

УДК 619:616-006.446:51.001.57

UDC 619:616-006.446:51.001.57

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭПИЗООТИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕЙКОЗА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА В ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ)**

**MATHEMATICAL MODELING OF EPIZOOTIC SITUATION IN A RADIOACTIVE CONTAMINATED AREA – EVIDENCE FROM BOVINE LEUCOSIS IN CHELYABINSK REGION**

Бударков Виктор Алексеевич  
д.б.н., профессор  
Главный научный сотрудник ГНУ

Boudarkov Victor Alekseevich  
Dr.Sci.Biol., professor  
Chief Research Scientist

Книзе Андрей Валентинович  
к.б.н., ведущий научный сотрудник  
*Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной вирусологии и микробиологии Россельхозакадемии (ГНУ ВНИИВВиМ Россельхозакадемии), г. Покров, Россия*

Kneize Andrey Valentinovich  
Cand.Biol.Sci, Leading Research Scientist  
*State Research Institution National Research Institute for Veterinary Virology and Microbiology of Russia (SRI NRIVVaMR), Pokrov, Russia*

Шкаева Наталья Анатольевна  
к.б.н., доцент  
*ГОУ ВПО Челябинский государственный университет*

Shkayeva Natalia Anatolyevna  
Cand.Biol.Sci., associate professor  
*Chelyabinsk State University*

Шкаев Артем Эхамович  
*Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной вирусологии и микробиологии Россельхозакадемии (ГНУ ВНИИВВиМ Россельхозакадемии), г. Покров, Россия*

Shkayev Artyom Ehamovich  
*State Research Institution National Research Institute for Veterinary Virology and Microbiology of Russia (SRI NRIVVaMR), Pokrov, Russia*

Рассчитаны имитационные модели, отражающие причинно-следственные связи напряженности эпизоотической ситуации по лейкозу крупного рогатого скота с техногенным и радиационным факторами загрязнения среды. Осуществлено районирование территории Челябинской области по уровню эпизоотологического риска при лейкозе крупного рогатого скота

Simulation models are designed to reflect the cause-effect relationships between epizootic situation intensity for bovine leucosis and technogenic & radiation factors of environmental pollution. Zoning of Chelyabinsk region in terms of epizootic risk of bovine leucosis was carried out

Ключевые слова: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЛЕЙКОЗ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА, РАДИОНУКЛИДНОЕ И ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ

Keywords: MATHEMATICAL MODELING, BOVINE LEUCOSIS, RADIOACTIVE AND TECHNOGENIC POLLUTION OF LAND AREA

**Введение**

Лейкоз крупного рогатого скота представляет собой хроническую вирусную инфекционную болезнь, широко распространенную в Российской Федерации. К числу наиболее неблагоприятных по данной болезни субъектов России относится Челябинская область (Обзор..., 2009). Эта область также характеризуется напряженной экологической

обстановкой, которая связана с радиоактивным и интенсивным техногенным загрязнением территории (Челябинская обл. Атлас,2002). Таковы были основные предпосылки, которые привлекли наше внимание к изучению эпизоотической ситуации по лейкозу в Челябинской области.

Настоящая работа посвящена усовершенствованию методики математического моделирования эпизоотической ситуации по лейкозу крупного рогатого скота на территории Челябинской области.

В задачи исследования входило:

1. Расчет имитационной модели связи между радиоактивным и техногенным загрязнением территории и напряженностью эпизоотической ситуации по лейкозу крупного рогатого скота.
2. Верификация и валидация модели.
3. Районирование территории Челябинской области по уровню эпизоотологического риска при лейкозе крупного рогатого скота.

### **Объекты и методика исследований**

Объектом исследования служил крупный рогатый скот черно пестрой породы разного возраста. Эпизоотическую ситуацию по лейкозу крупного рогатого скота изучали по материалам Федеральных обзоров, ежегодных отчетов районных и областной ветеринарных служб и ветеринарных лабораторий Челябинской области с 1993 по 2008 гг.(Обзор..., 2009, Челябинская обл. Атлас,2002).

В анализе радиационной и экологической обстановки использовали сборник радиационно-гигиенических паспортов административных территорий, входящих в зону радиоактивного загрязнения, отчеты радиологических служб Челябинской областной, карты атласа загрязнения Европы  $^{137}\text{Cs}$  и карты географического атласа области (Сборник... 2001, Территорию Челябинской области на Восточно-Уральском радиоактивном следе (ВУРС) и за его пределами характеризовали плотностью

загрязнения почвы цезием  $^{137}\text{Cs}$  (кБк/м<sup>2</sup>) и напряженностью экологической ситуации.

Область условно была разделена на территорию, через которую пролег Восточно-Уральский радиоактивный след - ВУРС (6 районов, 151 коллективное животноводческое хозяйство, около 1 млн скота) и территорию за его пределами (22 района, 561 хозяйство, около 4,5 млн голов скота).

За основу был принят эпизоотологический метод исследования (Дудников С.А., 2004, Черкасский Б.Л., 2007). Ситуацию по лейкозу крупного рогатого скота в Челябинской области оценивали по индексам: неблагополучных по лейкозу пунктов (МТФ); положительно реагирующего на лейкоз крупного рогатого скота; больного лейкозом скота, выявленного гематологическим методом; выбракованного скота по причине лейкоза.

Применяли следующие приемы исследования: систематизацию эмпирических пространственных данных, расчет статистических эпизоотологических и фоновых показателей, группировку и первичную обработку данных, составление рядов пространственного распределения признаков, пространственно-хронологических таблиц и сводок, оценку закономерностей пространственного варьирования признаков, расчет статистических характеристик, картографирование эпизоотологической и фоновой информации (Плохинский Н.А., 1980, Методические рекомендации..., 2007).

Оценка связей проведена приемами математико-картографического анализа: корреляционного, регрессионного, информационного, способами статистической проверки гипотез. (Терентьев П.В., 1977, Руннон Р., 1972, Сынзыныс Б.И. и др. 2009, Методические положения..., 2010).

### Результаты исследований

Радиоактивное загрязнение территории Челябинской области характеризовали плотностью загрязнения почвы цезием  $^{137}\text{Cs}$  (кБк/м<sup>2</sup>). В наибольшей степени была загрязнена северная часть области, там, где находится НПО «Маяк» и произошел в 1957 аварийный выброс радионуклидов. В этой части области также просматривается достаточно выраженная связь уровня напряженности общей экологической ситуации с концентрацией радиационно-химических и горнопромышленных производств (Челябинская обл. Атлас, 2002).

Сводные данные о показателях распространения лейкоза крупного рогатого скота на территории Челябинской области с 1993 по 2008 г представлены в табл.1.

Таблица 1

Широта распространения, длительность и повторяемость лейкоза крупного рогатого скота в районах Челябинской области с 1993 по 2008 гг.

Показатели	Территория		Относительный риск при уровне значимости $p \leq 0,05$
	ВУРС	Вне ВУРС	
Число лет регистрации вспышек на 1 район	6,2	4,5	1,4
Индекс неблагополучия	0,11	0,06	1,8
Индекс стационарности	0,44	0,32	1,4
Индекс инфицированности	0,25	0,15	1,7
Индекс заболеваемости	0,2	0,13	1,5
Индекс выбраковки по причине лейкоза	0,0033	0,0006	5,5
Сумма			13,3

Относительные риски (индексы опасности) распространения лейкоза крупного рогатого скота в те же сроки под влиянием негативных факторов ВУРС были больше единицы и варьировали от 1,4 до 5,5, что можно считать высоким уровнем опасности для распространения лейкоза на ВУРС.

Следующий этап анализа состоял в расчете степени влияния на напряженность эпизоотической ситуации по лейкозу крупного рогатого скота фактора «плотность радиоактивного загрязнения территории Челябинской области  $^{137}\text{Cs}$ ». Для анализа использовали расчет информационных показателей влияния.

Установлено, что влияние фактора «плотность загрязнения территории  $^{137}\text{Cs}$ » на уровень инфицированности скота лейкозом - 0,185. Получено расчетное значение  $\chi^2 = 23,518$ , критическое значение  $\chi^2_{0,01} = 13,277$ . Следовательно, различия в уровне инфицированности крупного рогатого скота лейкозом, в связи со значениями плотности загрязнения территории  $^{137}\text{Cs}$  значимы при  $\alpha = 0,01$ .

Затем исследовали влияние системы трех интегральных факторов (плотность загрязнения территории  $^{137}\text{Cs}$ , природно-сельскохозяйственное районирование, экологическое районирование) на относительную частоту регистрации лейкоза крупного рогатого скота (индекс стационарности) и уровень его инфицированности по административным районам за период с 1993 по 2008 гг. (табл.2).

В клетках таблицы даны значения информационного показателя влияния факторов на показатели напряженности эпизоотической ситуации.

. Уровень значимости полученных коэффициентов влияния  $\alpha = 0,01$ ; 0,05. Это свидетельствует о том, все факторы оказывают статистически значимое влияние на напряженность эпизоотической ситуации по лейкозу крупного рогатого скота в Челябинской области и могут быть использованы для расчета имитационных моделей.

Расчет имитационных моделей произведен путем вычисления значения математического ожидания уровня инфицированности для интервалов значений плотности загрязнения территории  $^{137}\text{Cs}$ : от 0 до 1 кБк/м<sup>2</sup>; от 1 до 10 кБк/м<sup>2</sup>; от 20 до 40 кБк/м<sup>2</sup> (рис. 1.).

Таблица 2

Результаты информационного анализа влияния факторов природно-хозяйственного фона на напряженность эпизоотической ситуации по лейкозу крупного рогатого скота в Челябинской области

Системы факторов	Показатели напряженности эпизоотической ситуации по лейкозу крупного рогатого скота	
	Частота регистрации болезни (индекс стационарности)	Инфицированность
Плотность загрязнения цезием 137	0,346	0,366
Природно-сельскохозяйственное районирование	0,3256	0,437
Экологическое районирование (напряженность экологической обстановки)	0,359	0,388
Комплекс факторов	0,631	0,697

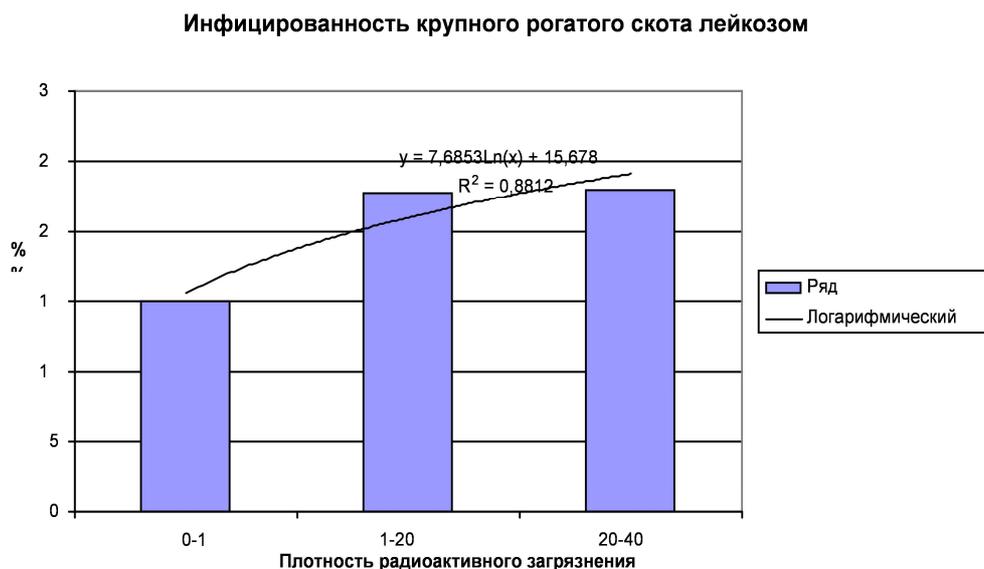
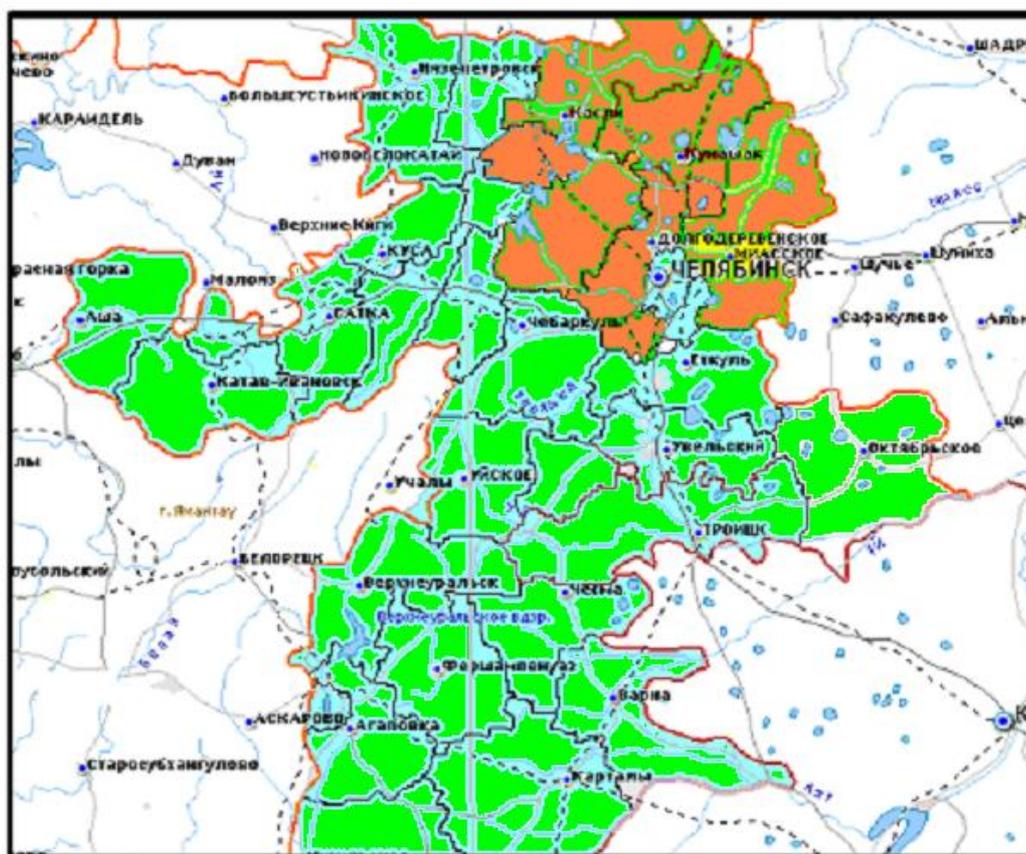


Рис. 1. Регрессионная модель связи между плотностью радиоактивного загрязнения и инфицированностью крупного рогатого скота лейкозом.

Как видно из представленных данных, чем выше плотность загрязнения, тем выше уровень инфицированности крупного рогатого скота.

Значения математического ожидания инфицированности крупного рогатого скота лейкозом использованы для получения исследовательской

прогнозной модели. Рассчитана регрессионная модель:  $y=7,6853\ln(x) + 15,678$ . Это уравнение было использовано для расчета математико-картографической модели связи между значениями плотности загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  и инфицированностью крупного рогатого скота лейкозом (рис. 2).



МОДЕЛИРУЕМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ИНФИЦИРОВАННОСТИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА



Рис.2. Пространственная математико-картографическая модель связи уровня инфицированности крупного рогатого скота лейкозом с плотностью загрязнения Челябинской области  $^{137}\text{Cs}$

В результате проведенного многомерного анализа было установлено, что на напряженность эпизоотической ситуации влияет комплекс

природно-хозяйственных факторов, включая техногенное загрязнение территории Челябинской области.

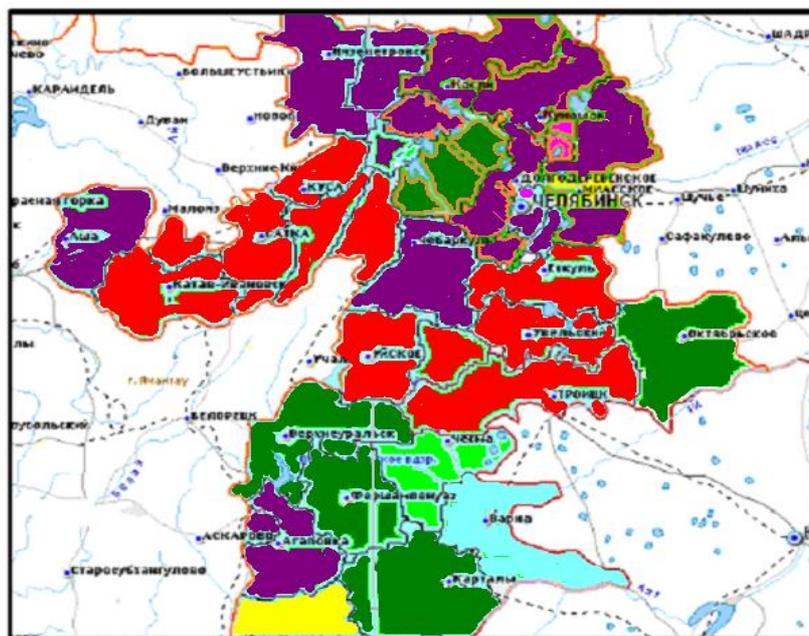
Для верификации - проверки правильности рассчитанной модели были созданы распознающие системы – таблицы каналов связи экологической ситуации и инфицированности крупного рогатого скота лейкозом за период 1993-2003 гг.

Коэффициенты связи подтвердили достоверное влияние комплекса экологических факторов на инфицированность животных вирусом лейкоза, и это позволило перейти к валидации рассчитанной модели.

Валидацию рассчитанной модели осуществляли путем сопоставление выходных данных после расчета на компьютере за период с 1993 по 2003 гг. с новыми сведениями об эпизоотической обстановке по лейкозу, собранными за период с 2004 по 2008 гг.

С использованием критерия Фишера установлено, что вторая выборка, полученная по данным 2004 – 2008 гг, тождественна исходной выборке за 1993-2003 гг. на основе которой была рассчитана модель эпизоотологического риска распространения лейкоза крупного рогатого скота в Челябинской области. Это свидетельствует о адекватности созданной модели реальной ситуации.

Эпизоотологическое районирование территории Челябинской области по уровню риска распространения лейкоза показано на рис 3. Значения каждого показателя были ранжированы: 1 – очень низкий, 2- низкий, 3-умеренный, 4 - высокий, 5 – очень высокий. Вероятность возникновения болезни и значения возможной инфицированности крупного рогатого скота лейкозом получили по таблицам каналов связи. Высокой степенью риска характеризовалась северная часть Челябинской области с наиболее неблагоприятной экологической ситуацией.



Эпизоотологический риск лейкоза крупного рогатого скота в Челябинской области



Рис. 3. Эпизоотологическое районирование Челябинской области по уровню риска лейкоза крупного рогатого скота

Поскольку рассчитанная модель эпизоотологического риска удовлетворительно отразила сложившуюся в 2004-2008 гг. обстановку, есть основание для её экстраполяции на период до 2013 года.

### Заключение

Рассчитаны имитационные модели, отражающие причинно-следственные связи напряженности эпизоотической ситуации по лейкозу крупного рогатого скота с техногенным и радиационным факторами загрязнения среды. Осуществлено районирование территории Челябинской области по уровню эпизоотологического риска при лейкозе крупного рогатого скота. Установлено, что наиболее высокий риск

распространения лейкоза крупного рогатого скота в Челябинской области характерен для районов высокой экологической напряженности, включая ВУРС. Имитационные модели эпизоотической ситуации на радиоактивно загрязненной территории могут быть использованы для управления техногенным и радиационным риском при лейкозе крупного рогатого скота.

### Список литературы

1. Дудников С.А. Количественная эпизоотология: основы прикладной биостатистики. / Владимир: Демиург, 2004. 460 с.
2. Методические положения по имитационному моделированию эпизоотической ситуации для усовершенствования ветеринарных мероприятий на радиоактивно загрязненной территории (на примере лейкоза крупного рогатого скота в Челябинской области)/ Бударков В.А., Книзе А.В., Бакулов И.А., Шкаев А.Э., Шкаева Н.А. Утв. Академиком–секретарем Отделения ветеринарной медицины Россельхозакадемии А.М.Смирновым 24.11.2010., Покров, 2010. 45 с.
3. Методические рекомендации по ведению эпизоотологического мониторинга экзотических особо опасных и малоизвестных болезней животных / Бакулов И.А., Книзе А.В., Стрижаков А.А., Дмитренко Н.В., Филоматова В.А. / ГНУ ВНИИВВиМ Покров, 2007. 79с.
4. Обзор эпизоотической ситуации по лейкозу крупного рогатого скота в субъектах Российской Федерации за 2008 год Россельхозакадемия. ВИЭВ ИЭВС и ДВ. М.:2009. 30с.
5. Плохинский, Н.А. Алгоритмы биометрии М.: МГУ,1980. 80с.
6. Рунион, Р. Справочник по непараметрической статистике. Современный подход М.: Финансы и статистика, 1982. 198с.
7. Сборник радиационно-гигиенических паспортов административных территорий, входящих а зону радиоактивного загрязнения Челябинской области. Челябинск 2001. 364с.
8. Терентьев, П.В., Ростова Н.С. Практикум по биометрии Л.: Изд-во Ленингр. Унта,1977. 152 с.
9. Челябинская область. Атлас / Под ред. Проф. В.В. Латюшина Челябинск: АБРИС, 2002. 32с.
10. Черкасский Б.Л. Риск в эпидемиологии. М.: Практическая медицина, 2007. 480 с.
11. Эколого-биологические основы оценки радиационного риска: Учебное пособие по курсу «Техногенные системы и экологический риск»./ Б.И. Сынзыныс, О.А. Момот, Т.В. Мельникова, Л.М. Крючкова Обнинск: ИАТЭ, 2009. 44с.