

Молекулярно-генетическая характеристика и комплексная оценка генетической и функциональной безопасности рекомбинантного штамма-продуцента IL-10 и IL-22 в составе биокорректирующего средства

В. С. Самойленко[✉], А. Ю. Криворучко, А. А. Лапина

Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия

[✉]E-mail: viktor_samoylenko_26@mail.ru

Аннотация. Целью исследования являлась комплексная оценка генетической безопасности и функциональной надежности рекомбинантных пробиотических штаммов в ветеринарной практике на примере биокорректирующего средства на основе рекомбинантного штамма *Lactobacillus plantarum* B-11007, несущего плазмидную конструкцию pLacDualIL-10/IL-22 для экспрессии иммуномодулирующих цитокинов IL-10 и IL-22. Генетическая безопасность рассматривалась с позиции стабильности плазмидных конструкций и риска их горизонтального переноса, а функциональная надежность – через воспроизводимость иммуномодулирующего эффекта. **Методы.** Исследования выполнялись в 2024–2026 гг. на базе Геномного центра Северо-Кавказского федерального университета и лаборатории Ставропольского аграрного университета. В исследовании проведена оценка вероятности горизонтального переноса плазмидной ДНК к другим бактериям с учетом филогенетической дистанции, отсутствия конъюгативных и мобилизационных генов. Выполнено моделирование условий желудочного и кишечного сегментов с использованием пепсина, панкреатина и желчных кислот для анализа деградации ДНК. Дополнительно изучались локальные иммуномодулирующие эффекты синтезируемых цитокинов на слизистую оболочку кишечника телят. **Результаты.** Установлено, что штамм характеризуется высокой структурной и функциональной стабильностью, минимальным риском межродовой передачи плазмидной ДНК и выраженным локальным иммуномодулирующим действием. Показаны укрепление барьерной функции эпителия, стимуляция синтеза антимикробных пептидов и противовоспалительный эффект при отсутствии системной циркуляции и накопления цитокинов в организме. **Научная новизна.** Впервые проведена комплексная оценка генетической биобезопасности и функциональной надежности рекомбинантного пробиотического штамма *Lactobacillus plantarum* B-11007/pLacDualIL-10/IL-22 с учетом риска горизонтального переноса, устойчивости плазмидной конструкции и локального иммуномодулирующего действия. **Выводы.** Полученные данные подтверждают безопасность и эффективность применения рекомбинантного штамма у телят и формируют научную основу для разработки биокорректирующих пробиотических средств нового поколения, направленных на целенаправленную иммуномодуляцию и повышение устойчивости кишечной микробиоты.

Ключевые слова: *Lactobacillus*, рекомбинантный пробиотик, плазмидная конструкция, IL-10, IL-22, генетическая безопасность, локальная иммуномодуляция

Для цитирования: Самойленко В. С., Криворучко А. Ю., Лапина А. А. Молекулярно-генетическая характеристика и комплексная оценка генетической и функциональной безопасности рекомбинантного штамма-продуцента IL-10 и IL-22 в составе биокорректирующего средства // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1749–1754. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1749-1754>.

Дата поступления статьи: 23.03.2026, **дата рецензирования:** 30.06.2026, **дата принятия:** 03.07.2026.

Molecular genetic characterization and comprehensive assessment of the genetic and functional safety of a recombinant IL-10 and IL-22-producing strain as part of a biocorrective agent

V. S. Samoylenko✉, A. Yu. Krivoruchko, A. A. Lapina

North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

✉E-mail: viktor_samoylenko_26@mail.ru

Abstract. The purpose of the study was to conduct a comprehensive assessment of the genetic safety and functional reliability of recombinant probiotic strains in veterinary practice using a biocorrective agent based on the recombinant strain *Lactobacillus plantarum* B-11007 carrying the plasmid construct pLacDualIL-10/IL-22 for the expression of immunomodulatory cytokines IL-10 and IL-22. Genetic safety was considered in terms of plasmid stability and the risk of horizontal gene transfer, while functional reliability was evaluated through the reproducibility of the immunomodulatory effect. **Methods.** The study was conducted in 2024–2026 at the Genome Center of the North-Caucasus Federal University and the laboratory of the Stavropol Agrarian University. The study assessed the probability of horizontal transfer of plasmid DNA to other bacteria, taking into account phylogenetic distance and the absence of conjugative and mobilization genes. Simulated gastric and intestinal conditions were performed using pepsin, pancreatin, and bile acids to evaluate DNA degradation. Additionally, local immunomodulatory effects of the synthesized cytokines on the intestinal mucosa of calves were investigated. **Results.** The strain demonstrated high structural and functional stability, a minimal risk of intergeneric plasmid DNA transfer, and pronounced local immunomodulatory activity. Strengthening of the epithelial barrier function, stimulation of antimicrobial peptide synthesis, and anti-inflammatory effects were observed, with no systemic circulation or accumulation of cytokines in the body. **Scientific novelty.** This study provides, for the first time, a comprehensive evaluation of the genetic biosafety and functional reliability of the recombinant probiotic strain *Lactobacillus plantarum* B-11007/pLacDualIL-10/IL-22, considering horizontal gene transfer risk, plasmid stability, and localized immunomodulatory activity. **Conclusion.** The obtained results confirm the safety and efficacy of the recombinant strain for use in calves and establish a scientific basis for the development of next-generation biocorrective probiotic agents aimed at targeted immunomodulation and enhancement of intestinal microbiota stability.

Keywords: *Lactobacillus*, recombinant probiotic, plasmid construct, IL-10, IL-22, genetic safety, local immunomodulation

For citation: Samoylenko V. S., Krivoruchko A. Yu., Lapina A. A. Molecular genetic characterization and comprehensive assessment of the genetic and functional safety of recombinant IL-10 and IL-22-producing strain as part of a biocorrective agent. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1749–1754. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1749-1754>. (In Russ.)

Date of paper submission: 23.03.2026, **date of review:** 30.06.2026, **date of acceptance:** 03.07.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

В условиях ветеринарной медицины особую значимость пробиотические средства приобретают при работе с молодняком крупного рогатого скота, поскольку ранний постнатальный период характеризуется незрелостью как микробиоты желудочно-кишечного тракта, так и иммунной системы. Формирование устойчивых микробных сообществ и становление механизмов врожденного и адаптивного иммунитета в этот период во многом определяют темпы роста, физиологическое развитие и резистентность животных к инфекционным и воспалительным патологиям [6].

Применение функционально активных пробиотических штаммов способствует нормализации

микробного равновесия в кишечнике, усилению барьерной функции эпителиального слоя и координации локальных иммунных реакций. В совокупности это обеспечивает оптимальные условия для адаптационных процессов в раннем онтогенезе и снижает риск развития дисбиотических и иммунопатологических состояний [2; 9].

С научной точки зрения пробиотики – это живые микроорганизмы, которые при адекватном количестве оказывают положительное влияние на здоровье хозяина. Наиболее известными пробиотическими штаммами на данный момент являются представители родов *Lactobacillus*, *Lactococcus* и *Bifidobacterium*. Они могут способствовать повышению иммунитета сельскохозяйственных животных,

а также применяются в профилактических и терапевтических целях в ветеринарной практике [2; 6; 16].

Несмотря на многообещающие преимущества пробиотиков, их широкое применение по-прежнему сопряжено с различными трудностями: вариабельность эффективности штаммов, отсутствие стандартизированных протоколов дозирования, наличие генов устойчивости к антибиотикам и неполноценное понимание специфичных для животных реакций на применение различных пробиотиков [16]. Добавление пробиотиков в корм улучшает показатели роста и усвояемости питательных веществ, значительно снижает уровень холестерина в сыворотке крови, а также снижает частоту встречаемости желудочно-кишечных патологий у молодняка [17]. В то же время использование антибиотиков в ветеринарии привело к формированию высокого уровня антибиотикорезистентных штаммов бактерий, что на сегодняшний день представляет серьезную проблему, для решения которой требуются новые стратегии, направленные на повышение результативности применения пробиотических средств.

Одним из быстро развивающихся направлений повышения эффективности пробиотиков является генная инженерия. Генетически модифицированные штаммы, несущие рекомбинантные плазмиды с генами целевых белков (например, IL-10 и IL-22) или бактериоцинов, представляют собой перспективный подход в профилактике и лечении желудочно-кишечных заболеваний в ветеринарной медицине и животноводстве [10; 13]. Плазмидные векторы обеспечивают непрерывную экспрессию целевых белков без необходимости добавления внешних индукторов, что критически важно при создании биокорректирующих средств на основе рекомбинантных штаммов [5; 10].

Важнейшим критерием оценки биокорректирующих средств на основе рекомбинантных пробиотических штаммов является их биобезопасность. Данная оценка включает анализ природы используемого микроорганизма, метод введения плазмиды в клетку-реципиента и физиологических функций целевых белков, а также подтверждение отсутствия генетической нестабильности плазмидных векторов в ходе доклинических исследований [9; 11].

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводились в 2024–2026 годах на базе Геномного центра Северо-Кавказского федерального университета. Экспериментальная работа была направлена на комплексную лабораторную оценку биологических свойств и показателей генетической безопасности разработанного биокорректирующего средства, содержащего рекомбинантный штамм *Lactobacillus plantarum* B-11007.

Оценка ключевых характеристик экспериментального образца проводилась в рамках доклинического этапа с акцентом на показатели биобезопасности, переносимости и функциональной активности

систем на основе живых микроорганизмов. Дизайн исследований формировался с учетом действующих нормативно-методических требований, включая положения ГОСТ 32644-2014 и руководства ФГБУ НЦЭСМП (2012), регламентирующие подходы к ранней оценке токсикологических и общепроизводственных параметров биологических средств.

В ходе исследования анализировали стабильность генетической конструкции и потенциальные риски, ассоциированные с применением рекомбинантных штаммов, включая вероятность горизонтального переноса генетического материала. Комплексная оценка генетической биобезопасности включала структурный анализ плазмиды pLacDualIL-10/IL-22 – выявление элементов, обеспечивающих конъюгативную мобилизацию (tra-, mob-гены, oriT); сравнительную филогенетическую характеристику микроорганизмов (*Lactobacillus plantarum*, *Escherichia coli*); моделирование устойчивости плазмидной ДНК в условиях, имитирующих желудочно-кишечный тракт: искусственный желудочный сок (pH 2,0) с пепсином (2000 Ед/мл).

Результаты (Results)

По результатам проведенного исследования вероятность горизонтального переноса плазмидной конструкции pLacDualIL-10/IL-22 от рекомбинантного штамма *Lactobacillus plantarum* B-11007 к представителям кишечной микробиоты оценивается как крайне низкая и не имеющая биологически значимого характера. Анализ возможных механизмов горизонтального переноса генетического материала (конъюгация, естественная трансформация, трансдукция) показал отсутствие эффективных путей межродовой передачи плазмидной ДНК в условиях желудочно-кишечного тракта.

В составе плазмиды не выявлены tra-гены, кодирующие белки системы бактериальной конъюгации, а также oriT-последовательность, обеспечивающая инициацию переноса ДНК. Кроме того, в генетической структуре конструкции отсутствуют mob-гены и другие элементы, участвующие в мобилизации плазмидной ДНК (таблица 1). Данные указывают на то, что исследуемая плаزمида относится к категории неконоъюгативных и немобилизуемых генетических элементов. Даже при наличии в микробном сообществе вспомогательных конъюгативных плазмид передача рассматриваемой конструкции представляется невозможной из-за отсутствия специфических сигнальных участков, распознаваемых системами переноса.

Дополнительным ограничивающим фактором выступает значительная филогенетическая дистанция между организмом-донором и потенциальными реципиентами. Бактерия *Lactobacillus plantarum* относится к грамположительным микроорганизмам с клеточной стенкой, сформированной толстым слоем пептидогликана, тогда как *Escherichia coli* является грамотрицательной бактерией, обладающей

сложной двухмембранной клеточной оболочкой и выраженным периплазматическим пространством. Существенные различия в организации клеточных оболочек и механизмах межклеточного взаимодействия существенно ограничивают возможность прямого переноса генетического материала между представителями таксономических групп *Firmicutes* и *Enterobacteriaceae*.

Вероятность естественной трансформации также оценивается как минимальная. Известно, что *Escherichia coli* не относится к числу естественно компетентных микроорганизмов и в физиологических условиях кишечной среды не обладает механизмами активного захвата внеклеточной ДНК. Дополнительным ограничивающим фактором является высокая скорость деградации свободной нуклеиновой кислоты в просвете желудочно-кишечного тракта под действием ферментов, желчных кислот и колебаний кислотности.

Моделирование условий желудочно-кишечной среды показало, что плазмидная ДНК подвергается интенсивной фрагментации в кислой среде желудка. При инкубации в искусственном желудочном соке (рН 2,0; 37 °С; пепсин 2000 Ед/мл) степень разрушения плазмидной ДНК превышала 90 % в течение первых 60–90 мин. На последующей интестинальной стадии моделирования (панкреатин 1 мг/мл, желчные кислоты 0,3 %) интактная ДНК электрофоретически не детектировалась, что свидетельствует о полной деградации плазмидного материала (таблица 2).

Трансдукционный механизм передачи также представляется биологически маловероятным. Для реализации межродовой трансдукции необходим бактериофаг, обладающий широким спектром хозяев и способный инфицировать как грамположительные лактобациллы, так и грамотрицательные

энтеробактерии. Однако фаги, обладающие подобной межтиповой специфичностью, в настоящее время не описаны. Более того, бактериофаги, инфицирующие лактобациллы и кишечную палочку, принадлежат к различным эволюционным линиям и имеют различную рецепторную специфичность.

Даже при гипотетическом попадании плазмидной ДНК в клетку потенциального реципиента ее дальнейшее функционирование представляется маловероятным. Репликативный модуль плазмиды относится к узкоспецифичным theta-репликонам, адаптированным к репликационному аппарату бактерий рода *Lactobacillus*. Отсутствие элементов широкого диапазона хозяев делает невозможной автономную репликацию данной конструкции в клетках грамотрицательных бактерий.

Дополнительным аспектом функциональной и генетической безопасности исследуемого средства является биодинамика синтезируемых интерлейкинов IL-10 и IL-22 после их высвобождения в просвет кишечника.

После перехода бактериальных клеток в метаболически активное состояние синтезируемые цитокины секретируются во внеклеточную среду либо высвобождаются при физиологическом обновлении бактериальной популяции. В просвете кишечника дальнейшая судьба данных белков определяется локальными условиями слизистой оболочки.

Интерлейкины IL-10 и IL-22 относятся к белковым молекулам со средней молекулярной массой около 17–22 кДа. В условиях кишечной среды они подвергаются частичному протеолитическому расщеплению ферментами пищеварительного тракта, взаимодействуют с муциновой матрицей и рецепторными структурами эпителиальных клеток, а также обладают ограниченным временем локальной биологической активности.

Таблица 1
Молекулярно-генетические факторы, ограничивающие горизонтальный перенос плазмидной конструкции pLacDualIL-10/IL-22

Фактор	Метод анализа	Полученный результат	Интерпретация
tra-гены	Геномный анализ	Не обнаружены	Отсутствие системы конъюгативного переноса
oriT	Анализ последовательности	Не обнаружены	Невозможность инициации переноса
mob-гены	Структурный анализ плазмиды	Не обнаружены	Плазмида немобилизуема
Филогенетическая дистанция	Таксономический анализ	Высокая	Ограничение межродовой передачи

Table 1
Molecular genetic factors limiting the horizontal transfer of the plasmid construct pLacDualIL-10/IL-22

Factor	Method of analysis	Result obtained	Interpretation
tra-genes	Genomic analysis	Not detected	Absence of a conjugative transfer system
oriT	Sequence analysis	Not detected	Inability to initiate transfer
mob-genes	Plasmid structural analysis	Not detected	Plasmid is non-mobilizable
Phylogenetic distance	Taxonomic analysis	High	Restriction of intergeneric transfer

Таблица 2

Деградация плазмидной ДНК в моделируемых условиях желудочно-кишечного тракта

Фаза моделирования	Условия	Степень деградации ДНК
Желудочная	pH 2,0; пепсин	> 90 %
Кишечная	Панкреатин + желчные кислоты	Интakтная ДНК не определяется

Table 1

Degradation of plasmid DNA under simulated gastrointestinal tract conditions

Simulation phase	Conditions	Degree of DNA degradation
Gastric	pH 2,0; pepsin	> 90 %
Intestinal	Pancreatin + bile acids	Intact DNA not detected

Функционально локальное действие интерлейкинов проявляется в снижении продукции провоспалительных медиаторов, уменьшении инфильтрации воспалительных клеток, усилении экспрессии белков плотных контактов эпителия и стимуляции синтеза антимикробных пептидов.

При этом концентрации IL-10 и IL-22, определяемые в супернатанте *in vitro*, находятся в физиологическом диапазоне и не достигают уровней, способных вызывать системные иммунологические эффекты. В плазме крови экспериментальных животных данные цитокины либо не определялись, либо обнаруживались в следовых количествах, статистически не отличающихся от контрольных значений.

Таким образом, синтезируемые интерлейкины реализуют локальный и транзитный иммунорегуляторный эффект на уровне слизистой оболочки кишечника, не накапливаются в организме и не создают дополнительных рисков биологической безопасности.

Совокупность полученных молекулярно-генетических, физиологических и экологических данных позволяет сделать вывод об отсутствии эффективных механизмов горизонтального переноса плазмидной конструкции pLacDualIL-10/IL-22 от рекомбинантного штамма *Lactobacillus plantarum* к представителям кишечной микробиоты. Риск межродовой передачи и последующей стабилизации генетической конструкции оценивается как крайне низкий и биологически незначимый, что соответствует современным требованиям генетической биобезопасности генно-инженерных пробиотических препаратов.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Проведенное исследование подтвердило высокую генетическую стабильность и биобезопасность

рекомбинантного штамма *Lactobacillus plantarum* B-11007, несущего плазмидную конструкцию pLacDualIL-10/IL-22. Анализ структуры плазмиды показал отсутствие элементов, обеспечивающих конъюгативный перенос (*tra*-гены, *oriT*, *mob*-гены), что исключает ее активную мобилизацию между микроорганизмами, а значительная филогенетическая дистанция между донором и потенциальными реципиентами кишечной микробиоты наряду с интенсивной деградацией плазмидной ДНК в условиях желудочно-кишечного тракта делает межродовой перенос крайне маловероятным. Репликативный модуль плазмиды узкоспецифичен для *Lactobacillus*, препятствуя устойчивой репликации в других бактериях, а механизмы трансдукции и естественной трансформации практически не реализуются в физиологических условиях кишечника. Синтезируемые цитокины IL-10 и IL-22 действуют локально на слизистую оболочку кишечника, взаимодействуя с рецепторами иммунных и эпителиальных клеток, регулируя воспалительный ответ, поддерживая барьерную функцию эпителия и стимулируя синтез антимикробных пептидов, при этом их концентрации соответствуют физиологическому диапазону и не вызывают системной экспозиции. Таким образом, разработанный рекомбинантный штамм демонстрирует безопасный профиль и эффективное локальное иммуномодулирующее действие, что делает его перспективной платформой для создания биокорректирующих средств нового поколения. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оценку эффективности и безопасности *in vivo* и оптимизацию технологических параметров его применения.

Библиографический список (References)

1. Wójcik W., Łukasiewicz M., Puppel K. Biogenic amines: formation, action and toxicity-a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2021; 101: 2634–2640. DOI: 10.1002/jsfa.10928.
2. Zhang M., Jiang Y., Cai M., Yang Z. Characterization and ACE inhibitory activity of fermented milk with probiotic *Lactobacillus plantarum* K25 as analyzed by GC-MS-based metabolomics approach. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2020; 30: 903–911. DOI: 10.4014/jmb.1911.11007.
3. LaFleur T. L., Hossain A., Salis H. M. Automated model-predictive design of synthetic promoters to control transcriptional profiles in bacteria. *Nature Communications*. 2022; 13: 5159. DOI: 10.1038/s41467-022-32829-5.
4. Wiggenhorn A. L., Abuzaid H. Z., Coassolo L., et al. A class of secreted mammalian peptides with potential to expand cell-cell communication. *Nature Communications*. 2023; 14: 8125. DOI: 10.1038/s41467-023-43857-0.

5. Stage M., Wichmann A., Jørgensen M., et al. Lactobacillus rhamnosus GG genomic and phenotypic stability in an industrial production process. *Applied and Environmental Microbiology*. 2020; 86: e02780-19. DOI: 10.1128/AEM.02780-19.
6. Al-Fakhrany O M., Elekhawy E. Next-generation probiotics: the upcoming biotherapeutics. *Molecular Biology Reports*. 2024; 51 (1): 505. DOI: 10.1007/s11033-024-09398-5.
7. Mimee M., Nadeau P., Hayward A., et al. An ingestible bacterial-electronic system to monitor gastrointestinal health. *Science*. 2018; 360: 915–918. DOI: 10.1126/science.aas9315.
8. Goel A., Halami P. M., Tamang J. P. Genome analysis of Lactobacillus plantarum isolated from some Indian fermented foods for bacteriocin production and probiotic marker genes. *Frontiers in Microbiology*. 2020; 11: 40. DOI: 10.3389/fmicb.2020.00040.
9. Park Y. E., Kim M. S., Shim K. W., et al. Effects of Lactobacillus plantarum Q180 on postprandial lipid levels and intestinal environment: a double-blind, randomized, placebo-controlled, parallel trial. *Nutrients*. 2020; 12: 255. DOI: 10.3390/nu12010255.
10. Kazi T. A., Acharya A., Mukhopadhyay B. C., et al. Plasmid-based gene expression systems for lactic acid Bacteria: a review. *Microorganisms*. 2022; 10: 1132. DOI: 10.3390/microorganisms10061132.
11. Xue Y., Zhang B., Wang N., et al. Oral vaccination of mice with *Trichinella spiralis* putative serine protease and murine interleukin-4 DNA delivered by invasive *Lactiplantibacillus plantarum* Elicits protective immunity. *Frontiers in Microbiology*. 2022; 13: 859243. DOI: 10.3389/fmicb.2022.859243.
12. Cavallini D., Raspa F., Marliani G., et al. Growth performance and feed intake assessment of Italian Holstein calves fed a hay-based total mixed ration: preliminary steps towards a prediction model. *Veterinary Sciences*. 2023; 10 (9): 554. DOI: 10.3390/vetsci10090554.
13. Charneco G. O., McDonnell B., Kelleher P., et al. Plasmid-mediated horizontal gene mobilisation: Insights from two lactococcal conjugative plasmids. *Microbial Biotechnology*. 2024; 17: e14421. DOI: 10.1111/1751-7915.14421.
14. Shaposhnikov L. A., Rozanov A. S., Sazonov A. E. Genome-editing tools for lactic acid bacteria: past achievements, current platforms, and future directions. *International Journal of Molecular Sciences*. 2025; 26: 7483. DOI: 10.3390/ijms26157483.
15. Nou X. A., Voigt C. A. Sentinel cells programmed to respond to environmental DNA including human sequences. *Nature Chemical Biology*. 2024; 20: 211–220. DOI: 10.1038/s41589-023-01431-1.
16. Mârza S. M., Munteanu C., Papuc I., Radu L., Purdoi R. C. The role of probiotics in enhancing animal health: mechanisms, benefits, and applications in livestock and companion animals. *Animals*. 2025; 15 (20): 2986. DOI: 10.3390/ani15202986.
17. Alayande K. A., Aiyegoro O. A., Ateba C. N. Probiotics in animal husbandry: applicability and associated risk factors. *Sustainability*. 2020; 12 (3): 1087. DOI: 10.3390/su12031087.

Об авторах:

Виктор Сергеевич Самойленко, кандидат ветеринарных наук, заведующий кафедрой зоологии и паразитологии, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия; ORCID 0009-0005-3291-1241, AuthorID 1082458. E-mail: viktor_samoylenko_26@mail.ru

Александр Юрьевич Криворучко, доктор биологических наук, заведующий базовой кафедрой генетики и селекции, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия; ORCID 0000-0003-2730-2482, AuthorID 186213. E-mail: rcvm@yandex.ru

Анастасия Александровна Лапина, специалист учебно-лабораторного комплекса медико-биологического факультета, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия; ORCID 0009-0002-5655-1170, AuthorID 1307656. E-mail: anastasija.la2018@yandex.ru

Authors' information:

Viktor S. Samoylenko, candidate of veterinary sciences, head of the department of zoology and parasitology, North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia; ORCID 0009-0005-3291-1241, AuthorID 1082458. E-mail: viktor_samoylenko_26@mail.ru

Aleksandr Yu. Krivoruchko, doctor of biological sciences, head of the basic department of genetics and breeding, North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia, ORCID 0000-0003-2730-2482, AuthorID 186213. E-mail: rcvm@yandex.ru

Anastasiya A. Lapina, specialist of the educational and laboratory complex of the faculty of medicine and biology, North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia, ORCID 0009-0002-5655-1170, AuthorID 1307656. E-mail: anastasija.la2018@yandex.ru