

case report. *Veterinary Ophthalmology*. 5. 245-8. doi: 10.1046/j.1463-5224.2002.00242.x.

6. Сидорова, М. В. Морфология сельскохозяйственных животных. Анатомия и гистология с основами цитологии и эмбриологии: учебник / М. В. Сидорова, В. П. Панов, А. Э. Семак; под общей редакцией М. В. Сидоровой. – 3-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 544 с.

7. Maggs D.J., Miller P.E., Ofri R. *Slatter's Fundamentals of Veterinary Ophthalmology*, 5ed., Elsevier, London, 2013, 520 pp.

References

1. *Veterinary Ophthalmology: Two Volume Set*. 5th Edition. Eds: Kirk N. Gelatt, Brian C. Gilger, Thomas J. Kern. Wiley-Blackwell (June 4, 2013).

2. Krasnolobova, E.P. *Obshchaia patologicheskaya anatomiiia zhivotnykh: uchebnoe posobie* / E.P. Krasnolobova. – Tiimen: GAU Severnogo Zauralia, 2019. – 129 s.

3. Vakhrusheva, T.I. *Onkologiya: uchebnoe posobie* / T.I. Vakhrusheva. – Krasnoyarsk: KrasGAU, 2018. – 330 s.

4. Saveleva, A.Iu. *Anatomiiia i gistologiya selskokhoziaistvennykh zhivotnykh: uchebnoe posobie* / A.Iu. Saveleva. – Krasnoyarsk: KrasGAU, 2017. – S. 125-129.

5. Wappler, O., Allgoewer, I., Schaeffer, E. (2002). Conjunctival dermoid in two guinea pigs: A case report. *Veterinary Ophthalmology*. 5. 245-8. doi: 10.1046/j.1463-5224.2002.00242.x.

6. Sidorova, M.V. *Morfologiya selskokhoziaistvennykh zhivotnykh. Anatomiiia i gistologiya s osnovami tsitologii i embriologii: uchebnik* / M.V. Sidorova, V.P. Panov, A.E. Semak; pod obshchei redaksiiei M.V. Sidorovoi. – 3-e izd., ispr. i dop. – Sankt-Peterburg: Lan, 2020. – 544 s.

7. Maggs D.J., Miller P.E., Ofri R. *Slatter's Fundamentals of Veterinary Ophthalmology*, 5ed., Elsevier, London, 2013, 520 pp.



УДК 579.23: 57.021: 57.012.4: 579.84: 579.841.93

DOI: 10.53083/1996-4277-2022-215-9-76-83

М.А. Косарев, М.М. Сальникова,
Г.С. Кашеваров, А.А. Никитина,
Ф.З. Баймухаметов, В.Р. Саитов
M.A. Kosarev, M.M. Salnikova,
G.S. Kashevarov, A.A. Nikitina,
F.Z. Baymukhametov, V.R. Saitov

ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАСТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ БАКТЕРИЙ *BRUCELLA MELITENSIS* ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ГАММА-ЛУЧЕЙ: МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

FEATURES OF ULTRASTRUCTURAL ORGANIZATION OF *BRUCELLA MELITENSIS* BACTERIA UNDER THE INFLUENCE OF GAMMA RAYS: MORPHOMETRIC ASPECT

Ключевые слова: бруцеллы, гамма-лучи, ультраструктурная организация, клеточная стенка, перинуклеарное пространство, рибосомы, нуклеоид, пили, морфометрия, статистика.

Keywords: brucella, gamma rays, ultrastructural organization, cell wall, perinuclear space, ribosomes, nucleoid, pili, morphometry, statistics.

Целью исследования явилась оценка особенностей воздействия гамма-лучей на ультраструктурную организацию бактерий *Brucella melitensis* штамма Rev-1 с применением анализа морфометрических показателей и выявление релевантных количественных характеристик воздействия этого физического фактора. В задачи входило проведение расчетов морфометрических характеристик нативных и облученных бактерий, обработка полученных данных, формулировка выводов о значимости различных переменных при оценке влияния γ -лучей на ультратонкое строение бактерий и о факте присутствия данного влияния. Объектом для эксперимента служила гамма-облученная культура *Brucella melitensis* штамма Rev-1, выращенная на печеночном агаре. Электронную микроскопию проводили посредством метода ультратонких срезов с привлечением возможностей трансмиссионного электронного микроскопа JEM 100 CX-II. После воздействия γ -облучения у бруцелл наблюдалось истончение и выравнивание извилистости клеточной стенки. Отмечалось и разрушение участков клеточной стенки бактерий. Результаты свидетельствовали о снижении значения толщины клеточной стенки в опытной группе ($M \pm sd = (0,01 \pm 0,005) \mu\text{m}$), по сравнению с нативными бактериями ($M \pm sd = (0,02 \pm 0,006) \mu\text{m}$), различия были статистически значимы ($p = 0,000042$). Облученные бактериальные клетки бруцелл характеризовались увеличением периплазматического пространства и просветлением цитоплазмы, были показаны статистически значимые различия между опытной и контрольной группами по площади электронно-плотной цитоплазмы (в группе опыта снижалась на 34,6%, $p = 0,0035$) и по соотношению общей площади и площади цитоплазмы клеток (в опытной группе снижалась на 35,3%, $p = 0,7 \times 10^{-9}$). Площадь периплазматического

пространства в опытной группе по сравнению с контрольной увеличивалась в 8,5 раз.

The research goal was to evaluate the features of the effect of gamma rays on the ultrastructural organization of *Brucella melitensis* bacteria of the Rev-1 strain using the analysis of morphometric indices and to identify relevant quantitative characteristics of the effect of this physical factor. The objectives included the following: calculations of morphometric characteristics of native and irradiated bacteria; processing of the obtained data; formulation of conclusions about the significance of various variables in assessing the influence of gamma rays on the ultrathin structure of bacteria and the fact of the presence of this influence. The research target of the experiment was a gamma-irradiated culture of *Brucella melitensis* strain Rev-1 grown on liver agar. Electron microscopy was performed using the method of ultrathin sections using the capabilities of the transmission electron microscope JEM 100 CX-II. After exposure to gamma radiation, thinning and alignment of the cell wall tortuosity was observed in brucella. Destruction of bacterial cell wall sites was also noted. The results indicated a decrease in the thickness of the cell wall in the experimental group ($M \pm sd = (0.01 \pm 0.005) \mu\text{m}$), compared with native bacteria ($M \pm sd = (0.02 \pm 0.006) \mu\text{m}$), the differences were statistically significant ($p = 0.000042$). Irradiated bacterial brucella cells were characterized by an increase in periplasmic space and enlightenment of cytoplasm; statistically significant differences between the experimental and control groups in the area of electron-dense cytoplasm (in the experimental group decreased by 34.6%, $p = 0.0035$) and in the ratio of total area and cytoplasm area of cells (in the experimental group decreased by 35.3%, $p = 0.7 \times 10^{-9}$) were shown. The area of the periplasmic space in the experimental group increased 8.5 times as compared to the control group.

Косарев Максим Аркадьевич, к.б.н., ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности», г. Казань, Российская Федерация, e-mail: 2531468@mail.ru.

Сальникова Марина Михайловна, к.б.н., доцент, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Российская Федерация, e-mail: m_salnikova@mail.ru.

Кашеваров Глеб Сергеевич, к.б.н., ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности», г. Казань, Российская Федерация, e-mail: kaschewarow@mail.ru.

Никитина Алена Алексеевна, студент, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Российская Федерация, e-mail: slastounka@gmail.com.

Баймухаметов Фаниль Заудятович, к.х.н., науч. сотр., ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности», г. Казань, Российская Федерация, e-mail: sun-terra@mail.ru.

Сайтов Вадим Расимович, д.б.н., ст. науч. сотр., ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности», г. Казань, Российская Федерация, e-mail: sinsavara@yandex.ru.

Kosarev Maksim Arkadevich, Cand. Bio. Sci., Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russian Federation, e-mail: 2531468@mail.ru.

Salnikova Marina Mikhaylovna, Cand. Bio. Sci., Assoc. Prof, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russian Federation, e-mail: m_salnikova@mail.ru.

Kashevarov Gleb Sergeevich, Cand. Bio. Sci., Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russian Federation, e-mail: kaschewarow@mail.ru.

Nikitina Alena Alekseevna, student, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russian Federation, e-mail: slastounka@gmail.com.

Baymukhametov Fanil Zaudyatovich, Cand. Chem. Sci., Researcher, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russian Federation, e-mail: sun-terra@mail.ru.

Saitov Vadim Rasimovich, Dr. Bio. Sci., Senior Researcher, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russian Federation, e-mail: sinsavara@yandex.ru.

Введение

В силу профильности Федерального центра исследования влияния гамма-излучения на различные структуры микроорганизмов [1-3], в том числе методами электронной микроскопии [4, 5], в течение многих лет входят в круг научных интересов сектора ультраструктурных исследований.

При этом стоит отметить, что большинство работ, в которых приводятся данные по ультратонким исследованиям различных представителей рода *Brucella* [6-10], а также труды, касающиеся оценки влияния γ -лучей на ультраструктуру бруцелл [11, 4, 5], в большей мере посвящены качественному, а не количественному описанию электронно-микроскопических изображений, без статистической обработки различных, в том числе показательных, морфологических признаков.

На фоне современных данных о том, что противобруцеллезные вакцины, разработанные с помощью γ -облучения, вызывают сильный клеточный и гуморальный иммунный ответ, свидетельствующие об их высокой эффективности, вопрос изучения различных штаммов бруцелл на ультратонком уровне с использованием методов морфометрической и статистической обработки становится особо актуальным [12].

Цель исследования – оценить особенности воздействия γ -лучей на ультраструктуру бактериальных клеток *Brucella melitensis* штамма Rev-1 с помощью анализа морфометрических показателей и выявить релевантные количественные характеристики воздействия этого физического фактора.

Задачи: провести расчеты морфометрических характеристик как нативных бактерий, так и подвергавшихся воздействию гамма-излучения; статистически обработать полученные данные; сформулировать выводы о значимости различных переменных при оценке влияния γ -лучей на ультратонкое строение бактерий и о факте присутствия данного влияния.

Объекты и методы

В качестве экспериментального объекта использовали культуру *Brucella melitensis* штамма Rev-1, которую выращивали на печеночном агаре в течение 3 суток. Гамма-инактивацию культуры осуществляли методом облучения с при-

влечением возможностей гамма-установки «Исследователь», ^{60}Co с мощностью экспозиционной дозы $7,14 \times 10^{-2}$ Кл/кг·сек. Методом центрифугирования (8 тысяч оборотов в минуту) получали концентрированную бактериальную суспензию, которую промывали и помещали в агар Дифко. Электронную микроскопию проводили по отработанному нами методу получения ультратонких срезов [13, 14]. Протокол подготовки материала представлен в таблице.

При подсчете морфометрических показателей (определяли площадь бактериальных клеток S_k и площадь их цитоплазмы S_c) на электрограммах применяли программу FIJI-ImageJ [15]. Результаты морфометрии снимков анализировали с помощью программы Statistica 6.0 с привлечением методов аналитической и описательной статистики. Вычисляли арифметическое среднее значение (M), его стандартное отклонение (Sd), минимальные и максимальные значения признаков. Тест Манна-Уитни с поправкой на множественные сравнения по методу Бенджамини-Хохберга использовали для оценки достоверности статистических гипотез. Тестовые данные интерпретировали исходя из критического уровня значимости $\alpha=0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

На ультратонких срезах клетки культуры *Brucella melitensis* штамма Rev-1 имеют палочковидные и округлые формы. На клеточной поверхности видны редкие пили. Клеточная стенка и цитоплазматическая мембрана, как у типичных грамотрицательных микроорганизмов, многослойная и извилистая (рис. 1). На поверхности наружной мембраны клеточной стенки визуализируются олигосахаридные группы липополисахаридов, а под наружной мембраной регистрируется внутренний мембраноподобный слой, образованный пептидогликанами. У нативных бруцелл цитоплазма имеет высокую электронную плотность, вмещает гранулярный компонент – рибосомы и полирибосомы. В области нуклеоида не визуализируются нити ДНК.

Несмотря на то, что размеры бруцелл, получавших дозированно γ -лучи, существенно не отличаются от размеров контрольных клеток, инактивация гамма-излучением существенным образом влияет на ультраструктурную организацию бруцелл (рис. 2).

Основные этапы подготовки материала для ультраструктурных исследований

Этап	Компонент
Фиксация	1%-ный раствор глутарового альдегида (Serva, ФРГ) на 0,1 М фосфатном буфере (pH=7,4), при t=4°C, 12 ч
Промывка буфером	0,1 М фосфатный буфер (pH=7,4), 2 раза по 10 минут
Фиксация	2% тетраоксид осмия O ₃ O ₄ (Московский химзавод) на 0,1 М фосфатном буфере (pH=7,4), при комнатной температуре, 2 часа
Промывка буфером	0,1 М фосфатный буфер (pH=7,4) 2 раза по 10 минут
Дегидратация	Этиловые спирты восходящей концентрации – 30, 50, 70, 80, 96% – 2 раза по 5 минут; абсолютные спирты 100(I), 100(II), 100(III) – 2 раза по 10 минут каждый; ацетон – 2 раза по 10 минут
Импregnация	Ацетон + эпоновые смолы, в течение 3 суток и 3 соотношений: (2:1); (1:1) (1:2)
Заливка в капсулы	Эпоновые смолы
Полимеризация	Отверждение в термостате при t=30°C, t=45°C и t=60°C по 24 ч при каждом из температурных режимов
Полутонкая резка	Микротом LKB-III 8800 (Швеция)
Ультратонкая резка	Микротом Reichert-Jung Ultracut-E 6524-01 (Австрия)
Контрастирование сеточек	Уранилацетат 2 часа при 45°C, цитрат свинца 1,5 минуты в присутствии щелочи
Съемка на фотопленку	Электронный микроскоп JEM 100 CX-II («Jeol» Japan); фототехническая пленка Agfa orthochromatic
Оцифровка снимков	Сканер Epson perfection 4990 foto с разрешением 600 dpi

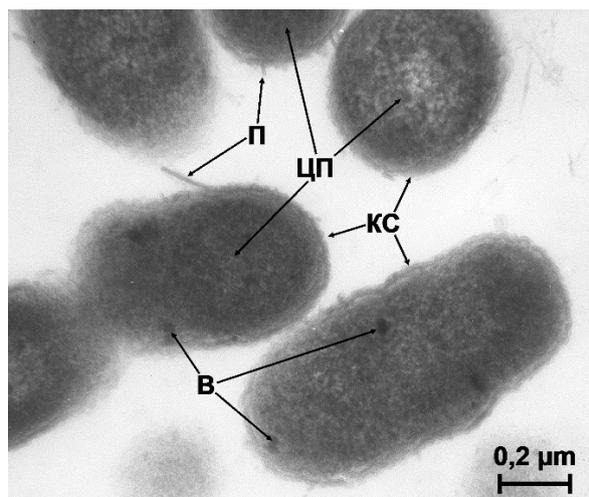


Рис. 1. Фрагмент среза нативной культуры *Brucella melitensis* штамма Rev-1:
КС – клеточная стенка; ЦП – цитоплазма;
В – включения цитоплазмы; П – пили

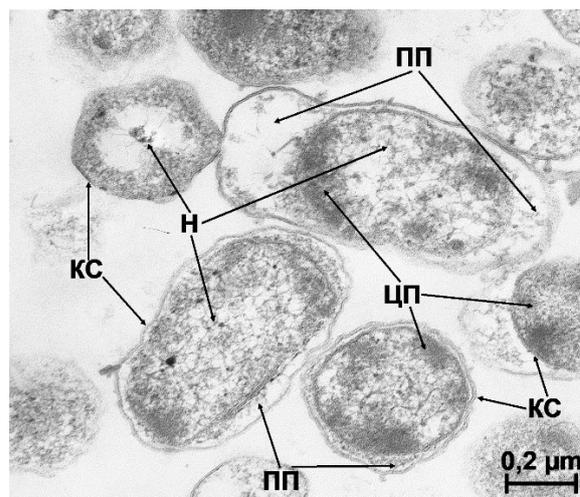


Рис. 2. Фрагмент среза культуры *Brucella melitensis* штамма Rev-1 после воздействия гамма-облучения:
КС – клеточная стенка; ЦП – цитоплазма;
ПП – периплазматическое пространство;
Н – нуклеоид

У инактивированных клеток наблюдается выравнивание извилистости клеточной стенки, электронно-плотный материал с внешней и внутренней сторон наружной мембраны фактически не выявляется. На ряде срезов отмечается разрушение участков клеточной стенки бруцелл. Для определения разницы между группами опыта и контроля были проведены расчёты средней толщины клеточной стенки и стандарт-

ного отклонения данной величины. Результаты теста Манна-Уитни свидетельствуют о том, что значения в группе опыта в два раза ниже, чем в группе контроля ($M \pm sd = (0,01 \pm 0,005)$ и $M \pm sd = 0,02 \pm 0,006$ соответственно), и эти различия статистически значимы ($p = 0,000042$) (рис. 3). Истончение клеточной стенки, вероятно, связано с разрушением фосфолипидов наружной мембраны свободными радикалами.

Гамма-облученные клетки имеют просветленную цитоплазму, резко уменьшается наличие свободных рибосом, в бактериях хорошо видны отдельные нити ДНК. Из научной литературы хорошо известно, что у микроорганизмов наиболее чувствительной мишенью излучения является нуклеиновая кислота [16, 17].

Из ряда морфологических признаков деструктивного характера у бактериальных клеток наиболее выделяется неравномерное расширение и просветление периплазматического пространства (рис. 2), что, вероятно, связано с разрушительными процессами радиолитиза в клетки. Для статистического подтверждения визуализации данного признака у нативных бактерий и получавших гамма-воздействие мы провели морфометрические сравнительные измерения: S_k – общей площади бактериальных клеток; $S_{ц}$ – площади их цитоплазмы; $S_k/S_{ц}$ – соотношения между площадью клеток и площадью их цитоплазмы (рис. 3, Б – В).

Обращает на себя внимание наличие статистически значимых различий между группами

опыта и контроля по площади цитоплазмы (снижается в группе опыта на 34,6%, $p = 0,0035$) и по соотношению общей площади и площади цитоплазмы клеток (снижается в группе опыта на 35,3%, $p = 0,7 \times 10^9$). Таким образом, в результате изменения площади цитоплазмы (общая площадь клетки в среднем меняется незначимо) площадь периплазматического пространства в группе опыта увеличивается в 8,5 раз по сравнению с группой контроля.

Наши исследования свидетельствуют, что в клетке *Brucella melitensis* штамма Rev-1 гамма-облучением повреждаются в первую очередь генетический аппарат клетки и билипидный слой мембран, что согласуется с данными [16, 17].

В доступных библиографических и реферативных базах данных помимо наших исследований имеется лишь два источника, в которых рассматривается влияние γ -лучей на субмикроскопическую организацию бактериальных клеток рода *Brucella*.

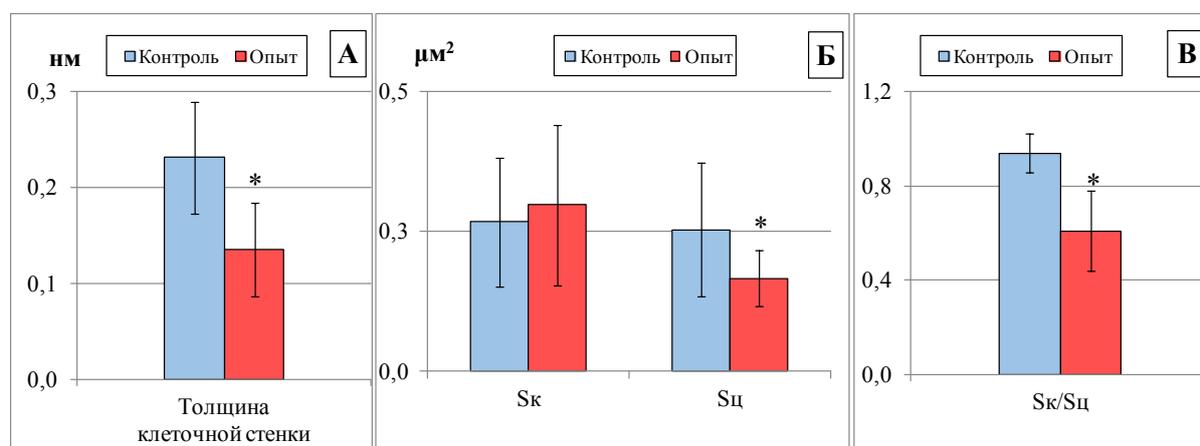


Рис. 3. Морфометрические показатели бактериальных клеток *Brucella melitensis* контрольной и опытной групп:

S_k – общая площадь клетки; $S_{ц}$ – площадь уплотненной цитоплазмы;
 $S_k/S_{ц}$ – соотношение между площадью клетки и площадью уплотненной цитоплазмы;
 * – наличие статистически значимых отличий от группы контроля
 ($p \leq 0.05$ с учётом поправки Бенджамини-Хохберга)

Так, в исследованиях [18] как при гамма-облучении 3,5 кГр, так и тепловом воздействии +65°C на вакцинный штамм *Brucella abortus* RB51 наблюдалась полная потеря способности к репликации, однако бактерии оставались метаболически активными и продолжали синтезировать бета-галактозидазу. Эксперименты *in vitro* показали, что гамма-облучение и термическое воздействие индуцировали созревание дендр-

ритных клеток; однако стимуляция гамма-облученными бактериями приводила к большей секреции интерлейкина-12. Вместе с тем проведенная сканирующая электронная микроскопия не выявила каких-либо явных структурных повреждений бактерий, подвергшихся воздействию гамма-излучения, за исключением присутствия некоторых, вероятно, фрагментированных, структурных компонентов.

В эксперименте [11] показано, что инактивация *Brucella melitensis* гамма-облучением (от 3,5 до 10 кГр) подавляла способность бруцелл к репликации, но при этом бактерии обладали метаболической и транскрипционной активностью, сохранялись в макрофагах, стимулировали генерацию антигенспецифических цитотоксических Т-клеток и способствовали защите мышей от вирулентного бактериального заражения без признаков остаточной вирулентности. Гамма-облучение сохраняло адьювантные и антигенные свойства *B. melitensis*, которые разрушались при воздействии высокой (+65°C) температуры. Как показала трансмиссионная электронная микроскопия, на срезах внутри фагосом облученные *B. melitensis* были интактны даже через 48 часов после заражения, тогда как бруцеллы после нагревания переваривались внутри фагосом, поскольку там наблюдались фрагменты их мембран.

Наши исследования по ультраструктуре бруцелл, проведенные ранее [4, 5], показали, что гамма-облучение является более щадящим режимом инактивации по сравнению с термической обработкой, что согласуется с результатами вышеперечисленных авторов.

Заключение

Наши результаты, касающиеся оценки влияния ионизирующего излучения на ультратонкую организацию *Brucella melitensis*, демонстрируют:

- 1) истончение клеточной стенки в два раза по сравнению с нативными клетками;
- 2) повреждение генетического материала и белоксинтезирующего комплекса;
- 3) увеличение периплазматического пространства в 8,5 раз и просветление цитоплазмы, статистически значимые различия между опытной и контрольной группами по площади цитоплазмы (в группе опыта снижается на 34,6%, $p = 0,0035$) и по соотношению общей площади и площади цитоплазмы клеток (в опытной группе снижается на 35,3%, $p = 0,7 \times 10^{-9}$). Несмотря на существенные изменения ультраструктурной организации бруцелл гамма-облучение остается уникальным способом инактивации бактерий, так как сохраняет ряд их иммуногенных свойств.

Библиографический список

1. Разработка радиомодифицированных мутантов микроорганизмов для профилактики и

лечения радиационных поражений животных / К. Т. Ишмухаметов, Р. Н. Низамов, В. Р. Саитов [и др.]. – Текст: непосредственный // Ученые записки КГАВМ. – 2020. – Т. 241, № 1. – С. 95-99.

2. Модификация синтеза антиоксидантных ферментов в процессе развития радиорезистентности у *Escherichia coli* / М. Ю. Галлямова, К. Н. Вагин, Р. Н. Низамов [и др.]. – Текст: непосредственный // Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и агроэкологии: сборник докладов IV Международной научно-практической конференции. – Обнинск, 2021. – С. 27-29.

3. Фенотипическая изменчивость *E. coli*, индуцированная γ -лучами 60Co / М. Ю. Галлямова, К. Н. Вагин, Р. Н. Низамов [и др.]. – Текст: непосредственный // Ветеринарный врач. – 2021. – № 3. – С. 19-23.

4. Изучение ультратонкого строения живых и инактивированных культур *Brucella melitensis* и *Brucella abortus* / М. М. Сальникова, В. Р. Саитов, Г. М. Сафина. – Текст: непосредственный // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 3. – С. 80-82.

5. Сальникова, М. М. Воздействие антибиотиков, тепла и гамма-облучения на ультратонкое строение возбудителей некробактериоза и бруцеллеза: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук: 06.02.02, 03.03.04 / Сальникова Марина Михайловна. – Казань, 2013. – 22 с. – Текст: непосредственный.

6. Banai M, Adams LG, Frey M, et al. (2002). The myth of *Brucella* L-forms and possible involvement of *Brucella* penicillin binding proteins (PBPs) in pathogenicity. *Vet Microbiol.* 90 (1-4): 263-279. doi: 10.1016/s0378-1135(02)00213-4.

7. Изучение морфологических свойств изолятов бруцелл в S- и R-формах электронно-микроскопическим методом / А. Р. Сансызбай, Б. А. Еспембетов, В. Л. Зайцев [и др.]. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 12. – С. 74-79.

8. Электронно-микроскопические исследования морфологических особенностей бруцелл / В. Р. Саитов, Ф. З. Баймухаметов, М. А. Косарев [и др.]. – Текст: непосредственный // Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий: материалы VI Международной научно-

практической конференции. – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2017. – С. 260-263.

9. Sedzicki J, Tschon T, Low SH, et al. (2018). 3D correlative electron microscopy reveals continuity of Brucella-containing vacuoles with the endoplasmic reticulum. *J Cell Sci.* 131 (4): jcs210799. doi: 10.1242/jcs.210799.

10. Аржаков, П. В. Изучение дезинфицирующего действия нового биоцидного препарата в отношении *Brucella rangiferi* / П. В. Аржаков. – Текст: непосредственный // Современные научные подходы к решению проблемы бруцеллеза: сборник материалов научно-практической конференции. – Омск. 2020. – С. 29-32.

11. Magnani D.M., Harms J.S., Durward M.A., et al. (2009). Nondividing but metabolically active gamma-irradiated *Brucella melitensis* is protective against virulent *B. melitensis* challenge in mice. *Infection and Immunity.* 77 (11): 5181–5189. doi: 10.1128/IAI.00231-09.

12. Al-Mariri A, Al-Hallab L, Alabras R, et al. (2022). Protection against virulent *Brucella* spp. by gamma-irradiated *B. ovis* in BALB/c mice model. *Clin Exp Vaccine Res.* 11 (1): 53-62. doi: 10.7774/cevr.2022.11.1.53.

13. Методические рекомендации по электронно-микроскопическим исследованиям биологических объектов / А. В. Иванов, А. А. Иванов, А. Н. Чернов [и др.]. – Москва: Росинформгротех, 2011. – 67 с. – Текст: непосредственный.

14. Трансмиссионная электронная микроскопия в биологии и медицине: монография / М. М. Сальникова, Л. В. Малютина, В. Р. Сайтов, А. И. Голубев. – Казань: КФУ (Казанский (Приволжский) федеральный университет), 2016. – 125 с. – URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=77306. – Текст: электронный.

15. Schindelin, J., Arganda-Carreras, I., Frise, E. et al. (2012). Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nat Methods* 9, 676–682. doi: 10.1038/nmeth.2019.

16. Australian Government. Department of Agriculture Fisheries and Forestry Biosecurity. Gamma irradiation as a treatment to address pathogens of animal biosecurity concern - Final policy review. Canberra, CC BY 3.0 2014.

17. Ершов, А. И. Инактивирующее и мутагенное действие гамма-излучения на возбудителя паратифозной инфекции (*S. typhimurium* 355) в модельных средах / А. И. Ершов. – Текст:

непосредственный // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2018. – № 1. – С. 40-45.

18. Sanakkayala N, Sokolovska A, Gulani J, et al. (2005). Induction of antigen-specific Th1-type immune responses by gamma-irradiated recombinant *Brucella abortus* RB51. *Clin Diagn Lab Immunol.* 12 (12): 1429-1436. doi: 10.1128/CDLI.12.12.1429-1436.2005.

References

1. Ishmukhametov, K.T. Razrabotka radio-modifitsirovannykh mutantov mikroorganizmov dlia profilaktiki i lecheniia radiatsionnykh porazhenii zhivotnykh / K.T. Ishmukhametov, R.N. Nizamov, V.R. Saitov, N.M. Vasilevskii, M.M. Shakurov, A.S. Gasanov // Uchenye zapiski KGAVM. – 2020. – Т. 241. – No. 1. – S. 95–99.

2. Galliamova, M.Iu. Modifikatsiia sinteza antioksidantnykh fermentov v protsesse razvitiia radiorezistentnosti u *Escherichia coli* / M.Iu. Galliamova, K.N. Vagin, R.N. Nizamov, I.R. Iunusov, L.Ia. Gabdrakhmanova, G.I. Rakhmatullina // Sovremennye problemy radiobiologii, radioekologii i agroekologii. Sbornik dokladov IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. – Obninsk, 2021. – S. 27–29.

3. Galliamova, M.Iu. Fenotipicheskaia izmenchivost *E. coli*, indutsirovannaia γ -luchami 60Co / M.Iu. Galliamova, K.N. Vagin, R.N. Nizamov, T.R. Gainutdinov, N.M. Vasilevskii, A.M. Idrisov, G.I. Rakhmatullina // Veterinarnyi vrach. – 2021. – No. 3. – S. 19–23.

4. Salnikova, M.M. Izuchenie ultratonkogo stroeniia zhivykh i inaktivirovannykh kultur *Brucella melitensis* i *Brucella abortus* / M.M. Salnikova, V.R. Saitov, G.M. Safina, I.F. Rakhmatullin, M.A. Kosarev, A.M. Fomin // Dostizheniia nauki i tekhniki APK. – 2012. – No. 3. – S. 80–82.

5. Salnikova, M.M. Vozdeistvie antibiotikov, tep-la i gamma-oblucheniia na ultratonkoe stroenie vzbuditelei nekrobakterioza i brutselleza: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk: 06.02.02, 03.03.04. – Kazan, 2013. – 22 s.

6. Banai M, Adams LG, Frey M, et al. (2002). The myth of *Brucella* L-forms and possible involvement of *Brucella* penicillin binding proteins (PBPs) in pathogenicity. *Vet Microbiol.* 90 (1-4): 263-279. doi: 10.1016/s0378-1135(02)00213-4.

7. Sansyzbai, A.R. Izuchenie morfologicheskikh svoystv izolyatov brutsell v S- i R-formakh elektronno-mikroskopicheskim metodom / A.R. Sansyzbai, B.A. Espembetov, V.L. Zaitsev [i dr.] // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – No. 12. – S. 74–79.

8. Salnikova, M.M. Elektronno-mikroskopicheskie issledovaniia morfologicheskikh osobenosti brutsell / V.R. Saitov, F.Z. Baimukhametov, M.A. Kosarev, A.M. Fomin, G.M. Safina // Materialy VI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Aktualnye problemy selskogo khoziaistva gornyx territorii». – Gorno-Altai: RIO GAGU, 2017. – S. 260-263.

9. Sedzicki J, Tschon T, Low SH, et al. (2018). 3D correlative electron microscopy reveals continuity of Brucella-containing vacuoles with the endoplasmic reticulum. *J Cell Sci.* 131 (4): jcs210799. doi: 10.1242/jcs.210799.

10. Arzhakov, P.V. Izuchenie dezinfitsiruiushchego deystviia novogo biotsidnogo preparata v otnoshenii Brucella rangiferi / P.V. Arzhakov // «Sovremennye nauchnye podkhody k resheniiu problemy brutselleza»: sbornik materialov nauchno-prakticheskoi konferentsii. – Omsk. 2020. – S. 29–32.

11. Magnani D.M., Harms J.S., Durward M.A., et al. (2009). Nondividing but metabolically active gamma-irradiated Brucella melitensis is protective against virulent B. melitensis challenge in mice. *Infection and Immunity.* 77 (11): 5181–5189. doi: 10.1128/IAI.00231-09.

12. Al-Mariri A, Al-Hallab L, Alabras R, et al. (2022). Protection against virulent Brucella spp. by gamma-irradiated B. ovis in BALB/c mice model.

Clin Exp Vaccine Res. 11 (1): 53-62. doi: 10.7774/cevr.2022.11.1.53.

13. Metodicheskie rekomendatsii po elektronno-mikroskopicheskim issledovaniiam biologicheskikh obiektov / A.V. Ivanov, A.A. Ivanov, A.N. Chernov [i dr.]. – Moskva: Rosinformagrotekh, 2011. – 67 s.

14. Transmissionnaia elektronnaia mikroskopiia v biologii i meditsine: monografiia / M.M. Salnikova, L.V. Maliutina, V.R. Saitov, A.I. Golubev. – Kazan: KFU (Kazanskii (Privolzhskii) federalnyi universitet), 2016. – 125 s. – URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=77306.

15. Schindelin, J., Arganda-Carreras, I., Frise, E. et al. (2012). Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nat Methods* 9, 676–682. doi: 10.1038/nmeth.2019.

16. Australian Government. Department of Agriculture Fisheries and Forestry Biosecurity. Gamma irradiation as a treatment to address pathogens of animal biosecurity concern - Final policy review. Canberra, CC BY 3.0 2014.

17. Ershov, A.I. Inaktiviruiushchee i mutagennoe deystvie gamma-izlucheniia na vzbuditelia paratifozi infektsii (S. typhimurium 355) v modelnykh sredakh / A.I. Ershov // Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya. – 2018. – No. 1. – S. 40–45.

18. Sanakkayala N, Sokolovska A, Gulani J, et al. (2005). Induction of antigen-specific Th1-type immune responses by gamma-irradiated recombinant Brucella abortus RB51. *Clin Diagn Lab Immunol.* 12 (12): 1429-1436. doi: 10.1128/CDLI.12.12.1429-1436.2005.



УДК 619: 616.995.1:636. 597 (571.15)
DOI: 10.53083/1996-4277-2022-215-9-83-87

Н.В. Тихая, Н.М. Понамарев
N.V. Tikhaya, N.M. Ponomarev

ЭПИЗООТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГЕЛЬМИНТОВ ГУСЕЙ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ

EPIZOOTOLOGICAL FEATURES OF DISTRIBUTION OF HELMINTHS OF GEESE IN THE ALTAI REGION

Ключевые слова: гельминты, водоемы, домашние гуси, болото, озеро, экстенсивность инвазии, интенсивность инвазии, гельминтофауна, птицы, личинки, насекомые, цестоды, нематоды, трематоды, нематоды, цестоды.

Keywords: helminths, water bodies, domestic geese, swamp, lake, extensiveness of invasion, intensity of invasion, helminth fauna, birds, larvae, insects, cestodes, nematodes, trematodes.