

Л.Ф.Низоленко, А.Г.Бачинский

**УНИВЕРСАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ЛОКАЛЬНЫХ ЭПИДЕМИЙ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕСУРСНОЙ ГОТОВНОСТИ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ
К ОТРАЖЕНИЮ БИОТЕРРОРИСТИЧЕСКОЙ АТАКИ***ФБУН «Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор», Кольцово,
Российская Федерация*

Цель данной публикации – на примере Новосибирской области проиллюстрировать возможность исследования обеспеченности города/региона ресурсами, необходимыми для противодействия масштабным эпидемиям острых инфекционных заболеваний, вызываемых возбудителями особо опасных инфекций, таких как натуральная оспа, сибирская язва, чума, геморрагические лихорадки Эбола, Марбург, Ласса, Крымская-Конго. Исследование проводится с помощью разработанной в ГНЦ ВБ «Вектор» универсальной модели локальных, то есть развивающихся в замкнутой популяции, эпидемий/вспышек. Результаты моделирования динамики эпидемий позволяют предположить, что в случае массового заражения населения Новосибирской области, ее ресурсов достаточно для борьбы со вспышками туляремии, сибирской язвы, лихорадок Марбург и Крымской-Конго. Для борьбы с эпидемиями оспы, чумы, лихорадок Эбола и Ласса потребуется широкомасштабная федеральная поддержка.

Ключевые слова: эпидемия, особо опасные инфекции, математическая модель, меры противодействия.

L.F.Nizolenko, A.G.Bachinsky

Universal Local Epidemic Model and Its Usage in the Assessment of Novosibirsk Region Resource Preparedness to a Bioterrorist Attack*State Research Center of Virology and Biotechnology “Vector”, Kol'tsovo, Russian Federation*

Objective of the study is to substantiate the possibility to assess local/regional resource capacity needed for a large-scale epidemic response as concerns emerging infectious diseases caused by pathogenic agents of particularly dangerous infections, such as smallpox, anthrax, plague, and Ebola, Marburg, Lassa, Crimean-Congo fevers. Investigations are conducted using a designed at the SRC VB “Vector” universal local epidemic/outbreak (developing within a closed population) model. The results of epidemic dynamics modeling suggest that in case of mass infection of the population in the Novosibirsk Region its resources are well sufficient for tularemia, anthrax, and Marburg and Crimean-Congo fever outbreak control. Response measures for smallpox, plague, Ebola and Lassa fever epidemic control will require additional large-scale federal support.

Key words: epidemic, particularly dangerous infections, mathematical model, response measures.

Материалы и методы

В ГНЦ ВБ «Вектор» разработана универсальная модель, описывающая развитие вспышек и эпидемий, вызываемых возбудителями особо опасных [5] инфекций. Подробное описание модели и данные о ее верификации опубликованы ранее [1, 2, 7]. Модель реализована в виде компьютерной программы, снабженной WEB-интерфейсом, и размещена на сервере (<http://vector.nsc.ru:81>, а также на сайте <http://vector-epimod.ru>).

Важнейшим показателем, определяющим развитие эпидемий, является коэффициент репродукции возбудителя (среднее число инфицируемых от одного больного, R_0), который зависит от многих факторов, таких как контагиозность возбудителя, плотность популяции (число контактов больного), длительность инфекционного периода и т.д. Так, несмотря на высокую контагиозность возбудителя чумы, инфекционный период этого заболевания составляет считанные дни и даже часы [8], и в результате значение R_0 для него задается достаточно низким (таблица). В случае лихорадки Крымская-Конго (ККГЛ), передающейся через укусы клещей либо контакта с кровью

больного, этот показатель установлен еще ниже. Для других геморрагических лихорадок R_0 значительно выше именно из-за продолжительности инфекционного периода. Для туляремии и сибирской язвы, при которых прямая передача от человека к человеку отсутствует, этот коэффициент принят равным нулю.

Для всех инфекций число исходно инфицированных задается равным 500 (массовая террористическая атака). Все они поступают в популяцию в начале латентной стадии заболевания. Кроме того, зараженной оказывается некоторая территория, на которой люди могут инфицироваться и позднее. То есть в начальный момент времени возникает дополнительный внешний источник инфекции, вызывающий заражение 50 человек в сутки, активность которого самопроизвольно (без мер противодействия) снижается на 10 % в сутки.

Остальные условия моделирования реализуют сценарии, которые можно назвать умеренно оптимистическими, а именно: комплекс противоэпидемических мероприятий (ПЭМ) развертывается в минимальные разумные сроки [2, 7]; при целесообразности массовой вакцинации, она также проводится весьма оперативно: сразу после получения лабора-

торного подтверждения диагноза, в течение 5 дней может вакцинироваться до 80 % населения; имеется ряд ресурсных ограничений (численности медперсонала, мест изоляции больных, контактных и подозрительных, числа пунктов массовой вакцинации и числа вакцинируемых в каждом из пунктов в день, а также запаса лекарств и вакцины).

Параметры при моделировании соответствуют условиям Новосибирской области: население – 2665911; доля городского населения – 77 % [6]; число медицинских работников, занятых в ликвидации эпидемии – 2130; число мест строгой изоляции – 905; число мест в провизорных госпиталях – 2450; число мест в изоляторах для контактных – 1060 [3]. Расчеты проводились на интервале 100 дней с момента появления в популяции первично инфицированных лиц.

Результаты и обсуждение

Моделирование проводилось для следующих двух вариантов развития событий:

- После введения жесткого режима ПЭМ снимаются все ресурсные ограничения, поскольку предполагается, что эпидемия становится чрезвычайной ситуацией и требует полной мобилизации сил. Так что недостающие места для изоляции больных и контактных организуются на базе имеющихся в регионе медицинских учреждений, а также за счет развертывания полевых госпиталей. Недостающие материальные ресурсы и квалифицированный персонал доставляются из соседних регионов.

- Ресурсные ограничения не снимаются до конца расчетов, то есть внешняя помощь и мобилизация дополнительных ресурсов отсутствует.

Исходные значения коэффициента R_0 определялись для условий высокой плотности населения, то есть городской популяции. Поскольку доля городского населения в Новосибирской области по имеющимся данным составляет 77 %, параметр R_0 при моделировании заменялся параметром $R_N = R_0 \cdot 0,77$.

Влияние обеспеченности ресурсами определялось тем, наступало ли их серьезное истощение к моменту реализации жесткого режима ПЭМ, когда для первого варианта снимаются все ресурсные ограничения.

Как видно из данных таблицы, ресурсов Новосибирской области достаточно для реализации первых двух этапов противодействия эпидемиям всех инфекций кроме натуральной оспы. Дефицит мест изоляции заболевших и лиц, подозрительных на соответствующее заболевание, возникает за 2–4 дня до начала ПЭМЗ и не успевает оказать значительно влияния на развитие эпидемии. Однако для ряда инфекций к моменту развертывания третьего этапа ПЭМ ресурсы региона оказываются полностью исчерпанными. Если в случаях вспышек заболеваний, для которых вероятность передачи непосредственно от человека к человеку низка или отсутствует совсем (туляремия, сибирская язва и лихорадка Марбург и

Крымская-Конго) недостаток ресурсов не сказывается на развитии и последствиях эпидемии, то для других инфекций дефицит оказывается фатальным. В случаях оспы и чумы без снятия ресурсных ограничений эпидемии затухают просто из-за истощения чувствительных лиц в популяции (таблица), для лихорадки Ласса вспышка активно развивается и к сотому дню расчетов, а для лихорадки Эбола она хоть и заканчивается, но инфицированных оказывается почти в полтора раза больше.

Чтобы выяснить какие из ресурсов оказывают наибольшее влияние на эффективность борьбы со вспышками этих заболеваний, для каждого из них рассчитан еще ряд сценариев, при которых объем одного или нескольких ресурсов с первого дня был задан очень большим, так, чтобы дефицита по нему не возникало на всем протяжении расчетов. Прочие же ресурсы соответствовали ситуации в Новосибирской области. Сравнилось количество инфицированных за весь период моделирования.

В случае с эпидемией чумы определяющей для противодействия оказалась возможность оперативно изолировать контактных лиц (при наличии неограниченного числа медицинских бригад для их поиска и мест изоляции инфицировано оказалось всего 7716 человек). Изоляция больных даже в случае, когда для ее осуществления хватало как мест, так и медбригад, хотя и обеспечивала заметное снижение количества инфицированных, но число их достигало 47141. Разница объясняется тем, что в модели для чумы принята по умолчанию очень высокая скорость инфицирования контактных: 40 %. Изоляция подозрительных на динамику вспышки влияла незначительно.

В борьбе с эпидемией оспы наиболее важным выглядит наличие достаточного числа мест изоляции больных, но лишь при условии, что изоляция будет проводиться оперативно (одновременное отсутствие дефицита по числу медицинских бригад). При этом число инфицированных снижалось почти на два порядка и составляло 14471 человек. Если же беспрепятственно и оперативно изолировались еще и контактные, число инфицированных составляло 8304 и оказывалось даже ниже, чем приведенное в таблице для случая, когда ресурсные ограничения снимаются после введения режима ПЭМЗ. Возможность изоляции подозрительных не оказывала существенного влияния на развитие эпидемии. Сценарий, в котором количество мест изоляции и численность медперсонала соответствовали условиям Новосибирской области, но оперативно проводилась массовая вакцинация 80 % населения, также обеспечивал значительное, хотя и не столь радикальное улучшение ситуации – инфицировано оказывалось 48380 человек. Таким образом, учитывая разницу в материальных затратах на содержание мест изоляции и вакцинацию, именно массовая вакцинация по-прежнему остается оптимальной мерой противодействия эпидемии натуральной оспы (конечно, при наличии за-

Результаты моделирования вспышек особо опасных инфекций в Новосибирской области

Результаты моделирования	Заблевание							
	Оспа	Чума	Туляремия	Сибирская язва	Геморрагические лихорадки			
					ККГЛ	Ласса	Марбург	Эбола
Среднее число инфицируемых от одного больного (R_N)	6,1	2,3	0	0	0,6	7,7	7,7	2,3
День начала ПЭМ1/ ПЭМ2/ ПЭМ3	17/22/27	3/5/10	5/10/15	4/9/14	17/22/27	15/20/25	18/23/28	10/15/20
День начала массовой вакцинации	22	Нет	10	9	Нет	Нет	Нет	Нет
День возникновения дефицита								
мест изоляции больных	23	13	Нет	Нет	24	32	Нет	19
мест изоляции подозрительных	21	37	11	10	24	21	24	17
мест изоляции контактных	22	7	Нет	Нет	Нет	21	Нет	Нет
медбригад	22	10	11	9	Нет	20	Нет	19
пунктов вакцинации	22	Нет	10	9	Нет	Нет	24	Нет
вакцины	25	Нет	13	12	Нет	Нет	Нет	Нет
лекарств	27	22	Нет	Нет	25	31	Нет	24
Ресурсные ограничения снимаются после введения жесткого режима ПЭМ								
Инфицировано	10804	6880	766	745	2252	6388	978	2666
Умерли	1755	5772	31	304	649	724	177	1619
Дней карантина	58	61	0	0	0	67	35	68
Ресурсные ограничения сохраняются после введения жесткого режима ПЭМ								
Инфицировано	1096755*	2659414*	766	745	2255	399578	987	3080
Умерли	64087	2505465	32	305	649	27582	179	2372
Дней карантина	73**	90**	0	0	0	75**	45	72

*Эпидемия заканчивается только после того, как число чувствительных лиц в популяции исчерпано.

**Карантин не снят к сотому дню расчетов.

пасов вакцины).

Для геморрагических лихорадок возможность быстро (число медбригад) и беспрепятственно (число мест изоляции) изолировать заболевших также является решающим фактором. В случае лихорадки Эбола отсутствие ограничений только по этим двум показателям приводило к полному завершению вспышки и снятию карантина еще до конца расчетов. Инфицировано оказывалось 2654 человека. В случае лихорадки Ласса при тех же условиях к сотому дню вспышка была также подавлена. Общее число инфицированных составляло 6025, а возможность беспрепятственно изолировать еще и контактных лиц снижала число инфицированных еще примерно на 1000. Возможность изоляции подозрительных, как и прежде, на развитие эпидемий влияла незначительно. Таким образом, эта мера при противодействии массовой вспышке заболеваний служит скорее отрицательным фактором, оттягивающим на себя людские и материальные ресурсы.

Результаты моделирования позволяют предположить, что в случае массового инфицирования, при условии своевременного осуществления комплекса противэпидемических мероприятий, ресурсов Новосибирской области достаточно для осуществления борьбы со вспышками сибирской язвы, туляремии, лихорадок Марбург и Крымской-Конго. Для борьбы с эпидемиями оспы, чумы, лихорадок Эбола и Ласса дополнительные ресурсы жизненно необходимы. В случае эпидемии чумы решающим факто-

ром оказывается возможность оперативной изоляции контактных лиц, а для оспы и геморрагических лихорадок – изоляция заболевших. Во всех случаях необходимым условием для успешного противодействия является также наличие квалифицированного персонала и медицинских бригад для поиска больных и контактных.

Естественно, все рассуждения справедливы с точностью до набора параметров модели, которые пользователь – специалист в области эпидемиологии – может редактировать по своему усмотрению.

Работа частично поддержана из средств федеральной целевой программы «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации 2009–2014 гг.».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бачинский А.Г. Математическая модель локальной эпидемии натуральной оспы с учетом мер противодействия и ресурсных ограничений. В кн.: 30 лет после ликвидации оспы: исследования продолжаются. Кольцово: Информ-Экспресс; 2010. С. 253–80.
2. Бачинский А.Г., Низоленко Л.Ф. Универсальная модель локальных эпидемий, вызываемых возбудителями особо опасных инфекций. *Пробл. особо опасных инф.* 2014; 2:44–7.
3. Государственный доклад «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения Новосибирской области в 2012 году». URL: <http://54.rosпотребнадзор.ru/document/> (дата обращения 30.10.2013).
4. Низоленко Л.Ф., Бачинский А.Г. Определение влияния фактора изоляции при моделировании развития эпидемии натуральной оспы в мегаполисе. *Пробл. особо опасных инф.* 2012; 113:29–32.
5. Онищенко Г.Г., Шапошников А.А., Субботин В.Г., Простакишин Г.П., Аветисов Г.М. Обеспечение биологической, химической и радиационной безопасности при террористиче-

ских актах. М.: «МП Гигиена»; 2005. 431 с.

6. Окончательные итоги Всероссийской переписи населения 2010 года. URL: http://www.perepis-2010.ru/results_of_the_census/results-inform.php (дата обращения 30.10.2013).

7. Bachinsky A.G., Nizolenko L.Ph. A Universal Model for Predicting Dynamics of the Epidemics Caused by Special Pathogens. *BioMed Research International*. 2013, Article ID 467078, 7 pages, 2013. doi:10.1155/2013/467078.

8. Kool J.L. Risk of person-to-person transmission of pneumonic plague. *Clin. Infect. Dis.* 2005; 40:1166–72.

References

1. Bachinsky A.G. [Mathematical smallpox local epidemic model with due account of response plan and resource limitations]. In: [30 Years after Smallpox Eradication: Investigations Continue]. Kol'tsovo: Inform-Express. 2010. P. 253–80.

2. Bachinsky A.G., Nizolenko L.F. [Universal model of local epidemics development, caused by particularly dangerous infection agents]. *Probl. Osobo Opasn. Infek.* 2014; 2:44–7.

3. State Report on “Sanitary-Epidemiological Welfare of the Population in the Novosibirsk Region in 2012” [cited 30.10.2013]. URL: <http://54.rosпотреbnadzor.ru/document/>.

4. Nizolenko L.F., Bachinsky A.G. [Evaluation of the Effect of Isolation in the Modeling of Smallpox Epidemic Development in Megacity]. *Probl. Osobo Opasn. Infek.* 2012; 3:29–32.

5. Onishchenko G.G., Shaposhnikov A.A., Subbotin V.G., Prostakishin G.P., Avetisov G.M. [Provision of Biological, Chemical, and Radiological Safety in Case of Bioterrorist Attacks]. М.: “МП Гигиена”; 2005. 431 p.

6. [Final Data on the National Population Census, 2010] (cited 30.10.2013). URL: http://www.perepis-2010.ru/results_of_the_census/results-inform.php.

7. Bachinsky A.G., Nizolenko L.Ph. A Universal Model for Predicting Dynamics of the Epidemics Caused by Special Pathogens. *BioMed Research International*. 2013, Article ID 467078, 7 pages, 2013. doi:10.1155/2013/467078.

8. Kool J.L. Risk of person-to-person transmission of pneumonic plague. *Clin. Infect. Dis.* 2005; 40:1166–72.

Authors:

Nizolenko L.F., Bachinsky A.G. State Research Centre of Virology and Biotechnology “Vector”. Kol'tsovo, Novosibirsk Region, 630559, Russian Federation. E-mail: vector@vector.nsc.ru

Об авторах:

Низоленко Л.Ф., Бачинский А.Г. Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор». Российская Федерация, 630559, Новосибирская обл, п. Кольцово. E-mail: vector@vector.nsc.ru

Поступила 04.03.14.