

пригородный Целинный районы. Из анализа таблиц 1 и 4 можно прийти к заключению, что на территории Республики Калмыкия, там, где регистрируется повы-

шенный процент инфицированности лейкозом крупного рогатого скота, отмечается и повышенная регистрация онкопатологий.

Литература

1. Гулюкин, М. И. Замараева Н.В. Медико-биологические аспекты вируса лейкоза КРС. Сб.: Актуальные вопросы диагностики, профилактики и борьбы с лейкозами сельскохозяйственных животных и птиц, 2000, Екатеринбург, с. 12–25.
2. Замараева, Н. В. Экспериментальные исследования по выявлению возможности передачи вируса лейкоза крупного рогатого скота через молоко лабораторным животным. Бюлл. ВИЭВ. – 1996, № 77с. 66.
3. Логинов С.И. Автореферат докт. диссертации, 2005, 24с.

УДК: 619:616.98:578.842.1:528.9

В.М. Гуленкин, Ф.И. Коренной, С.А. Дудников, А.А. Шевцов

(ФГУ «Федеральный центр охраны здоровья животных»

(ФГУ «ВНИИЗЖ»), г. Владимир)

КАРТОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВСПЫШЕК АФРИКАНСКОЙ ЧУМЫ СВИНЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БАЗОВОЙ СКОРОСТИ РЕПРОДУКЦИИ

Материалы и методы

Работа выполнена на основе статистического материала базы данных WANID (МЭБ) по зарегистрированным вспышкам африканской чумы свиней (АЧС) на территории Российской Федерации в 2007-2009 гг. (6). Картографический анализ вспышек АЧС проведен с использованием базы данных ФГУ «ВНИИЗЖ» и географической информационной системы ArcGIS v. 9.3. фирмы ESRI (США). Для моделирования и оценки базовой скорости репродукции африканской чумы свиней использовалась компьютерная программа «Berkeley Madonna» версии 8.3.11 (Моделирование и анализ динамических систем), разработанной в Калифорнийском университете, США (7).

Введение

За последнее время в зарубежной литературе в области ветеринарии усилилась тенденция применения географических информационных систем (ГИС) для картографического анализа, в котором рассматриваются вопросы эпидемиологии некоторых особо опасных болезней животных и ветеринарной оценки территорий. В этом направлении один раз в три года проводится Международная конференция GIS Vet (5), на которой обобщаются результа-

ты исследований по различным методологическим аспектам ветеринарной географии и широкому междисциплинарному взаимодействию различных исследователей, связанных с проблемами охраны здоровья животных. Поэтому целью исследований явилась попытка проанализировать с помощью современных ГИС-технологий общую пространственную динамику распространения африканской чумы свиней на территории Российской Федерации.

Одним из первых и важнейших параметров, необходимых для успешного моделирования и прогнозирования эпидемиологических и эпизоотических процессов, является базовая скорость репродукции возбудителя - R_0 . Данный параметр используется для оценки таких важнейших показателей, как скорость и масштаб распространения заболевания, и уровень стадного иммунитета, необходимый для контроля заболевания.

Базовая скорость репродукции паразитов R_0 определяется как среднее число вторичных случаев инфекций, вызываемых внедрением одного инфицированного индивида (животного) в популяцию, состоящую исключительно из восприимчивых хозяев (1).

Из определения понятно, что инфекция

способна закрепиться в популяции при величине R_0 больше 1. Также возможна ситуация (достигнуто равновесие), при котором скорость инфицирования восприимчивых животных уравнивается скоростью появления новых восприимчивых животных (за счет рождения, поступления из других хозяйств, потери иммунитета, перегруппировки и др.). В равновесии каждое инфицированное животное в среднем порождает в точности одно вторично инфицированное животное: это означает, что $R=1$.

Если предположить, что популяция животных однородна, в том смысле, что всем животным присущи близкие эпизоотологические свойства (независимо от возраста, генетической структуры, географического положения, вида и структуры стада, способа ведения животноводства и др.), то число вторично инфицированных животных или стад, порождаемых инфицированным животным, будет пропорционально вероятности любого случайного контакта с восприимчивым животным. В этом случае скорость репродукции R будет равна базовой скорости репродукции R_0 , умноженной на N_s – долю восприимчивых животных в рассматриваемой популяции: $R = R_0 \times N_s$.

Исходя из этого соотношения, в первом приближении, условие стационарности инфекции ($R=1$) в популяции животных приводит к важному соотношению между R_0 и долей восприимчивых животных N_s , которое выражается соотношением:

$$R_0 \times N_s = 1.$$

Снижение числа восприимчивых животных за счет формирования иммунной популяции (проведение вакцинации) или депопуляции за счет уоя и уничтожения животных, является тем зависящим от плотности животных противоэпизоотическим мероприятием, которое удерживает величину R ниже R_0 и в случае своевременной и эффективной реализации мер борьбы при условии выполнения неравенства

$$R < R_0 < 1,$$

дальнейшего распространения инфекции в популяции восприимчивых животных не будет.

В некоторых случаях величину R_0 считают зависимой от общего числа восприимчивых животных или их плотности на конкретной территории, которые имеют риск быть подвергнуты инфицированию в результате некоторых факторов биологического, социального, экономического и природного характера передачи инфекции. В общем виде это выражается через

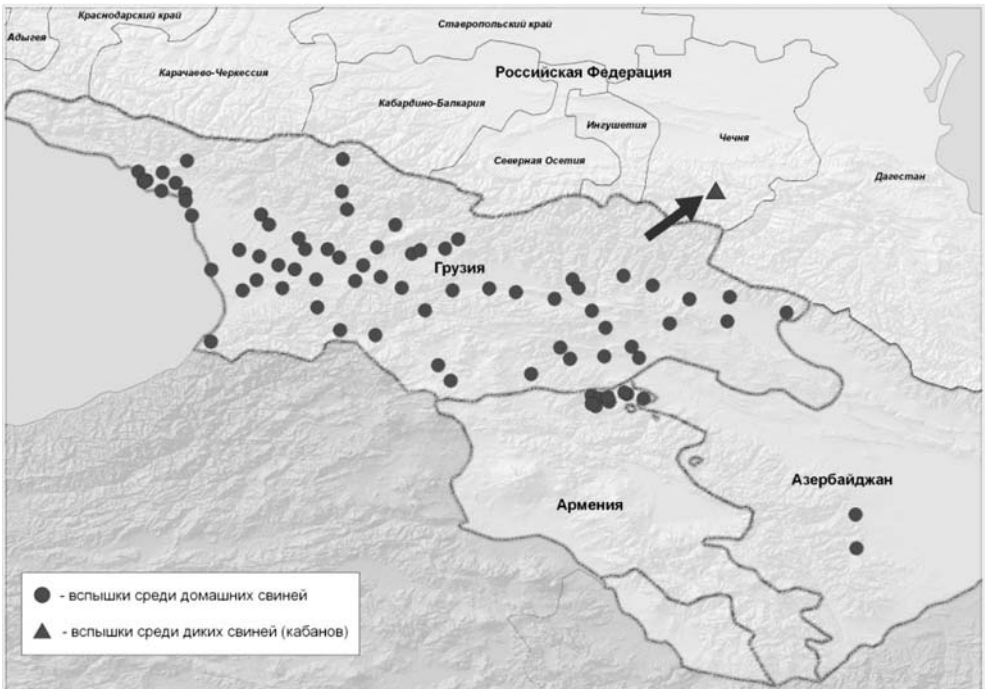


Рис. 1. География вспышек африканской чумы свиней в Грузии, Армении, Азербайджане и в России в 2007г. (Стрелка указывает на возможный путь миграции диких кабанов с территории неблагоприятного по АЧС Закавказья в сторону РФ по Шатойскому ущелью.)

соотношение:

$$R_0 = N_s \times (1/N_F),$$

где $1/N_F$ – некоторая константа, которая учитывает совокупность всех факторов, влияющих на передачу инфекции. Поэтому условие, когда $R_0 > 1$ – закрепление инфекции в популяции восприимчивых животных, может рассматриваться как требование того, что плотность животных должна превышать некоторую пороговую величину N_F или $N_s > N_F$.

Для африканской чумы свиней характерен прямой и не прямой (с помощью промежуточных хозяев – кабанов, клещей) способы передачи инфекции. В этом случае базовая скорость репродукции, величина R_0 будет еще обуславливаться и факторами передачи вируса от инфицированного животного – к промежуточному, и от промежуточного – к восприимчивому (в обратном направлении). Эффект резервуара вируса АЧС в промежуточных хозяевах и переносчиках часто может обеспечить выполнение $R_0 > 1$ даже при относительно малой численности популяции свиней на замкнутой территории, т.е. популяция промежуточных особей может компенсировать недостаточную численность (плотность) восприимчивой популяции свиней и эпизоотия может «тлеть» долго по времени. Это наглядно было продемонстрировано во время эпизоотии АЧС в Ис-

пании, где с момента укоренения вируса в дикой популяции кабанов, вспышки АЧС на домашних животных продолжались несколько лет. В период наблюдения за динамикой вспышек АЧС величина R_0 варьировалась в зависимости от скорости передачи вируса от больного домашнего животного к промежуточному хозяину (V_1) и от промежуточного к восприимчивому домашнему (V_2). В простом случае это выражается в произведении $V_1 V_2$ дающем R_0 , т.е. $R_0 = f(V_1 V_2)$.

Другой особенностью динамики процесса инфицирования при АЧС является скорость, с которой в замкнутой популяции восприимчивых животных появляется та или иная доля больных животных. В простом случае, доля инфицированных животных выражается экспоненциально в виде уравнения

$$P(t) = P(0) \exp(\lambda t),$$

где λ – скорость появления больных животных или риск для восприимчивого животного стать инфицированным.

Целью наших исследований явилось определение по имеющимся данным величины R_0 для африканской чумы свиней, которая получила широкое распространение в некоторых регионах Южного Федерального округа РФ и оценки необходимых параметров депопуляции животных, которая является необходимым условием для борь-

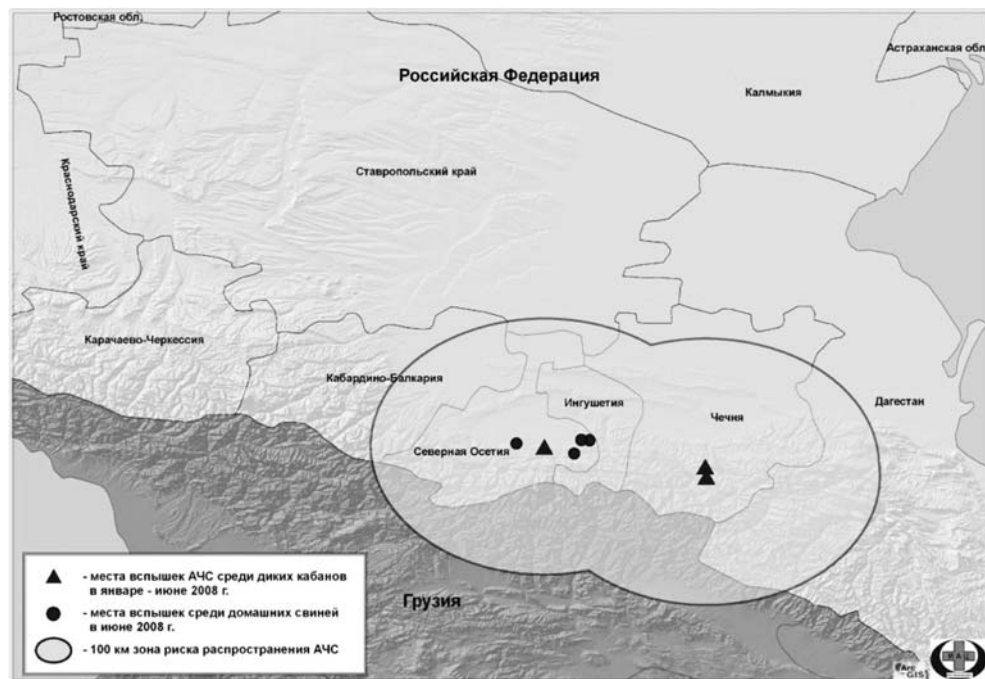


Рис. 2. Локализация вспышек АЧС на территории Российской Федерации в январе, июне месяце 2008г. и зона риска дальнейшего распространения болезни.

Таблица

Динамика ежедневного выявления заболеваемости свиней африканской чумы в трех очагах, зарегистрированных на территории Российской Федерации

Дни п/п	Ежедневная заболеваемость (падеж) животных АЧС в очагах		
	ООО«Мужичья Павловка», с.Черноречье, Оренбургской области (период регистрации заболевших 10.07.08 -24.07.08)	Свиноферма №1 СПК им. Ленина, Советский р-н, Ставропольский край (период регистрации заболевших 14.10.08-22.10.08)	К-з им. Ленина, с. Киевка, Апанасенский р-н, Ставропольский край (период регистрации заболевших 15.03.09-19.03.09)
1	2	1	6
2	3	16	7
3	3	18	15
4	4	36	10
5	3	17	9
6	7	13	
7	7	7	
8	6	4	
9	6	8	
10	9		
11	20		
12	5		
13	8		
14	6		
15	5		
Всего животных в очаге	150	460	189
Заболело	94	120	47

бы с распространением АЧС.

Результаты и обсуждение

1. Картографический анализ вспышек африканской чумы свиней на территории Российской Федерации в 2007-2009 гг. Историческая справка.

По официальным данным МЭБ первые вспышки африканской чумы свиней на Кавказе были зарегистрированы в апреле 2007 г. в Грузии, в районе города Поты. Затем болезнь получила распространение в других регионах страны (рис.1), захватив Абхазию и Южную Осетию. Летом того же года очаги АЧС регистрировались в Армении и Азербайджане (Нагорный Карабах). В ноябре геном вируса африканской чумы свиней в реакции ПЦР был обнаружен у павших диких свиней (кабанов) на территории Чеченской Республики, Российская Федерация.

Таким образом, к концу 2007 г. африканская чума свиней на Кавказе полу-

чила широкомасштабное распространение в виде эпизоотии, которая охватила территории всех стран региона, включая Россию.

Зимой, в январе 2008г. на территории Чеченской республики были обнаружены несколько трупов павших кабанов. При постановке реакции ПЦР у нескольких трупов был выявлен геном вируса африканской чумы свиней. В мае-июне при исследовании в ПЦР сывороток крови, отобранной у живых кабанов на территории Чеченской республики и республики Северная Осетия, был также обнаружен геном вируса АЧС (рис. 2). Данный фактор указывает на то, что вирус АЧС с территории Грузии, имеющей общую границу с Чечней и Южной Осетией, проник в дикую популяцию свиней, расположенной на прилегающей территории России и укоренился в ней.

Первые вспышки АЧС среди домашних животных были зарегистрированы

на территории Северной Осетии в июне 2008 г. Почти одновременно было выявлено 4 неблагополучных пункта. При оценке 100 километровой зоны риска дальнейшего распространения инфекции с учетом плотности домашних свиней, плотности дорог и лесистости было определено, что наиболее опасными регионами являются Ставропольский край, Кабардино-

Балкарская Республика и Республика Ингушетия (рис. 2).

Несмотря на предпринимаемые строгие карантинные мероприятия по недопущению распространения африканской чумы свиней в эти регионы риска, болезнь в 2008-2009 гг. все же получила дальнейшее распространение в пределах территории Южного Федерального округа (рис.3).

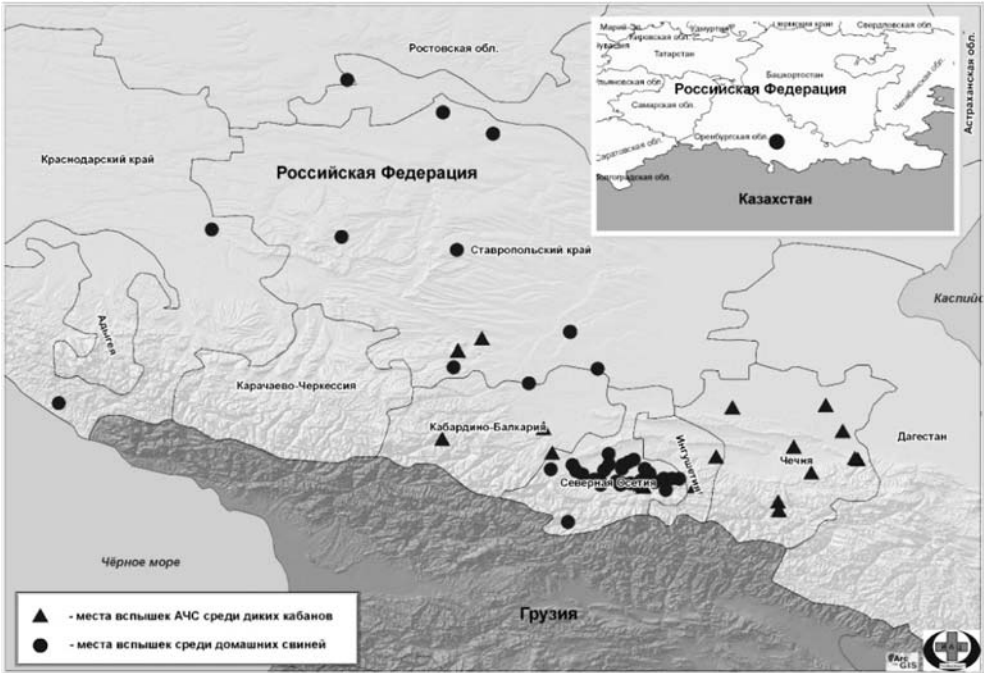


Рис. 3. Локализация вспышек АЧС на территории Российской Федерации в 2008-2009 гг. (на конец мая 2009 г.)

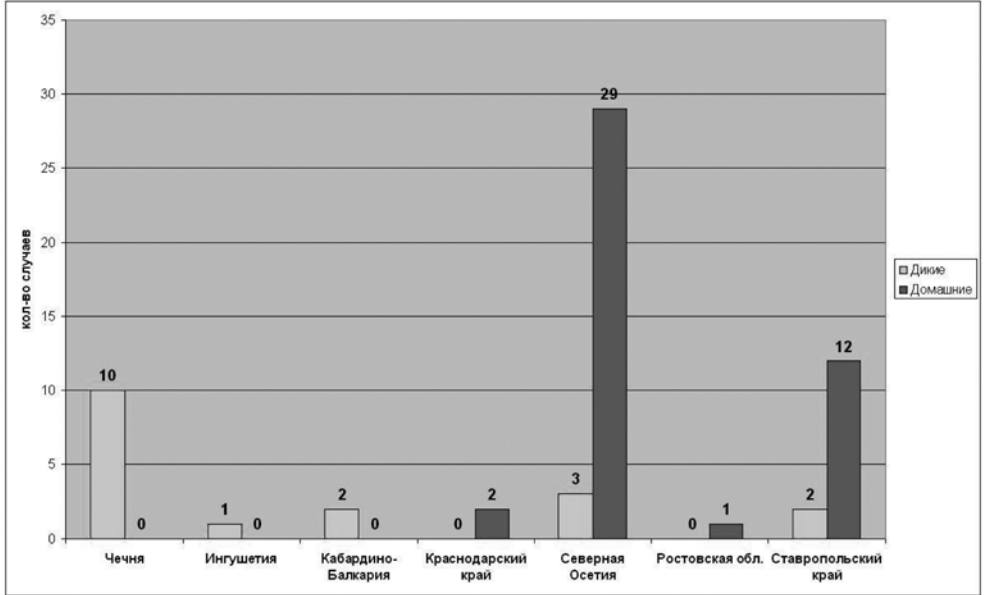


Рис. 4. Распределение вспышек АЧС по видам животных (дикие свиньи/домашние свиньи) и их количеству по субъектам Южного федерального округа

Вспышки АЧС были выявлены в 5 новых субъектах Кавказского региона Российской Федерации включая Кабардино-Балкарскую Республику, Республику Ингушетию, Ставропольский и Краснодарский края, Ростовскую область. Болезнь стремительно продолжала распространяться среди домашних свиней в Республике Се-

верная Осетия и среди диких свиней (кабанов) в Чеченской Республике.

В июле 2008 г. АЧС впервые была зарегистрирована в Приволжском федеральном Округе на территории Оренбургской области, где предприняты строгие противоэпизоотические мероприятия, включая убой всего поголовья свиней в очаге и

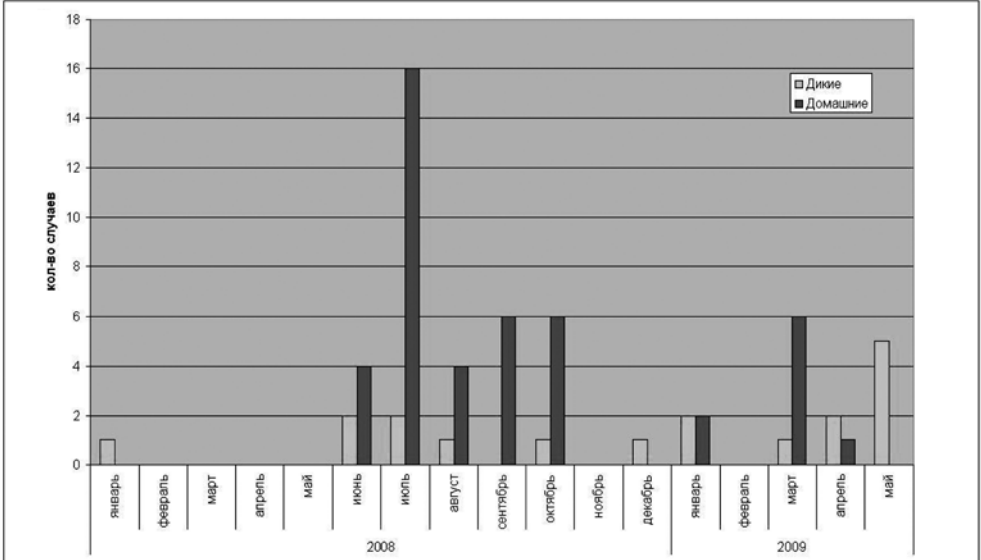


Рис. 5. Распределение вспышек АЧС в Южном федеральном округе по месяцам

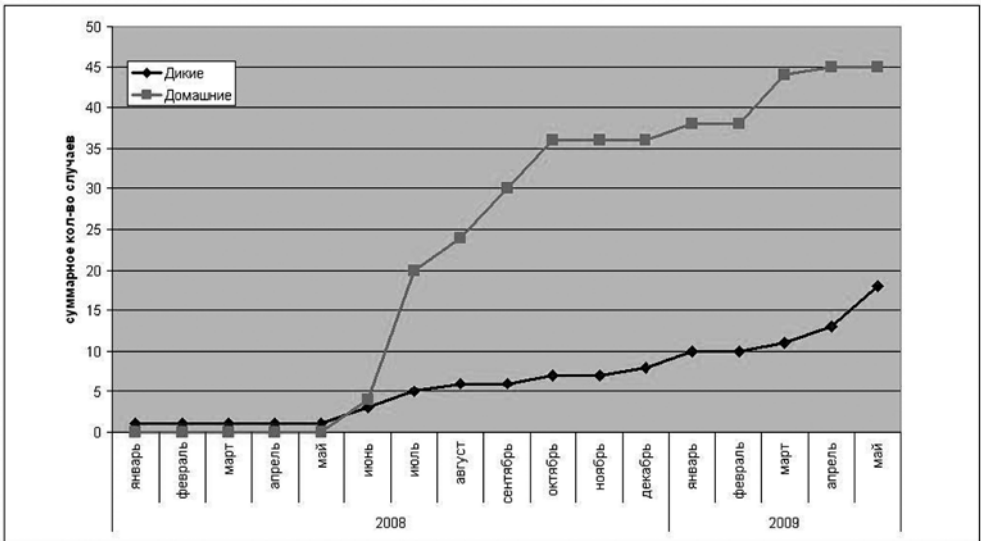


Рис. 6. Кумулятивная кривая вспышек АЧС в Южном федеральном округе по месяцам

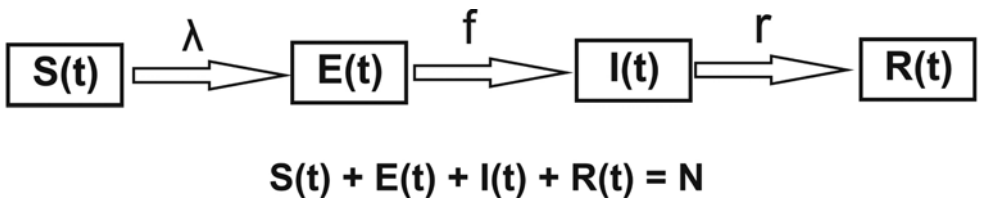


Рис. 7. Схема модели типа SEIR

в неблагоприятном пункте, предотвратили дальнейшее распространение инфекции в этом регионе. Всего за указанный период на территории России было зафиксировано 46 вспышек среди домашних свиней и 18 вспышек среди диких свиней.

Анализируя динамику вспышек по субъектам Южного федерального округа (рис. 4), можно увидеть, что наибольшее их количество было зарегистрировано на территории Северной Осетии (3 среди диких свиней и 29 среди домашних свиней) и на территории Ставропольского края (2 среди диких свиней и 12 среди домашних свиней).

На территории Чечни, Ингушетии, Кабардино-Балкарии вспышки АЧС регистрировались только в популяции диких

свиней, а наибольшее их количество - 10, приходится на Чеченскую Республику. В Краснодарском крае и Ростовской области болезнь была зарегистрирована только среди домашних свиней. Из представленного графика видно, что наибольшее количество вспышек АЧС среди домашних свиней отмечено там, где регистрировались вспышки среди диких свиней. На рис. 5 и рис.6 показана месячная динамика регистрации вспышек АЧС на территории Южного федерального округа.

Как видно из данных, представленных на рис. 5, наибольшее количество вспышек среди домашних свиней было зарегистрировано в июле 2008 г. – 16, а среди диких свиней в мае 2009г. Почти на всем вре-

Число заболевших

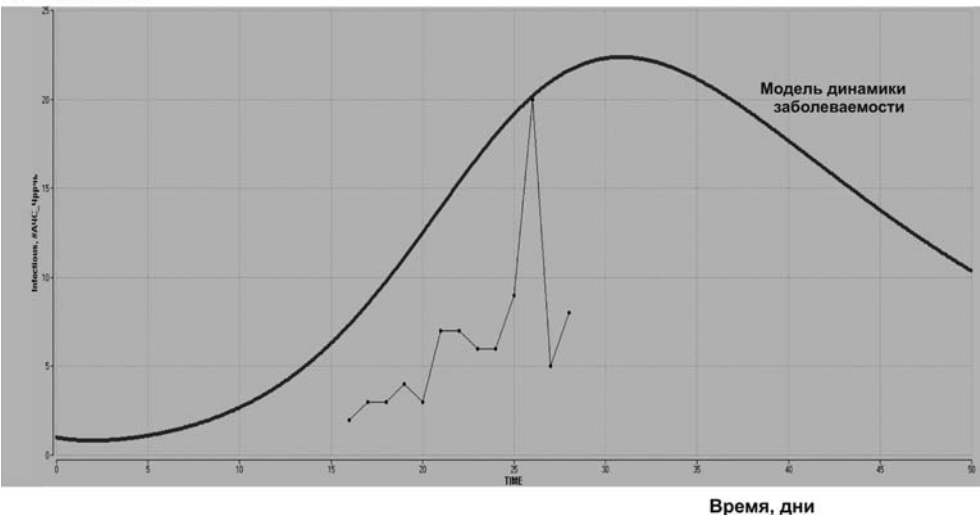


Рис. 8. Модель динамики заболеваемости свиней АЧС в очаге инфекции с. Черноречье Оренбургской области при $R_0 = 8$

Число заболевших

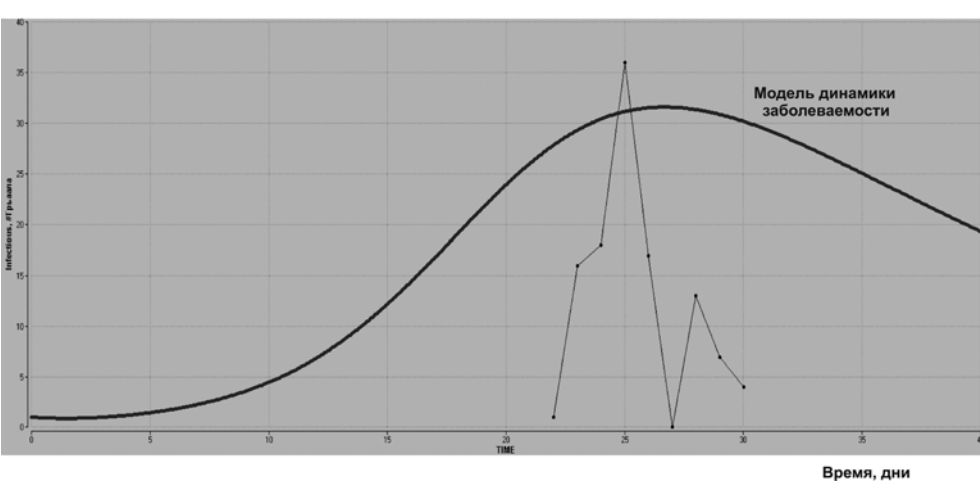


Рис. 9. Модель динамики заболеваемости свиней АЧС в очаге инфекции свиноферма №1 СПК им. Ленина Ставропольского края при $R_0 = 11$

менном интервале наблюдений, за исключением января, сентября, декабря 2008 г. и мая 2009г. вспышки среди домашних свиней сочетались со вспышками среди кабанов. Кумулятивная кривая вспышек имеет S-образную форму распределения для популяции домашних свиней, где вспышки регистрировались в течение 8 месяцев и более пологую среди кабанов, где вспышки регистрировались в течение 10 месяцев.

Таким образом, на конец мая 2009 г. на территории Южного федерального круга сложилась острая эпизоотическая ситуация по АЧС с резервуаром вируса, находящимся в популяции диких свиней.

2. Определение базовой скорости репродукции для вируса африканской чумы свиней (R_0) на основе учета заболеваемости животных в нескольких очагах инфекции, зарегистрированных на территории РФ в 2008-2009 гг.

При анализе эпизоотического процесса, исходя из требования Санитарного Кодекса Наземных Животных МЭБ (3), инкубационный период для АЧС нами был принят равным 15 дням. В табл. приведены сводные данные по ежедневной регистрации заболеваемости свиней в трех очагах африканской чумы свиней, на территории Оренбургской области и в Ставропольском крае в 2008-2009 гг.

Оценку базовой скорости репродукции для АЧС среди популяции заболевших свиней в рассмотренных очагах провели по программе «Berkeley Madonna» в основу которой положена математическая модель типа SEIR. Принципиальная схема модели представлена ниже на рис.7.

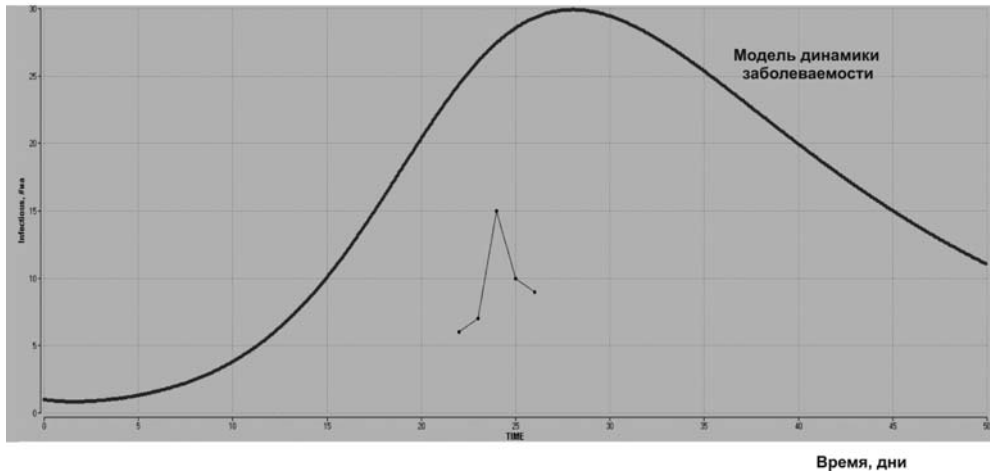


Рис. 10. Модель динамики заболеваемости свиней АЧС в очаге инфекции с. Киевка Ставропольского края при $R_0 = 9$

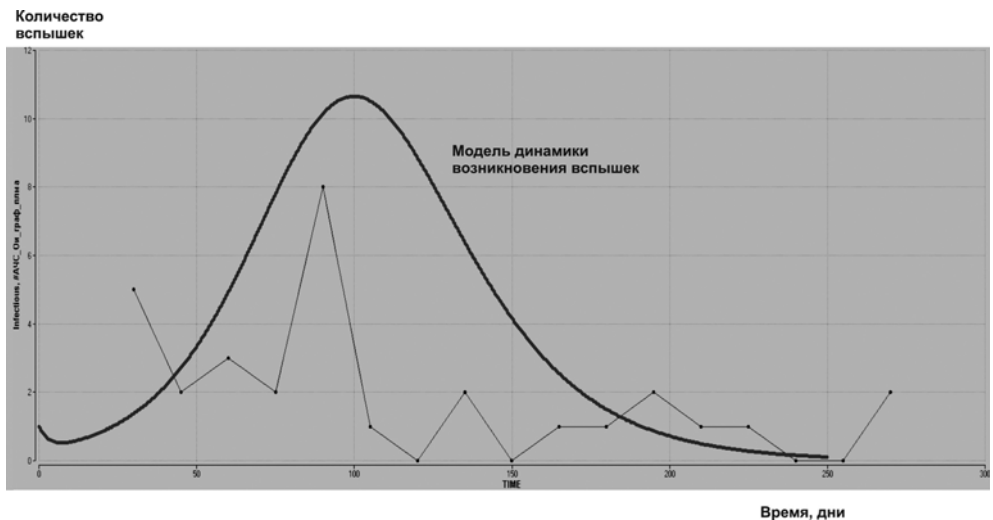


Рис. 11. Модель динамики появления вспышек АЧС в Республике Северной Осетии при $R_0^{bf} = 2-3$

Моделирования динамики заболеваемости животных в стаде проводили при инкубационном периоде равном 15 дням и при инфекционном периоде равном 5 дням (период возможного выделения и распространения вируса больными животными до установления карантина и уничтожения животных).

Численные итерации для величин S , E , I , R в используемой нами математической модели основаны на системе уравнений

$$\begin{aligned} S_{t+1} - S_t &= -\lambda_t S_t \\ E_{t+1} - E_t &= \lambda_t S_t - f E_t \\ I_{t+1} - I_t &= f E_t - r I_t \\ R_{t+1} - R_t &= r I_t, \end{aligned}$$

где: S_t – число восприимчивых животных в стаде; E_t – число животных в стаде, находящихся в инкубационном периоде, который подразделяется на латентный период – от момента заражения до начала выделения возбудителя во внешнюю среду и заразный период – от начала вирусывыделения до первых неспецифических признаков АЧС; I_t – число больных животных в стаде с признаками АЧС; R_t – число павших /выздоровевших животных в стаде; λ_t – риск для восприимчивого животного стать больным при условии

$$\lambda_t = \beta I_t = I_t R_0 / (ND);$$

β – вероятность эффективного контакта между больными и восприимчивыми животными; R_0 – базовая скорость репродукции (среднее число вторичных случаев заболевания, вызванных внедрением одного инфицированного животного в полностью восприимчивую популяцию); N – численность животных в стаде; D – продолжительность инфекционного периода; f – вероятность проявления признаков болезни у животного в инкубационном состоянии (субклинически инфицированном), т.е. вероятность перехода из латентного состояния (бессимптомного) в заразное, инфекционное (манифестное), определяемого как $f = 1/\text{продолжительность латентного периода}$; r – вероятность смерти/выздоровления больного (инфекционного) животного, определяемого как $r = 1/\text{продолжительность инфекционного периода}$.

Проведя соответствующие вычисления по программе с использованием данных по заболеваемости свиней, представленных ниже в таблице, нами были получены теоретические значения величины R_0 , которые характеризуют общую динамику инфекционного процесса при АЧС для каждого из рассмотренных очагов. Ниже на рис. 8 – 10 приведены модели динамики инфекционного процесса при АЧС в очагах по времени

(возможная динамика заболеваемости свиней в очагах по дням) при соответствующей итерации реальных количественных данных по заболеваемости свиней.

Полученные при моделировании для рассмотренных очагов инфекции значения величины R_0 показывают, что они варьируют от 8 до 11. Это говорит о том, что величина базовой скорости репродукции для АЧС (R_0), может составлять от 8 до 11 животных, т.е. если в стадо свиней попадает инфицированное АЧС животное, то по истечению одного инкубационного периода в очаге может оказаться 8-11 вторично инфицированных и заболевших животных.

3. Определение «базовой скорости репродукции вспышек» африканской чумы свиней на основе их регистрации в 2008г. на территории Республики Северная Осетия

Базовая скорость репродукции (R_0) – индивидуальный показатель, позволяющий судить о скорости распространения болезни на уровне животных внутри стада. Для популяционного уровня используется аналогичный показатель R_0^{bf} (between farm – между фермами или между вспышками) как базовая скорость репродукции вспышек. Этот показатель позволяет судить о групповой, стадной скорости распространения болезни. Так, например, проведенное математическое моделирование по результатам прошедшей в 2001 г. в Великобритании эпизоотии ящура, показало, что величина R_0^{bf} находилась в интервале от 1 до 3. То есть, по мере регистрации первого ящурного очага, по истечению одного инкубационного периода мы можем иметь от 1 до 3 вторичных вспышек (4).

С целью определения «базовой скорости репродукции вспышек», которая по аналогии с R_0 определяется нами как среднее число вторичных вспышек (инфекций), появляющихся в случае возникновения одной единственной вспышки за период времени, равному инкубационному периоду, взяты вспышки, которые были зарегистрированы на территории Республики Северной Осетии в 2008г. Общее количество восприимчивых стад, величина N , было принято равным 227 (по количеству населенных пунктов).

На рис. 11 показана общая динамика возникновения вспышек при временном интервале, равным 15 дням и теоретическая кривая динамики возникновения вспышек при соответствующем значении теоретической величины R_0^{bf} .

Проведенная по программе «Berkeley

Madonna» оценка для принятых значений входных параметров величины R_0^{bf} - «базовой скорости репродукции вспышек» показала, что ее величина для данного временного интервала, равного инкубационному периоду, варьировала в пределах 2-3 вспышек. Таким образом, можно принять следующее, что на основе полученных результатов моделирования по зарегистрированным вспышкам АЧС в Республике Северная Осетия в случае появления первичного очага африканской чумы свиней (ферма, населенный пункт) в других регионах Российской Федерации, по истечению инкубационного периода вероятное число последующих вспышек ожидается не более 2-3.

Полученные числовые значения параметра R_0 были использованы для определения необходимого уровня депопуляции с тем, чтобы прервать распространение АЧС и заболевание не могло получить дальнейшего распространения как внутри неблагополучного пункта, так и в пределах зоны риска вероятного распространения инфекции. Оценку величины удаленных животных (N_R), которых нужно убить и/или уничтожить в неблагополучном пункте зоны угрозы провели по известной формуле:

$$N_R = (R_0 - 1) / R_0.$$

Подставляя в формулу полученное нами минимальное значение $R_0 = 8$ и максимальное значение $R_0 = 11$, получаем, что в неблагополучном пункте депопуляции должно подвергнуться не менее 91% восприимчивого поголовья.

Рассчитанные аналогичным образом значения величины N_R при $R_0^{bf} = 2$ и $R_0^{bf} = 3$, показали, что для приостановления распространения заболевания в зоне риска должно быть ликвидировано от 33 до 50% восприимчивых стад.

РЕЗЮМЕ

Работа посвящена использованию географических информационных систем (ГИС-технологий) в анализе эпизоотической ситуации по африканской чуме свиней на территории Российской Федерации. Показано пространственное распространение болезни на территории Южного федерального округа и количественные характеристики вспышек среди домашнего и дикого поголовья свиней. Приведены данные по оценке базовой скорости репродукции при АЧС как применительно к больным животным, так и применительно к зарегистрированным вспышкам.

SUMMARY

This paper is devoted to the use of Geographical Information System (GIS technology) in analysis of epizootic situation concerning African swine fever on the territory of the Russian Federation. Spatial spread of the disease is shown on the territory of southern federal district as well as quantitative aspects of the outbreak in domestic and wild swine livestock. Here you can find the evaluation data of basic reproduction rate in the course of African swine fever with respect to infected animals and to registered outbreaks.

Литература

1. Андерсон, Р. Инфекционные болезни человека. Динамика и контроль / Р. Андерсон, Р. Мэй // М.: Мир, 2004. - 783 с.
2. Инструкция по профилактике и ликвидации АЧС // М.: ГВУ МСХ СССР, 1980.
3. Terrestrial Animal Health Code / Paris: World Organisation for Animal Health - 2008
4. Thornley, John H.M. Modelling foot and mouth disease/ John H.M. Thornley, James France/ Prev. Vet. Med. - 2009. - Vol. 89. - P. 139 - 154.
5. <http://www.gisvet.org/Conferences.aspx>
6. <http://www.oie.int/wahis/public.php?page=home>
7. <http://www.berkeleymadonna.com>

Выводы

В 2007-2009 гг. на территории Кавказа, Южного федерального округа России, были зарегистрированы вспышки африканской чумы свиней как среди домашнего поголовья, так и среди диких свиней (кабанов). Особо напряженная эпизоотическая ситуация за этот период наблюдалась в Республике Северная Осетия и в Ставропольском крае. Наибольшее число вспышек АЧС наблюдалось в период с июня по октябрь 2008г., одна из которых в июле была выявлена на территории Оренбургской области Приволжского федерального округа.

На основе регистрируемой динамики по заболеваемости свиней в некоторых очагах была определена базовая скорость репродукции для вируса африканской чумы свиней (R_0), которая колебалась от 8 до 11.

В работе также оценена «базовая скорость репродукции вспышек» R_0^{bf} , которая по аналогии с R_0 определена нами как среднее число вторичных вспышек (инфекций), появляющихся в случае возникновения одной единственной вспышки за период времени, равного инкубационному периоду. Эта величина находилась в пределах 2-3 вспышек.

Полученная оценка необходимой величины депопуляции восприимчивых животных показывает, что для эффективных мероприятий с АЧС в неблагополучном пункте необходимо уничтожить не менее 91% восприимчивого поголовья свиней, а в зоне вероятного риска распространения инфекции от 33 до 50% восприимчивых стад. В очаге же, согласно инструкции по профилактике и ликвидации африканской чумы свиней, уничтожается все свиноголовье (2).