

А.А.Русинович, кандидат ветеринарных наук

Белорусский НИИ экспериментальной ветеринарии им. С.Н.Вышелеского

УДК 001.891.573.619:616.98:578.828.11:636.22/28

Математическая модель-прогноз эпизоотического процесса инфекции ВЛКРС в спонтанных условиях

Прогнозирование эпизоотического процесса лейкоза крупного рогатого скота основывалось на биологическом равновесии численности животных в популяциях этого вида (через самовоспроизводство или ее воспроизводство, регулируемое человеком), а также на тех параметрах инцидентности и интенсивности инфицированности животных вирусом лейкоза, которые установлены в хозяйствах Республики Беларусь.

Основные критерии прогнозирования — это первоначальный уровень инцидентности, первоначальная и конечная интенсивность инфицированности популяции в течение года и процент воспроизводства стада.

Рассмотренные варианты математической модели характеризуют эпизоотический процесс лейкоза крупного рогатого скота как динамически развивающуюся систему с периодами подъемов, спадов и относительного равновесия, обусловленных изменениями показателей инцидентности, интенсивности инфицированности, численности здоровых и зараженных, количеством выбывающих и поступающих животных в неблагополучной по инфекции ВЛКРС популяции.

The prognosis of the epizootic process of cattle leucosis was based on the biological balance of the stock volume in the populations of the specific specie (via natural or artificial reproduction) as well as on the parameters of incidences and intensively of affected animals, established in various Belarusian farms.

The main criteria of the prognosis are the initial level of incidences, initial and final stages of infection of the population within a year and the percent of the stock reproduction.

The mathematical models considered characterize the epizootic process of cattle leucosis as a dynamically developing system with ups and downs, deviations in the parameters of incidences, intensity of infection, number of healthy and ill animals, number of incoming and disappearing animals.

В последние десятилетия теория эпизоотического процесса в значительной мере обогатилась новыми научными положениями. Они позволяют более полно познать его внешние и внутренние характеристики не только с позиций общей эпизоотиологии, но и по отдельным видам инфекционной патологии, дают возможность предвидеть их развитие, разработать и реализовать научно обоснованные способы борьбы и профилактики (1, 3, 4).

По характеру распространения, экономической и социальной значимости лейкоз крупного рогатого скота прочно занял одно из ведущих мест среди заразных болезней этого вида животных. К настоящему времени доказана его вирусная природа, пути и факторы распространения. Многое сделано в расшифровке опухолевой трансформации клеток, разработаны высокочувствительные методы диагностики, эффективные меры борьбы и профилактики (2, 5, 6, 7, 8).

Вместе с тем многие вопросы лейкозологии еще недостаточно изучены (5,8). Практически отсутствуют данные о прогнозировании развития и проявления инфекции ВЛКРС.

Известно, что движущими силами эпизоотического процесса являются источник инфекции, восприимчивое животное, пути и факторы распространения (3). Зная механизм взаимодействия между основными звеньями эпизоотической цепи, можно с высокой достоверностью предвидеть характер проявления эпизоотического процесса.

Целью настоящей работы было создать математическую модель-прогноз эпизоотического процесса инфекции ВЛКРС в спонтанных условиях.

В нашем случае прогнозирование эпизоотического процесса лейкоза крупного рогатого скота основывается на биологическом равновесии численности животных в популяциях этого вида (через самовоспроизводство или ее воспроизводство, регулируемое человеком), а также на тех параметрах инцидентности и интенсивности инфицированности животных вирусом лейкоза, которые мы наблюдали в хозяйствах Республики Беларусь.

Основные критерии прогнозирования — это первоначальный уровень инцидентности, первоначальная и конечная интенсивность инфицированности популяции в течение года и процент воспроизводства стада.

1. Определение ежегодного уровня инцидентности инфекции ВЛКРС в хозяйствах, где не проводятся противолейкозные мероприятия, осуществлялось по следующей формуле:

$$K = (v_1 + v_2 + v_3) \cdot 100 / N,$$

где K — показатель инцидентности;

v_1 — введенные в стадо инфицированные ВЛКРС животные;

v_2 — количество вновь заразившихся животных до уровня первоначальной инфицированности на начало года вместо выбывших реагирующих животных;

v_3 — количество вновь заразившихся животных до уровня максимальной инфицированности на конец текущего года.

N — количество животных в популяции.

1.1.

$$v_1 = n \cdot c_1 / 100,$$

где n — количество введенных или выбракованных животных;

c_1 — показатель интенсивности инфицированности по вводимой группе животных.

1.2.

$$v_2 = n \cdot c_n / 100,$$

где n — количество выбракованных животных;

c_n — интенсивность инфицированности на начало каждого года.

1.3.

$$v_3 = a \cdot q / 100,$$

где a — численность здоровых животных в популяции;

q — разность показателя интенсивности инфицированности животных на начало и конец текущего года.

$$K = (v_1 + v_2 + v_3) \cdot 100 / N = (n \cdot c_1 / 100 + n \cdot c_n / 100 + a \cdot q / 100) \cdot 100 / N = (n \cdot c_1 + n \cdot c_n + a \cdot q) / N$$

2. Для прогнозирования эпизоотического процесса лейкоза крупного рогатого скота разработана следующая методика:

2.1.

$$N = a + v,$$

где N — численность особей в популяции;

a — численность здоровых особей в популяции в 1-й год;

v — численность инфицированных особей в популяции в 1-й год.

$$N = N_1 \dots \dots \dots N_n \quad N_1 = a_1^1 + v_1^1,$$

где N_1 — численность особей в популяции на 2-й год;

a_1^1 — численность здоровых особей на 2-й год;

v_1^1 — численность инфицированных особей в популяции на 2-й год.

2.2.

$$N_n = a_n^1 + v_n^1,$$

где N_n — численность особей в популяции на n-й год;

a_n^1 — численность здоровых особей на n-й год;

v_n^1 — численность инфицированных особей в популяции на n-й год.

Одним из условий является постоянная численность животных, регулируемая искусственно человеком или как следствие биологического равновесия популяции.

$$N = N_1 = \dots \dots \dots N_n = a + v = a_1^1 + v_1^1 = \dots \dots \dots a_n^1 + v_n^1.$$

2.3.

$$a_n^1 = a_2 + a_3 \cdot k_n \cdot a_n / 100,$$

где a_2 — численность оставшихся в стаде здоровых животных (после ежегодной выбраковки);

a_3 — численность введенных в стадо здоровых животных;

$k_n \cdot a_n / 100$ — численность вновь заразившихся в стаде животных;

2.3.1.

$$a_2 = a - a_4,$$

где a_4 — численность выбракованных здоровых животных;

$$a_i = a - d/100,$$

где d — процент выбраковки животных (25%).

$$\text{Итак, } a_2 = a - d/100 = \dots = a_n - a_n \cdot d/100;$$

2.3.2.

$$a_3 = n - v_1,$$

где n — численность введенных в стадо животных;

v_1 — количество введенных в стадо инфицированных животных;

$$n = N \cdot d/100 \quad v_1 = n \cdot c_1/100,$$

где c_1 — показатель интенсивности инфицированности по вводимой в стадо группе нетелей

$$v_1 = N \cdot d/100 \cdot c_1/100 = N \cdot d \cdot c_1/10000.$$

$$\text{Итак, } a_3 = N \cdot d/100 - N \cdot d \cdot c_1/10000$$

$k_n \cdot a_n/100$ — численность вновь заразившихся животных,

где k_n — инцидентность инфекции ВЛКРС на каждый год.

Итак, $a_n^1 = a_2 + a_3 - k_n \cdot a_n/100 = (a_n - a_n \cdot d/100) + (N \cdot d/100 - N \cdot d \cdot c_1/10000) - k_n \cdot a_n/100.$

2.4.

$$v_n^1 = v_4 + v_1 + k_n \cdot a_n/100,$$

где v_4 — оставшиеся в стаде инфицированные ВЛКРС животные (после выбраковки);

2.4.1.

$$v_4 = v - v_3,$$

где v_3 — численность выбракованных инфицированных ВЛКРС животных;

$$v_3 = v \cdot d/100 \quad v_4 = v - v \cdot d/100 = \dots = v_n - v_n \cdot d/100$$

$v_1 = N \cdot d \cdot c_1/10000$ — число введенных инфицированных животных.

$$\text{Итак, } v_n^1 = v_n - v_n \cdot d/100 + N \cdot d \cdot c_1/10000 + k_n \cdot a_n/100$$

$$N = [(a_n - a_n \cdot d/100) + (N \cdot d/100 - N \cdot d \cdot c_1/10000) - k_n \cdot a_n/100] + [(v_n - v_n \cdot d/100) + (N \cdot d \cdot c_1/10000 + k_n \cdot a_n/100)].$$

Динамику показателей интенсивности инфицированности и инцидентности инфекции ВЛКРС рассмотрим на следующем примере.

Пример математической модели эпизоотического процесса инфекции ВЛКРС

В основу расчетов модели эпизоотического процесса инфекции ВЛКРС с ежегодными показателями интенсивности инфицированности, инцидентности, количества здоровых и инфицированных вирусом лейкоза животных были положены данные по среднестатистическому хозяйству республики на начало 1990 г., а именно:

$N=720$ — средняя численность коров;

$C_1=8\%$ — первоначальная интенсивность инфицированности ВЛКРС завозимого в республику молодняка крупного рогатого скота (в последующем этот показатель по вводимой группе нетелей в среднем был в 2,5 раза ниже, чем у коров, а именно — $19,6\%:7,8\% = 2,5$ раза);

$d = 25\%$ (технологический ввод и выбраковка животных);

n — количество выбракованных или введенных животных

$$n = 720 \cdot 25/100 = 180.$$

Итак, проставляя известные показатели в формулу, определяем в динамике (по годам) значение инцидентности, численность здоровых и инфицированных ВЛКРС коров.

Первый год.

$$1. K = (n \cdot c_1 + n \cdot c_n + a \cdot q)/N = (180 \cdot 8 + 180 \cdot 0 + 0)/720 = 2\%.$$

$$2. a_n^1 = (a_n - a_n \cdot d/100) + (N \cdot d/100 - N \cdot d \cdot c_1/10000) + k_n \cdot a_n/100 = 720 - 720 \cdot 25/100 + 720 \cdot 25/100 + 720 \cdot 25 \cdot 8/10000 + 2 \cdot 720/100 = 692 \text{ гол.}$$

$$3. v_n^1 = v_n - v_n \cdot d/100 + N \cdot d \cdot c_1/10000 + k_n \cdot a_n/100 = 0 - 0 + 720 \cdot 25 \cdot 8/10000 + 2 \cdot 692/100 = 28 \text{ гол.}$$

$$4. C_n = 28 \cdot 720/100 = 3,9\%.$$

$$5. C_1 = 3,9\%/2,5 = 1,6\%.$$

Аналогично рассчитываем эти показатели на последующие годы, а их значение представлено в таблице.

Как видно, нарастание интенсивности инфицированности происходило в течение 9 лет. К десятому году на

Таблица. Показатели эпизоотического процесса инфекции ВЛКРС

Годы	Показатели					
	N (голов)	В том числе		C_1 (%)	C_n (%)	k_n (%)
		a_n (голов)	v_n (голов)			
1	2	3	4	5	6	7
1	720	692	28	1,6	3,9	2,0
2	720	661	59	2,5	8,2	5,1
...	720	...	...	...	...	...
9	720	387	333	18,5	46,2	17,5
10	720	387	333	18,5	46,2	13,0
11	720	387	333	18,5	46,2	13,0
А если $d=30$						
12	720	372	348	19,3	48,3	19,4
13	720	353	367	20,4	51	21,4
...	720	...	...	...	...	...
20	720	314	406	22,5	56,3	23,7
21	720	314	406	22,5	56,3	23,6
22	720	314	406	22,5	56,3	23,6
В если $C_1=0$						
23	720	383	337	0	46,8	16,9
24	720	430	290	0	40,7	14,0
...	720	...	...	0	...	...
45	720	660	60	0	8,3	2,6
46	720	661	59	0	8,2	2,5
47	720	661	59	0	8,2	2,5
С если $K=0$						
23	720	436	284	0	39,4	0
24	720	522	198	0	27,5	0
...	720	...	...	0	...	0
35	720	719	1	0	0,1	0
36	720	720	0	0	0	0

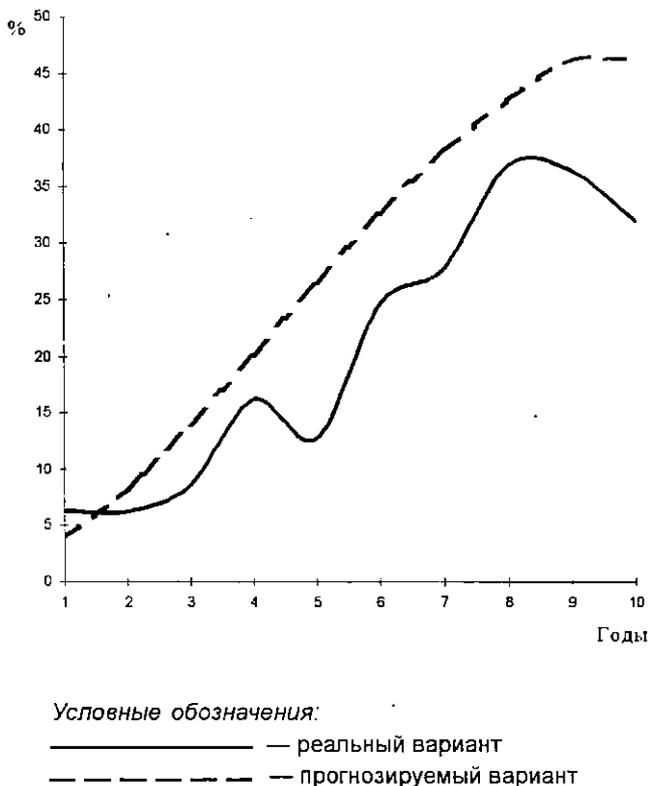


Рис. Динамика интенсивности инфицированности животных ВЛКРС в реальном и прогнозируемом вариантах

ступило относительное равновесие при интенсивности инфицированности 46,2%, инцидентности лейкозной инфекции 13% и 25% технологической выбраковке коров. Однако, как показали исследования, это равновесие может нарушиться при изменении перечисленных факторов (увеличится или уменьшится ввод здоровых или инфицированных ВЛКРС животных, выбракованных здоровых или инфицированных и так далее). Соответственно будет меняться и динамика показателей эпизоотического процесса инфекции ВЛКРС.

В таблице, ситуации А, В и С, представлены данные по эпизоотической ситуации инфекции ВЛКРС при изменении показателей воспроизводства стада, интенсивности инфицированности и инцидентности.

Ситуация А. Увеличение количества вводимых нетелей до 30% ($d=30\%$) нарушает относительное равновесие на 10 лет, причем с более высокой эпизоотической напряженностью ($K_n=23,6\%$, $C_1=22,5\%$ и $C_n=56,3\%$).

Ситуация В. Воспроизводство стада осуществлялось только здоровыми нетелями ($C_1=0$), что позволит за 24

года снизить инцидентность инфекции ВЛКРС в 9,4 раза ($K_n=2,5\%$), а интенсивность инфицированности в 6,9 раза ($C_n=8,2\%$).

Таким образом, на модели видно, что воспроизводство стада здоровыми животными не позволяет одновременно прервать эпизоотический процесс инфекции ВЛКРС.

Ситуация С. Наиболее успешно идет оздоровление неблагополучного стада при недопущении перезаражения животных ($K_n=0$). Прогнозируемые расчеты показывают, что в такой ситуации инфекция ВЛКРС будет ликвидирована в течение 13 лет (с 23 по 26 годы).

Достоверность модели-прогноза представлена на рисунке. Для примера использованы данные развития эпизоотического процесса инфекции ВЛКРС в спонтанных условиях в колхозе "Заславский" Минского района.

Таким образом, рассмотренные варианты математической модели характеризуют эпизоотический процесс лейкоза крупного рогатого скота как динамически развивающуюся систему с периодами подъемов, спадов и относительного равновесия, обусловленных изменениями показателей инцидентности, интенсивности инфицированности, численности здоровых и зараженных, количеством выбывающих и поступающих животных в неблагополучной по инфекции ВЛКРС популяции.

Литература

1. Джупина С.И., Колосов А.А. Методы эпизоотологических исследований.: Методические рекомендации / РАСХН., Сиб. отделение ИЭВС и ДВ. — Новосибирск, 1991. — С. 3-8.
2. Донник И.М. Биологические особенности и устойчивость к лейкозу крупного рогатого скота в различных экологических зонах Урала.: Автореф. дис. ... д-ра вет. наук: 16.00.03. — Новосибирск, 1997. — 40 с.
3. Конопаткин А.А. Эпизоотология и инфекционные болезни сельскохозяйственных животных. — Москва: Колос, 1984. — С. 8 — 120.
4. Макаров В.В. Эволюционно-экологические элементы эпизоотологии // Вести РАСХН. — 1988. — № 3. — С. 16-21.
5. Нахмансон В.М. Лейкоз крупного рогатого скота. — Москва: Россельхозиздат, 1986. — С. 60-103.
6. Смирнов Ю.А. Лейкоз крупного рогатого скота в Нечерноземной зоне РФ.: Автореф. дис. ... д-ра вет. наук. — Санкт-Петербург, 1995. — 43 с.
7. Проблемы лейкоза животных / Смирнов П.Н., Незавитин А.Г., Смирнова В.В. и др. — Новосибирск: Сов. Сибирь, 1992. — С. 3-388.
8. Шишков В. П., Бурба Л. Г. Лейкозы и злокачественные опухоли животных. — Москва: Агропромиздат, 1988. — 301 с.