

УДК 579.64.083.13:615.015.8

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-43-52

М.В. Калашников^{1,2}¹Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, Россия²ООО «Синтол» Москва, Россия

✉ maxim07092001@gmail.com

Поступила в редакцию: 20.05.2026

Одобрена после рецензирования: 16.07.2026

Принята к публикации: 30.07.2026

© Калашников М.В.

Оценка антагонистической активности и антибиотикочувствительности штаммов *Bacillus mojavensis*, выделенных из кишечника цыплят-бройлеров

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Проблема антибиотикорезистентности в ветеринарной медицине обуславливает необходимость разработки безопасных терапевтических альтернатив, среди которых особое место занимают пробиотические препараты на основе микроорганизмов рода *Bacillus*. Цель настоящей работы — оценка антагонистической активности и профиля чувствительности к антибактериальным препаратам 15 штаммов *Bacillus mojavensis*, выделенных из кишечника цыплят-бройлеров, с последующим отбором перспективных штаммов-кандидатов для создания пробиотической добавки.

Методы. Антагонистическую активность определяли методом перпендикулярных штрихов в отношении 15 тест-культур, включая грамположительные и грамотрицательные бактерии, а также микромицеты и дрожжи. Чувствительность к 17 антибиотикам оценивали дискосифузионным методом с применением иерархического кластерного анализа и ранжирования изолятов по интегральным показателям.

Результаты. Установлена выраженная межштаммовая вариабельность как по антибиотикочувствительности, так и по антагонистической активности. Три штамма (№ 7, № 10 и № 12) продемонстрировали максимальную суммарную чувствительность к антибактериальным препаратам и были отнесены к группе высокочувствительных. Штамм № 10 показал наибольшую интегральную антагонистическую активность (сумма зон задержки роста — 402,7 мм), статистически значимо превосходя остальные изоляты, а также выраженный фунгистатический эффект в отношении *Aspergillus niger* и других плесневых грибов. У штаммов № 8 и № 15 выявлен фенотип множественной лекарственной устойчивости, что послужило основанием для их исключения из числа кандидатов.

На основании комплексного рангового анализа штамм № 10 рекомендован в качестве основного компонента для разработки пробиотического препарата широкого спектра действия. Предложенный подход позволяет объективно дифференцировать штаммы по критериям биобезопасности и функциональной эффективности.

Ключевые слова: *Bacillus mojavensis*, пробиотики, антибиотикочувствительность, дискосифузионный метод, желудочно-кишечный тракт, штаммы-кандидаты, биобезопасность, антибиотикорезистентность

Для цитирования: Калашников М.В. Оценка антагонистической активности и антибиотикочувствительности штаммов *Bacillus mojavensis*, выделенных из кишечника цыплят-бройлеров. *Аграрная наука*. 2026; 409(08): 43–52. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-43-52>

Scientific article



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-43-52

Maxim V. Kalashnikov

¹Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia²Syntol LLC (Moscow, Russia)

✉ maxim07092001@gmail.com

Received by the editorial office: 20.05.2026

Accepted in revised: 16.07.2026

Accepted for publication: 30.07.2026

© Kalashnikov M.V.

Evaluation of antagonistic activity and antibiotic susceptibility of *Bacillus mojavensis* strains isolated from the intestines of broiler chickens

ABSTRACT

Relevance. The growing challenge of antibiotic resistance in veterinary medicine necessitates the development of safe therapeutic alternatives, among which probiotic preparations based on *Bacillus* spp. represent a promising strategy. The aim of this study was to evaluate the antagonistic properties and antibiotic susceptibility profiles of 15 *Bacillus mojavensis* strains isolated from the intestines of broiler chickens, and to select candidate strains for a probiotic formulation.

Methods. Antagonistic activity was assessed using the perpendicular streak method against 15 indicator cultures, including Gram-positive and Gram-negative bacteria, as well as micromycetes and yeasts. Susceptibility to 17 antibacterial agents was determined by the disk diffusion method, followed by hierarchical cluster analysis (Ward's method, Euclidean distance) and strain ranking based on integrated parameters.

Results. Substantial inter-strain variability was observed in both antibiotic susceptibility and antagonistic activity. Three strains (No. 7, No. 10, and No. 12) exhibited the highest cumulative susceptibility and were classified as highly susceptible. Strain No. 10 demonstrated the highest integral antagonistic activity (total inhibition zone diameter — 402.7 mm), significantly exceeding the other isolates, along with a pronounced fungistatic effect against *Aspergillus niger* and other filamentous fungi. Strains No. 8 and No. 15 displayed a multidrug-resistant phenotype and were consequently excluded from the candidate pool.

Based on comprehensive ranking analysis, strain No. 10 is recommended as a primary component for the development of a broad-spectrum probiotic preparation. The proposed methodological approach enables objective strain differentiation according to biosafety and functional efficacy criteria.

Key words: *Bacillus mojavensis*, probiotics, antibiotic susceptibility, disk diffusion method, gastrointestinal tract, candidate strains, biosafety, antibiotic resistance

For citation: Kalashnikov M.V. Evaluation of antagonistic activity and antibiotic susceptibility of *Bacillus mojavensis* strains isolated from the intestines of broiler chickens. *Agrarian science*. 2026; 409(08): 43–52 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-43-52>

Введение/Introduction

Проблема антибиотикорезистентности представляет собой значимый вызов для ветеринарной медицины, охватывающей как популяции сельскохозяйственных, так и мелких домашних животных. Особую остроту данный вопрос приобретает в контексте применения не только лекарственных, но и кормовых антибиотиков, что обуславливает необходимость пересмотра существующих терапевтических протоколов [1–4].

Актуальным направлением современной ветеринарной фармакологии при выращивании сельскохозяйственных животных и птицы является разработка пробиотических препаратов, выполняющих функции эффективной альтернативы антибиотикам в профилактике и терапии заболеваний животных [5–7].

В производстве пробиотиков для ветеринарной медицины преимущественное распространение получили штаммы транзитной микрофлоры, принадлежащие к роду *Bacillus* spp. Особого внимания заслуживают виды *B. subtilis*, *B. pumilus* и *B. licheniformis*, которые продуцируют широкий спектр бактерицидных соединений и характеризуются высокой метаболической активностью, выраженным антимикробным потенциалом и значительной биоактивностью [8–13]. Эффективность применения пробиотических препаратов в птицеводстве проявляется в улучшении сохранности поголовья, повышении среднесуточных привесов и нормализации микробиоценоза кишечника [14–16].

Помимо бактериальной составляющей, серьезную проблему представляет грибковая контаминация кормов и объектов окружающей среды, ассоциированная с продукцией микотоксинов — вторичных метаболитов плесневых грибов. Данные соединения оказывают выраженное иммуносупрессивное и токсическое действие на организм животных, снижая естественную резистентность, угнетая гемопоэз и поражая паренхиматозные органы, что, в конечном итоге, может привести к снижению продуктивности и повышению восприимчивости к вторичным инфекциям [17–20].

Согласно данным ряда авторов, микроорганизмы вида *Bacillus mojavensis* обладают рядом свойств, характерных для пробиотических штаммов, включая синтез антимикробных метаболитов, устойчивость к факторам желудочно-кишечного тракта и безопасность для макроорганизма, что позволяет рассматривать данный вид бактерий

в качестве перспективного кандидата для разработки пробиотической добавки [18–21].

В исследованиях некоторых ученых показано, что *Bacillus mojavensis* обладает антагонистической активностью в отношении микромицетов и способен ингибировать рост и развитие грибковой микрофлоры [22–24].

Микроорганизмы вида *Bacillus mojavensis* широко распространены в окружающей среде, характеризуются биологической безопасностью и экологической пластичностью. Они вносят значительный вклад в биологический контроль грибковых заболеваний растений. Данный микроорганизм устойчив к факторам внешней среды, засухоустойчив, проявляет толерантность к 5% NaCl и способен выживать при осмотическом давлении до -2,2 МПа [25, 26].

В соответствии с руководящими документами EFSA¹ и нормативными актами РФ^{2–4}, одним из обязательных требований к штаммам-пробиотам является наличие изученного профиля антибиотикорезистентности в отношении антибактериальных препаратов, применяемых в современной медицине, а также способность проявлять антагонистическую активность в отношении патогенных микроорганизмов [27]. Разработка и внедрение инновационных стратегий повышения безопасности мясной продукции, включая использование новых методов микробиологического контроля и природных антимикробных агентов, являются приоритетными задачами современной пищевой промышленности [28, 29].

Для повышения точности и сокращения сроков детекции патогенов в пищевом сырье разрабатываются комбинированные подходы, в частности, сочетание метода наиболее вероятного числа и ПЦР-анализа [30].

Цель работы — дифференцировать 15 изолятов *Bacillus mojavensis* из кишечника цыплят-бройлеров по антагонистической активности и профилю антибиотикочувствительности с последующим отбором штаммов-кандидатов для ветеринарного пробиотика.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследования проводили на базе бактериологической лаборатории ООО НИЦ «Черкизово» (Москва, Россия)⁵.

Объектом исследования служили транзитные микроорганизмы рода *Bacillus*, выделенные

¹ Guidance on the characterisation of microorganisms in support of the risk assessment of products used in the food chain. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2025.9705>

² МУК 4.2.2602-10. 4.2. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Система предрегистрационного доклинического изучения безопасности препаратов. Отбор, проверка и хранение производственных штаммов, используемых при производстве пробиотиков. Методические указания" (утв. Роспотребнадзором 21.04.2010)

³ ГОСТ Р 53913-2010 (ИСО 16654:2001) Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Горизонтальный метод обнаружения *Escherichia coli* O157

⁴ МУ 2.3.2.2789-10 Продовольственное сырье и пищевые продукты. Методические указания по санитарно-эпидемиологической оценке безопасности и функционального потенциала пробиотических микроорганизмов, используемых для производства пищевых продуктов" (утв. Роспотребнадзором 06.12.2010)

⁵ ООО НИЦ «Черкизово» (г. Москва) осуществляет свою деятельность на основании лицензии №77.01.13.001.Л.000021.06.16 от 08.06.2016г и аттестата аккредитации №ААС.А.00281 от 04.04.2025г.

из тонкого отдела кишечника цыплят-бройлеров, выращенных на специальных площадках холдинга «Черкизово», получены были после производственного убоя.

Выделение микроорганизмов рода *Bacillus mojavensis* проводили из 50 образцов кишечника цыплят бройлеров на момент убоя в возраст 42 дня. Цыплята-бройлеры без клинических признаков заболеваний, с нормальной конверсией корма и весом в пределах нормы. Для поиска штамма претендента в пробиотическую добавку было выделено и изучено 15 штаммов *Bacillus mojavensis*.

Для наращивания бактериальной массы использовали жидкие питательные среды — забуференную пептонную воду (BPV, «Биомерье», Франция), выбор которой обусловлен ее высокой буферной емкостью, а также универсальностью пептонного состава, обеспечивающего активное накопление биомассы как вегетативных, так и споровых форм бацилл без использования селективных добавок. Изоляцию штаммов и выделение чистой культуры проводили на триптиказо-соевом агаре (TCA, производство Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии, Россия). Посевы инкубировали при температуре +37 °C, учет посевов осуществляли в течение 24–72 ч.

Первоначальная таксономическая идентификация изолятов проводилась методом масс-спектрометрии с матрично-ассистированной лазерной десорбцией/ионизацией и времяпролетным анализом (MALDI-TOF MS) на платформе MICROFLEX LT (Bruker Daltonik). Идентификация выполнялась в соответствии с методом прямого нанесения, описанным производителем. Спектры сравнивались с базой данных BDAL v.10 в программном обеспечении Biotyper 3.1 (Bruker Daltonik)⁶ [31].

Антагонистическую активность изучали методом перпендикулярных штрихов^{7, 8} [22]. Взвесь испытуемой культуры, в концентрации не менее 10⁷ КОЕ/см³ высевали штрихом по диаметру чашки Петри на среду TCA. Через 24 ч инкубации перпендикулярно к контрольному штамму штрихами высевали музейные и полевые культуры микроорганизмов. Для изучения антагонистической активности использовали музейные штаммы *Escherichia coli* (ATCC

25922 DSM 1103), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853 DSM 1117), *Enterococcus faecalis* (ATCC 19433 NCTC 775), *Salmonella enteritidis* (ATCC 11272), *Listeria monocytogenes* (ATCC 13932 NCTC 10527), *Bacillus subtilis* (ATCC 6633), *Salmonella typhimurium* (ATCC 14028). Также для оценки специфичности были использованы полевые штаммы *Bacillus licheniformis*, *Candida albicans*, *Aspergillus niger*, *Epicoccum nigrum*, *Aureobasidium pullulans*, *Penicillium commune*, *Phoma herbarum*.

Изучение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам проводили дискодиффузионным методом⁹ на агаре Мюллера-Хинтона (производства НИЦФ, Санкт-Петербург, Россия) [32]. С этой целью использовали диски, содержащие 17 антибиотиков (НИЦФ, Санкт-Петербург, Россия) — ампициллин (10 мкг), амоксициллин (20 мкг), бензилпенициллин (10 ЕД), гентамицин (10 мкг), колистин (300 ЕД), тетрациклин (30 мкг), тиамулин (30 мкг), тилмикозин (15 мкг), флорфеникол (30 мкг), цефтиофур (30 мкг) энрофлоксацин (5 мкг), доксициклин (30 мкг), левофлоксацин (5 мкг), линкомицин (15 мкг), тилозин (30 мкг), триметоприм и сульфаметоксазол (1,25 мкг / 23,75 мкг), ципрофлоксацин (5 мкг). Для засева использовали концентрацию штамма равную стандарту мутности 0,5 МакФарланда. Штаммы *B. mojavensis* относили к одной из трех категорий: чувствительные (S-susceptible), умеренно-резистентные (I-susceptible, increased exposure) или резистентные (R-resistant) к анти-бактериальному препарату, — в соответствии с числовым значением диаметра зоны задержки роста. Интерпретация диаметров зон задержки роста проведена в соответствии с документом EUCAST v.16.0 (2026) к *Bacillus spp.*¹⁰ [33], учитывая, что тут описаны брейпоинты только к четырем антибиотикам из списка, было сделано ранжирование штаммов по зонам задержки.

Обработка данных и построение дендрограмм иерархической кластеризации были проведены в программе RStudio. Статистический анализ проводился в программе Excel (США). Для определения значимых различий между средними значениями использовался однофакторный дисперсионный анализ ANOVA при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

⁶ Идентификация микроорганизмов с применением масс-спектрометра icroflex MALDI Biotyper при исследовании продовольственного сырья и пищевых продуктов: Методические указания. – М.: Центральная научно-методическая ветеринарная лаборатория, 2011 г. – 20 стр

⁷ МУ 2.3.2.2789-10 Продовольственное сырье и пищевые продукты. Методические указания по санитарно-эпидемиологической оценке безопасности и функционального потенциала пробиотических микроорганизмов, используемых для производства пищевых продуктов" (утв. Роспотребнадзором 06.12.2010). ⁸ Методические указания по санитарно-эпидемиологической оценке безопасности и функционального потенциала пробиотических микроорганизмов, используемых для производства пищевых продуктов: МУ 2.3.2.2789-10. М.; 2011. Guidelines on sanitary and epidemiological assessment of safety and functional potential of probiotic microorganisms used for food production: МУ 2.3.2.2789-10. М.; 2011. (In Russ.)

⁸ МУК 4.2.2602-10. 4.2. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Система предрегистрационного доклинического изучения безопасности препаратов. Отбор, проверка и хранение производственных штаммов, используемых при производстве пробиотиков. Методические указания" (утв. Роспотребнадзором 21.04.2010)

⁹ МУК 4.2.1890-04 Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам. Методические указания.

¹⁰ "EUCAST Breakpoint Tables: Breakpoint tables for interpretation of MICs and zone diameters, Version 16.0 (valid from 2026-01-01)" <https://www.eucast.org/bacteria/clinical-breakpoints-and-interpretation/clinical-breakpoint-tables/>

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Согласно результатам проведенных исследований, был определен фенотипический профиль чувствительности/резистентности штаммов *Bacillus mojavensis* к основным антимикробным препаратам. Выявлено, что бактерии вида *B. mojavensis* демонстрируют следующие особенности. Большинство выделенных штаммов проявили высокую чувствительность к фторхинолонам (левофлоксацин, цiproфлоксацин, энрофлоксацин) и группе тетрациклинов (тетрациклин, доксициклин). У многих штаммов *B. mojavensis* наблюдалась слабая чувствительность или полная устойчивость к бета-лактамам антибиотикам (бензилпенициллину, ампициллину), что, по-видимому, связано с естественной выработкой хромосомных бета-лактамаз¹¹ [26]. Также наблюдалась устойчивость к колистину в связи с отсутствием у клеток *B. mojavensis* наружных мембран с ЛПС, на которые действуют полимиксины и линкомицину, по-видимому, с природно распространенными генами *vmIR* (ABC-транспортёр-эффлюкс) у *Bacillus spp.* [34].

Наблюдался феномен формирования полярных фенотипов внутри изучаемых штаммов. С одной стороны, штаммы №7, №10 и №12 сохраняли чувствительность к ингибиторам ДНК-гиразы и топоизомеразы IV — левофлоксацину и цiproфлоксацину. Это может свидетельствовать об отсутствии у данных штаммов мутаций, ассоциированных с устойчивостью к фторхинолонам, в генах, кодирующих соответствующие белки-мишени, а также о достаточной доступности антибактериальных препаратов для бактериальных клеток. Использование молекулярных маркеров, в частности гена *gyrB*, является эффективным подходом для детекции микроорганизмов и выявления генетических детерминант резистентности [35]. С другой стороны, полученные результаты указывают на наличие в исследуемой популяции штаммов со сниженной чувствительностью к отдельным антибиотикам. Так, у штамма №15 отмечалось практически полное отсутствие зоны задержки роста, вокруг диска с гентамицином ее диаметр составлял 8 мм, также снижение чувствительности к фторхинолонам по сравнению со средними значениями для исследуемой популяции.

Таблица. 1 Динамика зон задержки роста в мм, для штаммов *B. mojavensis* (n = 15)

Table 1. Dynamics of growth inhibition zones in mm for *B. mojavensis* strains (n = 15)

Антибиотик (содержание диска)	Диаметр зоны задержки роста <i>B. mojavensis</i> (мм) по штаммам														
	Ш 1	Ш 2	Ш 3	Ш 4	Ш 5	Ш 6	Ш 7	Ш 8	Ш 9	Ш 10	Ш 11	Ш 12	Ш 13	Ш 14	Ш 15
Пенициллины															
Ампициллин	24	22	25	23	21	24	26	20	22	25	23	21	24	22	20
Амоксициллин	26	24	27	25	23	26	28	22	24	27	25	23	26	24	22
Бензилпеницил-лин	22	20	23	21	19	22	24	18	20	23	21	19	22	20	18
Аминогликозиды															
Гентамицин	18	20	19	21	17	18	42	16	18	48	20	45	18	16	8
Полимиксины															
Колистин	14	13	15	12	14	13	16	11	13	14	12	13	15	11	10
Тетрациклины															
Тетрациклин	28	30	29	31	27	28	30	26	28	29	30	27	28	26	18
Доксициклин	27	29	28	30	26	27	29	25	27	28	29	26	27	25	16
Плевромутиины															
Тиамулин	20	18	21	19	17	20	22	16	18	21	19	17	20	18	15
Макролиды															
Тилмикозин	19	17	20	18	16	19	25	15	17	24	18	26	19	17	14
Тилозин	18	16	19	17	15	18	20	14	16	19	17	15	18	16	14
Фениколы															
Флорфеникол	24	22	25	23	21	24	26	20	22	25	23	21	24	22	20
Цефалоспорины															
Цефтиофур	21	19	22	20	18	21	23	17	19	22	20	18	21	19	17
Фторхинолоны															
Энрофлоксацин	28	26	29	27	25	28	30	24	26	29	27	25	28	26	24
Цiproфлокса-цин	29	27	30	28	26	29	53	25	27	51	28	52	29	27	28
Левофлоксацин	30	28	31	29	27	30	55	26	28	52	29	50	30	28	29
Линкозамиды															
Линкомицин	16	14	17	15	13	16	18	12	14	19	15	20	16	14	12
Сульфаниламиды + диаминопиримидины															
TMP/SMX	20	18	21	19	17	20	22	16	18	21	19	17	20	18	16
M ± SD (мм)	22,6 ± 4,9	21,4 ± 5,3	23,6 ± 4,9	22,2 ± 5,5	20,1 ± 4,8	22,5 ± 5,0	28,8 ± 11,1	19,0 ± 4,9	21,0 ± 4,9	28,1 ± 11,3	22,1 ± 5,3	25,6 ± 11,9	22,6 ± 4,8	20,5 ± 5,0	17,7 ± 5,8
Σ зон задержки по штамму	384	363	401	378	342	383	489	323	357	477	375	435	385	349	301
Ранг штамма	6	10	4	8	13	7	1	14	11	2	9	3	5	12	15

Примечание: M — среднее арифметическое; SD — стандартное отклонение; Σ — сумма диаметров зон задержки роста; ранг 1 = наибольшая активность. Цветовая шкала: красный → желтый → зелёный соответствует возрастанию диаметра зоны задержки роста (мм).

¹¹ KEGG PATHWAY: beta-Lactam resistance — *Bacillus mojavensis* (bmoj01501). Available at: <https://www.kegg.jp/pathway/bmoj01501> (accessed 07.02.2026).

Это указывает на вероятное наличие у данного изолята сочетанных механизмов резистентности — это могут быть как модификация мишеней действия антибиотика, так и активный эффлюкс (системы выкачивания препарата из клетки), связанный с наличием *bla*, *tet*, *aac* и *aph* генов устойчивости.

На основании суммарных диаметров зон задержки роста к 17 антимикробным агентам было проведено ранжирование изолятов на группы по степени их чувствительности.

Распределение штаммов позволило четко дифференцировать их на три обособленные группы:

1. Высокочувствительные изоляты (Ранги 1–3: Штаммы №7, №10, №12). Данная группа характеризуется максимальными показателями задержки роста, при этом средний диаметр зон находился в пределах 25,59–28,76 мм. Фенотипической особенностью штаммов №7 и №10 явилась локальная гиперчувствительность к фторхинолонам (зоны задержки до 51–55 мм) и гентамицину (42–48 мм).

2. Умеренно чувствительные изоляты (Ранги 4–9: Штаммы №3, №13, №1, №6, №4, №11). Средний диаметр зон для данных микроорганизмов колебался в узком терапевтическом коридоре от 22,06 до 23,59 мм, демонстрируя классический ответ дикого типа без экстремальных отклонений.

3. Резистентные и полирезистентные изоляты (Ранги 10–15). Наибольший научно-практический интерес вызывают штаммы №8 и №15 (14-й и 15-й ранги соответственно), показавшие выраженную устойчивость. Средний диаметр зон задержки у штамма №15 составил всего 17,71 мм. Данный изолят проявил признаки множественной резистентности, продемонстрировав критическое снижение чувствительности к аминогликозидам (зона к гентамицину — всего 8 мм), тетрациклинам (тетрациклин — 18 мм, доксициклин — 16 мм) и полимиксидам (колистин — 10 мм)».

Таблица 2. Интерпретация рангов штаммов *B. mojavensis* (n = 15)

Table 2. Interpretation of the ranks of *B. mojavensis* strains (n = 15)

Группа	Штаммы	Характеристика
Высокочувствительные	№7, №10, №12	Средний диаметр > 25 мм
Умеренно чувствительные	№3, №13, №1, №6, №4, №11, №2, №9	Средний диаметр 21–24 мм
Низкочувствительные	№14, №5, №8, №15	Средний диаметр < 21 мм

Таким образом, исследованные штаммы были расположены в следующем порядке по убыванию антибиотикочувствительности: №7 > №10 > №12 > №3 > №13 > №1 > №6 > №4 > №11 > №2 > №9 > №14 > №5 > №8 > №15. Полученные данные свидетельствуют о неоднородности популяции исследованных микроорганизмов по признаку чувствительности к антибиотикам и позволяют выделить группы высокочувствительных, умеренно чувствительных и относительно устойчивых штаммов.

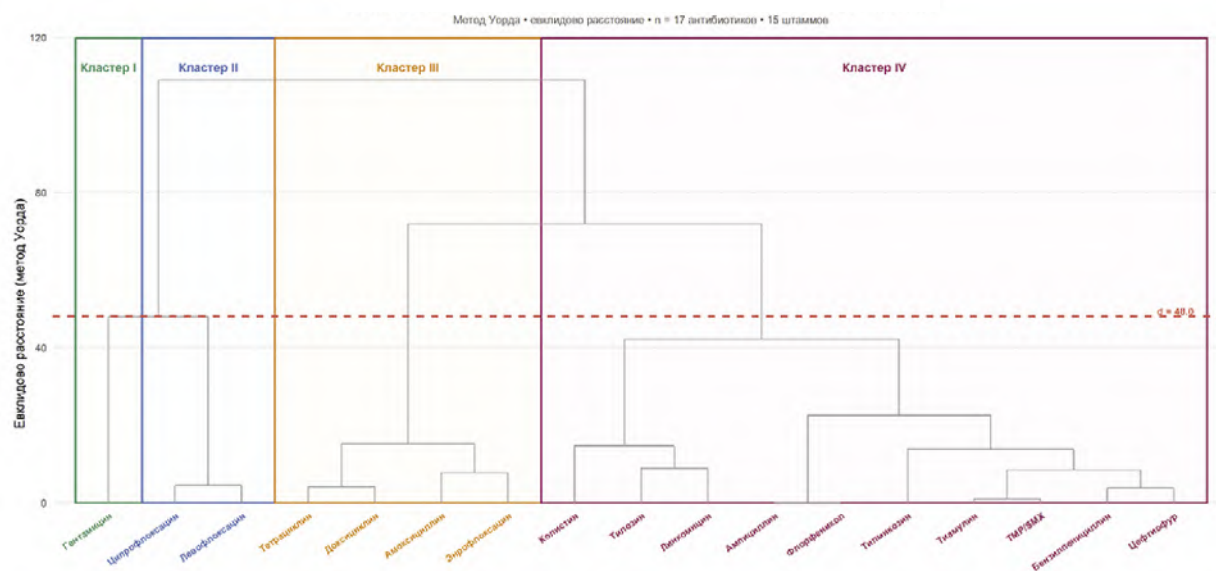
Для выявления сходства профилей антибиотикочувствительности исследованных штаммов был выполнен иерархический кластерный анализ методом Уорда с использованием евклидова расстояния. Результаты представлены в виде дендрограммы на рисунке 1.

Анализ позволил разделить исследуемые изоляты на несколько кластеров, характеризующихся сходным профилем чувствительности к антибактериальным препаратам. Копенетический коэффициент корреляции $r = 0,838$ подтверждает хорошее соответствие дендрограммы исходной матрицы расстояний.

При разбиении дендрограмм на четыре кластера ($k = 4$) были выделены следующие группы.

Кластер I обособил гентамицин — единственный аминогликозид в концевой группе, который не сочетался ни с одним другим препаратом.

Рис. 1. Дендрограмма кластеризации антибиотиков по профилю зон задержки роста — метод Уорда, евклидово расстояние
Fig. 1. Dendrogram of antibiotic clustering by growth inhibition zone profile — Ward's method, Euclidean distance



Большая высота слияния ($d \approx 109$) указывает на уникальный, не дублирующийся с другими классами профиль чувствительности штаммов к данному антибиотику.

Кластер II содержит два фторхинолона — левофлоксацин и цiproфлоксацин (высота слияния $d \approx 8$), что отражает их близкие фармакодинамические профили и практически идентичную активность в отношении исследуемых штаммов. Оба препарата вызывают максимальные диаметры зоны задержки роста.

Кластер III включает тетрациклин, доксициклин, амоксициллин и энрофлоксацин ($d \approx 15-70$) — групповые препараты со средневысокой активностью и умеренной внутригрупповой вариабельностью по отношению к исследуемым штаммам.

Кластер IV включает десять антибиотиков: колистин, линкомицин, тилозин, ампициллин, флорфеникол, тилмиколин, тиамулин, триметоприм/сульфаметоксазол, бензилпенициллин и цефтиофур (внутрикластерные слияния на высоте $d < 45$). Объединение в один кластер колистина и линкомицина — препаратов с механизмами резистентности *Bacillus spp.* (отсутствие мишени в колистина и эффлюкс-белок VmIR для линкомицина) — с β -лактамами (ампициллин, бензилпенициллин, цефтиофур), также характеризуется сниженной активностью по продукции β -лактамаз. Это статистически подтвержденное фенотипическое сходство характеризует уникальную устойчивость рода *B. mojavensis* к данным классам антибиотиков.

Высокое расстояние высоты слияния ($d \approx 109$) между кластером II (гентамицин) и всей частью дендрограммы свидетельствует о выраженной обособленности профиля чувствительности к аминогликозидам от остальных протестированных классов антибиотиков.

Фторхинолоны II и III поколений (левофлоксацин, цiproфлоксацин, энрофлоксацин) занимают лидирующие позиции в ранговом распределении (ранги 1, 2 и 4 соответственно). Стоит отметить, что у отдельных изолятов (штаммы №7, №10 и №12) зоны задержки роста к левофлоксацину и цiproфлоксацину достигали экстремальных значений (от 50 до 55 мм), что указывает на их высокую бактерицидную активность в отношении данной популяции микроорганизмов.

Тетрациклины (тетрациклин и доксициклин) прочно закрепились в верхней трети рейтинга (3-й и 5-й ранги), что свидетельствует о сохранении терапевтического потенциала данной группы, несмотря на риски распространения плазмидной резистентности.

Противоположная тенденция наблюдается для полимиксинов (колистин, средняя зона — 13,07 мм) и линкозамидов (линкомицин, средняя зона — 15,40 мм). Минимальные зоны задержки роста у данных антибиотиков позволяют предположить наличие у исследуемых штаммов механизмов природной или приобретенной устойчивости к указанным классам соединений, что делает нецелесообразным их выбор в качестве препаратов терапии от этих микроорганизмов.

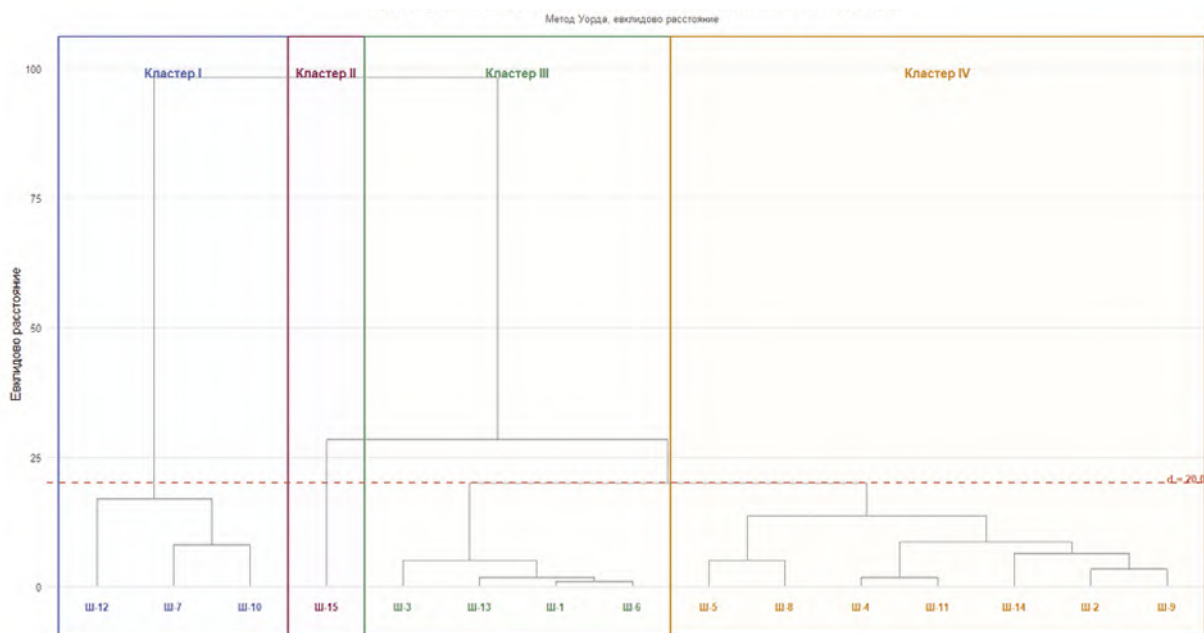
Методом Уорда была произведена кластеризация изучаемых штаммов. Данные кластеризации представлены на рисунке 2.

Штаммы, объединенные в один кластер, демонстрировали близкие значения зон задержки роста для большинства исследованных антибиотиков, тогда как расстояние между кластерами отражало степень различий в их антибиотикочувствительности.

Структура кластеризации показывает высокий копенетический коэффициент корреляции

Рис. 2. Дендрограмма иерархической кластеризации штаммов *B. mojavensis*.

Fig. 2. Dendrogram of hierarchical clustering of *B. mojavensis* strains.



$r = 0,972$, что свидетельствует об отличном соответствии исходных евклидовых расстояний и расстояний, отраженных в дендрограмме.

Результаты кластеризации ($k = 4$, метод Уорда):

Кластер I — Ш-7, Ш-10, Ш-12: штаммы с наибольшей суммарной чувствительностью к антибиотикам, в том числе аномально нестабильными зонами к фторхинолонам (50–55 мм) и гентамицину (42–48 мм). Все три — штаммы-кандидаты в пробиотический препарат.

Кластер II — Ш-15: обособленный штамм с наименьшей суммарной чувствительностью ($\Sigma = 301$ мм) и атипичным профилем (минимальная зона к гентамицину — 8 мм).

Кластер III — Ш-1, Ш-3, Ш-6, Ш-13: умеренная и высокая равномерная чувствительность (22,5–23,6 мм). Характеризующиеся наиболее однородными по профилю среди всех четырех групп (минимальные высоты внутригрупповых слияний, $d < 10$).

Кластер IV — Ш-2, Ш-4, Ш-5, Ш-8, Ш-9, Ш-11, Ш-14: наиболее представительная группа, включающая штаммы с умеренно сниженной

чувствительностью к большинству препаратов. (19,0–21,4 мм).

Была проведена сравнительная оценка антагонистической активности 15 штаммов *B. mojavensis* в отношении 15 индикаторных тест-культур. Данные представлены в таблице 3.

Распределение по уровню антагонистической активности. На основании шкалы оценки (S — высокая, ≥ 25 мм; I — умеренная, 15–24 мм; R — слабая, < 15 мм) установлено, что наибольшей интегральной активностью обладают штаммы Ш-10 ($\Sigma = 402,7$ мм; средний диаметр $26,9 \pm 6,2$ мм) и Ш-12 ($\Sigma = 389,4$ мм; $26,0 \pm 6,2$ мм), демонстрируя стабильно высокие зоны задержки в отношении большинства тест-культур. Штаммы Ш-7 ($\Sigma = 369,6$ мм; $24,6 \pm 6,0$ мм) и Ш-3 ($\Sigma = 342,7$ мм; $22,9 \pm 6,0$ мм) также показали высокие суммарные показатели, хотя по отдельным культурам их активность варьировала от высокой до умеренной. Важно отметить, что все исследуемые штаммы *Bacillus mojavensis* проявляли антагонизм в отношении тест-культур микромицетов (*A.niger*, *E.nigrum*, *A.pullulans*, *P.commune*, *Ph. herbarum*)

Таблица 3. Антагонистическая активность штаммов *B. mojavensis* в отношении индикаторных тест-культур

Table 3. Antagonistic activity of *B. mojavensis* strains in relation to indicator test cultures

Индикаторный штамм	Ш 10	Ш 12	Ш 7	Ш 3	Ш 13	Ш 4	Ш 6	Ш 1	Ш 5	Ш 2	Ш 15	Ш 14	Ш 11	Ш 8	Ш 9
	Ранг 1	Ранг 2	Ранг 3	Ранг 4	Ранг 5	Ранг 6	Ранг 7	Ранг 8	Ранг 9	Ранг 10	Ранг 11	Ранг 12	Ранг 13	Ранг 14	Ранг 15
Бактериальные тест-культуры															
<i>E. coli</i>	27,0±1,0	31,3±6,0	30,3±1,5	16,7±1,5	29,3±1,2	18,7±1,2	29,3±0,6	19,7±1,5	29,7±2,1	21,7±2,5	23,7±1,5	24,0±1,0	24,3±2,1	23,7±1,2	30,3±1,0
<i>S. aureus</i>	33,0±1,0	29,0±1,0	30,0±1,7	27,0±1,0	25,7±0,6	22,7±0,6	21,3±0,6	19,7±0,6	17,0±1,7	15,3±1,5	15,3±3,1	12,3±0,6	11,0±0,0	10,7±1,2	10,0±0,0
<i>P. aeruginosa</i>	26,3±1,5	24,3±0,6	24,3±1,2	24,3±1,2	22,3±2,9	22,0±0,0	20,7±2,1	21,3±0,6	18,3±0,6	22,0±4,4	16,7±1,2	17,7±3,1	16,0±1,0	16,3±3,2	14,7±0,6
<i>E. faecalis</i>	31,0±2,0	30,7±1,5	28,0±1,0	28,0±0,0	26,7±1,2	26,7±0,6	24,7±1,2	22,7±1,5	23,0±0,0	23,0±1,0	21,7±1,5	20,0±1,0	19,3±2,1	18,3±0,6	18,0±2,0
<i>S. enteritidis</i>	29,0±1,7	28,3±1,2	25,7±2,1	25,7±1,5	24,0±1,0	23,0±0,0	21,0±0,0	22,0±2,0	21,0±1,0	23,0±1,0	18,7±1,2	17,0±1,0	16,7±0,6	15,0±1,0	13,7±1,5
<i>L. monocytogenes</i>	33,0±0,0	32,7±0,6	30,7±1,5	28,0±1,0	28,7±1,2	25,3±1,5	26,3±0,6	23,3±2,3	25,0±1,0	23,3±2,5	21,3±1,5	18,7±0,6	20,0±1,7	17,7±1,5	18,0±2,0
<i>B. subtilis</i>	33,7±1,5	32,3±1,5	30,3±1,5	29,3±1,2	29,7±1,5	29,0±1,7	26,3±1,2	28,3±1,2	25,3±0,6	22,7±3,1	23,7±2,1	21,3±2,5	21,3±1,2	19,0±2,0	21,0±1,7
<i>B. licheniformis</i>	16,7±0,6	14,7±0,6	14,7±0,6	12,0±3,6	11,7±0,6	12,3±0,6	10,0±1,7	11,7±0,6	10,3±0,6	9,3±1,2	7,3±0,6	5,7±0,6	7,0±1,0	6,0±0,0	5,0±1,0
<i>S. typhimurium</i>	17,0±0,0	15,7±1,5	14,7±1,2	17,0±0,0	12,3±2,3	13,7±2,5	14,3±1,5	10,3±0,6	12,3±1,5	9,3±1,2	8,3±1,2	6,7±1,5	8,3±2,1	5,7±0,6	6,3±0,6
Грибковые тест-культуры															
<i>C. albicans</i>	19,0±1,0	19,0±1,7	16,3±1,2	15,3±1,5	13,7±1,5	15,3±1,2	14,0±1,0	13,3±1,5	12,3±2,5	11,0±1,0	9,7±0,6	9,0±1,0	8,3±1,5	7,0±1,0	7,3±0,6
<i>Aspergillus niger</i>	37,3±1,2	34,7±3,1	33,3±0,6	33,7±0,6	35,0±1,0	31,3±1,2	31,3±1,2	29,0±1,0	29,7±2,1	27,7±1,2	26,7±0,6	26,7±2,5	25,3±0,6	23,7±1,2	22,0±2,0
<i>Epicroccum nigrum</i>	25,7±0,6	25,3±0,6	24,3±0,6	21,3±1,5	21,3±0,6	19,3±0,6	19,7±1,2	18,7±2,1	18,7±1,5	17,0±1,0	17,0±1,0	13,0±0,0	13,0±2,6	11,7±1,5	11,7±0,6
<i>Aureobasidium pullulans</i>	23,7±1,5	21,7±3,1	20,7±1,2	21,0±1,7	20,0±1,0	19,3±1,5	18,7±1,5	18,7±1,2	17,0±0,0	14,0±0,0	13,7±0,6	12,3±1,5	11,7±1,5	11,7±1,5	13,3±1,5
<i>Penicillium commune</i>	25,3±1,5	25,0±1,7	24,0±2,0	22,7±0,6	22,3±1,5	22,0±2,0	20,3±3,1	18,3±0,6	17,0±1,0	17,3±2,1	16,7±1,5	14,7±1,2	14,3±1,2	14,7±1,2	13,7±1,5
<i>Phoma herbarum</i>	25,0±1,0	24,7±1,5	22,3±0,6	20,7±1,2	20,7±2,3	19,7±1,5	20,7±2,1	15,7±1,5	16,7±2,3	18,0±1,0	15,3±0,6	14,0±1,0	13,3±1,5	12,7±1,5	12,0±1,0
Σ зон задержки (мм)	402,7	389,4	369,6	342,7	343,4	320,3	318,6	292,7	293,3	274,6	255,8	233,1	229,8	213,9	217,0
$M \pm SD$ (мм)	26,9±6,2	26,0±6,2	24,6±6,0	22,9±6,0	22,9±6,7	21,4±5,4	21,2±5,8	19,5±5,4	19,6±6,0	18,3±5,7	17,1±5,8	15,5±6,1	15,3±5,8	14,3±5,7	14,5±6,7

Примечание: Зеленый цвет — высокая антагонистическая активность (≥ 25 мм); желтый цвет — умеренная антагонистическая активность (15 — 25 мм); розовый цвет — слабая антагонистическая активность (< 15 мм);

и дрожжей *C.albicans*. Наибольшие зоны задержки в отношении плесневых грибов зафиксированы у штаммов Ш-10 ($37,3 \pm 1,2$ мм против *A.niger*) и Ш-12 ($34,7 \pm 3,1$ мм), что подтверждает фунгистатический потенциал данных пробиотических кандидатов. В результате скрининга 15 штаммов *Bacillus mojavensis* установлено, что максимальной антагонистической активностью обладают штаммы Ш-10 и Ш-12, которые по сумме зон задержки роста (Σ) значительно превосходят остальные исследованные изоляты. Штамм Ш-10 (ранг 1) продемонстрировал наибольшую интегральную активность ($\Sigma = 402,7$ мм; средний диаметр $26,9 \pm 6,2$ мм). Штамм Ш-12 (ранг 2) показал близкие результаты ($\Sigma = 389,4$ мм; средний диаметр $26,0 \pm 6,2$ мм). У штамма Ш-10 наиболее выраженное ингибирующее действие зафиксировано в отношении *A.niger* ($37,3 \pm 1,2$ мм), *B.subtilis* ($33,7 \pm 1,5$ мм), *L.monocytogenes* ($33,0 \pm 0,0$ мм) и *S.aureus* ($33,0 \pm 1,0$ мм). Высокие зоны задержки (≥ 25 мм) отмечены также для *E.faecalis*, *E.coli*, *S.enteritidis* и *P.aeruginosa*. Штамм Ш-12 (ранг 2) проявил эффективность с максимальными значениями против *A.niger* ($34,7 \pm 3,1$ мм), *L.monocytogenes* ($32,7 \pm 0,6$ мм) и *B.subtilis* ($32,3 \pm 1,5$ мм). Высокую активность штамм проявил также в отношении *E.coli* ($31,3 \pm 6,0$ мм), *E.faecalis* ($30,7 \pm 1,5$ мм) и *S.aureus* ($29,0 \pm 1,0$ мм). Сделан статистический вывод — с доверительной вероятностью 95% доказано эффективность исследуемых штаммов неодинакова. Наблюдаемые различия в зонах задержки роста между штаммами *B. mojavensis* являются статистически значимыми и обусловлены свойствами самих образцов, а не случайными факторами.

Представленные результаты, показывающие наличие полирезистентных штаммов, подтверждают обязательную необходимость проведения скрининга микроорганизмов на резистентность к антибактериальным препаратам. Так, включение штаммов №15 или №8 в коммерческий биопрепарат создало бы прямую биологическую угрозу формирования резервуара резистентности в желудочно-кишечном тракте целевых животных.

Важно отметить, что все четыре штамма, образующиеся по критерию наивысшей суммарной чувствительности к антибиотикам, таким как кандидаты для пробиотического препарата (Ш-7, Ш-10, Ш-12), группируются исключительно в кластерах I и II — две группы с наиболее благоприятным профилем чувствительности, которые определяют правильность отбора данных штаммов методами описательной статистики и иерархического кластерного анализа.

Полученные в ходе скрининга данные могут говорить о выраженной межштаммовой вариабельности антагонистической активности у представителей рода *Bacillus mojavensis*. Наиболее активные штаммы (Ш-10, Ш-12 и Ш-7) стабильно подавляли рост как грамположительных, так и

грамотрицательных тест-культур, что позволяет предположить продукцию антимикробных соединений с широким спектром действия, вероятно, включающих бактериоцины и низкомолекулярные антибиотикоподобные вещества.

Высокий уровень антагонизма исследуемых штаммов-лидеров зафиксирован в отношении грибных тест-культур *A. niger*, *E. nigrum*, *A. pullulans*, *P. Commune* и *Ph. herbarum*, а также дрожжей *C. albicans*. Данный результат обращает на себя внимание в силу практической значимости проблемы микотоксикозов в животноводстве, где контаминация кормов плесневыми грибами остается одним из основных факторов снижения продуктивности. Можно предположить, что ингибирующий эффект обусловлен продукцией бациллярных антимикотиков — например, липопептидов групп итурина или фенгицина, хотя прямое подтверждение этого требует дополнительных экспериментов. С другой стороны, все изученные штаммы показали низкую активность против *B. licheniformis*, что не противоречит литературным данным о слабо выраженном антагонизме внутри вида *Bacillaceae* при совместном культивировании.

Интегральная оценка антагонистической активности (суммарный диаметр зон подавления роста по 15 тест-культурам) позволила выделить штаммы Ш-10, Ш-12 и Ш-7 в качестве объектов для дальнейших исследований. Они характеризуются широким спектром действия и стабильно высоким уровнем ингибирования большинства индикаторных микроорганизмов, включая грибные тест-культуры. Кроме того, не исключено их использование в составе комбинированных пробиотических композиций, в том числе в ассоциации со штаммами *B. licheniformis*, однако совместное применение требует дальнейшей оценки эффективности в условиях конкурентного роста.

Выводы/Conclusion

При сравнении 15 изолятов *Bacillus mojavensis*, полученных из кишечника цыплят-бройлеров, выявлены существенные различия по двум параметрам: чувствительности к антибиотикам и антагонистической активности в отношении бактериальных и грибковых тест-культур. Оба критерия определяют пригодность штаммов для разработки ветеринарных пробиотиков. Оценку проводили диско-диффузионным методом, данные кластеризовали по Уорду с использованием евклидова расстояния. Три штамма — № 7, № 10 и № 12 — давали зоны задержки роста свыше 25 мм и не имели признаков резистентности к антибиотикам. Штаммы № 8 и № 15, напротив, проявили множественную устойчивость, что послужило основанием для их исключения из числа кандидатов. Полученные данные подтверждают необходимость проведения антибиотикорезистентного скрининга на начальных этапах отбора пробиотических штаммов.

Наиболее перспективным для практического использования был штамм *B. mojavensis* № 10, продемонстрировавший наибольшую интегральную антагонистическую активность ($\Sigma = 402,7$ мм) и превосходящий другие изоляты по сумме зон задержки роста ($p^* < 0,05$), он имел выраженную антифунгальную активность в отношении *Aspergillus niger*, *Epicoccum nigrum* и *Penicillium commune*. Согласно данному исследованию, этот изолят сочетает широкий спектр антимикробного действия, высокую биобезопасность и благоприятный профиль чувствительности к

антибиотикам, что позволяет рекомендовать его в качестве основного компонента пробиотического препарата широкого спектра действия для птицеводства.

Предложенный комплексный подход, включающий ранжирование по вектору «антагонистическая активность — антибиотикочувствительность», может служить методологической основой для объективного отбора безопасных и функционально активных штаммов-пробионтов и минимизации рисков формирования антибиотикорезистентности в животноводстве.

Автор несет ответственность за работу и представленные данные.
Автор несет ответственность за плагиат.
Автор объявил об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает благодарность направлению ветеринарно-санитарной экспертизы ООО НИЦ «Черкизово» за возможность проведения лабораторных испытаний

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Филимонов Д.Н., Енгаршев С.В., Лесниченко И.Ю., Кисарова А.А. Борьба с лекарственной резистентностью на птицеводческих предприятиях России: видовой состав патогенных микроорганизмов и мониторинг эффективности лекарственных препаратов. *Птицеводство*. 2024; (9): 78–81. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2024-73-9-78-81>
2. Muaz K., Riaz M., Akhtar S., Park S., Ismail A. Antibiotic Residues in Chicken Meat: Global Prevalence, Threats, and Decontamination Strategies: A Review. *Journal of Food Protection*. 2018; 81(4): 619–627. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-17-086>
3. Vieco-Saiz N. *et al.* Unraveling the benefits of *Bacillus subtilis* DSM 29784 poultry probiotic through its secreted metabolites: an *in vitro* approach. *Microbiology Spectrum*. 2024; 12(11): e00177-24. <https://doi.org/10.1128/spectrum.00177-24>
4. Тирина Д.Г. и др. Развитие антибиотикорезистентности микроорганизмов у цыплят-бройлеров под влиянием ветеринарных антибиотиков и пробиотика. *Аграрная наука*. 2024; (3): 85–91. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-85-91>
5. Fei L. *et al.* A probiotic *Brevibacillus laterosporus* promotes chicken growth performance immunity and gut health. *Scientific Reports*. 2026; 16: 21. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-29309-3>
6. Ефременкова О.В. и др. Антибиотическая активность пробиотического штамма *Bacillus subtilis* 534 в отношении клинических изолятов *Acinetobacter baumannii*. *Антибиотики и Химиотерапия*. 2016; 61(9–10): 3–7. EDN: XUZXJT
7. Орлова Т.Н., Иркитова А.Н., Гребенщикова А.В., Дудник Д.Е. Изучение антибиотикочувствительности нового ризосферного штамма *Bacillus pumilus* B-13250 для возможности использования его в составе пробиотических препаратов для животноводства. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2020; (1): 111–115. EDN: BWOOJD
8. Helmy Y.A., Closs G., Jung K., Kathayat D., Vlasova A., Rajashekara G. Effect of Probiotic *E. coli* Nissle 1917 Supplementation on the Growth Performance, Immune Responses, Intestinal Morphology, and Gut Microbes of *Campylobacter jejuni* Infected Chickens. *Infection and Immunity*. 2022; 90(10): e00337-22. <https://doi.org/10.1128/iai.00337-22>
9. Oladokun S., Koehler A., MacIsaac J., Ibeagha-Awemu E.M., Adewole D.I. *Bacillus subtilis* delivery route: effect on growth performance, intestinal morphology, cecal short-chain fatty acid concentration, and cecal microbiota in broiler chickens. *Poultry Science*. 2021; 100(3): 100809. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.063>
10. Payne J., Bellmer D., Jadeja R., Muriana P. The Potential of *Bacillus* Species as Probiotics in the Food Industry: A Review. *Foods*. 2024; 13(15): 2444. <https://doi.org/10.3390/foods13152444>
11. Alhassani A.N.A. *et al.* A Review on *Aspergilliosis* in Turkey: As a Main Fungal Disease in Poultry. *Veterinary Medicine and Science*. 2025; 11(6): e70605. <https://doi.org/10.1002/vms3.70605>
12. Belalmi N.E.H., Sid N., Sedrati T., Ouhida S., Bennoune O., Özmen Ö. *Multisystemic aspergillosis* with unusual vertebral osteomyelitis in a turkey flock in Bordj Bou Arreridj Province, Algeria. *Open Veterinary Journal*. 2025; 15(5): 2009–2015. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2025.v15.i5.16>
13. Almremdhay H.A.A.-E., Neamha G.A.K., Al-Hilli Z.B., Awadh R.J. Pathological, hematological, and biochemical alteration in broiler chickens infected with mycotoxin in Babylon province. *Open Veterinary Journal*. 2024; 14(11): 2848–2859. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2024.v14.i11.13>
14. Khaziakhmetov F. *et al.* Valuable Effect of Using Probiotics in Poultry Farming. *Annual Research & Review in Biology*. 2018; 18(3): 1–6. <https://doi.org/10.9734/arrb/2018/40070>
15. Sharipova A. *et al.* The effects of a probiotic dietary supplementation on the livability and weight gain of broilers. *Annual Research and Review in Biology*. 2017; 21(5): 1–7. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2017/37344>
16. Погодаев В.А., Ребезов М.Б. Продуктивность и динамика метаболических процессов в организме молодняка индеек, при использовании в рационе эубиотиков на основе бифидобактерий штамма *Bifidobacterium bifidum*. *Все о мясе*. 2023; (3): 36–47. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2023-3-36-47>
17. Тарасова Е.Ю., Матросова Л.Е. Изучение биохимических показателей сыворотки крови кур-несушек при сочетанном микотоксикозе на фоне применения многокомпонентного средства «Галлуасорб». *Вестник КРАСГАУ*. 2024; (10): 140–146. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-10-140-146>

The author is responsible for the work and the submitted data.
The author is responsible for plagiarism.
The author declared no conflict of interest.

GRATITUDE

The author expresses gratitude to the veterinary and sanitary expertise department of the Cherkizovo Research Center for the opportunity to conduct laboratory tests.

REFERENCES

1. Filimonov D.N., Engashev S.V., Lesnichenko I.Y., Kisarova A.A. Control of microbial drug resistance in poultry farms in Russia: taxonomy of pathogens and monitoring of their sensitivity to antimicrobials. *Pitisevodstvo*. 2024; (9): 78–81 (in Russian). <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2024-73-9-78-81>
2. Muaz K., Riaz M., Akhtar S., Park S., Ismail A. Antibiotic Residues in Chicken Meat: Global Prevalence, Threats, and Decontamination Strategies: A Review. *Journal of Food Protection*. 2018; 81(4): 619–627. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-17-086>
3. Vieco-Saiz N. *et al.* Unraveling the benefits of *Bacillus subtilis* DSM 29784 poultry probiotic through its secreted metabolites: an *in vitro* approach. *Microbiology Spectrum*. 2024; 12(11): e00177-24. <https://doi.org/10.1128/spectrum.00177-24>
4. Tiurina D.G. *et al.* The development of antimicrobial resistance in broilers affected by veterinary antimicrobials and a probiotic administration. *Agrarian science*. 2024; (3): 85–91 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-85-91>
5. Fei L. *et al.* A probiotic *Brevibacillus laterosporus* promotes chicken growth performance immunity and gut health. *Scientific Reports*. 2026; 16: 21. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-29309-3>
6. Efremenkova O.V. *et al.* Antibiotic Activity of Probiotic Strain *Bacillus subtilis* 534 Against Clinical Isolates of *Acinetobacter baumannii*. *Antibiotics and Chemotherapy*. 2016; 61(9–10): 3–7 (in Russian). EDN: XUZXJT
7. Orlova T.N., Irkitova A.N., Grebenshchikova A.V., Dudnik D.Ye. The study of antibiotic susceptibility of a new rhizosphere strain *Bacillus pumilus* B-13250 to use it in the composition of probiotic products for livestock. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2020; (1): 111–115 (in Russian). EDN: BWOOJD
8. Helmy Y.A., Closs G., Jung K., Kathayat D., Vlasova A., Rajashekara G. Effect of Probiotic *E. coli* Nissle 1917 Supplementation on the Growth Performance, Immune Responses, Intestinal Morphology, and Gut Microbes of *Campylobacter jejuni* Infected Chickens. *Infection and Immunity*. 2022; 90(10): e00337-22. <https://doi.org/10.1128/iai.00337-22>
9. Oladokun S., Koehler A., MacIsaac J., Ibeagha-Awemu E.M., Adewole D.I. *Bacillus subtilis* delivery route: effect on growth performance, intestinal morphology, cecal short-chain fatty acid concentration, and cecal microbiota in broiler chickens. *Poultry Science*. 2021; 100(3): 100809. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.063>
10. Payne J., Bellmer D., Jadeja R., Muriana P. The Potential of *Bacillus* Species as Probiotics in the Food Industry: A Review. *Foods*. 2024; 13(15): 2444. <https://doi.org/10.3390/foods13152444>
11. Alhassani A.N.A. *et al.* A Review on *Aspergillosis* in Turkey: As a Main Fungal Disease in Poultry. *Veterinary Medicine and Science*. 2025; 11(6): e70605. <https://doi.org/10.1002/vms3.70605>
12. Belalmi N.E.H., Sid N., Sedrati T., Ouhida S., Bennoune O., Özmen Ö. *Multisystemic aspergillosis* with unusual vertebral osteomyelitis in a turkey flock in Bordj Bou Arreridj Province, Algeria. *Open Veterinary Journal*. 2025; 15(5): 2009–2015. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2025.v15.i5.16>
13. Almremdhay H.A.A.-E., Neamha G.A.K., Al-Hilli Z.B., Awadh R.J. Pathological, hematological, and biochemical alteration in broiler chickens infected with mycotoxin in Babylon province. *Open Veterinary Journal*. 2024; 14(11): 2848–2859. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2024.v14.i11.13>
14. Khaziakhmetov F. *et al.* Valuable Effect of Using Probiotics in Poultry Farming. *Annual Research & Review in Biology*. 2018; 18(3): 1–6. <https://doi.org/10.9734/arrb/2018/40070>
15. Sharipova A. *et al.* The effects of a probiotic dietary supplementation on the livability and weight gain of broilers. *Annual Research and Review in Biology*. 2017; 21(5): 1–7. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2017/37344>
16. Pogodaev V.A., Rebezov M.B. Bifidobacterium bifidum productivity and dynamics of metabolic processes in the body of young turkeys when using eubiotics based on the Bifidobacterium bifidum strain in the diet. *Vsyo O Myase*. 2023; (3): 36–47. (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2023-3-36-47>
17. Tarasova E.Yu., Matrosova L.E. Study of biochemical indicators of laying hens blood serum with combined mycotoxicosis against the multi-component agent Galluasorb background use. *Bulletin of KSAU*. 2024; (10): 140–146 (in Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-10-140-146>

18. Dastjerdi Z.K., Ghazi S. Microencapsulation of *Bacillus Mojavensis* as potent probiotic strain isolated from soil of Iran and determining characterization. The Microbe. 2025; 8: 100425. <https://doi.org/10.1016/j.microb.2025.100425>
19. Etyemez Büyükdavacı M., Cengizler İ., Balcázar J.L., Demirkale İ. Effects of two host-associated probiotics *Bacillus mojavensis* B191 and *Bacillus subtilis* MRS11 on growth performance, intestinal morphology, expression of immune-related genes and disease resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) against *Streptococcus iniae*. Developmental & Comparative Immunology. 2023; 138: 104553. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2022.104553>
20. Martínez-Ortiz V.M. et al. *Bacillus mojavensis* isolated from aguamiel and its potential as a probiotic bacterium. Electronic Journal of Biotechnology. 2024; 67: 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2023.11.002>
21. Trujillo-López M.A. et al. *Bacillus mojavensis* postbiotics: transcriptomic and anticancer effects in colon cancer cells. AMB Express. 2026; 16: 39. <https://doi.org/10.1186/s13568-026-02018-4>
22. Diabankana R.G.C., Afordoanyi D.M., Safin R.I., Nizamov R.M., Karimova L.Z., Validov S.Z. Antifungal Properties, Abiotic Stress Resistance, and Biocontrol Ability of *Bacillus mojavensis* PS17. Current Microbiology. 2021; 78(8): 3124–3132. <https://doi.org/10.1007/s00284-021-02578-7>
23. Ze M. et al. Beneficial effects of *Bacillus mojavensis* strain MTC-8 on plant growth, immunity and disease resistance against *Magnaporthe oryzae*. Frontiers in Microbiology. 2024; 15: 1422476. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1422476>
24. Wang B., Lei X., Chen J., Li W., Long Y., Wang W. Antifungal Activities of *Bacillus mojavensis* BQ-33 towards the Kiwifruit Black Spot Disease Caused by the Fungal Pathogen *Didymella glomerata*. Microorganisms. 2022; 10(10): 2085. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10102085>
25. Li Y., Tang X., Chen L., Xu X., Li J. Characterization of a Nattokinase from the Newly Isolated Bile Salt-Resistant *Bacillus mojavensis* LY-06. Foods. 2022; 11(16): 2403. <https://doi.org/10.3390/foods11162403>
26. Saxena A.K., Kumar M., Chakdar H., Anuroopa N., Bagyaraj D.J. *Bacillus* species in soil as a natural resource for plant health and nutrition. Journal of Applied Microbiology. 2020; 128(6): 1583–1594. <https://doi.org/10.1111/jam.14506>
27. Василевич Ф.И., Бачинская В.М., Шарапова Н.Р., Гурьева В.И. Эффективность пробиотических кормовых добавок для профилактики кишечных инфекций. АПК Россия. 2024; 31(4): 569–579. <https://doi.org/10.55934/2587-8824-2024-31-4-569-579>
28. Rebezov M. et al. Improving meat quality and safety: innovative strategies. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2024; 18: 505–522. <https://doi.org/10.5219/1972>
29. Rebezov M. et al. Novel Techniques for Microbiological Safety in Meat and Fish Industries. Applied Sciences. 2021; 12(1): 319. <https://doi.org/10.3390/app12010319>
30. Камалетдинова А.В., Калашников В.А., Бодрякова Н.П., Калашников М.В. Разработка и валидация метода количественного определения *Salmonella* spp. в мясе птицы с использованием комбинации метода наиболее вероятного числа и полимеразной цепной реакции. Аграрная наука. 2026; (3): 34–41. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-34-41>
31. Чеботарь И.В., Поликарпова С.В., Боcharova Ю.А., Маянский Н.А. Использование времяпролетной масс-спектрометрии с матрично-активированной лазерной десорбцией/ионизацией (MALDI-TOF MS) для идентификации бактериальных и грибковых возбудителей III–IV групп патогенности. Лабораторная служба. 2018; 7(2): 78–86. <https://doi.org/10.17116/labs20187278-86>
32. Гурьева В.И., Бачинская В.М., Шарапова Н.Р. Определение чувствительности пробиотических штаммов бактерий к антибактериальным препаратам диско-диффузионным методом. Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2024; 10(1): 9–16. <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2024-10-1-9-16>
33. Рузина А.В. Бактериологические исследования в птицеводстве для подбора эффективных антимикробных препаратов. Ветеринария. 2025; (9): 27–32. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2025.28.9.27-32>
34. Ohki R., Tateno K., Takizawa T., Aiso T., Murata M. Transcriptional termination control of a novel ABC transporter gene involved in antibiotic resistance in *Bacillus subtilis*. Journal of Bacteriology. 2005; 187(17): 5946–5954. <https://doi.org/10.1128/JB.187.17.5946-5954.2005>
35. Jamaluddin I.P. et al. Detection of *Pseudomonas aeruginosa* pus wound isolate using a polymerase chain reaction targeting 16S rRNA and gyrB genes: A case from Indonesia. Narra J. 2024; 4(2): e774. <https://doi.org/10.52225/narra.v4i2.774>
18. Dastjerdi Z.K., Ghazi S. Microencapsulation of *Bacillus Mojavensis* as potent probiotic strain isolated from soil of Iran and determining characterization. The Microbe. 2025; 8: 100425. <https://doi.org/10.1016/j.microb.2025.100425>
19. Etyemez Büyükdavacı M., Cengizler İ., Balcázar J.L., Demirkale İ. Effects of two host-associated probiotics *Bacillus mojavensis* B191 and *Bacillus subtilis* MRS11 on growth performance, intestinal morphology, expression of immune-related genes and disease resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) against *Streptococcus iniae*. Developmental & Comparative Immunology. 2023; 138: 104553. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2022.104553>
20. Martínez-Ortiz V.M. et al. *Bacillus mojavensis* isolated from aguamiel and its potential as a probiotic bacterium. Electronic Journal of Biotechnology. 2024; 67: 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2023.11.002>
21. Trujillo-López M.A. et al. *Bacillus mojavensis* postbiotics: transcriptomic and anticancer effects in colon cancer cells. AMB Express. 2026; 16: 39. <https://doi.org/10.1186/s13568-026-02018-4>
22. Diabankana R.G.C., Afordoanyi D.M., Safin R.I., Nizamov R.M., Karimova L.Z., Validov S.Z. Antifungal Properties, Abiotic Stress Resistance, and Biocontrol Ability of *Bacillus mojavensis* PS17. Current Microbiology. 2021; 78(8): 3124–3132. <https://doi.org/10.1007/s00284-021-02578-7>
23. Ze M. et al. Beneficial effects of *Bacillus mojavensis* strain MTC-8 on plant growth, immunity and disease resistance against *Magnaporthe oryzae*. Frontiers in Microbiology. 2024; 15: 1422476. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1422476>
24. Wang B., Lei X., Chen J., Li W., Long Y., Wang W. Antifungal Activities of *Bacillus mojavensis* BQ-33 towards the Kiwifruit Black Spot Disease Caused by the Fungal Pathogen *Didymella glomerata*. Microorganisms. 2022; 10(10): 2085. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10102085>
25. Li Y., Tang X., Chen L., Xu X., Li J. Characterization of a Nattokinase from the Newly Isolated Bile Salt-Resistant *Bacillus mojavensis* LY-06. Foods. 2022; 11(16): 2403. <https://doi.org/10.3390/foods11162403>
26. Saxena A.K., Kumar M., Chakdar H., Anuroopa N., Bagyaraj D.J. *Bacillus* species in soil as a natural resource for plant health and nutrition. Journal of Applied Microbiology. 2020; 128(6): 1583–1594. <https://doi.org/10.1111/jam.14506>
27. Vasilevich F.I., Bachinskaya V.M., Sharapova N.R., Guryeva V.I. Efficiency of probiotic feed additives for the prevention of intestinal infections. Agro-industrial complex of Russia. 2024; 31(4): 569–579 (in Russian). <https://doi.org/10.55934/2587-8824-2024-31-4-569-579>
28. Rebezov M. et al. Improving meat quality and safety: innovative strategies. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2024; 18: 505–522. <https://doi.org/10.5219/1972>
29. Rebezov M. et al. Novel Techniques for Microbiological Safety in Meat and Fish Industries. Applied Sciences. 2021; 12(1): 319. <https://doi.org/10.3390/app12010319>
30. Kamaletdinova A.V., Kalashnikov V.A., Bodryakova N.P., Kalashnikov M.V. Development and validation of a method for the quantification of *Salmonella* spp. in poultry meat using a combination of the most probable number and polymerase chain reaction. Agrarian science. 2026; (3): 34–41 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-34-41>
31. Chebotar' I.V., Polikarpova S.V., Bocharova Yu.A., Mayansky N.A. Use of matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry (MALDI-TOF MS) for identification of bacteria and fungi of the pathogenicity group III and IV. Laboratory Service. 2018; 7(2): 78–86 (in Russian). <https://doi.org/10.17116/labs20187278-86>
32. Guryeva V.I., Bachinskaya V.M., Sharapova N.R. Determination of probiotic bacterial strains sensitivity to antibacterial drugs by the disc diffusion method. Vestnik of Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics". 2024; 10(1): 9–16 (in Russian). <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2024-10-1-9-16>
33. Ruzina A.V. Poultry bacteriological studies to select effective antimicrobials. Veterinary. 2025; (9): 27–32 (in Russian). <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2025.28.9.27-32>
34. Ohki R., Tateno K., Takizawa T., Aiso T., Murata M. Transcriptional termination control of a novel ABC transporter gene involved in antibiotic resistance in *Bacillus subtilis*. Journal of Bacteriology. 2005; 187(17): 5946–5954. <https://doi.org/10.1128/JB.187.17.5946-5954.2005>
35. Jamaluddin I.P. et al. Detection of *Pseudomonas aeruginosa* pus wound isolate using a polymerase chain reaction targeting 16S rRNA and gyrB genes: A case from Indonesia. Narra J. 2024; 4(2): e774. <https://doi.org/10.52225/narra.v4i2.774>

ОБ АВТОРАХ

Максим Вячеславович Калашников^{1, 2}

- аспирант¹;
 - младший научный сотрудник²
- maxim07092001@gmail.com

¹Волгоградский государственный аграрный университет, Университетский проспект, 26, Волгоград, 400002, Россия

²ООО «Синтол», ул. Тимирязевская, 42, корпус Б, Москва, 127434, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Maxim Viacheslavovich Kalashnikov^{1, 2}

- Postgraduate student¹;
 - Junior Researcher²
- maxim07092001@gmail.com

¹Volgograd State Agrarian University, 26 Universitetsky Ave., Volgograd, 400002, Russia

²Synthol LLC, 42B Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russia