

А.А.Лопатин, Е.В.Куклев, В.А.Сафронов, А.С.Раздорский, Л.В.Самойлова, В.П.Топорков

ВЕРИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ЧУМЕ

ФКУЗ «Российский научно-исследовательский противочумный институт «Микроб», Саратов

Математическое моделирование и прогнозирование эпидемического процесса при инфекционных болезнях является одним из перспективных направлений эпидемиологических исследований. В этих целях в ФКУЗ РосНИПЧИ «Микроб» совместно с лабораторией эпидемиологической кибернетики ФБГУ НИИЭМ имени Н.Ф.Гамалеи разработан комплекс математических моделей эпидемического процесса при чуме типа SEIRF. Для проверки работоспособности созданных математических моделей развития эпидемического процесса при чуме были выбраны данные из описания вспышки чумы в поселке Авань Аральского района Кызыл-Ординской области Казахской ССР 1945 г. Анализ данных позволил получить начальные и граничные условия для моделирования эпидемического процесса. В ходе моделирования использовались математические модели эпидемического процесса при чуме с различными механизмами передачи для каждого эпидемического очага соответственно ретроспективным данным. Полученные данные проанализированы при помощи аналитической платформы Deductor 5.1. Анализ выявил наличие сильной положительной корреляционной связи между ними – $r = +0,71$. Полученные результаты свидетельствуют о работоспособности созданных математических моделей с высокой достоверностью, что позволяет рекомендовать их использование для получения количественных характеристик прогноза развития эпидемического процесса при чуме с различными механизмами передачи инфекции с учетом проведения основных противоэпидемических мероприятий.

Ключевые слова: вспышка чумы, математическая модель, эпидемический процесс.

A.A.Lopatin, E.V.Kuklev, V.A.Safronov, A.S.Razdorsky, L.V.Samoilova, V.P.Toporkov

Verification of Mathematical Models of Plague

Russian Research Anti-Plague Institute "Microbe", Saratov

Mathematic modeling and prognostication of infectious diseases epidemic process is a promising trend of epidemiologic investigations. The complex of mathematic models (SEIRF type) of plague epidemic process was developed for this purpose by the Russian Research Anti-Plague Institute "Microbe" and laboratory of epidemiologic cybernetics of N.F.Gamaleya Institute for Epidemiology and Microbiology. The data on the plague outbreak in 1945 in the rural settlement Avan' (Aral region of Kzyl-Orda district of Kazakh SSR) were used to test working efficiency of this complex. The data analysis permitted to obtain the starting and boundary conditions for epidemic process modeling. In the process of modeling the mathematical models of epidemic process of plague with various ways of infection transmission for each epidemic focus in regard with historical data were used. The data were processed by the analytical platform Deductor 5.1. Identified was strong positive correlation between estimated and historical data – $r = +0,71$. The results received testify that mathematic models are effective and give high degree of confidence. They can be used to receive quantitative characteristics of prognosis for plague epidemic process development with different transmission routes considering that anti-epidemic measures have been taken.

Key words: plague outbreak, mathematic model, epidemic process.

Математическое моделирование и прогнозирование эпидемического процесса при инфекционных болезнях является одним из перспективных направлений эпидемиологических исследований, поскольку позволяет получать результаты, которые невозможно выявить при использовании других методов, минимизировать затраты на изучение эпидемического процесса, а также заблаговременно выявить общие закономерности роста заболеваемости и наметить пути их эффективной профилактики.

В этих целях в РосНИПЧИ «Микроб» совместно с лабораторией эпидемиологической кибернетики ФБГУ НИИЭМ имени Н.Ф.Гамалеи разработан комплекс математических моделей эпидемического процесса при чуме типа SEIRF. Математические модели имеют вид системы интего-дифференциальных

уравнений в частных производных с начальными и граничными условиями.

Целью работы является проверка работоспособности созданных математических моделей развития эпидемического процесса при чуме.

Материалы и методы

В работе использованы архивные материалы описания вспышки чумы в поселке Авань Аральского района Кызыл-Ординской области Казахской ССР в 1945 г. Ретроспективный эпидемиологический анализ данной вспышки чумы показал следующее.

Общее население Аваньского аулсовета – 1465 чел. Всего заболело чумой 175 чел., из них погибло от чумы или осложнений 127. Первые боль-

Таблица 1

Характеристика отдельных эпидемических очагов чумы в Аванском аулсовете 1945 г.

Название эпидемического очага	Общее число заболевших	Не госпитализированные					Госпитализированные					% госпитализации
		Всего больных	Умерло		Выздоровление		Всего больных	Умерло		Выздоровление		
			абс. число	%	абс. число	%		абс. число	%	абс. число	%	
Акбасты *	106	86	68	79,1	18	20,9	20	6	30,0	14	70,0	18,9
Авань	48	18	17	94,4	1	5,6	30	17	56,7	13	43,3	62,5
Ак-Кудук	15	11	11	100,0	0	0,0	4	3	75,0	1	25,0	26,7
Бюургунды	6	1	1	100,0	0	0,0	5	4	80,0	1	20,0	83,3
<i>Всего</i>	175	116	97	83,6	19	16,4	59	30	50,8	29	49,2	33,7

* Заболеваемость в ауле Улькункуль включена в данные по аулу Акбасты.

ные зарегистрированы: 2 августа 1945 г. в поселке Акбасты, 8 августа – Улькункуль, 10 августа – Ак-Кудук. Летальный исход наступал в среднем на 3–4-е сутки заболевания. На основе поименного списка больных была вычислена средняя продолжительность жизни заболевшего чумой (максимально – 13, минимально – 1 день, средняя арифметическая – 4 дня, мода и медиана – 3 дня, стандартное отклонение – 2,3, дисперсия – 5,39). В течение эпидемического процесса отмечено 2 пика, связанных с резким подъемом числа заболевших и умерших при легочной форме чумы. Эффективность мероприятий по изоляции больных и контактных составила 34%. Было госпитализировано 59 из 175 заболевших человек. Точные сроки начала госпитализации больных и контактных не везде установлены. Есть данные, что массовые противоэпидемические мероприятия были начаты с 29 сентября 1945 г. Общая смертность при чуме составила 72,5%. Среди не госпитализированных – 84%, госпитализированных – 51%. Вспышка чумы была зарегистрирована в 5 аулах: Акбасты, Авань, Ак-Кудук, Бюургунды, Улькункуль.

Характеристики по отдельным эпидемическим очагам приведены в табл. 1. Отмечено большое количество тяжелых форм заболевания, которые расценивались как септические формы чумы.

Особенностью данной вспышки чумы были причины ее развития, связанные с различными механизмами передачи инфекции. Контактный – при заражении в результате прирезки и разделки туши верблюда в поселке Акбасты с последующим развитием событий в поселке Ак-Кудук, затем – в поселке

Авань. Аспирационный механизм передачи отмечен только для острова Бюургунды. Трансмиссивный – через блох в природном очаге (зарегистрированы эпизоотические проявления чумы на территории Аванского аулсовета) и через блох жилища человека (блохи зафиксированы практически во всех домах).

Моделирование проводили с использованием методологии, разработанной доктором технических наук Б.В.Боевым на основании данных, собранных в РосНИПЧИ «Микроб». В работе использовали разработанную нами математическую модель типа SE_2I_3RF , где S – стадия восприимчивости к чуме; E_1 – инкубационный период (незаразный); E_2 – инкубационный период (заразный); I_1 – легкая клиническая форма чумы; I_2 – клиническая форма чумы средней тяжести; I_3 – тяжелая клиническая форма чумы; R – стадия постинфекционного иммунитета чумы; F – стадия погибших от чумы, как наиболее точно описывающая эпидемический процесс при чуме.

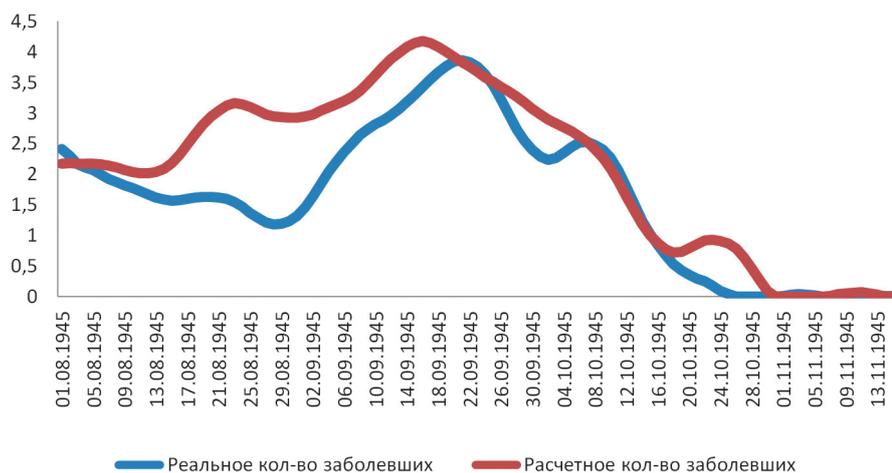
Начальными условиями моделирования были: число восприимчивых лиц в группе риска после момента заражения; число лиц в инкубационном периоде (незаразная и заразная стадия); число новых случаев заболевания чумой (после заразной стадии инкубационного периода); число больных с различными (три) клиническими формами чумы; число людей, переболевших чумой; число больных, погибших от чумы или ее осложнений.

При моделировании отдельных эпидемических очагов чумы использовали установленные из описания вспышки начальные и граничные условия, отдельно – для моделирования распространения по

Таблица 2

Соотношение фактических и расчетных данных по отдельным эпидемическим очагам чумы

Эпидемический очаг	Расчетные значения		Фактические данные	
	Заболело	Умерло	Заболело	Умерло
Акбасты	128	70	97	68
Авань	63	34	48	34
Ак-Кудук	26	21	15	14
Бюургунды	10	6	6	5
Улькункуль	16	10	9	6
<i>Всего</i>	243	141	175	127



Сравнение результатов общего числа заболевших чумой по расчетным и фактическим данным

типу бубонной и легочной чумы. Для каждого очага отдельно определены условия: численность населения, интенсивность выхода и выноса возбудителя из очага, начальное число лиц в инкубации, летальность, доля восприимчивых, время моделирования эпидемического процесса, процент, интенсивность и задержка изоляции. Варьирование для отдельных очагов производилось только в показателе интенсивности контактов.

Полученные результаты подвергнуты обработке при помощи аналитической платформы Deductor 5.1 [2], а также общепринятых статистических методов [3].

Результаты и обсуждение

Как следует из анализа табл. 2, составленной только по итоговым показателям в отдельных эпидемических очагах чумы, совпадение результатов по общему числу заболевших равняется 72,0 %, по смертности – 90,1 %.

Проведенный полный корреляционный анализ данных [1, 3] выявил наличие сильной положительной корреляционной связи – $r^2 = 0,5$, $r = +0,71 \pm 0,045$, что наглядно демонстрирует рисунок.

Анализ результатов с помощью метода сглаживания рядов Вайвлет, преобразования (глубина разложения 3, порядок вайвлета 6) и понедельной агрегации данных также показал наличие сильной положительной корреляционной связи – $r = +0,71$.

Таким образом, проведена верификация комплекса математических моделей эпидемического процесса при чуме на примере вспышки чумы в поселке Авань Аральского района Кызыл-Ординской области Казахской ССР в 1945 г., отличавшейся наличием различных механизмов передачи инфекции.

В результате моделирования эпидемического процесса при чуме с учетом особенностей по отдельным эпидемическим очагам был получен ряд расчетных данных динамики заболеваний чумой.

Полученные расчетные данные были проанализированы в сравнении с фактическими, что выявило наличие сильной положительной корреляционной связи между ними – $r = +0,71 \pm 0,045$.

Полученные результаты свидетельствуют о работоспособности созданных математических моделей эпидемического процесса при чуме с высокой достоверностью, что позволяет рекомендовать их использование для получения количественных характеристик прогноза развития эпидемического процесса при чуме с различными механизмами передачи инфекции с учетом проведения основных противоэпидемических мероприятий.

Работа выполнена по государственному контракту № 74-Д от 25.07.2011 г. в рамках реализации федеральной целевой программы «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации (2009–2013 годы)».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бессмертный Б.С., Ткачева М.Н. Статистические методы в эпидемиологии. М.: Медгиз; 1961. 203 с.
2. Кацко И.А., Паклин Н.Б. Практикум по анализу данных на компьютере. М.: КолосС; 2009. 278 с.
3. Плохинский Н.А. Биометрия. М.: Изд-во Моск. ун-та; 1970. 336 с.

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

1. Bessmertny B.S., Tkacheva M.N. [Statistical Methods in Epidemiology]. M.; 1961. 203 p.
2. Katsko I.A., Paklin N.B. [Training Workshop for Data Analysis on Computer]. M.; 2009. 278 p.
3. Plokhinsky N.A. [Biometry]. M.; 1970. 336 p.

Authors:

Lopatyn A.A., Kouklev E.V., Safronov V.A., Razdorsky A.S., Samoiloва L.V., Toporkov V.P. Russian Research Anti-Plague Institute "Microbe". 46, Universitetskaya St., Saratov, 410005, Russia. E-mail: rusrap1@microbe.ru

Об авторах:

Лопатин А.А., Куклев Е.В., Сафронов В.А., Раздорский А.С., Самойлова Л.В., Топорков В.П. Российский научно-исследовательский противочумный институт «Микроб». 410005, Саратов, ул. Университетская, 46. E-mail: rusrap1@microbe.ru

Поступила 28.12.11.