

Institute for Nuclear Research  
of the Russian Academy of Sciences

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт ядерных исследований  
Российской академии наук



Б.А. Бенецкий, М.В. Плотникова

Роль человеческого фактора  
в формировании последствий  
техногенных и антропогенных воздействий  
при авариях и чрезвычайных ситуациях

препринт  
preprint

ПРЕПРИНТ ИЯИ РАН  
1403/2015  
ИЮЛЬ 2015

МОСКВА 2015 MOSCOW

Institute for Nuclear Research  
of the Russian Academy of Sciences

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт ядерных исследований  
Российской академии наук



Б.А. Бенецкий, М.В. Плотникова

Роль человеческого фактора  
в формировании последствий  
техногенных и антропогенных воздействий  
при авариях и чрезвычайных ситуациях

ПРЕПРИНТ ИЯИ РАН  
1403/2015  
ИЮЛЬ 2015

МОСКВА  
2015

Institute for Nuclear Research  
of the Russian Academy of Sciences  
60-th October Anniversary prospect 7a,  
Moscow 117312, Russia

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт ядерных исследований Российской академии наук  
проспект 60-летия Октября, 7а  
Москва, 117312

Б.А. Бенецкий, М.В. Плотникова

Роль человеческого фактора в формировании последствий техногенных и антропогенных воздействий при авариях и чрезвычайных ситуациях

Количественные характеристики процессов, зависящих от психофизических, интеллектуальных, профессиональных, социальных и прочих индивидуальных особенностей людей, по природе своей являются случайными величинами. Известно, что при чрезвычайных ситуациях, техногенных авариях и природных катаклизмах распределение тяжести поражений описывается логарифмическим нормальным (логнормальным) распределением. В связи с проводившимися нами ранее разработками аварийных индивидуальных средств радиационной защиты возникла необходимость оценок тяжести поражений, основанных не только на средних дозовых характеристиках. Хотя бы потому, что при радиационных авариях наиболее вероятные дозы меньше средних. Статья посвящена формированию логнормальных распределений тяжести последствий аварий и чрезвычайных ситуаций под влиянием человеческого фактора, который определяет реакцию людей на доминирующее внешнее воздействие. При этом мерой служит коэффициент влияния человеческого фактора, относительная дисперсия которого есть универсальная величина, определяющая компактность распределения тяжести последствий.

электронная почта: benetsky@yandex.ru

Б.А. Бенецкий, М.В. Плотникова

Роль человеческого фактора в формировании последствий техногенных и антропогенных воздействий при авариях и чрезвычайных ситуациях

Препринт 1403/2015

Июль 2015

Подписано в печать 24.06.2015

Ф-т 60x84/8. Уч.-изд.л. 1,5. Зак. 22356 Тираж 50 экз.

Бесплатно

Печать цифровая

Издательский отдел

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт ядерных исследований Российской академии наук

117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 7а

ISBN 978-5-94274-290-4

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук, 2015  
Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, 2015

## Введение

Под «человеческим» фактором (ЧФ) в данном случае подразумевается влияние индивидуальных особенностей людей, которое при их частном и (или) коллективном участии в каких-либо видах деятельности, или при реагировании на какие-то процессы (явления) способно изменить результаты или последствия этих видов деятельности или процессов (явлений). Такое влияние может иметь как негативный, так и позитивный характер. Например, авиакатастрофа лайнера ТУ-154 Президента Польши Леха Качиньского под Смоленском 10.06.2010 и успешная аварийная посадка самолета ТУ-154М 07.09.2010 на нефункционирующий, но сохраняемый малый аэродром Ижма. В первом случае — гибель 88 пассажиров и 8 членов экипажа (по данным МАК все системы самолета до столкновения с землей работали нормально, видимость на аэродроме была ниже допустимой для посадки, о чем экипаж был извещен). Во втором — спасение 72 пассажиров и 9 членов экипажа при приземлении самолета с отключенным электропитанием и ограниченным оперативным запасом топлива на случайно обнаруженный не функционирующий малый аэродром. Эти примеры однозначно, но качественно характеризуют роль ЧФ в чрезвычайных ситуациях. зависимость результатов воздействия внешних экстраординарных факторов от физических, психофизических, интеллектуальных, моральных, профессиональных и прочих свойств и особенностей людей. Имеются, однако, и случаи аварийных или чрезвычайных ситуаций, когда тяжесть поражений или последствий может выражаться в количественных характеристиках. Что дает возможность применения методов количественного анализа.

### 1. Распределения тяжести последствий радиационных аварий, коэффициент игнорирования радиационного риска, уравнение баланса

При природных катастрофах, авариях и в иных чрезвычайных ситуациях, когда человеческий фактор может играть доминирующую роль, распреде-

ление тяжести поражений описывается логарифмическим нормальным (логнормальным) распределением. Реальный пример логнормального распределения активности йода-131 в щитовидной железе пострадавших при аварии на ядерно-энергетической установке (ЯЭУ) показан на рисунке 1, кривая 1, в сравнении с нормальным распределением, кривая 2.

Отметим некоторые, существенные для дальнейшего изложения свойства распределений. Если случайная величина  $y$  имеет логнормальное распределение с параметрами  $m$  и  $\sigma$

$$\frac{dn}{dy} = \frac{\exp\left(-\frac{(\ln y - m)^2}{2\sigma^2}\right)}{\sqrt{2\pi}\sigma y} \quad (1)$$

то её среднее значение  $\bar{y}$  и наиболее вероятное значение  $y_{max}$  (в максимуме распределения) связаны с  $m$  и  $\sigma$  следующими соотношениями:

$$\ln \bar{y} = m - \sigma^2 \quad \ln y_{max} = m + \sigma^2/2 \quad (2)$$

Если случайные величины связаны экспоненциальной зависимостью  $y = \exp(x)$ , и величина  $x$  имеет нормальное распределение, то  $y$  распределена по логнормальному закону.

Ранее авторы работ, посвященных исследованиям тяжести поражений при авариях, аккуратно утверждали, что они «хорошо аппроксимируются логнормальным распределением» [1]. В том числе и распределения радиационных поражений. Таких как дозы гамма облучения или активности инкорпорации радиойода. Существенно, кстати, отметить, что не все компоненты сочетанного облучения имеют свои, измеряемые в аварийных условиях характеристики тяжести поражения. Так оказался неконтролируемым субтотальный бета ожог [2], одно из наиболее мучительных проявлений сочетанного бета-гамма облучения. Многокомпонентное сочетанное облучение имело место у моряков при авариях на ЯЭУ подводных лодок, а также в Чернобыле, у ликвидаторов и свидетелей аварии. Кроме того, в последнем случае было отмечено некое специфическое свойство логариф-

ма аварийных гамма доз. Оно состоит в том, что дисперсия логарифма индивидуальной дозы фактически не зависит от среднего значения дозы и объема выборки. Т.е. разброс доз не зависит от количества пострадавших и средней дозы. Такое свойство наблюдаемых распределений логарифма дозы относит их к классу так называемых гомоскеда-

стичных или равноизменчивых условных нормальных распределений. Этот нетривиальный результат трактовался авторами, впервые наблюдавшими этот феномен [3], как «отражение сложности и многообразия выполняемых работ». Сам по себе факт формирования логнормального распределения тяжести радиационных поражений при авариях представлялось нам достойным предметом анализа [4-8]. Оказалось, что его легко объяснить с позиции доминирующего влияния ЧФ.

Среди ликвидаторов ядерных и радиационных аварий, согласно их же собственным утверждениям и терминологии, четко определялись две группы: «трусов», преувеличивавших ожидаемые последствия облучения, и «пофигистов», легкомысленно относящихся к соблюдению мер безопасности. Результат один — и паника, и пренебрежение мерами безопасности приводят к повышению скорости накопления доз в теле человека. Математически это выражается соотношением:

$$dD/dt = \alpha \cdot D \quad (2)$$

или

$$dD/D = \alpha dt, \quad (3)$$

где коэффициент игнорирования радиационного риска  $\alpha$  — ожидаемое относительное увеличение дозы в единицу времени при неизменных усло-

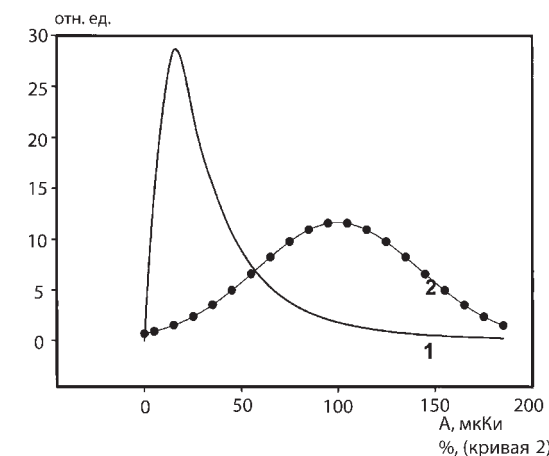


Рис. 1. Примеры логнормального (1) и нормального (2) распределений

виях облучения. А если мощность внешнего облучения в какой-то момент увеличится? Тогда кратно увеличится и приращение дозы. И, следовательно, обобщением уравнения (3) является (с учетом изменения условий облучения) уравнение баланса:

$$dD/D = \alpha f(t) dt, \quad (4)$$

где  $f(t)$  — функция, описывающая относительное изменение во времени мощности амбиентной дозы (дозы в окружающей среде). Коэффициент игнорирования радиационного риска  $\alpha$  определяет баланс между внешним облучением и формированием внутренней дозы  $D$  и учитывает различие условий облучения в пространстве. Конкретный индивидуум может избегать пространств с повышенной мощностью внешних доз, или наоборот пренебрегать этим, что особенно существенно в случае, если он руководит выполнением аварийных работ.

Решение уравнения (7) имеет вид

$$D = D_0 \exp(\alpha \Delta T_{эфф}), \quad (5)$$

где  $D_0$  — доза, накопленная за время адаптации  $t_a$  и где эффективная продолжительность облучения  $\Delta T_{эфф}$  равна

$$\Delta T_{эфф} = \int_{t_a} f(t) dt \quad (6)$$

Если распределение доз  $D$  определяется, в основном, распределением коэффициента  $\alpha$  и если предположить, что оно нормальное, со средним  $\bar{\alpha}$  и нормальным отклонением  $\sigma_\alpha$ , то интересующее нас распределение аварийных доз по общему правилу преобразований  $\frac{dY}{dX} = \frac{dY}{dX} \times \frac{dX}{dY}$  примет форму нормального логарифмического распределения (1) с параметрами:

$$m = \ln D_0 + \bar{\alpha} \Delta T_{эфф} \quad \text{и} \quad \sigma = \sigma_\alpha \Delta T_{эфф}. \quad (7)$$

Пример такого описания распределений тяжести поражений при аварии ЯЭУ на атомной подводной лодке [9] представлен на рисунке 2.

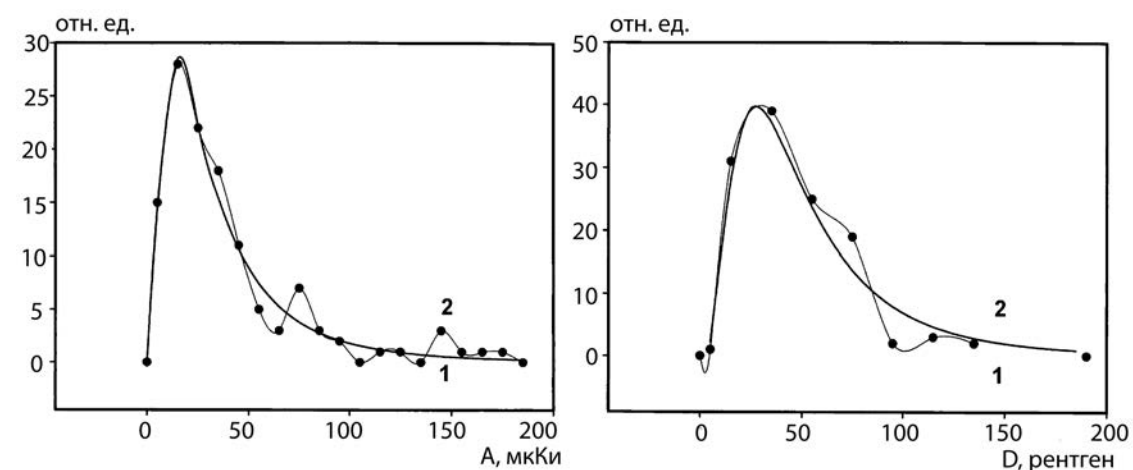


Рис. 2. Слева. Описание распределение активности радио-йода в щитовидных железах у 122 членов экипажа подводной лодки после аварии ЯЭУ. По оси абсцисс — активность йода — 131, отнесенная к первому дню после аварии. По оси ординат — количество облученных на интервал активности. Справа. Распределение доз гамма излучения у 122 членов экипажа подводной лодки после аварии ЯЭУ. По оси абсцисс — величина дозы. По осям ординат — количество облученных на интервал доз. Кривые без точек — расчет по формуле (1) при подгонке параметров, с точками — данные наблюдений

Учитывая уникальность данных наблюдений и простоту их обработки, следует, по-видимому, признать качество описание весьма неплохим.

## 2. Свойство гомоскедастичности (равноизменчивости) логарифмов аварийных доз как следствие универсальности человеческих качеств

Как отмечено ранее, это нетривиальное свойство аварийных доз трактовалось авторами доклада [3], как «отражение сложности и многообразия выполняемых работ». С точки зрения концепции влияния ЧФ свойство гомоскедастичности логарифмов доз естественно вытекает из такой концепции. Из согласия расчетов с данными наблюдений (рисунок 2) и выражения (1) следует, что распределение логарифмов аварийных доз гауссово:

$$dN / d(\ln D) = \frac{\exp\left[-((\ln D - m)^2 / 2\sigma^2)\right]}{\sqrt{\pi\sigma}} \quad (8)$$

С параметрами, определяемыми формулами (7). Если частная выборка людей представляет собой личный состав экипажа корабля, подразделения,



части или трудового коллектива, то для этих случаев эффективная продолжительность (см. формулу (6)) их облучения  $\Delta T_{эфф}$  (как и его реальная продолжительность  $\Delta T$ ) суть величины для различных индивидуумов примерно равные. Например, строительный батальон разворачивается на месте работ в течение часов и работает в течение месяца. Тогда нормальное отклонение в распределении логарифма доз (8) равно  $\sigma = \sigma_{\alpha} \Delta T_{эфф} \approx const$ . Это и определяет свойство гомоскедастичности, поскольку  $\sigma_{\alpha}$  – величина для всех выборок (рот, взводов, отделений) постоянная. То же самое имеет место и при мощном кратковременном облучении. И потому облучение различных групп населения (каждой в своей области пребывания), также характеризуется примерно одинаковыми  $\Delta T_{эфф}$  и, соответственно, дисперсии логарифмов индивидуальных доз в этих группах не должны зависеть ни от их средних значений ни от объемов выборки. Таким образом, равноизменчивость логарифмов доз определяется не сложностью и многообразием выполняемых работ, а идентичностью человеческих качеств и примерным равенством эффективного времени облучения в разных группах населения и ликвидаторов.

### 3. Обобщение модели доминирующего ЧФ на другие процессы и их последствия при чрезвычайных ситуациях

Сама идеология формирования последствий аварийного облучения под доминирующим влиянием ЧФ предопределяет обобщение такого подхода и на другие чрезвычайные ситуации [9,11]. Введем в рассмотрение некую функцию  $H(y)$ , характеризующую влияние ЧФ на формирование количественной характеристики последствий  $y$  при какой-либо чрезвычайной ситуации и при уже достигнутом уровне последствий  $y$ , где  $x$  — координата, описывающая течение процесса. например,  $x = t$ , т е время в уравнении (4). Будем считать, что приращение характеристики последствий какого-то случайного процесса  $dy$  пропорционально некой функции влияния человеческого фактора  $H(y)$ , функции воздействия внешних условий  $G(x)$  и приращению координаты  $dx$ :

$$dy = H(y) \times G(x) dx. \quad (10)$$

Т.е. случайная величина (приращение последствий)  $dy$  равна произведению двух независимых случайных функций на изменение неслучайного параметра  $dx$ . При том, что одна из них зависит от достигнутого уровня последствий  $y$ , а другая — от величины параметра  $x$ .

В линейном приближении для  $H$ :  $H(y) = \zeta y$ , где  $\zeta$  — количественная характеристика влияния ЧФ, из соотношения (10) получим обобщенное уравнение для характеристики последствий  $y$ :

$$dy = \zeta y G(x) dx \quad (11)$$

При подстановке в это уравнение величин из таблицы 1 можно получить ряд уравнений для конкретных процессов при аварийных или чрезвычайных ситуациях.

«Физический смысл» коэффициента  $\zeta$  следует из уравнения (11): «коэффициент влияния человеческого фактора  $\zeta$  численно равен относительному увеличению приращения характеристики последствий  $\Delta y/y$  при изменении параметра координаты на единицу при неизменных внешних условиях ( $G(x)=1$ ). Размерность  $\zeta$  равна размерности величины, обратной координате:  $\dim \zeta = \dim x^{-1}$ . Из этой формулировки и соотношения размерностей вытекают соответствующие формулировки и соотношения для коэффициентов  $\alpha, \eta, \psi$  в таблицах 1,2.

Таблица 1  
Аналоги величин, описывающих влияние ЧФ при авариях и ЧС

Ситуации и процессы	Характеристика последствий $y$	Характеристика влияния ЧФ в резвычайных ситуациях $\zeta$	Функция воздействия внешних условий $G(x)$
При радиационной аварии	Индивидуальная доза $D$	Коэффициент игнорирования радиационного риска $\alpha$	Временная зависимость мощности внешней дозы $f(t)$
При радиационной аварии	Активность радиойода $A$	Коэффициент игнорирования радиационного риска $\alpha$	Временная зависимость мощности внешней дозы $f(t)$
При пожаре	Время реагирования на пожар $t$	Коэффициент влияния ЧФ на движение в городе $\eta$	Влияние городской застройки $g(r)$
При пожаре	Количество единиц техники $n$	Коэффициент влияния ЧФ на способность управления при пожаре $\psi$	Категория пожара $K(t)$

#### 4. Применение модели доминирующего ЧФ для анализа процессов формирования последствий при пожарах

Модель доминирующего человеческого фактора оказалась полезна при исследовании закономерностей, связанных с ликвидацией пожаров, каждый из которых является чрезвычайной ситуацией, и статистика данных о которых достаточно велика.

В этом случае уравнение для времени оперативного реагирования на сигнал о пожаре в условиях городской среды (см. 4 строку таблицы 1) имеет вид:

$$dt/t = \eta g(r) dr. \quad (12)$$

Его физический смысл следующий. «Относительное увеличение времени реагирования  $dt/t$  пропорционально коэффициенту воздействия ЧФ  $\eta$ , функции  $g(r)$ , учитывающей тормозящее влияние городской застройки и проекции пройденного пути  $ds$  на направление к объекту. Здесь и далее  $ds$  — приращение фактически пройденного пути и  $dr$  — его проекция на радиус-вектор, проведенный от начала пути к объекту». Для нахождения функции  $g(r)$  в явном виде можно привести следующие простые соображения. Рассмотрим функцию  $h(t) = v_0 / v(t)$ , где  $v(t)$  скорость пожарного автомобиля во время движения после первоначального набора им скорости  $v_0$ . Если разложить эту функцию в ряд и ограничиться первым приближением  $h(t) \approx \frac{dh}{dt} \times t$ , то получим:

$$dt = \frac{ds}{v} = \frac{h}{v_0} \frac{ds}{dr} dr = \frac{dh}{dt} \frac{1}{v_0} \times t \times \frac{ds}{dr} dr = \eta \times t \times g(r) \times dr$$

где  $\frac{dh}{dt} = const$ , и постоянная  $\frac{dh}{dt} \frac{1}{v_0} = \eta$  характеризует влияние на время движения факторов, связанных с индивидуальными особенностями людей при их личном (водитель пожарной машины) и коллективном (например, начальник караула) процессе движения по городу, а функция  $g(r) = \frac{ds}{dr}$  учитывает влияние городской застройки. Физический смысл коэффициента  $\eta$ : коэффициент влияния ЧФ численно равен относительному увеличению времени реагирования  $dt/t$  при продвижении к объекту на единицу

длины в условиях отсутствия тормозящего влияния городской застройки, т.е. движения в направлении на объект при  $g(r)=1$ . Таковы обоснование и комментарий к уравнению (12), решением которого является время прибытия на объект

$$t = t_0 \exp(\eta r_{эфф}), \quad (13)$$

где  $r_{эфф}$  — эффективное удаление объекта от пожарного депо, равное

$$r_{эфф} = \int_{r_0}^r g(r) dr \quad (14)$$

В формулах (13) и (14)  $t_0$  — начало воздействия условий движения по городу на формирование времени оперативного реагирования. Эта величина — параметр модели — средний для данной выборки интервал времени от поступления сигнала о пожаре до начала воздействия внешних условий. Мы будем считать её равной нормативному времени выезда из депо после получения сигнала. Тогда распределение времен оперативного реагирования на сигнал о пожаре будет описываться логнормальным законом с параметрами

$$m = \ln t_0 + \bar{\eta} r_{эфф} \quad \text{и} \quad \sigma = \sigma_{\eta} r_{эфф} \quad (15)$$

На рисунке 3, в качестве примера, приведены статистические данные по времени прибытия первого подразделения пожарных к месту пожара в городах по шести региональным центрам МЧС. Эти города расположены в различных географических, климатических и экономических зонах. Достаточно хорошее описание фактически наблюдавшихся распределений логнормальным распределением (1) с одним набором параметров  $m$  и  $\sigma$  для всех регионов говорит в пользу правильности выбранной концепции доминирующего влияния ЧФ и адекватности предлагаемой модели.

Находят объяснения три основных особенности данных наблюдений.

1. Логнормальная форма распределения вытекает непосредственно из применяемой математической модели. 2. Различие распределений для городов и сельской местности (рис. 4) определяется доминированием челове-

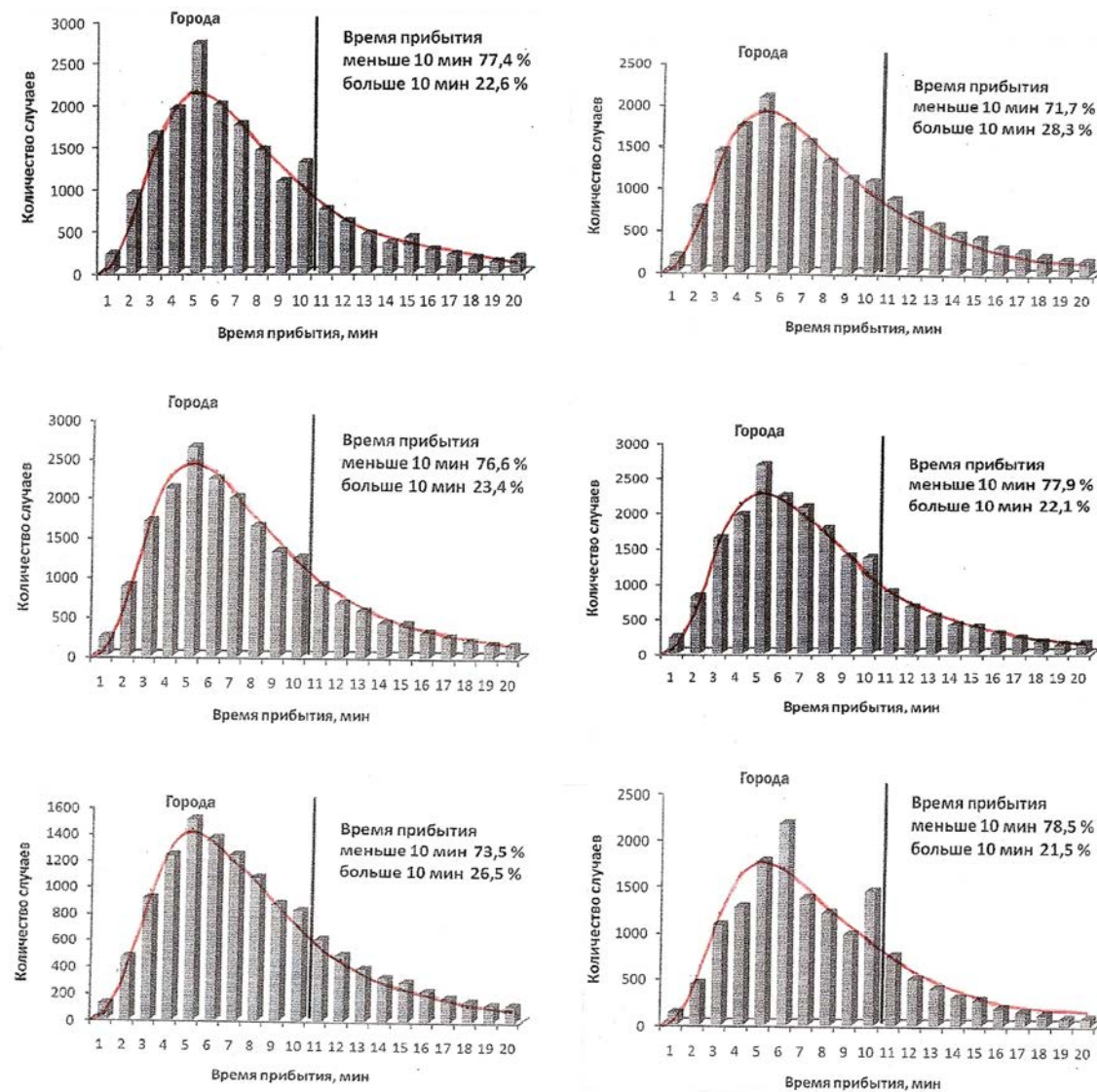


Рис. 3. Распределения времени прибытия к месту пожара в городах в 2004-2008 гг. Гистограммы — данные наблюдений, кривые — распределения по модельным расчетам для шести региональных центров МЧС России [12]. Слева направо и сверху вниз: Центральному, Сибирскому, Уральскому, Приволжскому, Южному, Северо-Западному. Все данные наблюдений хорошо описываются универсальной кривой (1) с одним и тем же набором параметров

ского фактора только в городских условиях. В сельской местности существенна еще и вторая национальная беда — дороги, следовательно, человеческий фактор уже не является доминирующим. 3. Все распределения для шести регионов описываются идентичной кривой с одним и тем же набором параметров. Распределения времен реагирования в разных регионах определялись действовавшими до 2008 г. нормами для зон ответственности и иден-

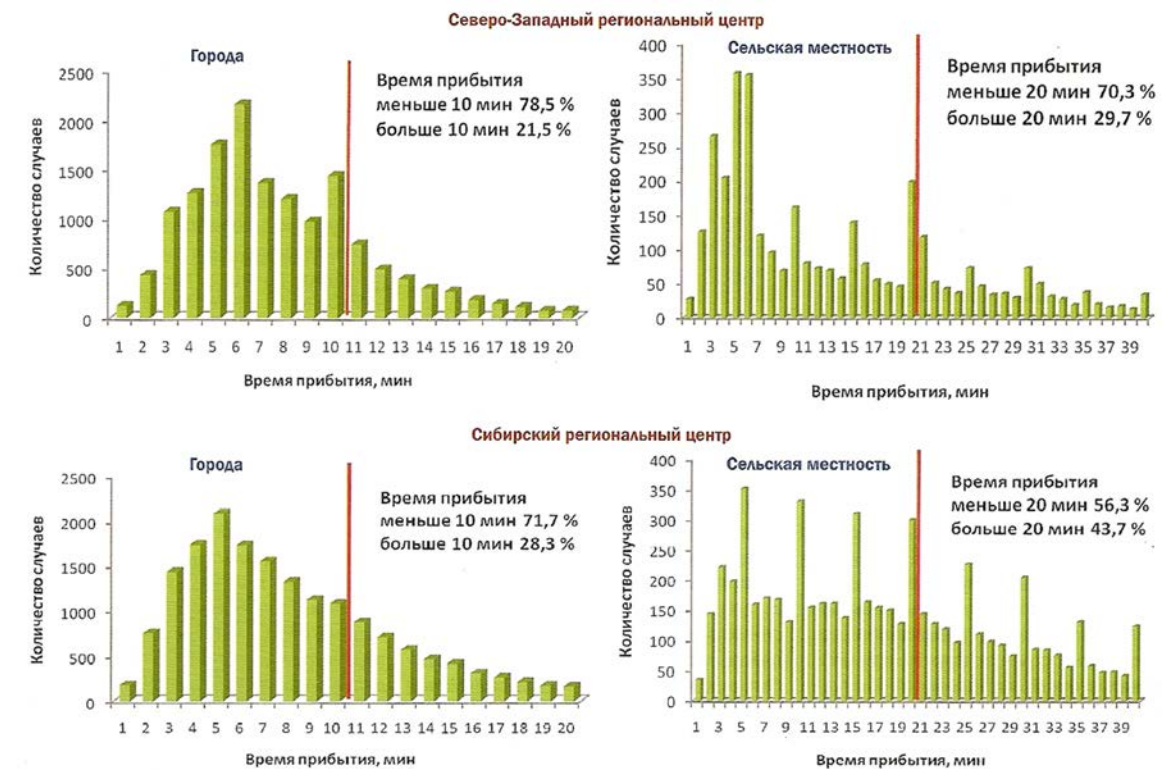


Рис. 4. Время прибытия на пожар в Северо-Западном и Сибирском региональных центрах: в городах (слева) и в сельской местности (справа)

тичностью распределений психофизических свойств людей (формула (15)). Одинаковы люди ( $\bar{\eta}$  и  $\sigma_{\eta}$ ) в условиях действия единых нормативов ( $r_{эфф}$ ).

В 2008 году изменился принцип определения мест дислокации пожарных частей и зон их ответственности. Если раньше основным был принцип удаленности, то после 2008 года обоснованием мест дислокации является временной нормативный параметр — прибытие первого подразделения к месту пожара не позднее 10 мин. в городах и не позднее 20 мин. в сельской местности. У реформаторов были надежды путем тренировок на отработанных маршрутах заметно сократить время прибытия на объект первого караула, что чрезвычайно существенно для снижения численности погибших на пожарах. Чрезвычайность проблемы иллюстрируется, в частности, тем, что в интервале времени прибытия от 1 до 10 минут в Москве в 2000–2010 гг. вероятность гибели людей на пожарах возрастала в 2,57 раза и составляла 5,2 человека на 100 пожаров [13]. Нами проведен анализ дан-



ных [14] о времени оперативного реагирования на сигнал о пожаре до и после введения для обоснования мест дислокации временного нормативного параметра в целом по стране в 2006–2010 гг. Данные по стране за 2006 и 2007 гг. в интервале (0 ÷ 20) минут достаточно хорошо совпадают с усредненными данными по регионам за 2004–2008 гг. (рисунок 3). Они вполне удовлетворительно описываются кривыми логнормальных распределений, повторяющими распределения для городов в регионах в 2004–2008 годах с параметрами  $m = 1,9418$  и  $\sigma = 0,5765$ . Усредненные данные по стране за 2008–2010 гг. описываются логнормальными распределениями с другими параметрами:  $m = 1,8783$  и  $\sigma = 0,5377$ . В интервале времен более 20 минут наблюдается некоторое превышение количества фактических данных над прогнозом по логнормальному закону. Это, по-видимому, связано с вкладом больших времен прибытия в сельской местности. Данные 2008–2010 годов показывают увеличение компактности распределений по сравнению с данными до 2008 г. Однако, это увеличение компактности (т.е. сжатие распределения вблизи максимума) произошло не за счет заметного сдвига максимума кривых в сторону меньших значений, а за счет некоторого увеличения крутизны спада за максимумом. Т.е. не быстрее стали приезжать на пожар лучшие караулы, а несколько подтянулись отстающие. В рамках предложенной математической модели на основании формулы (15) и общих свойств логнормального распределения (2) можно получить оценочную формулу для отношения средних эффективных удалений объекта от депо  $\langle r_{эфф1} \rangle$  и  $\langle r_{эфф2} \rangle$ , соответствующих различным параметрам логарифмического распределения (2):

$$\langle r_{эфф1} \rangle : \langle r_{эфф2} \rangle = (\ln \langle t_1 \rangle - \ln t_{max1}) : (\ln \langle t_2 \rangle - \ln t_{max2}) \quad (16)$$

Иными словами из сравнения кривых, описывающих «филатоны» стремящихся на пожар в городской сутолоке пожарных машин, можно определить, насколько уменьшился их средний путь и среднее время движения за счет изменения мест дислокации. При «разумных» с нашей точки зрения предположениях и допущениях (среднее удаление объекта от депо до 2008 г.

равно  $\langle r \rangle = 2$  км, среднее удлинение маршрута за счет влияния городской застройки — 1,25 раза, средняя скорость из оценки  $\langle v \rangle = 1,25 \langle r \rangle / \langle t \rangle$  близка к 18 км/час) уменьшение среднего пути на пожар после реформирования 2008 года составило 15% и равно 375 метрам. Это дает уменьшение среднего времени прибытия примерно на 1,25 минуты, что подтверждается непосредственными статистическими данными [14]. Соответствующие величины за 2006–2007 и 2009–2010 годы составляют 1,23 минуты по городам и 1,28 по стране в целом.

### 5. Ограничения и приближения модели влияния доминирующего ЧФ на формирование последствий аварий и ЧС

Необходимо сделать ряд замечаний относительно приближений и ограничений предлагаемой математической модели.

1. Мы говорим о доминирующем влиянии ЧФ, если он проявляется как реакция определенной выборки людей на воздействие какого-либо одного сильно воздействующего внешнего фактора. Если же эта реакция определяется воздействием двух или более внешних факторов, соизмеримых по эффективности, характеристик воздействий в распределении должно быть более двух. Тогда распределение последствий должно отличаться от логнормального. Что и подтверждается данными на рисунке 4. На этом рисунке приведены статистические данные о времени прибытия пожарных к месту пожара в городах и сельской местности по Северо-Западному и Сибирскому центрам МЧС. Хорошее описание фактически наблюдавшихся распределений логнормальным распределением (1) в городах контрастирует с полным несоответствием ему данных по сельской местности. В сельской местности, по-видимому, человеческий фактор уже не является однозначно доминирующим и сопоставим со второй российской бедой — дорогами.

2. Входящие в приведенные выше таблицы и соотношения величины, такие как характеристики последствий (индивидуальные дозы, активности радиойода в щитовидных железах пострадавших, времена реагиро-

вания на сигнал о пожаре, количества единиц техники на пожаре и др.), а также коэффициенты влияния ЧФ на различные процессы, времена и дозы адаптации и пр. по природе своей являются случайными величинами. Основным и самым грубым приближением модели является предположение о возможности пренебречь разбросами других случайных величин по сравнению с разбросом коэффициента влияния человеческого фактора. Совпадение предсказаний модели с реальными данными наблюдений, возможно, объясняется, во-первых, характером зависимости количественных характеристик последствий ЧС от коэффициентов влияния ЧФ (см. формулы 5,13) и во-вторых, большими величинами относительных (порядка 40%) нормальных отклонений упомянутых коэффициентов.

3. Пренебрежение разбросом некоторых случайных величин, в частности, таких, как адаптационная доза и время адаптации при аварийном облучении, интервал времени от поступления сигнала о пожаре до начала воздействия внешних условий (формулы (5,7,13,15)) с одной стороны позволяет получить результаты в удобном для анализа аналитическом виде. А с другой превращает средние значения таких величин в параметры модели. Применение параметров модели, являющихся средними по выборке величинами, в качестве приближенной замены индивидуальных случайных величин основано на том, что разброс заменяемых величин в реальности много меньше разброса коэффициентов влияния ЧФ. Сам факт такого упрощения отражается в термине «модель», а оправданием ему может служить только сравнением с реальными данными наблюдений.

4. Факторизация двух независимых случайных функций в уравнениях (10,11), одна из которых зависит от достигнутого уровня последствий  $y$ , а другая от величины неслучайного параметра  $x$ , играющего роль координаты при описании внешних воздействий, не обоснованно ничем кроме предположения о независимости индивидуальных особенностей человека от чрезвычайного внешнего воздействия. А также сравнения результатов расчетов с действительностью.

5. Из обоснований и комментариев к уравнениям (10, 11, 12) следует, что коэффициенты, характеризующие влияние ЧФ в чрезвычайных ситуациях (столбец 3 таблицы 1), применимы лишь при линейной зависимости приращения характеристики последствий случайного процесса  $dy$  достигнутому уровню последствий  $y$  (см. формулу (11)). В этом случае коэффициент  $\zeta$ , характеризующий влияние ЧФ является единственной индивидуальной характеристикой влияния особенностей людей, которое при их частном и (или) коллективном участии в каких-либо видах деятельности, или при реагировании на какие-то процессы (явления) способно изменить результаты или последствия этих видов деятельности или процессов (явлений). Сколь широк разброс коэффициента влияния ЧФ  $\zeta$  (какова его относительная дисперсия в единицах среднего значения)  $\sigma_\zeta / \bar{\zeta}$  можно оценить на основании соотношений типа (7, 15). В общем случае относительное стандартное отклонение коэффициента влияния  $\sigma_\zeta / \bar{\zeta}$  равно

$$\sigma_\zeta / \bar{\zeta} = \sigma / (m - \ln y_0), \quad (17)$$

где параметр  $y_0$  характеризует уровень последствий воздействия факторов ЧС, достигнутый при адаптации к условиям ЧС. При оценках по формуле (17) наибольшая неопределенность возникает из-за этого параметра. Однако, поскольку зависимость от него слабая, логарифмическая, в большинстве случаев оценивался интервал, в пределах которого могло находиться значение  $y_0$ , а ширина этого интервала служила мерой вклада в ошибку относительной дисперсии  $\sigma_\zeta / \bar{\zeta}$ .

**6. Относительная дисперсия коэффициента влияния человеческого фактора — универсальная характеристика, определяющая его роль при авариях и иных чрезвычайных ситуациях**

Для оценки адекватности модели доминирующего влияния ЧФ важны два момента. Во-первых, насколько правильно она отражает объективные закономерности и применима для анализа разнообразных ситуаций.

Во-вторых, каковы границы её применения, определяемые принятыми допущениями и приближениями, рассмотренными в разделе 5. Качество описания реальных распределений при радиационных авариях в рамках предложенной модели иллюстрируется рисунками 2,3. В пользу её адекватности говорит, в частности, простое объяснение нетривиального свойства последствий ЧС — гомоскедастичности логарифмов аварийных доз (раздел 2). Это свойство ранее трактовалось, как «отражение сложности и многообразия выполняемых работ» [3]. Но, как оказалось, оно является естественным следствием доминирования ЧФ и определяется идентичностью человеческих качеств и примерным равенством эффективного времени облучения для определенных групп населения и ликвидаторов. По пункту второму можно утверждать, что пока не было найдено ни одного случая значимого несоответствия, которое выходило бы за рамки погрешностей данных наблюдений или возможного вклада систематических отклонений.

Если исходить из того, что модель правильно отражает объективную реальность, то возникает соблазн извлечь из обработки данных об авариях и ЧП информацию, относящуюся непосредственно к свойствам человеческой индивидуальности. Математический аппарат модели позволяет получить из данных наблюдений относительные стандартные отклонения коэффициентов влияния человеческого фактора  $\sigma_\alpha/\bar{\alpha}$ ,  $\sigma_\eta/\bar{\eta}$  и  $\sigma_\psi/\bar{\psi}$  при всех исследованных нами процессах. Эти относительные стандартные отклонения оказались в пределах точности измерений равны друг другу и являются, по-видимому, различными ипостасями одной универсальной величины — относительной дисперсии коэффициента влияния человеческого фактора  $\sigma_\zeta/\bar{\zeta}$  [11] (см. также раздел 3):

$$\sigma_\alpha/\bar{\alpha} = \sigma_\eta/\bar{\eta} = \sigma_\psi/\bar{\psi} = \sigma_\zeta/\bar{\zeta} \quad (18)$$

В таблице 2 представлены результаты, обосновывающие это утверждение. В первых двух столбцах перечислены различные ситуации, процессы и единицы измерений величин, являющихся мерами последствий внешних

Таблица 2  
Ситуации, процессы и влияние ЧФ на их результаты при авариях и ЧС

Чрезвычайная ситуация	Процесс, измеряемая величина, единица измерений	Параметры логнормального распределения $m \sigma$	Характеристика влияния ЧФ в чрезвычайных ситуациях $\zeta$	Относительная дисперсия коэффициента влияния ЧФ $\sigma_\zeta/\bar{\zeta}$
1	2	3	4	5
Неконтролируемое повышенное сочетание аварийное облучение на ПЛА, 1961 г.	Формирование индивидуальных доз общего гамма излучения, рентген (Р)	<b>4,01</b> <b>0,74</b>	Коэффициент игнорирования радиационного риска $\alpha$	$\sigma_\alpha/\bar{\alpha} = \mathbf{0,38}$
Неконтролируемое повышенное сочетание аварийное облучение на ПЛА, 1961 г.	Накопление радиойода в щитовидной железе пострадавших, мкКи	<b>3,33</b> <b>0,85</b>	Коэффициент игнорирования радиационного риска $\alpha$	$\sigma_\alpha/\bar{\alpha} = \mathbf{0,46}$
	Оба процесса как 2 способа оценки относительной дисперсии $\alpha$			$\sigma_\alpha/\bar{\alpha} = \mathbf{0,42 \pm 0,04}$
Пожары в городах шести регионов РФ в 2004–2008 гг.	Формирование времени оперативного реагирования (прибытия на пожар), мин.	<b>1,942</b> <b>0,577</b>	Коэффициент влияния ЧФ на время прибытия на пожар первого пожарного караула $\eta$	$\sigma_\eta/\bar{\eta} = \mathbf{0,38 \pm 0,08}$
Пожары в городах по стране в целом в 2006–2007 гг.	Формирование времени оперативного реагирования (прибытия на пожар), мин.	<b>1,942</b> <b>0,577</b>	Коэффициент влияния ЧФ на время прибытия на пожар первого пожарного караула $\eta$	$\sigma_\eta/\bar{\eta} = \mathbf{0,38 \pm 0,08}$
Пожары в городах по стране в целом в 2008-2010 гг.	Формирование времени оперативного реагирования (прибытия на пожар), мин.	<b>1,878</b> <b>0,538</b>	Коэффициент влияния ЧФ на время прибытия на пожар первого пожарного караула $\eta$	$\sigma_\eta/\bar{\eta} = \mathbf{0,36 \pm 0,07}$
Пожары в городах по стране в целом в 2010 г.	Формирование количества единиц техники на пожаре, отн.ед.	<b>0,730</b> <b>0,530</b>	Коэффициент влияния ЧФ на количество единиц техники на пожаре $\psi$	$\sigma_\psi/\bar{\psi} = \mathbf{0,39 \pm 0,16}$

экстремальных воздействий. В третьем столбце приведены значения параметров логнормальных распределений (1), которые были определены при обработке данных наблюдений для их описания (примеры на рисунках 2,3). В четвертом столбце приведены характеристики влияния ЧФ для конкрет-

ных процессов И в пятом столбце — значения относительных стандартных отклонений коэффициентов влияния человеческого фактора для различных ситуаций и процессов. В то время как численные значения параметров логнормальных распределений (зеленые цифры), отличающиеся (для  $m$ ) более, чем вдвое и (для  $\sigma$ ) более, чем в полтора раза., относительные величины дисперсий коэффициентов влияния человеческого фактора в проанализированных конкретных процессах ( $\sigma_\alpha/\bar{\alpha}$ ,  $\sigma_\eta/\bar{\eta}$  и  $\sigma_\psi/\bar{\psi}$ ) расходятся не более, чем на 15%. Они, по существу, совпадают друг с другом в пределах точности их определения. Алгоритмы расчетов и оценки погрешностей приведены в статье [11]. В целом, имеющиеся данные указывают на объективный характер дисперсия коэффициента влияния человеческого фактора  $\sigma_\zeta/\bar{\zeta}$  как, универсальной характеристики (см. пятый столбец таблицы 2), определяющей распределение последствий при авариях и чрезвычайных ситуациях.

**7. Прогноз распределений тяжести поражений  
при ядерных и радиационных авариях  
на основании относительной дисперсии коэффициента влияния  
человеческого фактора**

Исходя из того, что модель влияния человеческого фактора успешно объясняет вид и свойства распределений последствий экстремальных воздействий, а также позволяет описать имеющиеся данные наблюдений, естественно сделать попытку использовать её для прогнозирования. Прогноз распределений тяжести поражений при возможных ядерных и радиационных авариях может быть основан на использовании математического аппарата модели влияния ЧФ, задании значения какой-либо общей дозовой характеристики радиационного поражения (например, средней индивидуальной дозы гамма излучения  $\bar{D}$ ) и универсальной величине — относительной дисперсии влияния человеческого фактора.  $c = \sigma_\zeta/\bar{\zeta}$ . Её значение, согласно имеющейся в настоящее время совокупности данных наблюдений (таблица 1), равно

$$c = \sigma_\zeta/\bar{\zeta} = 0,40 \pm 0,02 \quad (19)$$

Перепишем соотношение  $\sigma_\zeta/\bar{\zeta} = \sigma/(m - \ln y_0)$  (17) в виде  $c = \sigma/(m - \ln D_0)$ , т.к. по определению  $\sigma_\zeta/\bar{\zeta} = c$  (см.(19)) и  $\ln y_0 = \ln D_0$  (см. комментарий к формуле (5)). Тогда на основании результатов, полученных в рамках модели доминирующего влияния человеческого фактора, и общих свойств логнормального распределения (2) можно составить систему уравнений:

$$m = \ln D_0 + \sigma/c \quad (20.1)$$

$$\ln \bar{D} = m + \sigma^2/2 \quad (20.2)$$

Уравнение (20,1) — следствие модели доминирования ЧФ, уравнение (20.2) — связь параметров логнормального распределения, позволяющая ввести характеристику тяжести аварии  $\bar{D}$  (возможен и другой вариант, например вместо средней дозы  $\bar{D}$  можно фиксировать наиболее вероятную дозу  $D_{max}$ ).

Решениями системы уравнений (20) являются параметры прогнозируемого логнормального распределения доз как функции трех величин:  $c$  — относительной дисперсии влияния человеческого фактора, средней дозы  $\bar{D}$  и дозы адаптации  $D_0$ .

$$\sigma = -1/c + \left( 1/c^2 + 2 \ln \frac{\bar{D}}{D_0} \right)^{1/2} \quad (21)$$

$$m = -1/c^2 + \ln D_0 + \left( 1/c^4 + \frac{2}{c^2} \ln \frac{\bar{D}}{D_0} \right)^{1/2} \quad (22)$$

Величина  $D_0$  — средняя индивидуальная доза, накопленная за время адаптации человеком, попавшим под аварийное облучение. Она является параметром модели, величина которого не известна и практически неизмерима, но относительно которой справедливо неравенство

$$D_0 < D_{max} < \bar{D} \quad (23)$$

Средняя доза адаптации  $D_0$  меньше наиболее вероятной дозы  $D_{max}$ , которая в свою очередь меньше средней дозы  $\bar{D}$  (см. рисунок 1 и соотношения (2)).



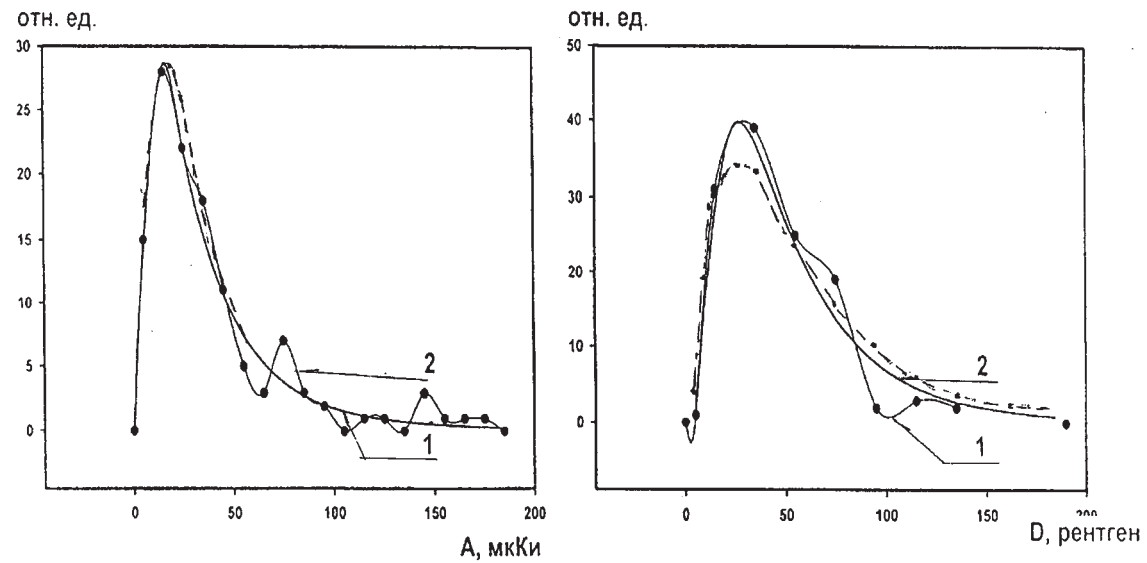


Рис. 5. Прогнозируемые характеристики поражений вполне согласуются с данными наблюдений. Кривая распределения штрих-пунктир на рисунке 2 справа — прогноз, кривая 1 — данные наблюдений, кривая 2 — обработка данных наблюдений по модели доминирующего влияния человеческого фактора. Все параметры упомянутых распределений приведены в 14 строке таблицы 2

Из определения  $m$  (средний логарифм) вытекает ограничение:

$$m \leq \ln \bar{D} \quad (24)$$

Из общих свойств логнормального распределения (2) следует отношение плотностей вероятности получения наиболее вероятной  $D_{max}$  и средней дозы  $\bar{D}$ .

$$\frac{dn}{dD}(D_{max}) / \frac{dn}{dD}(\bar{D}) = \exp\left(\frac{9}{8}\sigma\right) \quad (25)$$

Соотношения (19–25) позволяют получить количественный прогноз распределений тяжести поражений при возможных ядерных и радиационных авариях в виде распределений (1) и всей содержащейся в них информации. Для этого, при заданной предполагаемой средней характеристике тяжести поражения  $\bar{D}$ , необходимо и достаточно провести на основании формул (19–25) расчеты параметров логнормального распределения (1) при варьировании отношения  $\frac{\bar{D}}{D_0}$ . В достаточно широких пределах с учетом соотношения (23) и оценкой разброса значений полученных параметров. Указанием

Таблица 3  
Прогноз распределений тяжести поражений при радиационных авариях

№№	Средние дозы $\bar{D}, \bar{A}$ сГр, мкКи	Ограничение на $m$ .	Вариации отношения средних доз, $\frac{\bar{D}}{D_0}, \frac{\bar{A}}{A_0}$	$\sigma$ Расчет по форм. (14))	$\sigma \pm \Delta\sigma$	$m$ Расчет по форм. (13.2)	$m \pm \Delta m$	Наиболее вероятные дозы $D_{max}, A_{max}$ сГр, мкКи.	$\bar{D}_{max}, \bar{A}_{max}$ сГр, мкКи	Отношение вероятностей $\frac{dn}{dD}(D_{max}) / \frac{dn}{dD}(\bar{D})$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	110		5	0,577		4,53		66,5		
2	110		6	0,636		4,50		60,1		
3	110		7	0,685		4,47		54,6		
4	110		8	0,726		4,43		49,6		
5	110		9	0,763		4,41		46,0		
6	110		10	0,795		4,39		42,9		
7 прогноз	110	4,70≤			0,70 ±0,12		4,46 ±0,07		53,3 ±13,2	1,75±0,29
8	70		5	0,577		4,08		42,4		
9	70		6	0,636		4,05		38,3		
10	70		7	0,685		4,02		34,8		
11	70		8	0,726		3,98		31,6		
12	70		9	0,763		3,96		29,3		
13	70		10	0,795		3,93		27,1		
14 прогноз авария на ПЛА	70 67,8				0,70 ±0,12 0,74		4,00 ±0,08 4,01		33,9 ±8,5 32	1,75±0,29 1,85
15	40		5	0,577		3,52		25,2		
16	40		6	0,636		3,49		21,9		
17	40		7	0,685		3,46		19,9		
18	40		8	0,726		3,42		18,0		
19	40		9	0,763		3,40		16,7		
20	40		10	0,795		3,37		15,5		
21 прогноз авария на ПЛА	40 41,8				0,70 ±0,12 0,85		3,42 ±0,08 3,33		19,5 ±5,7 13,6	1,75±0,29 2,25

на пределы варьирования могут служить имеющиеся на настоящее время данные по обработке наблюдений при экстремальных ситуациях, в которых параметр  $\frac{\bar{D}}{D_0}$  и его аналоги находятся в пределах  $4 \leq \frac{\bar{D}}{D_0} \leq 9$ . При этом, зависимость от этого параметра (см. формулы (21), (22)) логарифмическая.

Примеры таких расчетов и сравнения их с результатами наблюдений приведены в таблице 3 и на рисунке 5. В таблице приведены результаты трех прогнозов.

**Первый.** Строки 1-7 таблицы, черный цвет (что означает размерность данных в сантигреях для индивидуальных доз внешнего гамма облучения). Это — прогноз для крупной гипотетической аварии со средней дозой  $\bar{D} = 110$  сГр (столбец 2). Такая доза, примерно втрое меньше средней дозы пациентов КБ № 6 после аварии в Чернобыле [15], предопределяет проявление симптомов острой лучевой болезни у пациентов, получивших дозы не ниже этой средней. В столбце 4 таблицы 3 приведены вариативные значения отношения средней дозы к адаптационной дозе  $\frac{\bar{D}}{D_0}$ . В 5 столбце — соответствующие этим отношениям значения параметра логнормального распределения  $\sigma$ . В 7 столбце — значения параметра  $m$ . В 9 столбце — величины наиболее вероятных доз  $\bar{D}_{max}$ , соответствующие параметрам в столбцах 5 и 7. Строка 7 таблицы 3 содержит итоговые количественные характеристики первого прогноза. В частности, столбец 2 содержит значение средней дозы. Столбец 3 — контроль значений параметра  $m$ . Столбцы 6 и 8 — вычисленные параметры прогнозируемого логнормального распределения доз при аварии с заданной средней дозой 110 сГр. В столбце 10 — положение максимума распределения, (т.е. значение наиболее вероятной дозы). Столбец 1 — отношение наибольшей плотности вероятности к плотности вероятности при среднем значении дозы.

**Второй прогноз.** Строки таблицы 8-14, синий цвет. Аналогичный первому прогноз для аварии со средней индивидуальной дозой внешнего гамма-излучения 70 Р. Это значение средней гамма дозы близко к соответствующему показателю тяжести поражения 67,8 Р при реальной аварии на

ПЛА (глава 8 в [10]). Данные наблюдений при этой аварии были получены и потому приведены в прогнозе в рентгенах. Сравнение данных прогноза и реальной аварии содержится в 14 строке таблицы 2 и на рисунке 2 справа.

**Третий прогноз.** Строки таблицы 15-21, красный цвет. Прогноз для той же аварии на ПЛА [10] с сочетанным характером радиационного поражения, которое сопровождается, в том числе, инкорпорацией радиоактивного йода-131 в щитовидных железах пострадавших. Средняя индивидуальная активность составляет 40 микроКюри. Это значение близко к 41,8 мкКи — средней активности тяжести поражения при аварии на ПЛА. Сравнение данных прогноза и реальной аварии содержится в 21 строке таблицы 2 и на рисунке 2 слева. Прогнозируемые характеристики поражения и данные наблюдений близки друг к другу. Кривая распределения штрих на рисунке 2 слева — прогноз, кривая 2 — данные наблюдений, кривая 1 — обработка данных наблюдений по модели доминирующего влияния человеческого фактора. Все параметры упомянутых распределений приведены в 21 строке таблицы 2.

### Заключение

В предложенном вниманию читателя обзоре, посвященном роли человеческого фактора в формировании аварийных последствий техногенных и антропогенных воздействий, сделана попытка количественного описания таких последствий. Она основана на применении феноменологического подхода с использованием простейшей математической модели доминирующего влияния человеческого фактора при допущении существования универсальной характеристики — относительной дисперсии коэффициента влияния ЧФ. Доминирующий вклад этого фактора при чрезвычайных ситуациях, по-видимому, определяется весьма большим разбросом физических, физиологических, психофизических, интеллектуальных, профессиональных, социальных и прочих индивидуальных особенностей людей, по природе своей являющихся случайными характеристиками. Мерой такого

разброса и служит относительная дисперсия коэффициента влияния ЧФ. Наглядной иллюстрацией величины разброса (40%) – кривая нормального распределения, кривая 1 на рисунке 1. Если отождествлять ее с распределением коэффициента влияния ЧФ (он же – коэффициент игнорирования радиационного риска), то соответствующее распределение активностей инкорпорированного радиойода в щитовидных железах пострадавших представлено кривой 2 на том же рисунке. Эти результаты находятся в согласии с данными наблюдений при реальной аварии на корабельной ЯЭУ [9].

### Литература

1. Семенов В.Г., Соболевский Н.М. Статистическое моделирование техногенного риска на примере ядерных инцидентов, препринт ИЯИ 1049/2000, М., 2000.
2. Бенецкий Б.А., Логинов В.И., Плотникова М.В. Боевая одежда пожарных как защита от бета излучения // Пожарная безопасность. 2010. №2. С.123-128.
3. Васильченко В.Н., Носовский А.В. и др. Принципы ретроспективного восстановления доз и их взаимосвязь с состоянием здоровья участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационные поражения и перспективы развития средств индивидуальной защиты от ионизирующих излучений / Под ред. Филатова В.Н., Бенецкого Б.А., Гогина Е.Е.. М.: ЦНИИТЭИЛЕГПРОМ, 1994. 137. С. 26–35.
4. Бенецкий Б.А. О распределении индивидуальных доз и тяжести поражений при радиационных авариях // Тезисы докладов 59 Международного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра ЯДРО 2009. СПб.: Физ.фак. СПбУ, 2009. С. 304.
5. Бенецкий Б.А. Влияние человеческого фактора на распределение индивидуальных доз и тяжести поражений при радиационных авариях // Материалы 22 Международной научно-практической конференции. Ч. 2. М.: ВНИИПО, 2010. С.35-38.
6. Бенецкий Б.А. О распределении индивидуальных доз и тяжести поражений при радиационных авариях. Изв. РАН, сер. физ. № 4, 2011, с 649-652.
7. Бенецкий Б.А. Влияние человеческого фактора на формирование тяжести поражений при радиационных авариях // Средства спасения. Противопожарная защита. РИА Изд. Дом ВДПО спецвыпуск 2011. С.69 – 72 .
8. Бенецкий Б.А. О распределении тяжести поражений при радиационных авариях и способности человека игнорировать радиационный риск // КСФ, 2012. Т. 39. № 1. С. 34–42.
9. Гогин Е.Е., Емельяненко В.М., Бенецкий Б.А., Филатов В.Н. Сочетанные радиационные поражения. М.: Известия, 2000. 240 с.
10. Бенецкий Б.А. Влияние человеческого фактора на время оперативного реагирования на сигнал о пожаре // Тезисы докладов XXIV Международной научно-практической конференции по проблемам пожарной безопасности, посвященной 75-летию создания института, 3-4 июля 2012 г. Ч.2. Балашиха МО, Россия. М.: ВНИИПО, 2012. С.87-89.
11. Бенецкий Б.А. О влиянии человеческого фактора на распределение тяжести поражений при ядерных и радиационных авариях и на последствия других чрезвычайных ситуаций // КСФ. 2014. Т.41, № 1. С. 12–17.
12. Востротин В.А. Совершенствование системы реагирования на сигнал о пожаре // Пожарная автоматика. 2011. РИА Изд. Дом ВДПО, 2011. С.8 – 11.
13. Брушлинский Н., Соколов С. и др. Фактор времени // Пожарное дело. 2012, № 4. С. 26–29.
14. Пожары и пожарная безопасность в 2011 году. Статистический сборник / Под общей редакцией В.И.Климкина. М. ВНИИПО, 2011. 140 с.
15. Российский национальный доклад. 20 лет Чернобыльской катастрофы. Итоги и перспективы преодоления её последствий в России / Под общей редакцией С.К. Шойгу и Л.А. Большова. М.: ИБРАЭ РАН, 2006. 92 с.