

Ю.И. Хрипков, В.Г. Михайлов, А.В. Терновой

Случайный характер биологического воздействия при математическом моделировании последствий чрезвычайных ситуаций

27-й Научный центр Министерства обороны Российской Федерации, Москва

Резюме. Математическое моделирование по ряду причин является одним из действенных инструментов при прогнозировании последствий чрезвычайных ситуаций биологического характера. Оценке подлежит комплекс показателей масштабов, опасности и продолжительности последствий воздействия возбудителей инфекционных заболеваний. Набор исходных данных для прогнозирования определяется комплектом используемых математических моделей, большинство из которых в настоящее время являются детерминированными. Вместе с тем, по материалам литературных источников и доступных практических данных, большинство из реализуемых при этом явлений и процессов – стохастические по своей природе. Этот факт отмечается специалистами уже на протяжении нескольких десятилетий. Достаточно сказать, что базовые характеристики ситуаций, связанных с образованием биологического аэрозоля (концентрация, интегральная концентрация примеси), по многочисленным экспериментальным данным, – это случайные величины, имеющие свои законы распределения (чаще всего говорят о логнормальной форме). В этом случае достаточно очевидным является предположение, что и рассчитываемые на их основе показатели также являются случайными. Следовательно, для их описания необходим соответствующий математический аппарат. В качестве соответствующих характеристик могут быть использованы по выбору законы распределения соответствующих случайных величин, или математические ожидания прогнозируемых показателей, или их гарантированные величины с требуемым уровнем надежности. В данном направлении требуются не только усилия в области теории (по мнению многих исследователей, здесь имеются определенные трудности), но и несколько иной подход к получению, обработке и представлению исходной информации для проведения расчетов. В первую очередь это относится к статистическим данным о заболеваемости. Так, например, продолжительность инкубационного периода для различных заболеваний должна быть представлена не интервальной оценкой, а соответствующим законом распределения с обоснованными параметрами. Такого рода информация требуется и по другим аспектам рассматриваемой проблемы.

Ключевые слова: биологическая чрезвычайная ситуация, биологический аэрозоль, исходные данные, масштабы заражения, опасность заражения, продолжительность заражения, математическая модель, случайная величина.

Введение. Возможность прогнозирования последствий чрезвычайных ситуаций биологического характера является крайне необходимой для целей качественной и своевременной организации сложного комплекса защитных мероприятий. В общем ряду используемых для этих целей приемов особое место занимает математическое моделирование. Ценность такого рода подходов становится понятной, если иметь в виду, что постановка соответствующих экспериментов является весьма затруднительной, а в ряде случаев практически невозможной. Если рассматривать случаи образования аэрозоля, содержащего патогенные микроорганизмы, то моделированию подлежат процессы образования начального облака, его нахождения и распространения в воздухе, взаимодействия микро- и макроорганизма (инфекционный процесс), сохранность возбудителей во внешней среде, взаимодействие микро- и макроорганизмов на популяционном уровне (эпидемический процесс) и некоторые другие. Определению подлежат масштабы распространения первичного и вторичного воздействия патогенных микроорганизмов, количество за-

раженных людей и возможные исходы заболевания, продолжительность сохранения опасности, некоторые другие показатели.

При этом практически все моделируемые процессы и явления носят вероятностный характер, но большинство используемых математических моделей являются детерминированными. В такой ситуации не следует ожидать достоверного прогноза определяемых характеристик, а основные усилия следует направлять на разработку стохастических моделей рассматриваемых явлений и процессов.

Цель исследования. Обратит внимание исследователей на вероятностный характер последствий чрезвычайных ситуаций биологического характера и предложить подход к разработке комплекса соответствующих математических моделей.

Материалы и методы. В основу работы положен анализ существующих математических моделей, используемых для прогнозирования последствий чрезвычайных ситуаций биологического характера, и сравнение полученных таким образом результатов

с имеющимися экспериментальными данными, в том числе в смежных областях науки.

Результаты и их обсуждение. В современной эпидемиологии математическое моделирование уже заняло свое достойное место [1]. Развитие комплексных исследований в сфере математического моделирования соответствующих явлений и процессов – важная задача в области развития фундаментальной и прикладной науки по обеспечению химической и биологической безопасности Российской Федерации [10]. Здесь представляется важным разработать возможные сценарии чрезвычайных ситуаций (ЧС), спрогнозировать их результаты и заранее оценить качественный и количественный состав потребных сил и средств для ликвидации последствий ЧС [8].

Важно помнить, что большинство из реализуемых при этом явлений и процессов – случайные по своей природе [2, 3, 6]. Следовательно, для их описания необходим соответствующий математический аппарат. Наибольшую опасность представляют собой ЧС, связанные с образованием биологического аэрозоля. Это обусловлено следующими причинами:

- возможность широкого распространения инфекций, в том числе и тех, которые в естественных условиях через воздух не передаются;
- более сложная, чем при других механизмах, передачи инфекции, защита организма ввиду отсутствия на этом пути эффективных защитных барьеров и более тяжелого протекания легочной формы возникающего инфекционного заболевания;
- способность вызывать эпидемии (воздушно-капельные, водные, пищевые, трансмиссивные);
- формирование в относительно короткие сроки массовых поражений людей на обширных территориях.

Основные процессы, протекающие после формирования начального аэрозольного облака и представляющие опасность для окружающей среды, можно представить в виде следующей схемы (см. рис. 1).

Количественные оценки последствий выбросов биологического аэрозоля в окружающую среду базируются на исходной информации, подбор которой определяется тем набором математических моделей, на основе которых проводятся соответствующие расчеты. Условно исходные данные для проведения вычислений можно разделить на три группы. В первую группу входят сведения о масштабах выброса биологического аэрозоля в атмосферу и характеристики патогенного микроорганизма. Во вторую – данные о метеорологических и топографических условиях, при которых происходит рассеяние примеси. Третья группа включает в себя информацию об объектах воздействия патогенных микроорганизмов.

Показатели, характеризующие последствия воздействия опасных для человека возбудителей инфекционных заболеваний, принято разделять на три основные группы: показатели масштабов распространения облака биологического аэрозоля; показатели степени опасности его воздействия на окружающую среду (в частности, на людей); показатели продолжительности опасного воздействия патогенных микроорганизмов.

Взаимосвязь между исходными данными для прогнозирования и показателями, характеризующими последствия воздействия возбудителей инфекционных заболеваний, можно представить в виде следующей схемы (рис. 2).

Для воссоздания достаточно полной картины последствий воздействия биологического аэрозоля на окружающую среду и в первую очередь на людей необходимо последовательно выполнить ряд операций. После определения (выбора) исходных данных для проведения вычислений необходимо рассчитать поле интегральных концентраций биологического аэрозоля, формируемого источником. Затем следует выявить обобщенные характеристики этого поля. На этой основе становится возможным оценить степень воздействия биологического аэрозоля на объекты окружающей среды и его продолжительность.



Рис. 1. Взаимодействие биологического аэрозоля с окружающей средой

В качестве характеристик масштабов распространения биологического аэрозоля, как это делается и в случае любых других загрязнителей, следует принять комплекс показателей.

Важной особенностью при заражении патогенными микроорганизмами является ярко выраженное распределение пораженных во времени. Поэтому определение динамики заболевания – отдельная задача, решение которой будет способствовать более качественной организации санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий.

Кроме первичного биологического аэрозоля, продолжительность воздействия которого относительно невелика, требуется оценить последствия влияния на людей так называемого вторичного аэрозоля – частиц, осевших из первичного облака и поднимаемых с поверхности под действием различных причин. Количественно степень его влияния можно оценить по величине интегральной концентрации патогенных микроорганизмов, полученных человеком за время его пребывания на зараженной территории или возле нее в направлении ветра.

Особую важность при прогнозировании последствий поступления в окружающую среду биологического аэрозоля имеет учет возможного развития при этом эпидемического процесса. Указанное обстоятельство может многократно увеличить опасность заболевания не только в районе источника биологического аэрозоля, но и далеко за его пределами. Повышенную опасность данный процесс приобретает вследствие сложившейся к настоящему времени транспортной системы, когда люди достаточно свободно и быстро перемещаются не только из региона в регион, из страны в страну, но и с одного континента

на другой. Количественной мерой последствий эпидемического процесса является число заболевших в результате его развития.

Анализ математических моделей полей интегральных концентраций биологического аэрозоля показал, что большинство из них носит детерминированный характер. Другими словами, определенному набору исходных данных соответствует вполне конкретное значение интегральной концентрации примеси в точке с координатами (x, y, z). Вместе с тем, по данным литературы и на основе анализа результатов полигонных испытаний, можно заключить, что это – случайная величина [5, 9, 11, 7].

Поскольку величины концентрации и интегральной концентрации биологического аэрозоля являются базовыми при определении последствий рассматриваемых ситуаций, то в случае принятия данной гипотезы логичным является вывод о том, что случайны и остальные показатели. В качестве соответствующих характеристик могут быть использованы или их математические ожидания, или гарантированные величины с требуемым уровнем надежности.

Гипотеза о случайном характере изменения количественных показателей последствий ЧС естественным образом вытекает из принятого выше положения о том, что интегральная концентрация биологического аэрозоля – случайная величина. К аналогичному заключению пришли А.И. Бородулин, Г.М. Майстренко, Б.М. Чалдин [4] при исследовании общей площади распространения биопрепаратов и химических средств защиты растений. На этой основе возможно прогнозирование всего комплекса показателей, характеризующих последствия ЧС, связанных с выбросом в атмосферу биологического аэрозоля.

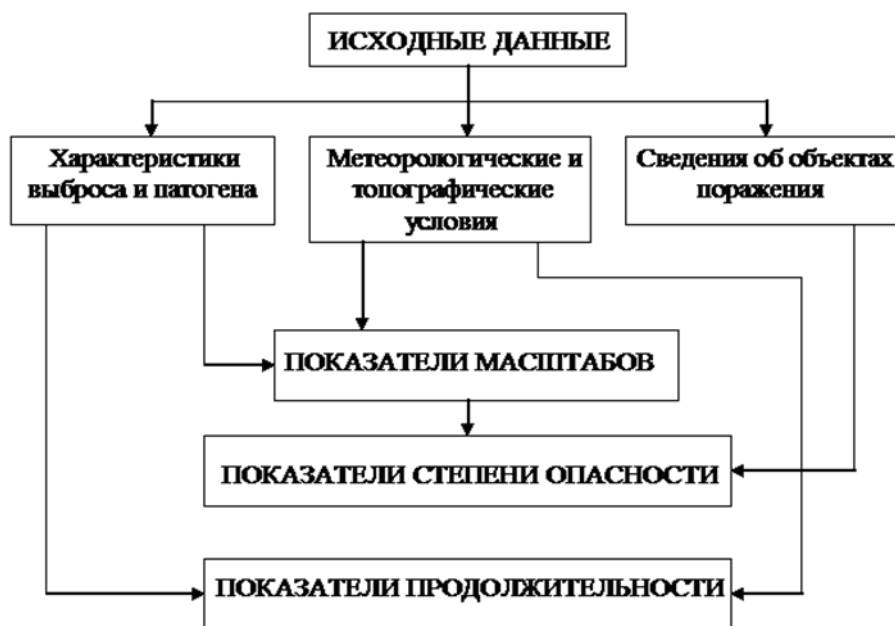


Рис. 2. Связь между группами исходных данных и показателями последствий биологического заражения окружающей среды

Таким образом, при осуществлении математического моделирования процессов без наличия достаточной репрезентативной выборки и применения для них известных формул, полученных на других, пусть схожих, но не идентичных объектах, необходимо учитывать возможность получения недостоверных результатов, что связано со случайным характером изучаемых процессов и явлений. При этом для повышения качества прогнозирования последствий выбросов в атмосферу биологических аэрозолей необходимо последовательно осуществлять переход от детерминированных к стохастическим математическим моделям.

Заключение. Наибольшую опасность при чрезвычайных ситуациях биологического характера по ряду причин представляют случаи образования аэрозоля. Его основные характеристики (концентрация, интегральная концентрация) и производные от них естественным образом являются случайными величинами. Следовательно, для их прогнозирования необходимо использование соответствующих математических моделей.

Переход от детерминированных математических моделей к вероятностным является достаточно сложным и долгим. Однако работу в данном направлении необходимо проводить в целях повышения качества и достоверности прогнозных оценок, а, следовательно, и всего комплекса защитных мероприятий в целом.

Литература

1. Андерсон, Р. Инфекционные болезни человека. Динамика и контроль / Р. Андерсон, Р. Мэй; пер. с англ. – М.: Мир, 2004. – 784 с.
2. Бароян, О.В. Судьба конвенционных болезней (прошлое, настоящее, будущее) / О.В. Бароян. – М.: Медицина, 1971. – 328 с.
3. Бессмертный, Б.С. Математическая статистика в клинической, профилактической и экспериментальной медицине / Б.С. Бессмертный. – М.: Медицина, 1967. – 304 с.
4. Бородулин, А.И. Статистическое описание распространения аэрозолей в атмосфере. Метод и приложения / А.И. Бородулин, Г.М. Майстренко, Б.М. Чалдин. – Новосибирск: Новосибир. ун-т, 1992. – 124 с.
5. Возженников, О.И. Флуктуации концентрации примеси в приземном слое атмосферы при диффузии от локальных источников / О.И. Возженников // Труды ИЭМ. – 1980, вып. 21 (80). – С. 368–375.
6. Гетманский В. Мониторингу и прогнозированию чрезвычайных ситуаций – особое внимание / В. Гетманский // Гражданская защита. – 2004, № 2. – С. 21–23.
7. Дунский, В.Ф. Пестицидные аэрозоли / В.Ф. Дунский, Н.В. Никитин, М.С. Соколов. – М.: Наука, 1982. – 288 с.
8. Малышев, В. Как противостоять химическим атакам / В. Малышев // Военные знания. – 2002, № 3. – С. 37–38.
9. Найденов А.В. Флуктуации интегральной концентрации в струе примеси от точечного источника / А.В. Найденов // Тр. Ин-та эксперимент. метеорол. – 1984, вып. 29 (103). – С. 88–96.
10. Основы государственной политики в области обеспечения химической и биологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу, утвержденные Президентом Российской Федерации 01 ноября 2013 г. № Пр. – 2573.
11. Csanady, G.T. Variance of local concentration fluctuations / G.T. Csanady // Phys. Of Fluids. – 1967, Vol. 10, № 9. – P. 76–78.

Yu.I. Hripkov, V.G. Mikhaylov, A.V. Ternovoy

The casual nature of biological influence at mathematical modeling of consequences of emergency situations

Abstract. *Mathematical modeling for a number of reasons is one of the effective tools when forecasting consequences of emergency situations of biological character is to be done. The complex of indicators of scales, dangers and durations of consequences of infectious diseases agents influence is a subject for an assessment. A set of basic data for forecasting is defined by a set of the used mathematical models, the majority of which are determined now. In addition, by means of knowledge obtained from literature and available practical data, the majority of the phenomena and processes realized at the same time revealed to be stochastic by the nature itself. This fact has been of great interest for several decades. Suffice to say that basic characteristics of the situations bound to formation of a biological aerosol (concentration, integrated impurity concentration) by numerous experimental data considered to be random variables having their own laws of distribution (one often means lognormal form). In this case, it is rather obvious that the indicators counted on their basis are random as well. Therefore, the corresponding mathematical apparatus is necessary for their description. As the corresponding characteristics can be used by choice: the laws of distribution of the corresponding random variables, mathematical expectation of the prognosticated indicators or their guaranteed values with the required level of significance. It is necessary to notice that in this direction not only efforts on the theoretical direction are required (there are certain difficulties according to many researchers), but also a slightly different approach to receiving, processing and submission of initial information for carrying out calculations. First of all it refers to statistical data on incidence. Thus, for example, incubation time for various diseases has to be presented not by an interval assessment, but the relevant law of distribution with reasonable parameters. Such information is required also on other aspects of the considered problem.*

Key words: *biological emergency situation, biological aerosol, basic data, infection scales, danger of infection, infection duration, mathematical model, random variable.*

Контактный телефон: 8-964-582-19-83; e-mail: hripkov1957@mail.ru