



РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ВЕТЕРИНАРИИ

ИНФЕКЦИОННЫЕ БОЛЕЗНИ

УДК [615.33+615.361]:616.98:579.887:636.2

DOI: 10.52419/issn2782-6252.2023.4.37

ИЗМЕНЕНИЕ БЕЛКОВОГО СПЕКТРА СЫВОРОТКИ КРОВИ БОЛЬНЫХ МИКОПЛАЗМОЗОМ КОРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ТУЛАТРОМИЦИНА И ТИМАЛИНА

*Васильев Роман Михайлович, канд.ветеринар.наук, доц., orcid/0000-0002-0693-3050
Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Россия*

РЕФЕРАТ

Интенсивные технологии ведения животноводства подразумевают максимальное использование продуктивных качеств животных, реализацию которых сдерживают заболевания различного генеза, особенно те, которые сопровождаются длительным хроническим течением. Среди них особое место занимает генитальный микоплазмоз крупного рогатого скота. Целью наших исследований являлось изучение белкового спектра сыворотки крови у больных генитальным микоплазмозом кров при использовании для лечения тулатромицина и тулатромицина в сочетании с тималином. Для проведения эксперимента было сформировано три группы стельных коров, по 8 голов в каждой. Первая группа – стельные коровы с генитальным микоплазмозом для лечения которых использовали антибиотик траксовет 100 (тулатромицин). Вторая группа - стельные коровы с генитальным микоплазмозом для лечения которых использовали антибиотик траксовет 100 и иммуномодулятор тималин. Третья группа (контроль) – клинически здоровые стельные коровы. У всех групп животных в сыворотке крови определяли: содержание общего белка, альбуминов, глобулинов и иммуноглобулинов классов G, M, A. Антибиотикотерапия больных генитальным микоплазмозом коров приводит к элиминации возбудителя из генитального тракта у 75% животных, тогда как при сочетании антибиотика и иммуномодулятора ни у одного животного из группы микоплазмы не были обнаружены. Применение для лечения коров с генитальным микоплазмозом тулатромицина приводит лишь к частичной нормализации белкового спектра сыворотки крови, тогда как использование для лечения комбинации тулатромицина и тималина обеспечивает полное восстановление изучаемых показателей до уровня клинически здоровых животных.

Ключевые слова: коровы, микоплазмоз, тималин, тулатромицин, сыворотка крови, белковые фракции.

ВВЕДЕНИЕ

Современные интенсивные технологии ведения животноводства предусматривают максимальное использование продуктивных возможностей животных при условии сохранения на высоком уровне их репродуктивного потенциала. Репродуктивная способность самок с одной стороны определяется функциональным состоянием половой системы, с другой – отсутствием заболеваний входящих в нее органов (4). Одной из главных причин снижения воспроизводительной способности являются заболевания органов репродуктивного тракта, особенно те, которые сопровождаются длительным латентным периодом, что затрудняет их своевременное выявление. В группу таких заболеваний входит генитальный микоплазмоз крупного рогатого скота. Данное заболевание отличается длительным латентным периодом и неспецифической клинической картиной, что маскирует его от внимания ветеринарных специалистов (9). Зачастую единственным симптомом являются многократные неплодо-

творные осеменения на фоне сохранения ритма и клинического проявления половой цикличности. В результате животноводческие предприятия несут существенный экономический ущерб из-за недополучения приплода.

Генитальный микоплазмоз крупного рогатого скота, за счет слабо выраженной симптоматики получил широкое распространение на всех континентах. По данным зарубежных исследователей количество инфицированных животных в стаде может колебаться в пределах 9 – 47% (11, 14), при этом отмечалась связь заболевания с низкими показателями воспроизводства стада. По результатам мониторинговых исследований проведенных в молочно-товарных хозяйствах на территории РФ генитальный микоплазмоз регистрировался у 14 – 25% коров (1, 7).

Для лечения животных с генитальным микоплазмозом с различной степенью эффективности применяют антибиотики тетрациклиновой, макролидной и фторхинолоновой групп (10). Однако, как показывает практика, с течением времени

микоплазмы приобретают устойчивость к некоторым широко применяемым препаратам, что снижает эффективность проводимой терапии (5, 6). Еще одним фактором, влияющим на результативность лечения является состояние иммунной системы животных, а в частности неспецифических факторов защиты, угнетение которых наблюдается при микоплазмозе (13). Поскольку метаболиты, выделяемые микоплазмами, вызывают дисфункцию различных звеньев иммунной системы, то для их коррекции целесообразно применение иммуностимулирующих препаратов с широким спектром действия, а в частности пептидных регуляторов (8). На сегодняшний день наибольшей терапевтической эффективностью при микоплазмозе крупного рогатого скота обладают последние поколения антибиотиков макролидной и фторхинолоновой групп, однако их применение не обеспечивает восстановление иммунного статуса больных животных, что может приводить к рецидивам болезни.

Исходя из этого, определенный интерес представляет изучение сочетанного применения для лечения коров с генитальным микоплазмозом антибиотика макролидной группы тулатромицина и пептидного иммуномодулятора тималина.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Комплекс исследований проводился в условиях ЗАО «Осьминское» Сланцевского района Ленинградской области. Для проведения эксперимента было сформировано три группы стельных коров, по 8 голов в каждой. Первая группа – стельные коровы с генитальным микоплазмозом для лечения которых использовали антибиотик траксовет 100 (тулатромицин) в дозе 2,5 мг на 1 кг массы тела животного, подкожно, однократно за 40 дней до предполагаемых родов. Вторая группа – стельные коровы с генитальным микоплазмозом для лечения которых использовали антибиотик траксовет 100 в дозе 2,5 мг на 1 кг массы тела животного, подкожно, однократно за 40 дней до предполагаемых родов и иммуномодулятор тималин в дозе 0,1 мг на 1 кг массы тела животного, внутримышечно, дважды с интервалом 72 часа. Третья группа (контроль) – клинически здоровые стельные коровы.

Диагностика генитального микоплазмоза у коров проводилась методом ПЦР с электрофоретической детекцией с применением диагностического набора «МИК-КОМ» (выявление *Mycoplasma spp.*), производства ООО «ИнтерЛабСервис». Серологическая типизация осуществлялась в РНГА – установлена *M. bovis genitalium*. У опытных групп коров через 2 недели после начала лечения проводили контроль эффективности терапии путем проведения повторного ПЦР-теста на *Mycoplasma spp.* До начала терапии у первой и второй опытной группы коров брали кровь из яремной вены в пробирку с активатором свертывания для получения сыворотки. В сыворотке крови определяли: содержание общего белка, альбуминов, глобулинов по общепринятым методам и иммуноглобулинов классов G, M, A методом дискретного осаждения (по М.А. Костына

1983). Повторное взятие крови проводили через 2 недели, в этот же срок получали кровь и у коров группы контроля. Полученные результаты были статистически обработаны с использованием компьютерной программы SPSS 22.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

ПЦР-тест, проведенный через 2 недели от начала терапии продемонстрировал, что в группе коров, для лечения которых использовали траксовет *Mycoplasma spp.* была выявлена у 2 животных из 8 (терапевтическая эффективность составила 75%); в группе коров, где применяли траксовет в сочетании с тималином положительных тестов на *Mycoplasma spp.* не было (терапевтическая эффективность – 100%).

Результаты изменения белкового спектра сыворотки крови у коров подопытных групп представлены в таблице 1.

Из данных таблицы видно, что исходно высокий уровень общего белка у коров с генитальным микоплазмозом в результате применения тулатромицина снижался на 6,3 г/л, но изменение было статистически недостоверным; использование комбинации тулатромицина и тималина приводило к достоверному снижению данного показателя на 13,6 г/л.

Изучение белковых фракций показало, что низкое относительное содержание альбуминов у больных животных при использовании тулатромицина практически не изменялось, тогда как при сочетанной терапии оно достоверно повышалось на 6,5%; напротив, высокое содержание глобулинов в результате антибиотикотерапии снижалось всего на 0,8%, а применение тулатромицина и тималина приводило к достоверному его снижению до уровня здоровых коров. Изменения иного характера наблюдались при анализе абсолютного количества альбуминов и глобулинов, так концентрация альбуминов в опытных группах не претерпевала изменений, тогда как содержание глобулинов при использовании для лечения тулатромицина достоверно снижалась на 5,7 г/л, а тулатромицина и тималина более существенно – на 14,8 г/л и межгрупповое различие оказалось статистически достоверным.

Подобную динамику общего белка и его фракций у животных опытных групп можно объяснить снижением количества циркулирующих в крови иммунных комплексов, входящих в глобулиновую фракцию, которое обусловлено элиминацией микоплазм из организма больных коров в ходе проведенной терапии (2).

Результаты эксперимента показывают, что применение больным коровам тулатромицина приводило к достоверному повышению уровня Ig G на 44,8%, тогда как при сочетанном его применении с тималином он увеличивался в 2 раза и даже несколько превышал его уровень у здоровых животных. Подобная динамика иммуноглобулинов класса G вероятнее всего связана со снижением концентрации токсичных метаболитов, выделяемых микоплазмами, угнетающих их продукцию плазматическими клетками (13).

Исходно высокий уровень Ig A, констатируе-

мый в сыворотке крови у коров с микоплазмозом в результате антибиотикотерапии достоверно снижался на 31,5%, а при использовании антибиотика и иммуномодулятора наблюдалось снижение в 2,2 раза и не отличалось от такового у здоровых животных. Падение концентрации данного иммуноглобулина может быть объяснена уменьшением его потребности для трансформации в секреторный Ig A с целью защиты слизистой оболочки влагалища в результате элиминации возбудителя с ее поверхности (12).

Что касается IgM, то существенных отличий в его содержании у здоровых и больных микоплазмозом коров не отмечалось, однако при использовании для лечения тулатромицина, его концентрация достоверно снижалась на 38,1%, а при сочетанном применении тулатромицина и тималина не изменялась.

При рассмотрении общего содержания иммуноглобулинов в сыворотке крови больных микоплазмозом коров отмечалось их снижение на 21,7%, относительно здоровых животных. Терапия больных коров тулатромицином приводила к небольшому росту исследуемого показателя на 5,1%, причем изменение происходило за счет перераспределения классового состава, но он так и не приближался к уровню здоровых животных. Напротив, применение инфицированным животным тулатромицина в комбинации с тималином приводило к увеличению общего количества иммуноглобулинов на 32,7%, и оно оказалось несколько выше, чем у здоровых коров. Существенное увеличение содержания иммуноглобулинов в сыворотке крови коров, получавших для лечения тулатромицин и тималин с одной стороны можно объяснить элиминацией из организма микоплазм, с другой – восстановлением кооперации Т- и В-лимфоцитов и быстрой выработкой иммуноглобулинов, преимущественно класса G (3). Дополнительным подтверждением этого мо-

жет служить значительное достоверное увеличение доли иммуноглобулинов в глобулиновой фракции общего белка в группе коров, которым применяли сочетанную терапию.

Заключение. Таким образом, генитальный микоплазмоз у коров характеризуется диспротеинемией, которая выражается в умеренной гиперпротеинемии, относительном снижении содержания альбуминов и абсолютном и относительном увеличении количества глобулинов. Вместе с этим наблюдается уменьшение доли иммуноглобулинов в глобулиновой фракции, преимущественно за счет падения уровня Ig G.

Антибиотикотерапия больных генитальным микоплазмозом коров приводит к элиминации возбудителя из генитального тракта у 75% животных, тогда как при сочетании антибиотика и иммуномодулятора ни у одного животного из группы микоплазмы не были обнаружены.

Применение для лечения коров с генитальным микоплазмозом тулатромицина приводит лишь к частичной нормализации белкового спектра сыворотки крови, тогда как использование для лечения комбинации тулатромицина и тималина обеспечивает полное восстановление изучаемых показателей до уровня клинически здоровых животных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев, Р.М. Роль хламидийной и микоплазменной инфекции в этиологии бесплодия у крупного рогатого скота /Р.М. Васильев// Международный вестник ветеринарии. - 2008.- №3.- С. 15-16.
2. Васильев, Р.М. Динамика показателей неспецифической резистентности коров больных генитальным микоплазмозом на фоне терапии тулатромицином. /Р.М. Васильев// Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. - 2022. - №2. - С. 42-44.
3. Васильев, Р. М. Влияние терапии тулатромицином на иммунный статус больных микоплазмозом коров и рожденных ими телят / Р. М. Васильев // Международный вестник ветеринарии. – 2023. – № 1. – С. 71-78.

Таблица 1.
Изменение белкового спектра сыворотки крови у коров с генитальным микоплазмозом при различных способах терапии

Показатель	Коровы с генитальным микоплазмозом			Здоровые коровы
	До лечения	14 дней от начала лечения		
		траксовет	траксовет + тималин	
Общий белок, г/л	94,6±2,46	88,3±3,43	81,0±2,37***	81,1±1,96
Альбумины, %	31,7±1,43	32,5±2,55	38,2±0,96**	38,3±1,02
Глобулины%	68,3±1,43	67,5±2,55	61,8±0,96**	61,7±1,02
Альбумины, г/л	29,7±1,15	29,1±3,35	30,9±0,96	31,05±1,17
Глобулины, г/л	64,9±2,45	59,2±1,6**	50,1±1,69*** P <0,01	50,0±1,27
Ig G, г/л	9,26±0,41	13,41±0,54***	18,65±0,39*** P <0,001	17,45±0,63
Ig A, г/л	6,15±0,13	4,21±0,34**	2,82±0,08*** P <0,01	2,8±0,09
IgM, г/л	3,34±0,14	2,1±0,06***	3,43±0,17 P <0,001	3,41±0,17
Ig общие, г/л	18,76±0,58	19,72±0,71*	24,9±0,43*** P <0,001	23,66±0,6
Содержание иммуноглобулинов в глобулиновой фракции, %	29,2±1,12	33,4±1,48*	40,35±0,95*** P <0,01	47,6±1,12

* - указан уровень достоверности между показателями до и после лечения;

P – указан уровень достоверности при сравнении показателей подопытных групп.

4. Изменения в динамике гормонов в течение полового цикла у мясного скота калмыцкой породы / Э. А. Альмтаев, Г. С. Никитин, С. П. Перерядкина [и др.] // Современные научные тенденции в ветеринарии: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Пенза, 01–02 декабря 2022 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 6-9.
5. Красиков, А.П. Микоплазмозы человека и животных их эпидемиологическое и эпизоотологическое значение / А.П. Красиков, Н.В. Рудаков. – Омск: ООО ИЦ «Омский научный вестник», 2015. – 717 с.
6. Лешинский, И.И. Макролиды - препараты выбора для борьбы с микоплазмозами животных / И.И. Лешинский // РВЖ СХЖ, 2009. - №1. - С. 44-45.
7. Распространение микоплазмозов крупного рогатого скота на животноводческих фермах в Российской Федерации в период с 2015 по 2018 год. / М. А. Алхуссен, А. А. Нестеров, В. В. Кирпиченко [и др.] // Ветеринария сегодня. – 2020. №2 (33). С. 102-108.
8. Хавинсон, В.Х. Мета-анализ иммуномодулирующей активности лекарственного пептидного препарата тималина / В.Х. Хавинсон, А.А. Корнеев, И.Г. Попович // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. – 2020. - №4. – С. 108-124.
9. Busharova, Ju. V. Humoral factors of protection of the vaginal mucosa in healthy cows and with mycoplasmosis /

- Ju.V. Busharova, R.M. Vasiliev, S.V. Vasilieva, V.A. Trushkin, A.A. Nikitina, [et al.] // Journal of Animal Science. 2021. T. 99. № S3. С. 273.
10. Cooper, A.C. In vitro activity of danofloxacin, tylosin and oxytetracycline against mycoplasmas of veterinary importance / A.C. Cooper, J.R. Fuller, M.K. Fuller, P. Whittlestone, D.R. Wise // Research in Veterinary Science. – 1993. – Vol. 54, Issue 3. – P. 329-334.
11. Marouf, S. A. Detection of Mycoplasma bovis and Mycoplasma bovigenitalium in cattle and buffalo in Egypt using dot ELISA and PCR with anti-microbial trials. / S. A. Marouf, Kh. F. Mohamed, J. El-Jakee// European J. Biol. Sci. – 2011. Vol. 3, №1. - P. 1–8.
12. Nikitina, A. Comparative assessment of the content of immunoglobulins in the blood serum of calves obtained from healthy cows and cows with genital mycoplasmosis / A. Nikitina, R. Vasiliev, S. Kovalev, V. Trushkin // FASEB Journal. 2022. - T. 36. № S1. - C. R3467.
13. Pilo, P. A metabolic enzyme as a primary virulence factor of Mycoplasma mycoides subsp. mycoides small colony/ P. Pilo, E.M. Vilei, E. Peterhans [et. al.] // J. Bacteriol. – 2005. - Vol. 187. – P. 6824 – 6831.
14. Trichard, C.J. Mycoplasmas recovered from bovine genitalia, aborted foetuses and placentas in the Republic of South Africa. Onderstepoort. /C.J. Trichard, E.P. Jacobsz// J Vet Res. – 1985. Vol. 52, №2. P. 105-110.

CHANGES IN THE PROTEIN SPECTRUM OF BLOOD SERUM OF COWS WITH MYCOPLASMOSIS WHEN USED FOR THE TREATMENT OF TULATROMYCIN AND THYMALIN

*Roman M. Vasiliev, PhD of Veterinary Sciences, Docent, orcid/0000-0002-0693-3050
St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, Russia*

Intensive technologies of animal husbandry imply the maximum use of productive qualities of animals, the realization of which is hindered by diseases of various genesis, especially those that are accompanied by a long chronic course. Genital mycoplasmosis of cattle occupies a special place among them. The aim of our research was to study the protein spectrum of blood serum in patients with genital mycoplasmosis of the blood when used for the treatment of tulatromycin and thymalin in combination with thymalin. To conduct the experiment, three groups of pregnant cows were formed, 8 heads each. The first group – pregnant cows with genital mycoplasmosis for the treatment of which the antibiotic traksovet 100 (tulatromycin) was used. The second group - pregnant cows with genital mycoplasmosis for the treatment of which the antibiotic traksovet 100 and the immunomodulator timalin were used. The third group (control) – clinically healthy pregnant cows. In all groups of animals, blood serum was determined: the content of total protein, albumins, globulins and immunoglobulins of classes G, M, A. Antibiotic therapy of patients with genital mycoplasmosis of cows leads to the elimination of the pathogen from the genital tract in 75% of animals, whereas with a combination of an antibiotic and an immunomodulator, mycoplasma was not detected in any animal from the group. The use of tulatromycin for the treatment of cows with genital mycoplasmosis leads only to a partial normalization of the protein spectrum of blood serum, whereas the use of a combination of tulatromycin and thymalin for the treatment provides a complete restoration of the studied parameters to the level of clinically healthy animals.

Key words: cows, mycoplasmosis, thymalin, tulatromycin, blood serum, protein fractions.

REFERENCES

1. Vasiliev, R.M. The role of chlamydial and mycoplasma infections in the etiology of infertility in cattle / R.M. Vasiliev // International Bulletin of Veterinary Medicine. - 2008.- No. 3.- P. 15-16.
2. Vasiliev, R.M. Dynamics of indicators of nonspecific resistance of cows with genital mycoplasmosis during therapy with tulatromycin. /R.M. Vasiliev // Legal regulation in veterinary medicine. - 2022. - No. 2. - pp. 42-44.
3. Vasiliev, R. M. The influence of tulatromycin therapy on the immune status of cows with mycoplasmosis and the calves born by them / R. M. Vasiliev // International Bulletin of Veterinary Medicine. – 2023. – No. 1. – P. 71-78.
4. Changes in the dynamics of hormones during the reproductive cycle in beef cattle of the Kalmyk breed / E. A. Almtaev, G. S. Nikitin, S. P. Pereryadkina [et al.] // Modern scientific trends in veterinary medicine: Collection of articles of the International scientific -practical conference, Penza, December 01–02, 2022. – Penza: Penza State Agrarian University, 2023. – pp. 6-9.
5. Krasikov, A.P. Mycoplasmosis of humans and animals: their epidemiological and epizootological significance / A.P. Krasikov, N.V. Rudakov. – Омск: ООО ИЦ “Омский научный вестник”, 2015. – 717 p.

6. Leshchinsky, I.I. Macrolides are the drugs of choice for the fight against animal mycoplasmosis / I.I. Leshchinsky // RVZH SKhZh, 2009. - No. 1. - pp. 44-45.
7. Distribution of bovine mycoplasmosis on livestock farms in the Russian Federation in the period from 2015 to 2018. / M. A. Alhussen, A. A. Nesterov, V. V. Kirpichenko [et al.] // Veterinary medicine today. – 2020. No. 2 (33). pp. 102-108.
8. Khavinson, V.Kh. Meta-analysis of the immunomodulatory activity of the peptide drug thymalin / V.Kh. Khavinson, A.A. Korneev, I.G. Popovich // Modern problems of health care and medical statistics. – 2020. - No. 4. – pp. 108-124.
9. Busharova, Ju. V. Humoral factors of protection of the vaginal mucosa in healthy cows and with mycoplasmosis / Ju.V. Busharova, R.M. Vasiliev, S.V. Vasilieva, V.A. Trushkin, A.A. Nikitina, [et al.] // Journal of Animal Science. 2021. T. 99. № S3. С. 273.
10. Cooper, A.C. In vitro activity of danofloxacin, tylosin and oxytetracycline against mycoplasmas of veterinary importance / A.C. Cooper, J.R. Fuller, M.K. Fuller, P. Whittlestone, D.R. Wise // Research in Veterinary Science. – 1993. – Vol. 54, Issue 3. – P. 329-334.
11. Marouf, S. A. Detection of Mycoplasma bovis and Mycoplasma bovigenitalium in cattle and buffalo in Egypt

using dot ELISA and PCR with anti-microbial trials. / S. A. Marouf, Kh. F. Mohamed, J. El-Jakee// European J. Biol. Sci. – 2011. Vol. 3, №1. - P. 1–8.
12. Nikitina, A. Comparative assessment of the content of immunoglobulins in the blood serum of calves obtained from healthy cows and cows with genital mycoplasmosis / A. Nikitina, R. Vasiliev, S. Kovalev, V. Trushkin // FASEB Journal. 2022. - Т. 36. № S1. - С. R3467.

13. Pilo, P. A metabolic enzyme as a primary virulence factor of *Mycoplasma mycoides* subsp. *mycoides* small colony/ P. Pilo, E.M. Vilei, E. Peterhans [et. al.] // J. Bacteriol. – 2005. - Vol. 187. – P. 6824 – 6831.
14. Trichard, C.J. Mycoplasmas recovered from bovine genitalia, aborted fetuses and placentas in the Republic of South Africa. Onderstepoort. /C.J. Trichard, E.P. Jacobsz// J Vet Res. – 1985. Vol. 52, №2. P. 105-110.

УДК: 619:616.9-036.22.001.57

DOI: 10.52419/issn2782-6252.2023.4.41

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ВЕТЕРИНАРИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ БОЛЕЗНЕЙ ЖИВОТНЫХ НА ОСНОВЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОДХОДА

Кузьмин Владимир Александрович¹, д-р.ветеринар.наук, проф., orcid.org/0000-0002-6689-3468

Борисов Николай Валентинович², д-р.физ.-мат. наук, проф., orcid.org/0000-0002-1671-5524

Щербаков Павел Петрович², канд. физ.-мат. наук, доц., orcid.org/0000-0003-1158-7460

Орехов Дмитрий Андреевич¹, канд.ветеринар.наук, доц., orcid.org/0000-0002-7858-1947

¹Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Россия

РЕФЕРАТ

Компьютерные модели в ветеринарии используются в ветеринарии для моделирования распространения заразных и незаразных болезней, прогнозирования последствий заболевания, планирования, оценки эпизоотологического надзора, стратегий борьбы, получения информации о причинно-следственных связях путем сравнения результатов модели с данными из реальной жизни. Существуют различные типы моделей распространения болезней, в данной обзорной статье представлена и описана реализация определенного их типа - модели, основанные на индивидуальном подходе. Цель обзорной работы - разработка построения моделей распространения инфекционных и незаразных болезней животных, основанных на индивидуальном подходе, их использование и проблемы. Основные методы - информационно-аналитический метод, также структурный и системный анализ. Приводятся примеры языков программирования и кода с целью сделать методы моделирования более доступными для пользователей. Описаны важные шаги при построении таких моделей до, во время и после этапа программирования, включая: верификацию модели для убеждения, что модель выполняет то, что было задумано; валидацию модели для выяснения, отражают ли результаты модели моделируемую систему; анализ сходимости модели для обеспечения её соответствия эндемическим заболеваниям. Приведен краткий анализ чувствительности модели, используемый для выявления параметров и процессов, которые оказывают существенное влияние на предсказания модели. Предоставлен краткий обзор некоторых интересных недавних разработок в области моделей распространения заболеваний.

Ключевые слова: моделирование, заразные и незаразные болезни животных, языки программирования, верификация, валидация, анализ сходимости модели.

ВВЕДЕНИЕ

Модель распространения болезни - это упрощенное представление реальной системы передачи болезни. По определению J.Lessler et. al. [9], модели распространения болезни (механистические) включают в себя явные гипотезы о биологических механизмах, которые управляют динамикой инфекции. Поэтому они отличаются от статистических моделей, таких как регрессионные модели. Модели распространения заболеваний создаются с целью лучше понять динамику передачи заболевания, спрогнозировать распространение заболевания в популяции и его последствия, разработать различные стратегии улучшения эпизоотологического надзора и борьбы с болезнями [1,7].

Модели передачи заболеваний могут представлять различные заболевания, включая бактериальные и вирусные инфекции, паразитозы, трансмиссивные болезни, в различных популяциях хозяев и окружающей среде, в различных масштабах [11]. Они могут быть полезными ин-

струментами принятия решений путем моделирования эпизоотологического надзора или борьбы с конкретным заболеванием и сравнения стратегий в конкретных контекстах, таких как ситуации со вспышками [11,15]. Модели также используются для информирования о готовности к вспышкам, в т.ч. АЧС, бешенства, ящура, вирусной диарее КРС, паратуберкулеза КРС [3,5,6,16,8] и для борьбы с эндемическими болезнями [13].

В данном обзоре сосредоточимся на моделировании распространения инфекционных заболеваний животных в различных контекстах. Описанные методы не являются уникальными только для ветеринарной медицины, они используются также в здравоохранении и экологии. В частности, в обзоре сфокусируемся на классе моделей, называемых индивидуальными моделями (IVMs). R.Mancy et al. [11] подробно обсуждают различные мотивы разработки моделей распространения болезней в экологии и охране здоровья животных. Они представляют концептуальную основу для руководства построением модели, уде-