. National Academies Press (US), 2025. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK54050>.
14. Duane E. U., Mary E. A., Lynne M. A., Nancy L. C., Mark S. E. *Nutrient requirements of nonhuman primates*. 2nd ed. 2023. Washington, D. C.: The National Academies Press, 2003. 286 p. DOI: 10.17226/9826.
15. Koo B. S., Lee D. H., Kang P., et al. Reference values of hematological, biochemical parameters in young-adult cynomolgus monkey (*Macaca fascicularis*), and rhesus monkey (*Macaca mulatta*) anesthetized with ketamine hydrochloride. *Laboratory Animal Research*. 2021; 35 (1). DOI: 10.1186/s42826-019-0006-0.
16. Gaponov N. V., Nersesyan J. L., Neverova O. P. White lupine as a way to improve the biochemical and economic indicators of diets of non-great apes. *E3S Web of Conferences: International Conference "Ensuring Food Security in the Context of the COVID-19 Pandemic" (EFSC2021)*. Doushanbe, Republic of Tadjikistan, 2021. Vol. 282. Pp. 04–12.
17. Lenkova T. N., Zevakova V. K. Nutritional value and anti-nutritional factors of lupine seeds. *Poultry*. 2022; 1: 21–23. (In Russ.)
18. Patent No. 2733291 C1 Russian Federation, IPC A23K 10/22, A23K 40/10, A23K 50/00. A method for optimizing complete fish meal feed to reduce the cost of keeping primates. Gaponov N. V. № 2019144389: 24.12.2019: (In Russ.)
19. Gaponov N. V., Pigareva S. A. The effect of technological treatments of their lupine feed on the chemical composition and digestibility of nutrients by broiler chickens. *RatsVetInform*. 2010; 7: 22–26. (In Russ.)
20. Gaponov N. V. Variability of biochemical markers and blood parameters of primates when adjusting feeding diets. *Biotehnologiya*. 2025; 41 (2): 38–47. DOI: 10.56304/S0234275825020036. (In Russ.)

Author's information:

Nikolay V. Gaponov, candidate of biological sciences, senior researcher, All-Russian Lupine Scientific Research Institute – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Michurinskiy settlement, Bryansk region, Russia; ORCID 0000-0002-5086-7943, AuthorID 1038189. E-mail: nv.1000@bk.ru