

В.М.Дубянский

**ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ ЭПИЗООТИЙ ЧУМЫ  
ПРИ МИНИМАЛЬНОМ УРОВНЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЭПИЗООТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА,  
РАССЧИТАННОМ ПУТЕМ ЕГО МОДЕЛИРОВАНИЯ***ФГУЗ «Ставропольский научно-исследовательский противочумный институт»*

На модели чумного эпизоотического процесса в поселении больших песчанок (*Rhombomys opimus*) показано, что эпизоотия чумы может развиваться при низком уровне эпизоотического контакта. При этом величина эпизоотического участка и количество «зараженных» колоний будет слишком мало для выявления эпизоотии при стандартном эпизоотологическом обследовании.

*Ключевые слова:* чума, эпизоотия, модель, контакт.

V.M.Dubyanskii

**Evaluation of Probability of Plague Epizooties Detection at the Minimal Level  
of Epizootic Process Intensity Measured Using Its Modeling***Stavropol Anti-Plague Research Institute*

Using model of plague epizootic process in great gerbils (*Rhombomys opimus*) settlements, authors showed that plague epizooty could develop at low level of epizootic contact. In this case the size of epizootic site and the number of "infected" colonies were expected to be insufficient to detect epizooty by standard epizootologic examination.

*Key words:* plague, epizooty, model, contact.

Моделирование чумного эпизоотического процесса в поселениях больших песчанок (*Rhombomys opimus* Licht., 1823 – *Rodentia, Cricetidae*) на ЭВМ позволяет проверять количественные параметры эпизоотии, недоступные для непосредственного наблюдения в природе [7]. Однако известна только одна более или менее успешная попытка создания подобной модели [7, 9]. Ее авторы показали перспективность этого направления, но разработанная ими модель имела ряд существенных ограничений [1]. Интенсивное развитие современных геоинформационных технологий и дистанционного зондирования дают возможность моделирования чумного эпизоотического процесса на качественно ином уровне [4]. На основе этих технологий создана модель, позволяющая в качестве параметра использовать реальную структуру пространственной конфигурации поселений большой песчанки. Модель позволяет эффективно применять различные математические приемы для исследования закономерностей эпизоотического процесса в требуемом числе повторностей экспериментов и изучать различные характеристики эпизоотии чумы.

В данном случае целью экспериментов на модели были поиск минимального уровня эпизоотического контакта, при котором возможен длительно текущий эпизоотический процесс, а также оценка вероятности обнаружения такого процесса при стандартном эпизоотологическом обследовании в реальных условиях.

Подробные описания параметров и особенностей работы модели приведены в предыдущих публикациях [4]. Поэтому в данной статье даны только

самые необходимые сведения и понятия, используемые при моделировании чумного эпизоотического процесса.

Математическая основа модели – вероятностный клеточный автомат (ВКА) [2]. В модели используется принцип ВКА с применением процедуры Монте-Карло.

Колония в модели – дискретная единица эпизоотического процесса. «Зараженной» является любая колония, в которой есть возбудитель чумы (независимо от места его конкретной дислокации), и он может быть передан на другие колонии (опять же независимо от конкретного механизма передачи).

При работе модели использовали следующие основные понятия:

Цикл заражения – период, в течение которого вновь «зараженная» колония большой песчанки приобретает способность «заражать» соседние норы.

Вероятность успеха передачи – вероятность успеха однократной попытки передачи чумного микроба с «зараженной» колонии на «незараженную».

Коэффициент заражения колоний – количество попыток заражения соседних колоний одной «заражающей» колонией за один цикл заражения. Термин аппроксимирует коэффициент заражения и коэффициент передачи в понимании авторов публикаций [5, 7].

Уровень (величина) эпизоотического контакта – величина вероятности успеха передачи и коэффициента заражения, при которых происходит передача возбудителя от колонии к колонии. В понятиях трансмиссивной теории этот показатель наиболее близок к предложенному А.А.Кузнецовым (1997 г.).

Материалом для работы послужили данные о параметрах чумного эпизоотического процесса, отобранные при анализе литературы, результаты экспериментов на модели и полевые наблюдения, в том числе собственные. Такие параметры, как распределение и плотность колоний большой песчанки, рассчитаны на примере ключевого участка, расположенного в Прибалхашском очаге чумы. Фотография участка сделана со спутника QuickBird с разрешением 0,6 м на 1 пиксель. Непосредственно на местности учет обитаемости и плотности колоний большой песчанки велся с применением маршрутно-колонийного и площадочного методов. Учтено более 600 колоний.

Для моделирования использовался снимок участка поселения 2×2 км. Плотность обитаемых колоний большой песчанки на моделируемом участке колеблется около 2,0 на 1 га, количество колоний – 550. Площадь эпизоотического пятна рассчитывалась по крайним положениям «зараженных» колоний.

Неслучайность событий оценивали по теореме Байеса [6]. Неслучайность результатов эксперимента составила 0,999 при уровне надежности 0,001. Вероятность успеха передачи увеличивали от 0,1 до 1,0 с шагом 0,05. Одновременно коэффициент заражения последовательно уменьшали, начиная со значения «10» с шагом равным единице. Показатели интенсивности эпизоотического процесса при наименьшем значении коэффициента заражения при каждом шаге вероятности успеха передачи фиксировали в таблице. Для пространственного анализа использовались инструменты ГИС ArcView 9.2. Общее количество расчетов превысило 2000.

Показателем интенсивности эпизоотического процесса считался процент «зараженных» колоний после условного модельного года. Расчеты вероятностей проводили по формуле распределения Пуассона [8].

Результаты проведенных экспериментов показали, что минимальные показатели эпизоотического процесса достигнуты при вероятности успеха передачи равном 0,35 и коэффициенте заражения равном двум. Это и есть минимальный уровень эпизоотического контакта для моделируемого участка. Минимальный процент «зараженных» колоний, при котором эпизоотический процесс успешно развивается – 3,27, т.е. 18 одновременно «зараженных» колоний на исследуемом участке. Минимальная вероятность успеха передачи, при которой гарантированно развивается эпизоотический процесс, равна 0,2, при коэффициенте заражения равном пяти. Коэффициент заражения играет важную роль: чем он меньше, тем

более высокая вероятность успеха передачи требуется для развития эпизоотического процесса. Фактически два этих показателя находятся в обратной связи. Непрерывная трансмиссия чумного микроба осуществляется при минимальном значении коэффициента заражения (равном единице) только при высокой ( $> 0,7$ ) величине вероятности успеха передачи.

Минимальные значения вероятности успеха передачи и коэффициента заражения, полученные в экспериментах, оказались неожиданно низкими. В понятиях трансмиссивного механизма передачи чумного микроба в модели получается, что для устойчивого развития эпизоотического процесса достаточно, чтобы в течение десяти дней большая песчанка с «зараженной» колонии дважды забегала на соседние «незараженные» колонии и каждый раз переносила некоторое количество блох, инфицированных чумным микробом. При этом в соседней колонии хотя бы у одной большой песчанки может развиваться бактериемия с вероятностью 0,35 и с последующим заражением некоторого количества блох. Расчетные данные весьма близки к цифрам, полученным опытным путем ранее [9]. Отметим, однако, что механизм эпизоотического процесса в нашей модели весьма упрощен, в него не вошла множественность путей передачи чумного микроба. Поэтому вероятно, что в природе эпизоотический процесс может протекать с еще более низкими показателями эпизоотического контакта.

Имея модельные данные об интенсивности и экстенсивности эпизоотического процесса, получаем возможность рассчитать вероятность обнаружения эпизоотии чумы при минимальном эпизоотическом контакте. Как показали эксперименты, интенсивность и экстенсивность эпизоотического процесса весьма вариабельны при одном и том же уровне вероятности успеха передачи и коэффициента заражения. Это в значительной мере связано с распределением колоний в пространстве. В таблице представлены результаты двух из 121 успешных опытов с минимальной и максимальной величиной эпизоотического пятна, полученных при неизменных параметрах модели.

Вероятность совпадения участка обследования с участком эпизоотии рассчитана при условии, что эпизоотическое пятно одно на сектор. Понятно, что при реальном обследовании гарантированно обнаружить эпизоотию с моделируемыми параметрами довольно сложно, так как даже при работе на эпизоотологических стационарах количество проб в секторе не достигало сотни.

Также необходимо иметь в виду, что в ряде случаев обнаружение эпизоотии с якобы низкими

Расчет вероятности обнаружения моделированной эпизоотии при минимальном уровне эпизоотического контакта

№ теста	Площадь эпизоотического пятна, га	Вероятность обнаружения эпизоотии при стандартном обследовании (1 проба на сектор, 10 колоний в пробе)	Количество проб, необходимых для совпадения хотя бы одной с эпизоотическим пятном с вероятностью 0,99/0,95	Количество колоний, которые должны быть исследованы в пробе, для обнаружения хотя бы одной инфицированной с вероятностью 0,99/0,95
1	43	0,0042	1072/697	11/7
2	167	0,0164	276/180	12/8

показателями зараженности грызунов может быть обусловлено тем, что проба только частично совпала с эпизоотическим пятном. Например, в опыте № 2 (таблица) реальная зараженность колоний составляет 45 %. Допустим, было обследовано 10 колоний, и чумной микроб был обнаружен только в одной из них. Следовательно, зараженность будет считаться равной 10 %. Исходя из полученной информации, мы будем считать, что зарегистрировали эпизоотию с вероятностью выявления 0,0047, т.е. близкой к минимально возможной, рассчитанной на модели. На самом деле при истинной 10 % зараженности колоний эпизоотия вряд ли была бы выявлена вообще.

Таким образом, чумной эпизоотический процесс при заданной плотности обитаемых колоний может развиваться при весьма низком уровне эпизоотического контакта. Достаточно, чтобы контакт между колониями осуществлялся хотя бы два раза в декаду, с вероятностью успешной передачи чумного микроба 0,35.

Для передачи чумного микроба между колониями, видимо, более важна частота контактов, чем вероятность успешной передачи чумного микроба во время каждого из этих контактов.

Моделирование развития чумного эпизоотического процесса позволяет оценить разрешающую способность реального обследования очаговой территории. Стандартное эпизоотологическое обследование имеет недостаточную интенсивность и экстенсивность, чтобы выявлять эпизоотии, текущие при низких показателях эпизоотического контакта. Следовательно, отрицательный результат обследования может быть обусловлен не только действительным отсутствием на обследуемой территории эпизоотий чумы, но и низкой интенсивностью эпизоотического процесса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурделов Л.А. Источники, причины и последствия кризиса в эпизоотологии чумы. Карантинные и зоонозные инф. в Казахстане. 2001; 3:20–5.
2. Грабовский В.И. Клеточные автоматы как простые модели сложных систем. Усп. совр. биологии. 1995; 115(4):412–8.

3. Дубянский В.М., Абдулина В.З., Классовский Н.Л., Айкимбаев А.М., Поле С.Б., Темиралиева Г.А. и др. Опыт создания электронной базы эпизоотологических данных на основе первичной документации эпидотрядов. Карантинные и зоонозные инф. в Казахстане. 2001; 3:299–301.

4. Дубянский В.М., Бурделов Л.А. Компьютерная модель чумного эпизоотического процесса в поселениях большой песчанки *Rhombomys opimus*: описание и проверка адекватности. Зоол. журн. 2010; 89(1):79–87.

5. Литвин В.Ю., Карулин Б.Е., Водоморин Н.А., Охотский Ю.В. Радиоизотопное моделирование эпизоотийных ситуаций и стохастическая модель эпизоотии туляремии в омете. В кн.: Фауна и экология грызунов. М.: Изд. МГУ, 1980. Т. 14. С. 63–84.

6. Райфа Г. Анализ решений. М.: Наука; 1977. 407 с.

7. Солдаткин И.С., Родниковский В.Б., Руденчик Ю.В. Опыт статистического моделирования эпизоотического процесса при чуме. Зоол. журн. 1973; 52(5):751–6.

8. Солдаткин И.С. О некоторых приемах расчета вероятности обнаружения эпизоотий чумы при эпизоотологическом обследовании. Пробл. особо опасных инф. 1970; 1(11):3–5.

9. Солдаткин И.С., Руденчик Ю.В. Некоторые вопросы энзоотии чумы как формы существования саморегулирующейся системы «грызун – блоха – возбудитель». В кн.: Фауна и экология грызунов. М.: Изд. МГУ; 1971. Т. 10. С. 5–29.

#### References (Presented are the Russian sources in the order of citation in the original article)

1. Burdelov L.A. [Sources, reasons and aftermaths of crisis in plague epidemiology]. Karantin. Zoonoz. Inf. Kazakhstan. 2001; 3:20–5.
2. Grabovskii V.I. [Cellular automates as simple models of complex systems]. Usp. Sovrem. Biol. 1995; 115(4):412–8.
3. Dubyanskii V.M., Abdulina V.Z., Klassovskii N.P., Aikimbaev A.M., Pole S.B., Temiraliyeva G.A. et al. [Experience of electronic data base formation on the basis of primary documentation of epidemiologic teams]. Karantin. Zoonoz. Inf. Kazakhstan. 2001; 3:299–301.
4. Dubyanskii V.M., Burdelov L.A. [Computer model of plague epizootic process in great gerbils (*Rhombomys opimus*) settlements: description and adequacy testing]. Zool. Zh. 2010; 89(1):79–87.
5. Litvin V.Yu., Karulin B.E., Vodomorin N.A., Okhotskii Yu.V. [Radioisotope modeling of epizootic situations and stochastic model of tularemia epizooty in stack]. In: [Fauna and Ecology of Rodents]. M.: Izd. MGU; 1980. N 14. P. 63–87.
6. Raifa G. [Analysis of Solutions]. M.: Nauka; 1977. 407 p.
7. Soldatkin I.S., Rodnikovskii V.B., Rudenchik Yu.V. [Experience of statistic modeling of plague epizootic process]. Zool. Zh. 1973; 52(5):751–6.
8. Soldatkin I.S. [About some techniques of calculation of probability of plague epizooties detection during epizootiologic examination]. Probl. Osobo Opasn. Infek. 1970; 1(11):3–5.
9. Soldatkin I.S., Rudenchik Yu.V. [Some questions of plague enzooty as a form of existence of autoregulating system "rodent – flea – agent"]. In: [Fauna and Ecology of Rodents]. M.: Izd. MGU; 1971. N 10. P. 5–29.

#### Authors:

Dubyanskii V.M. Stavropol Research Anti-Plague Institute. Sovetskaya St., 13–15, Stavropol, 355035, Russia. E-mail: snipchi@mail.stv.ru

#### Об авторах:

Дубянский В.М. Ставропольский научно-исследовательский противочумный институт. Ставрополь, ул. Советская, 13–15. E-mail: dvm-plague@rambler.ru

Поступила 08.12.10.