

ИНФЕКЦИОННЫЕ БОЛЕЗНИ И ИММУНОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

INFECTIOUS DISEASES AND ANIMAL IMMUNOLOGY



УДК 57.012.4:579.23:579.841.93

<https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-1-31-38>

Оригинальное эмпирическое исследование

Морфологическое исследование культуры *Brucella suis* при разных условиях низкотемпературного хранения

В.Р. Саитов , К.В. Юсупова ✉, Г.С. Кашеваров , Е.В. Панкова

Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, г. Казань, Российская Федерация

✉ kse.perf@gmail.com

EDN: KLCQIP

Аннотация

Введение. Бруцеллез — опасное зоонозное заболевание, опосредованно и напрямую передающееся от животных человеку. Несоблюдение ветеринарных требований и правил при содержании животных и реализации продукции животноводства может привести к возникновению стойко неблагополучной по бруцеллезу эпизоотической ситуации, предотвратить которую можно своевременным проведением вакцинации. На эффективность вакцины могут влиять различные факторы, в первую очередь — свойства вакцинного штамма, которые могут измениться в результате неблагоприятных условий (например, длительного хранения). Для нивелирования деструктивного воздействия заморозки бактериальные клетки помещают в различные среды, в таком случае важно подтвердить сохранение структур бактериальных клеток на морфологическом уровне. Однако до сих пор нет комплексных морфологических исследований влияния различных режимов низкотемпературного хранения на ультраструктуру *Brucella suis*. Цель данного исследования — провести морфологический анализ бактерий *Brucella suis* (штамм 22) для оценки специфичности влияния глубокой заморозки в различных условиях на его ультраструктуру.

Материалы и методы. Исследование проведено в 2024 г. на базе ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» (г. Казань). В качестве объекта исследований брали суспензии клеток *Brucella suis* (штамм 22), выращенных в разных условиях, проводили дегидратацию и заливку в эпоксидные смолы с последующей полимеризацией. Для ультраструктурного анализа образцы подготавливали по методике ультратонких срезов, монтировали на бленды, контрастировали и просматривали на просвечивающем электронном микроскопе. Статистическую обработку результатов исследования осуществляли в программах Statistica 6.0 и MS Excel с использованием теста Манна–Уитни, с исходным уровнем значимости $\alpha=0,05$ и последующей коррекцией уровня значимости по методу Бонферрони (до $\alpha=0,002$).

Результаты исследования. При оценке воздействия глубокой заморозки на ультраструктуру бактерий *Brucella suis* (штамм 22), выращенных в обезжиренном молоке и сахарозо-желатиновой среде, морфологических отличий от нативного штамма не обнаружено. Статистически значимые отличия от нативного штамма выявлены лишь в группе с применением лиофильной сушки, однако и эти отличия лежат в пределах стандартного отклонения.

Обсуждение и заключение. По результатам проведенного морфологического исследования воздействия глубокой заморозки на ультраструктуру бактерий *Brucella suis* (штамм 22) можно сделать вывод о предпочтительности низкотемпературного хранения в обезжиренном молоке и сахарозо-желатиновой среде. В будущем планируется исследование особенностей воздействия других условий хранения на ультраструктуру бактерий рода *Brucella* для пополнения данных в паспортах штаммов. Данная работа имеет важное практическое значение для организации коллекций микроорганизмов и разработки диагностических средств.

Ключевые слова: зооантропонозы, *Brucella suis*, вакцина, глубокая заморозка, низкотемпературное хранение, морфологический анализ, морфометрические показатели, ультраструктура бактерий

Благодарность. Авторы выражают благодарность редакции и рецензентам за внимательное отношение и указанные замечания, которые позволили повысить качество статьи, а также сотрудникам научно-вспомогательного подразделения Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук (Центр коллективного пользования электронной микроскопией) за помощь в проведении исследования.

Для цитирования. Саитов В.Р., Юсупова К.В., Кашеваров Г.С., Панкова Е.В. Морфологическое исследование культуры *Brucella suis* при разных условиях низкотемпературного хранения. *Ветеринарная патология*. 2025;24(1):31–38. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-1-31-38>

Original Empirical Research

Morphological Study of the Culture of *Brucella Suis* under Different Low-Temperature Storage Conditions

Vadim R. Saitov^{ID}, Ksenia V. Yusupova^{ID}✉, Gleb S. Kashevarov^{ID}, Ekaterina V. Pankova^{ID}

Federal Center for Toxicological, Radiation, and Biological Safety, Kazan, Russian Federation

✉ kse.perf@gmail.com

Abstract

Introduction. Brucellosis is a dangerous zoonotic disease indirectly and directly transmitted from animals to humans. Failure to comply with the veterinary requirements and rules in keeping animals and selling livestock products may result in a persistently adverse epizootic situation on brucellosis that can be prevented by timely vaccination. Vaccine efficacy may be affected by various factors, primarily by vaccine strain properties, which may change under adverse conditions (e.g. long-term storage). To mitigate the destructive effect of freezing, the bacterial cells are placed in various media, and therefore it is important to verify at morphological level the preservation of the structures of bacterial cells. However, no comprehensive morphological studies on the effect of various low-temperature storage conditions on the *Brucella suis* ultrastructure have been performed yet. The aim of the present research is to conduct a morphological analysis of bacteria *Brucella suis* (strain 22) to assess the features of the deep freezing effect on their ultrastructure in different conditions.

Materials and Methods. The study was conducted in 2024 at the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Center for Toxicological, Radiation, and Biological Safety” (Kazan). The object of the study were suspensions of *Brucella suis* cells (strain 22) grown in different conditions. They were dehydrated and embedded in epoxy resins, then subjected to polymerization. The specimens for ultrastructural analysis were prepared according to the ultrathin section obtaining methodology, they were mounted using the lens-hoods, strained and viewed with a transmission electron microscope. Statistical processing of the research results was carried out in Statistica 6.0 and MS Excel programs using the Mann–Whitney test, with the initial significance level of $\alpha=0.05$ and subsequent correction of significance level according to Bonferroni method (up to $\alpha=0.002$).

Results. When assessing the effect of deep freezing on the ultrastructure of bacteria *Brucella suis* (strain 22) grown in skim milk and sucrose-gelatin media, no morphological differences from the native strain were found. Statistically significant differences from the native strain were revealed only in the group where freeze drying was used, but these differences were within the standard deviation.

Discussion and Conclusion. Based on the results of the morphological study on the effect of deep freezing on the ultrastructure of bacteria *Brucella suis* (strain 22), it can be concluded that skim milk and sucrose-gelatin are preferable media for low-temperature storage. In future, it is planned to study the features of the effect the other storage conditions have on the ultrastructure of genus *Brucella* bacteria to supplement the information in the strain data sheets. This work has an important practical value for creating the collections of microorganisms and developing diagnostic tools.

Keywords: zoonanthroponosis, *Brucella suis*, vaccine, deep freezing, low-temperature storage, morphological analysis, morphometric parameters, bacterial ultrastructure

Acknowledgements. The authors express their gratitude to the editorial office and reviewers for their attentive attitude and comments, which allowed for improving the quality of the article, and to the staff of the scientific support unit of the Institute of Biology of Inland Waters named after I.D. Papanin of the Russian Academy of Sciences (Center for Collective Use of Electron Microscopy) for their assistance in conducting the research.

For Citation. Saitov VR, Yusupova KV, Kashevarov GS, Pankova EV. Morphological Study of the Culture of *Brucella Suis* under Different Low-Temperature Storage Conditions. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2025;24(1):31–38. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-1-31-38>

Введение. Одним из глобальных вызовов современности являются зооантропонозы — инфекционные заболевания, передающиеся опосредованно и напрямую от животных человеку. На данный момент известно более 200 видов зоонозных инфекций, и их спи-

сок постоянно пополняется. Важной проблемой для ветеринарии и медицины на территории Российской Федерации остается заболеваемость людей и животных бруцеллезом, который может проявиться в виде паралича, менингоэнцефалита, нейросенсорной глухоты и

др., в зависимости от типа бактерии, ставшей причиной развития бруцеллеза [1–10]. По данным ряда исследователей эпизоотолого-эпидемиологической обстановки, на начало 2021 г. в России зарегистрированы 234 неблагополучных пункта по бруцеллезу крупного и мелкого рогатого скота, а также зафиксированы случаи заболевания людей [11]. Причинами возникновения стойкой неблагополучной по бруцеллезу эпизоотической ситуации могут стать: несоблюдение ветеринарных требований и правил при содержании животных и реализации продукции животноводства, несвоевременный убой больных животных, невыявленные эпизоотические очаги и скрытые носители бруцелл.

Основными патогенными видами рода *Brucella*, способными вызывать серьезные эпизоотические и эпидемические осложнения, являются *B. melitensis*, *B. abortus* и *B. suis* [12]. Важнейшим инструментом в изучении морфологических особенностей бактериальных клеток является электронная микроскопия [13, 14]. Так, исследования ряда авторов касаются ультраструктурных особенностей L-форм бруцелл [15, 16]. Казахские ученые методом негативного контрастирования изучали S- и R-формы изолятов бруцелл [17]. Сотрудники ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» (г. Казань) более 10 лет проводят исследования ультраструктурных особенностей бруцелл, включая воздействие на данные микроорганизмы факторов различной этиологии [18–21].

Действенным средством для предотвращения заболевания является вакцинация [22–25]. Однако на эффективность вакцины могут влиять различные факторы: условия производства, транспортировки, способ ее введения, но особенно — условия хранения. Выделяют следующие этапы подготовки вакцины: получение посевных культур, процесс накопления биомассы, розлив, заморозка, сублимационное высушивание (лиофилизация), герметизация и упаковка. Лиофилизация является оптимальным методом для длительного хранения культур, но этот этап экономически эффективен и безопасен только для производства инактивированных вакцин. Процесс лиофилизации вирулентных штаммов намного сложнее ввиду больших экономических затрат и трудоемкости, поэтому для длительного хранения живых культур зачастую используют глубокую заморозку. Чтобы нивелировать деструктивное воздействие заморозки на бактериальные клетки, их помещают в различные среды, однако в таком случае важно подтвердить сохранность их структур на морфологическом уровне. К сожалению, до сих пор не существует комплексных исследований влияния различных режимов глубокого замораживания на ультраструктуру *Brucella suis* с использованием современных методов морфологического анализа. Большинство существующих работ исследуют только выживаемость бактерий, что не подтверждается на ультраструктурном уровне. Цель данного исследования — провести

морфологический анализ *Brucella suis* (штамм 22) для оценки влияния низкотемпературного хранения в различных условиях на ультраструктуру бактерий.

Материалы и методы. Исследование проведено в 2024 г. на базе лаборатории морфологических исследований и отдела Государственной коллекции штаммов микроорганизмов Федерального центра токсикологической, радиационной и биологической безопасности (ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ», г. Казань). В качестве объекта исследований брали суспензии клеток *Brucella suis* (штамм 22), выращенных после хранения в разных условиях: 1 группа — нативный; 2 группа — лиофилизированный; 3 группа — в обезжиренном молоке при $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 группа — в обезжиренном молоке при $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$; 5 группа — в сахарозо-желатиновой смеси при $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$; 6 группа — в сахарозо-желатиновой смеси при $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Обработка проб осуществлялась по разработанной авторами схеме: суспензии бактериальных клеток центрифугировали, осадок культуры трижды промывали, затем фиксировали в пробирках типа эппендорф раствором 2,5 % глutarового альдегида на 0,1 М фосфатном буфере. После двукратной промывки фосфатным буфером той же молярности проводили постфиксацию тетраоксидом осмия, дегидратацию в спиртах возрастающей концентрации, ацетоне и импрегнацию образцов смесью эпоновых смол с последующей полимеризацией [25].

Для ультраструктурного анализа образцы подготавливали по методике ультратонких срезов с помощью микротомы LKB-III (Швеция). Полученные срезы монтировали на блендах с подложкой из пиолоформа, контрастировали уранилацетатом и цитратом свинца, а после сушки просматривали на просвечивающем электронном микроскопе JEM 1100 (JEOL, Япония), масштабная линейка 200 нм. Полученные электронограммы подвергали морфометрическому анализу в программе ImageJ (сборка FIJI, США).

Статистическую обработку результатов осуществляли в программах Statistica 6.0 (США) и MS Excel. Попарное сравнение результатов, полученных на нативном штамме и штаммах, хранившихся в различных условиях, проводилось с использованием теста Манна-Уитни с исходным уровнем значимости $\alpha=0,05$ и последующей коррекцией уровня значимости по методу Бонферрони (до $\alpha=0,002$).

Результаты исследования. На электронограммах ультратонких срезов бактерии *Brucella suis* (штамм 22) всех групп округлые и палочкообразные (в зависимости от угла прошедшего среза), с четкими, немного волнистыми границами. Отмечается наличие единичных клеток неправильной формы с расширенным периплазматическим пространством, что можно связать с естественными процессами. Изредка просматриваются увеличенные клетки округлой формы и бактериальные клетки в процессе деления (рис. 1–3).

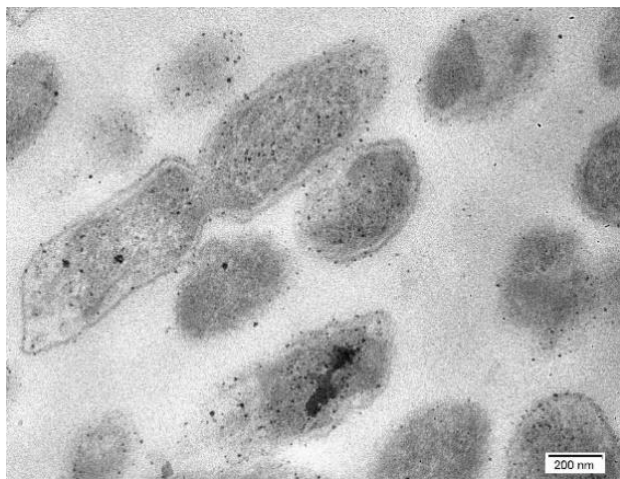


Рис. 1. Электронограмма *B. suis* штамм 22 (в том числе наблюдается в процессе деления), масштабная линейка 200 нм

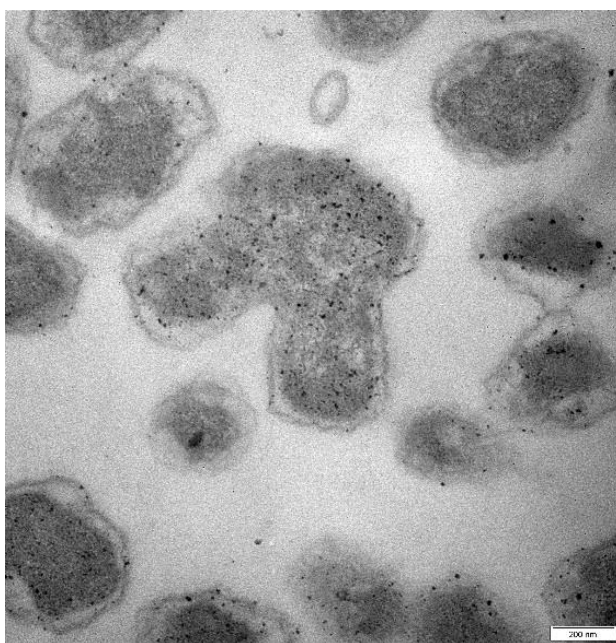


Рис. 2. Электронограмма *B. suis* штамм 22 (в том числе клетка неправильной формы), масштабная линейка 200 нм

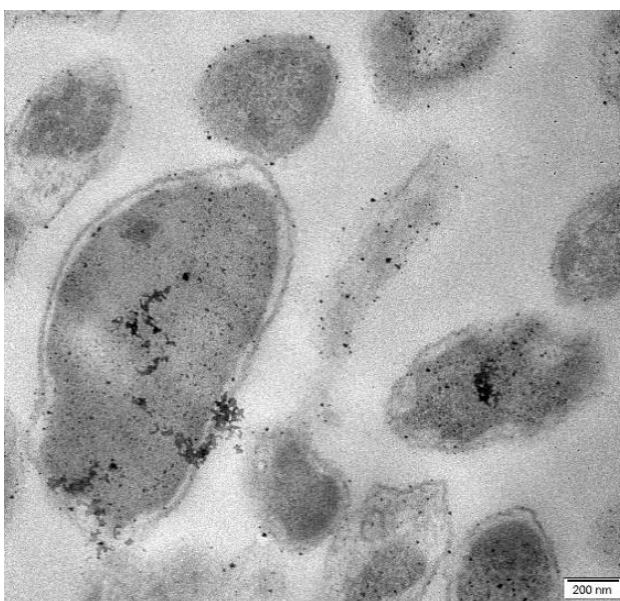


Рис. 3. Электронограмма *B. suis* штамм 22 (в том числе клетка резко увеличенного размера), масштабная линейка 200 нм

Результаты морфометрических исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1

Морфометрические показатели *B. suis* (штамм 22) после различных условий хранения

Группа	Площадь	Периметр	Большой калиперо-метрический диаметр	Малый калиперо-метрический диаметр	Коэффициент округлости
1. Нативный	0,22±0,09	1,76±0,46	0,66±0,21	0,42±0,06	0,87±0,1
2. Лиофилизированный	0,21±0,09	1,77±0,51	0,7±0,25	0,38±0,06*	0,83±0,11
3. Обезжиренное молоко (-40 °C)	0,21±0,09	1,75±0,47	0,67±0,21	0,39±0,08	0,85±0,1
4. Обезжиренное молоко (-70 °C)	0,22±0,07	1,76±0,4	0,68±0,18	0,4±0,06	0,87±0,1
5. Сахарозо-желатиновая смесь (-40 °C)	0,24±0,09	1,89±0,47	0,74±0,22	0,39±0,06	0,82±0,11
6. Сахарозо-желатиновая смесь (-70 °C)	0,23±0,17	1,79±0,82	0,69±0,37	0,41±0,08	0,88±0,11

Примечание: * — статистически значимые отличия в сравнении с нативной группой ($p < 0,05$)

Результаты исследований показали статистически значимые отличия (в сравнении с группой 1) по малому калиперо-метрическому диаметру в группе с применением лиофильной сушки, однако поскольку данные различия лежат в пределах стандартного отклонения средней величины показателя, следует охарактеризовать их как тенденцию. Параметры остальных групп не имели статистически значимых отличий от показателей нативной группы.

Обсуждение и заключение. По результатам оценки воздействия глубокой заморозки на ультраструктуру бактерий *Brucella suis* (штамм 22), выращенных в обезжиренном молоке и сахарозо-желатиновой среде, морфологических отличий от нативного штамма не обнаружено, что позволяет сделать вывод о предпочтительности хранения в данных средах. Некоторые отличия от нативного штамма зарегистрированы в группе с применением лиофильной сушки, но и они лежат в пределах стандартного отклонения средней величины показателя. В перспективе планируется исследование особенностей воздействия других сред хранения на ультраструктуру бактерий рода *Brucella* для пополнения данных в паспортах штаммов. Эта работа имеет также важное практическое значение для организации коллекций микроорганизмов и разработки диагностических средств.

Список литературы / References

1. Аксенова П.В. Болезни зубров (*Bison bonasus*): встречаемость и эпизоотические особенности заболеваний зубров. *Ветеринарная патология*. 2014;(2):51–63.

Aksenova PV. Diseases in Bison (*Bison Bonasus*): Occurrence and Epizootic Characteristics of Bacterial Diseases in Bison. *Veterinary Pathology*. 2014;(2):51–63. (In Russ.)

2. Аракелян П.К., Трегубов А.Н., Руденко А.В., Ильин Е.Н., Христенко Н.В., Вергун А.А., и др. Противоэпидемическая значимость контроля эпизоотического процесса бруцеллеза. В: *Материалы региональной научно-практической конференции с международным участием, посвященной 70-летию со дня основания ФКУЗ Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора «Проблемы особо опасных инфекций на Северном Кавказе»*. Ставрополь: ООО "Экспо-Медиа"; 2022. 69–70.

Arakelyan PK, Tregubov AN, Rudenko AV, Ilyin EN, Khristenko NV, Vergun AA, et al. Anti-Epidemic Significance of Brucellosis Epizootic Process Control. In: *Proceedings of the Regional Scientific and Practical Conference with International Participation Dedicated to the 70th Anniversary of the Foundation of the Stavropol Anti-Plague Institute of Rospotrebnadzor "Problems of Especially Dangerous Infections in the North Caucasus"*. Stavropol: "Expo-Media" Publ., LLC; 2022. 69–70. (In Russ.).

3. Михайлов М.М., Юсупов О.Ю., Халиков А.А., Яникова Э.А., Кабахова П.М., Шехилалиева Г.М., и др. Об эпизоотической ситуации по бруцеллезу животных в республике Дагестан и мерах по ее стабилизации. *Ветеринарная патология*. 2019;(3(69)):5–11. <https://doi.org/10.25690/VETPAT.2019.69.39587>

Mikhailov MM, Usupov OU, Halikov AA, Yanikova EA, Kabahova PM, Shehilaliev GM, et al. About Epizootic Situation on Animal Brucellosis in the Dagestan Republic and Measures for Its Stabilization. *Veterinary Pathology*. 2019;(3(69)):5–11. <https://doi.org/10.25690/VETPAT.2019.69.39587> (In Russ.).

4. Насибуллин Р.Ю., Тухватуллина Л.А., Богова Я.А., Сафина Г.М., Косарев М.А. Бруцеллез: его распространение и профилактика. *Ветеринарный врач*. 2021;(1):38–43. <https://doi.org/10.33632/1998-698X.2021-1-38-44>

- Nasibullin RYu, Tukhvatullina LA, Bogova YaA, Safina GM, Kosarev MA. Brucellosis: Its Distribution and Prevention. *Veterinarny vrach (Veterinarian)*. 2021;(1):38–43. <https://doi.org/10.33632/1998-698X.2021-1-38-44> (In Russ.).
5. Косарев М.А., Фомин А.М., Сафина Г.М., Григорьева С.А., Тухватуллина Л.А. Дифференциальная серологическая диагностика бруцеллеза у крупного рогатого скота, привитого вакциной из штамма 82, и ее значение в общей системе мер борьбы с данным заболеванием. *Ветеринарный врач*. 2019;(5):23–28. <https://doi.org/10.33632/1998-698X.2019-5-23-28>
- Kosarev MA, Fomin AM, Safina GM, Grigorieva SA, Tukhvatullina LA. Differential Serological Diagnosis of Brucellosis in Cattle Vaccinated with Strain 82 and Its Importance in the Complex System of Disease-Control Planning. *Veterinarny vrach (Veterinarian)*. 2019;(5):23–28. <https://doi.org/10.33632/1998-698X.2019-5-23-28> (In Russ.).
6. Косарев М.А., Богова Я.А., Сафина Г.М., Тухватуллина Л.А. Остаточная вирулентность, антигенные свойства, длительность приживаемости и контагиозность штамма *B. abortus* 82-TR. *Вестник КрасГАУ*. 2023;(1(190)):131–135. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-1-131-135>
- Kosarev MA, Bogova YaA., Safina GM, Tukhvatullina LA. Residual Virulence, Antigenic Properties, Survivability Duration and Contagiosity of *B. abortus* Strain 82-TR. *Bulliten KrasSAU*. 2023;(1(190)):131–135. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-1-131-135> (In Russ.).
7. Косарев М.А., Насибуллин Р.Ю., Сафина Г.М., Богова Я.А., Саитов В.Р. Приживаемость и иммуногенность г-культуры бруцелл, полученной глубинным культивированием. *Ветеринарный врач*. 2024;(1):40–45. https://doi.org/10.33632/1998-698X_2024_1_40
- Kosarev MA, Nasibullin RYu, Safina GM, Bogova YaA, Saitov VR. Establishment and Immunogenicity of Brucella R-Cultures Obtained by the Deep Method. *Veterinarny vrach (Veterinarian)*. 2024;(1):40–45. https://doi.org/10.33632/1998-698X_2024_1_40 (In Russ.).
8. Laine CC, Scott HM, Arenas-Gamboa AM. Human brucellosis: Widespread Information Deficiency Hinders an Understanding of Global Disease Frequency. *PLOS Neglected Tropical Diseases*. 2022;16(5):e0010404. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0010404>
9. O’Callaghan D. Human brucellosis: recent advances and future challenges. *Infectious Diseases of Poverty*. 2020;9:101. <https://doi.org/10.1186/s40249-020-00715-1>
10. Qureshi KA, Parvez A, Fahmy NA, Hady BHA, Kumar S, Ganguly A, et al. Brucellosis: Epidemiology, Pathogenesis, Diagnosis and Treatment – A Comprehensive Review. *Annals of Medicine*. 2023;55(2):2295398. <https://doi.org/10.1080/07853890.2023.2295398>
11. Пономаренко Д.Г., Скударева О.Н., Хачатурова А.А., Лукашевич Д.Е., Жаринова И.В., Даурова А.В. и др. Бруцеллез: тенденции развития ситуации в мире и прогноз на 2022 г. в Российской Федерации. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2022;(2):36–45. <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2022-2-36-45>
- Ponomarenko DG, Skudareva ON, Khachaturova AA, Lukashevich DE, Zharinova IV, Daurova AV, et al. Brucellosis: Development Trends in the World and Forecast for 2022 in the Russian Federation. *Problems of Particularly Dangerous Infections*. 2022;(2):36–45. <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2022-2-36-45> (In Russ.).
12. Bonaventura GD, Angeletti S, Ianni A, Petitti T, Gherardi G. Microbiological Laboratory Diagnosis of Human Brucellosis: An Overview. *Pathogens*. 2021;10(12):1623. <https://doi.org/10.3390/pathogens10121623>.
13. Авакян А.А. *Атлас анатомии бактерий, патогенных для человека и животных*. Акад. мед. наук СССР. Москва: Медицина; 1972. 183 с.
- Avakyan AA. *Atlas of the Anatomy of Bacteria Pathogenic to Humans and Animals*. USSR Academy of Medical Sciences. Moscow: Meditsina Publ.; 1972. 183 p. (In Russ.).
14. Диденко Л.В. Ультраструктурный анализ как метод изучения бактериемии при инфекционных заболеваниях. *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2001;(11):29–34.
- Didenko LV. Ultrastructural Analysis as a Method for Studying Bacteremia in Infectious Diseases. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2001;(11):29–34. (In Russ.).
15. Таран И.Ф., Цыбин Б.П., Крылова А.А. Изучение L-форм бруцелл, их ревертантов и исходных культур. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. 1981;(6):39–43.
- Taran IF, Tsybin BP, Krylova AA, Abolina TA. Brucella L-Forms, Their Revertants and Initial Cultures. *Zhurnal mikrobiologii, ehpideologii i immunobiologii (Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology)*. 1981;(6):39–43. (In Russ.).
16. Базиков И.А., Бондаренко А.И. Ультраструктурная организация L-форм бруцелл и ревертантных культур. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. 1981;(6):39–43.
- Bazikov IA, Bondarenko AI. The Ultrastructural Organization of Brucella L-Forms and Revertant Cultures. *Zhurnal mikrobiologii, ehpideologii i immunobiologii (Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology)*. 1991;(1):17–20. (In Russ.).

17. Сансызбай А.Р., Еспембетов Б.А., Зайцевидр В.Л. Изучение морфологических свойств изолятов бруцелл в S- и R-формах электронно-микроскопическим методом. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2013;(12(110)):74–79.

Sansyzbay AR, Espembetov BA, Zaitsevidr VL. Study of Morphological Properties of Brucella Isolates in S- and R-Forms by Electron Microscopy. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2013;(12(110)):74–79. (In Russ.).

18. Сальникова М.М., Сайтов В.Р., Сафина Г.М., Рахматуллин И.Ф., Косарев М.А., Фомин А.М. Изучение ультратонкого строения живых и инактивированных культур *Brucella melitensis* и *Brucella abortus*. *Достижения науки и техники АПК*. 2012;(3):80–82.

Salnikova MM, Saitov VR, Safina GM, Rakhmatullin IF, Kosarev MA, Fomin AM. Study of Live and Inactivated *Brucella Melitensis* and *Brucella Abortus* Cell Cultures Ultrastucture. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2012;(3):80–82. (In Russ.).

19. Сальникова М.М., Малютин Л.В., Сайтов В.Р., Голубев А.И. *Трансмиссионная электронная микроскопия в биологии и медицине*. Монография. Казань: Издательство Казанского университета; 2016. 125 с.

Salnikova MM, Malyutina LV, Saitov VR, Golubev AI. *Transmission Electron Microscopy in Biology and Medicine*. Monograph. Kazan: Kazan University Publ.; 2016. 125 p. (In Russ.).

20. Сальникова М.М., Сайтов В.Р., Баймухаметов Ф.З., Косарев М.А., Фомин А.М., Сафина Г.М. Электронно-микроскопические исследования морфологических особенностей бруцелл. В: *Материалы VI-й Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий»*. Горно-Алтайск: Горно-Алтайский государственный университет; 2017. С. 260–263.

Salnikova MM, Saitov VR, Baymukhametov FZ, Kosarev MA, Fomin AM, Safina GM. Electron Microscopic Studies of Morphological Features of Brucella. In: *Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference “Topical Problems of Agriculture in Mountainous Territories”*. Gorno-Altai: Gorno-Altai State University; 2017. P. 260–263. (In Russ.).

21. Косарев М.А., Сальникова М.М., Кашеваров Г.С., Никитина А.А., Баймухаметов Ф.З., Сайтов В.Р. Особенности ультраструктурной организации бактерий *Brucella melitensis* при воздействии гамма-лучей: морфометрический аспект. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2022;(9(215)):76–83. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-215-9-76-83>

Kosarev MA, Salnikova MM, Kashevarov GS, Nikitina AA, Baymukhametov FZ, Saitov VR. Features of Ultrastructural Organization of Brucella Melitensis Bacteria under the Influence of Gamma Rays: Morphometric Aspect. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2022;(9(215)):76–83. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-215-9-76-83> (In Russ.).

22. Балахонов С.В., Дубровина В.И., Войткова В.В., Корытов К.М., Баранникова Н.Л., Николаев В.Б. и др. Иммунофенотипирование клеток крови экспериментальных животных, иммунизированных термоэкстрактами *Brucella abortus*. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. 2019;4(96):25–31. <https://doi.org/10.36233/0372-9311-2019-4-25-31>

Balakhonov SV, Dubrovina VI, Voitkova VV, Korytov KM, Barannikova NL, Nikolaev VB. et al. Immunophenotyping of Blood Cells of Experimental Animals Immunized with Brucella Abortus Thermoextracts. *Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology*. 2019;4(96):25–31. <https://doi.org/10.36233/0372-9311-2019-4-25-31> (In Russ.).

23. Димов С.К., Димова А.С., Аракелян П.К. Современные проблемы управления эпизоотическим процессом бруцеллеза. В: *Материалы XIV Сибирской ветеринарной конференции. Актуальные вопросы ветеринарной конференции*. Новосибирск: Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета "Золотой колос"; 2015. С. 28–31.

Dimov SK, Dimova AS, Arakelyan PK. Modern Management Problems of Epizootic Process of Brucellosis. In: *Proceedings of the XIV Siberian Veterinary Conference “Topical Issues of the Veterinary Conference”*. Novosibirsk: Novosibirsk State Agrarian University Publ. “Zolotoi kolos”; 2015. P. 28–31. (In Russ.).

24. Онищенко Г.Г., Куличенко А.Н., Малецкая О.В., Пономаренко Д.Г., Манин Е.А., Ковалев Д.А. и др. *Бруцеллез. Современное состояние проблемы*. Монография. Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью "Губерния"; 2019. 336 с.

Onishchenko GG, Kulichenko AN, Maletskaya OV, Ponomarenko DG, Manin EA, Kovalev DA, et al. *Brucellosis. Current State of the Problem*. Monograph. Stavropol: “Gubernia” Publ., LLC; 2019. 336 p. (In Russ.).

25. Сайтов В.Р., Сальникова М.М., Голубев А.И., Кашеваров Г.С., Иванов В.В., Малютин Л.В. и др. *Изменения ультраструктуры паренхимы печени и почек животных после хронического воздействия ксенобиотиков*. Монография. Казань: Издательство Казанского университета; 2023. 108 с.

Saitov VR, Salnikova MM, Golubev AI, Kashevarov GS, Ivanov VV, Malyutina LV, et al. *Changes in the Ultrastructure of the Liver and Kidney Parenchyma of Animals after Chronic Exposure to Xenobiotics*. Monograph. Kazan: Kazan University Publ.; 2023. 108 p.

Об авторах:

Вадим Расимович Саитов, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории морфологических исследований, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, Научный городок, д. 2), [SPIN-код](#), [ORCID](#), sinsavara@yandex.ru

Ксения Витальевна Юсупова, кандидат ветеринарных наук, научный сотрудник лаборатории морфологических исследований, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, Научный городок, д. 2), [SPIN-код](#), [ORCID](#), kse.perf@gmail.com

Глеб Сергеевич Кашеваров, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией морфологических исследований, старший научный сотрудник, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, Научный городок, д. 2), [SPIN-код](#), [ORCID](#), kaschewarow@mail.ru

Екатерина Витальевна Панкова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела Государственной коллекции микроорганизмов, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, Научный городок, д. 2), [SPIN-код](#), [ORCID](#), katerinka_ja@bk.ru

Заявленный вклад авторов:

В.Р. Саитов: научное руководство, формирование основной концепции, корректировка текста.

К.В. Юсупова: проведение морфометрических исследований, комплектация результатов исследования.

Г.С. Кашеваров: проведение статистического анализа, получение первичных данных.

Е.В. Панкова: проведение основного эксперимента на *Brucella suis* (штамм 22).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Vadim R. Saitov, Dr.Sci. (Biology), Leading Research Associate at the Morphological Research Laboratory, Federal Center for Toxicological, Radiation, and Biological Safety (2, Nauchnyi gorodok, Kazan, Republic of Tatarstan, 420075, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), sinsavara@yandex.ru

Ksenia V. Yusupova, Cand.Sci. (Veterinary Sciences), Research Associate at the Morphological Research Laboratory, Federal Center for Toxicological, Radiation, and Biological Safety (2, Nauchnyi gorodok, Kazan, Republic of Tatarstan, 420075, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), kse.perf@gmail.com

Gleb S. Kashevarov, Cand.Sci. (Biology), Head of the Morphological Research Laboratory, Senior Research Associate, Federal Center for Toxicological, Radiation, and Biological Safety (2, Nauchnyi gorodok, Kazan, Republic of Tatarstan, 420075, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), kaschewarow@mail.ru

Ekaterina V. Pankova, Cand.Sci. (Biology), Leading Research Associate of the State Collection of Microorganisms Department, Federal Center for Toxicological, Radiation, and Biological Safety (2, Nauchnyi gorodok, Kazan, Republic of Tatarstan, 420075, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), katerinka_ja@bk.ru

Claimed Contributorship:

VR Saitov: scientific supervision, formulating the main concept, correcting the text.

KV Yusupova: conducting morphometric studies, compiling research results.

GS Kashevarov: conducting statistical analysis, obtaining primary data.

EV Pankova: conducting the main experiment on *Brucella suis* (strain 22).

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 13.12.2024

Поступила после рецензирования / Reviewed 10.01.2025

Принята к публикации / Accepted 16.01.2025