

# СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 504.05; 614.8; 504.5.06; 550.34; 51.74; 004.94

## МЕТОДЫ АНАЛИЗА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ И УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

А.А. Александров<sup>1</sup>, В.И. Ларионов<sup>1,2</sup>, С.П. Сушев<sup>1,3</sup>,  
Н.И. Фролова<sup>2</sup>, Р.А. Гумеров<sup>3</sup>

<sup>1</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация  
e-mail: rector@bmstu.ru; lar@esrc.ru; esrc@esrc.ru

<sup>2</sup>Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва, Российская Федерация  
e-mail: frolova@esrc.ru

<sup>3</sup>Центр исследований экстремальных ситуаций, Москва, Российская Федерация  
e-mail: gumerov@esrc.ru

*Рассмотрены факторы, определяющие сейсмический риск. Приведено описание унифицированных методов анализа сейсмического риска для населения и застроенных территорий при разрушительных землетрясениях. Предложены методические подходы к получению законов разрушения и поражения людей, определению показателей уязвимости и риска. Получены характерные параметры нормального закона функции уязвимости зданий на основе статистической выборки, включающей информацию о последствиях разрушительных землетрясений за последние сто лет. Установлены зависимости характеристик урбанизированной территории от ее уязвимости. Разработана методика количественной оценки опасности, уязвимости и риска при землетрясениях. Даны рекомендации по построению тематических карт сейсмического риска с применением ГИС-технологий. Показано поэтапное создание ГИС-проекта. Приведен фрагмент карты сейсмического риска, построенной способом качественного фона.*

**Ключевые слова:** анализ риска, сейсмическая опасность, сейсмический риск, уязвимость, законы разрушения, законы поражения, ГИС-технологии, карты сейсмического риска.

## SEISMIC RISK ANALYSIS METHODS FOR THE POPULATION AND URBANIZED TERRITORIES

A.A. Aleksandrov<sup>1</sup>, V.I. Larionov<sup>1,2</sup>, S.P. Sushchev<sup>1,3</sup>,  
N.I. Frolova<sup>2</sup>, R.A. Gumerov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation  
e-mail: rector@bmstu.ru; lar@esrc.ru; esrc@esrc.ru

<sup>2</sup>Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russian Federation  
e-mail: frolova@esrc.ru

<sup>3</sup>Extreme Situations Research Center, Moscow, Russian Federation  
e-mail: gumerov@esrc.ru

*The factors determining seismic risk are considered. Description of uniform analysis methods of the seismic risk for the inhabitants and the built-up territories during destructive earthquakes is provided. Methodical approaches to obtaining the damage*

*rules and people injuries, indicators of vulnerability definition and risk are offered. Characteristic parameters of the normal law function of building vulnerability, including the information about consequences of destructive earthquakes over the last hundred years, are received on the basis of statistical selection. Dependencies between the characteristics of urbanized territory and its vulnerability range are established. The technique of quantitative danger assessment, vulnerability and risk of earthquake emergency is developed. Recommendations are provided to create thematic seismic risk maps with application of GIS-technologies. Stage-by-stage creation of the GIS-project is presented. The seismic risk map fragment constructed in the way of qualitative background is given.*

**Keywords:** risk analysis, seismic, seismic risk, vulnerability, damage rule, destruction law, GIS-technology, seismic risk map.

Землетрясения являются основными ущербобразующими опасностями природного характера для населения и объектов техносферы. Согласно данным Международного центра катастроф (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, [www.cred.be](http://www.cred.be)), только в 2008 г. природные опасности стали причиной гибели 235 тыс. чел., из которых 87,5 тыс. чел. пришлось на Вэньчуаньское (Сычуаньское) землетрясение, произошедшее 12 мая 2008 г. в китайской провинции Сычуань.

Землетрясения — наиболее распространенный опасный процесс на территории Российской Федерации, вызывающий активизацию ряда других геологических процессов. Отметим, что в России в зонах сейсмической опасности проживают 20 млн чел., причем 10% из них — в зонах, где интенсивность сейсмических сотрясений достигает 8–9 баллов, при этом определенную угрозу представляют и 6–7-балльные зоны в густозаселенной части страны. Этим обусловлен интерес к разработке унифицированных вероятностных методов комплексного анализа сейсмического риска и методик обоснования мероприятий по защите населения и территорий.

Оценки сейсмического риска осуществляются с учетом интересов конечного пользователя и используются при принятии решений в условиях угроз возникновения чрезвычайных ситуаций, при планировании устойчивого развития территорий и определении страховых ставок. Для оперативного и эффективного реагирования в случае возникновения сильного землетрясения важны как оценки физических потерь по зданиям и сооружениям, так и ожидаемые социальные потери. При долговременном планировании развития урбанизированных территорий приоритетными являются оценки экономических потерь. Указанные задачи решаются методами теории вероятности, статистического анализа и математического моделирования.

**Сейсмическая опасность и риск.** Под *сейсмической опасностью* понимается вероятность появления сейсмического воздействия определенной силы на заданной площади в течение заданного интервала времени. Сейсмические воздействия выражаются в баллах шкалы

сейсмической интенсивности или амплитудах колебаний грунта. *Сейсмический риск* — вероятность социального и экономического ущерба, связанного с землетрясениями на заданной территории в течение определенного интервала времени [1, 2]. Определяется как суперпозиция сейсмической опасности и уязвимости различных элементов риска (людей, объектов жизнеобеспечения и т.д.).

Соотношение между магнитудой  $M$  и балльностью  $I$  (интенсивностью) землетрясений определяются эмпирической зависимостью, которая в литературе известна как формула макросейсмического поля [3]

$$I = bM - \nu \lg \sqrt{\Delta^2 + h^2} + c, \quad (1)$$

где  $\Delta$  — эпицентрально-расстояние, км;  $h$  — глубина очага землетрясения, км;  $b$ ,  $\nu$ ,  $c$  — региональные константы, значения которых различны для отдельных регионов.

Формулу (1) используют при прогнозировании последствий случившегося землетрясения или оценке последствий от сейсмического события в известной зоне возможных землетрясений.

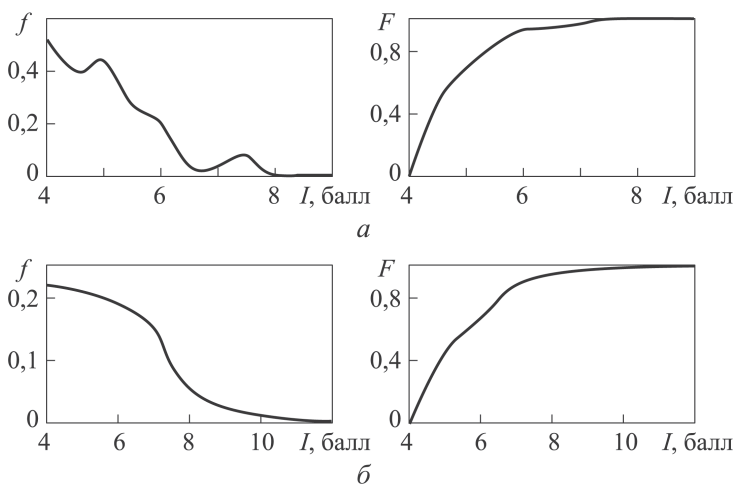
Для заблаговременного прогнозирования последствий землетрясений и построения региональных карт сейсмического риска необходимо использовать карты общего сейсмического районирования (ОСР) [4], детального сейсмического районирования (ДСР), матрицы цифровой информации о повторяемости сотрясений разной интенсивности, а также каталоги землетрясений [5]. На основе каталогов строятся функции плотности распределения вероятности  $f(I)$  и распределения  $F(I)$  интенсивности землетрясения  $I$ . Указанные функции, полученные для основных сейсмоопасных регионов, приведены на рис. 1. Согласно приведенным зависимостям, большинство событий происходит в интервале до 7 баллов.

**Законы разрушения зданий при землетрясениях.** Под *законами разрушения зданий* понимают зависимость вероятности повреждения зданий разного типа от интенсивности проявления землетрясения в баллах.

При определении *типа зданий* используется классификация, приведенная в сейсмической шкале ММСК-86 [6].

Законы разрушения для разных типов зданий строятся на основе эмпирических данных инженерного анализа последствий сильных землетрясений. Используются законы разрушения двух типов: *вероятности наступления не менее определенной степени повреждения зданий*  $P_{Ai}(I)$  и *вероятности наступления определенной степени повреждений зданий*  $P_{Bi}(I)$ .

При построении законов разрушения для каждого здания рассматриваются пять степеней повреждения (легкая, умеренная, тяжелая,



**Рис. 1.** Функции плотности распределения вероятности  $f(I)$  и распределения  $F(I)$  интенсивности землетрясения для Северо-Кавказского региона (а) и Камчатского и Курильского регионов (б)

частичное разрушение и обвал), т.е. принимается, что после землетрясения поврежденное здание может быть в одном из пяти состояний. Для оценки параметров нормального закона использовалась представительная статистическая выборка, включающая события, произошедшие во второй половине XX – начале XXI столетия в России, Узбекистане, Туркмении, Румынии, Молдавии, Армении, Грузии и других странах. Значения математического ожидания  $M$  интенсивности землетрясения в баллах, вызывающего не менее определенных степеней повреждения зданий, приведены в табл. 1. Значения среднеквадратических отклонений  $\sigma$  изменяются от 0,4 до 0,5.

Для построения кривой, аппроксимирующей вероятности наступления не менее определенной степени повреждения зданий, использовалась функция правдоподобия [7].

При определении вероятности наступления определенной степени повреждения сооружений учитывается теорема о полной группе событий  $\sum_{i=0}^5 P_{B_i}(I) = 1$ . При получении законов разрушения зданий учитывают, что после воздействия землетрясения здание может быть в одном из шести несовместных событий: оказаться неповрежденным (событие  $B_0$ ); получить 1, 2, 3, 4 или 5-ю степень повреждения (разрушения) (события  $B_1, B_2, \dots, B_5$ ).

Вероятность наступления определенной  $i$ -й степени повреждения (разрушения) зданий  $P_{B_i}(I)$  определяется по зависимости

$$P_{B_i}(I) = P_{A_i}(I) - P_{A_{i+1}}(I), \quad (2)$$

где  $P_{A_i}(I)$  – вероятность наступления не менее  $i$ -й степени поврежде-

**Значения математического ожидания  $M$  интенсивности землетрясения, вызывающего не менее определенных степеней повреждения зданий**

Тип здания по ММСК-86	Степень повреждения (разрушения) зданий $d$				
	Легкая $d = 1$	Умеренная $d = 2$	Тяжелая $d = 3$	Частичное разрушение $d = 4$	Обвал $d = 5$
$A$	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
$B$	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
$B$	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0
$C7$	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5
$C8$	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
$C9$	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5

**Примечания.**

1. Типы зданий и степени повреждения (разрушения) зданий приняты в соответствии с международной шкалой сейсмической интенсивности ММСК-86 [6]:

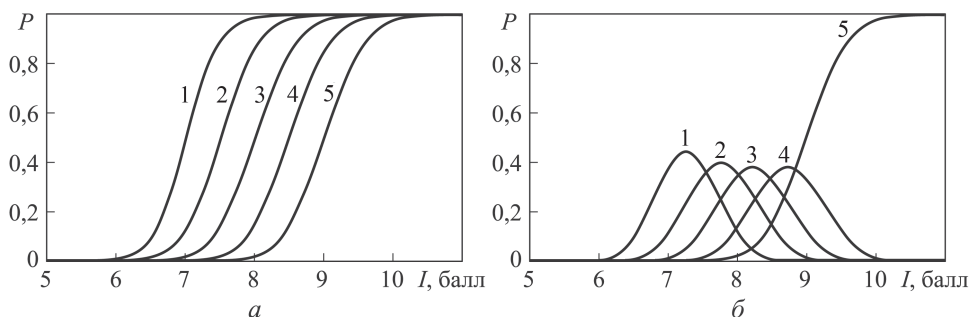
- $A$  — здания со стенами из местных строительных материалов (глинобитные, саманные, из рваного камня на глиняном растворе);
- $B$  — здания из кирпича, крупных блоков, тесаного камня на цементном растворе;
- $B$  — здания железобетонные, каркасные, крупнопанельные и армированные крупноблочные дома;
- $C$  — здания всех видов с антисейсмическими мероприятиями ( $C7$ ,  $C8$ ,  $C9$  — здания сейсмостойкостью соответственно 7, 8, 9 баллов).

2. Легкая, умеренная, тяжелая степени характеризуют повреждение зданий, частичное разрушение и обвал — степень разрушения зданий.

ния зданий;  $P_{Ai+1}(I)$  — вероятность наступления не менее  $(i + 1)$ -й степени повреждения зданий.

Законы разрушения зданий типа  $B$  по шкале ММСК-86, полученные при характерных значениях параметра  $M$  нормального закона (см. табл. 1) и  $\sigma \approx 0,4$ , приведены на рис. 2.

**Законы поражения людей при землетрясениях.** В качестве поражающих факторов при землетрясениях рассматриваются обломки



**Рис. 2.** Законы разрушения зданий типа  $B$  при не менее определенных ( $a$ ) и определенных ( $b$ ) степенях повреждения зданий в результате землетрясения (1–5 — степени повреждения зданий)

зданий и сооружений. Для определения математического ожидания потерь населения города используется закон поражения людей. Под *законом поражения людей* понимается зависимость вероятности поражения людей от интенсивности землетрясения  $I$ .

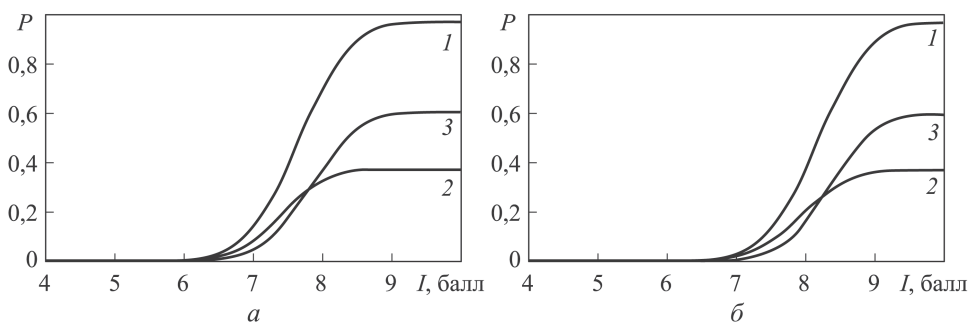
Параметрические законы поражения людей, находящихся в зданиях, при землетрясениях получены на основе анализа статистических данных о потерях во время сильных и разрушительных землетрясений прошлых лет с использованием теоремы полной вероятности. В расчетах учитывается, что событие  $C_k$  (общие, безвозвратные, санитарные потери) может произойти при получении зданием одной из степеней повреждения (при одной из гипотез  $B_i$ , образующих полную группу несовместных событий). К *безвозвратным потерям* относят погибших и без вести пропавших. *Санитарные потери* включают всех пораженных, нуждающихся в медицинской помощи. Сумму санитарных и безвозвратных потерь называют *общими потерями*.

Расчеты проводятся по формуле

$$P_{C_k}(I) = \sum_{i=1}^5 P_{B_i}(I)P(C_k | B_i), \quad (3)$$

где  $P_{C_k}(I)$  — вероятность получения людьми  $k$ -й степени поражения при землетрясении интенсивностью  $I$ ;  $P_{B_i}(I)$  — вероятность наступления  $i$ -й степени повреждения здания при заданном значении интенсивности землетрясения;  $P(C_k | B_i)$  — вероятность получения людьми  $k$ -й степени поражения при условии, что наступила  $i$ -я степень повреждения здания.

Значения вероятности  $P(C_k | B_i)$  получены на основе обработки эмпирических материалов о последствиях землетрясений (табл. 2). Законы поражения населения, находящегося в зданиях разного типа, приведены на рис. 3. В качестве примера показаны вероятности поражения людей, находящихся в зданиях из местных материалов (тип  $A$ ) и кирпича (тип  $B$ ), в зависимости от интенсивности землетрясения  $I$ ,



**Рис. 3.** Законы поражения населения, находящегося в зданиях типа  $A$  ( $a$ ) и  $B$  ( $b$ ) при землетрясениях, для общих (1), санитарных (2) и безвозвратных (3) потерь

полученные с использованием формулы (3) и данных, приведенных в табл. 2 [8, 9].

**Уязвимость зданий.** Уязвимость зданий при сейсмических воздействиях оценивается в физическом и экономическом виде.

*Физическая уязвимость зданий*  $V_{fj}$  — показатель, характеризующий потерю функциональных свойств зданиями разных  $j$ -х типов, классифицированных по шкале ММСК-86, и равный отношению жилой площади в зданиях, получивших повреждения (разрушения)  $d = 1, 2, 3, 4, 5$  при сейсмическом воздействии интенсивностью  $I$ , к общей площади жилой застройки рассматриваемого  $j$ -го типа.

Таблица 2

**Значения вероятности поражения людей при различных степенях повреждения зданий [10]**

Структура потерь	Степень повреждения (разрушения) зданий				
	Легкая	Умеренная	Тяжелая	Частичное разрушение	Обвал
Общие	0	0,01	0,11	0,60	0,97
Безвозвратные	0	0,00	0,02	0,23	0,60
Санитарные	0	0,01	0,09	0,37	0,37

В зависимости от решаемых задач можно рассматривать долю площади жилой застройки, получившей не менее определенной или определенную степень повреждения.

При оценке объемов временного жилья, требуемого для пострадавшего от землетрясения населения, целесообразно рассматривать физическую уязвимость для степеней повреждения  $d$  не менее 3-х, т.е. учитывать здания, получившие степени повреждения  $d = 3, 4, 5$ .

Для оценки масштабов спасательных работ после землетрясения ожидаемые объемы завалов оцениваются, исходя из числа зданий, получивших 4 и 5-ю степени повреждения.

Физическая уязвимость зданий  $j$ -го типа оценивается показателем, равным отношению ожидаемого числа зданий  $j$ -го типа, получивших не менее определенной степени повреждения или определенной степени повреждения при сейсмическом воздействии интенсивностью  $I$ , к общему числу зданий  $j$ -го типа:

$$V_{fj}(I) = \sum_{i=d}^n M(W_j) / W_j = P_{Ai}(I) = \sum_{i=d}^n P_{Bi}(I);$$

$$V_{fj}(I) = \frac{M(W_j)}{W_j} = P_{Bi=d}(I),$$

где  $M(W_j)$  — математическое ожидание числа зданий, получивших не менее определенной или определенной степени поврежде-

ния  $i$ ;  $W_j$  — число зданий  $j$ -го типа;  $P_{Ai}(I)$  — вероятность наступления не менее определенной степени повреждения;  $P_{Bi}(I)$  — вероятность наступления определенной степени повреждения;  $n$  — число рассматриваемых степеней повреждения;  $d$  — рассматриваемая степень повреждения;  $M(W_j)$  — математическое ожидание числа зданий, получивших рассматриваемую степень повреждения  $d$ ,

$$M(W_j) = \iint_S \int_{I_{\min}}^{I_{\max}} P_{Bi}(I) f(x, y, I) \varphi(x, y) dI dx dy, \quad S — \text{площадь за}$$

стройки;  $I_{\min}$  и  $I_{\max}$  — минимально и максимально возможная интенсивность сотрясений в пределах заданной площадки;  $f(x, y, I)$  — плотность распределения случайной величины  $I$  в точке с координатами  $x, y$ ;  $\varphi(x, y)$  — число зданий рассматриваемого типа, приходящихся на единицу площадки с координатами  $x, y$ .

При решении некоторых задач физическую уязвимость зданий также можно характеризовать средней ожидаемой степенью повреждения зданий  $d_{cp}(I)$  при сейсмических воздействиях интенсивностью  $I$  (табл. 3). Этот показатель часто используется при визуализации на региональных картах масштабов ущерба для отдельных населенных пунктов.

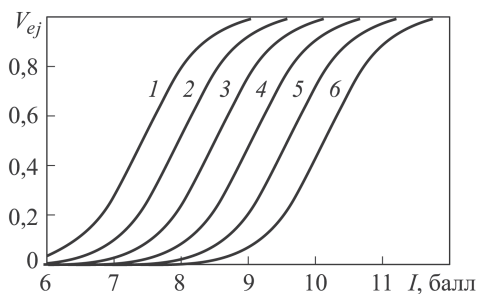
Таблица 3

**Значения средней ожидаемой степени повреждения зданий  $d_{cp}(I)$  при землетрясениях**

Тип здания по ММСК-86	Интенсивность землетрясений, балл						
	6	7	8	9	10	11	12
<i>A</i>	1,3	2,6	4,3	5,0	5,0	5,0	5,0
<i>B</i>	1,1	1,8	3,5	4,8	5,0	5,0	5,0
<i>B</i>	1,0	1,2	2,6	4,3	5,0	5,0	5,0
<i>C7</i>	Нет повреждений	1,1	1,8	3,5	4,8	4,9	5,0
<i>C8</i>	Нет повреждений	1,0	1,3	2,6	4,3	5,0	5,0
<i>C9</i>	Нет повреждений	Нет повреждений	1,1	1,8	3,5	5,0	5,0

*Экономическая уязвимость  $V_{ej}(I)$  зданий  $j$ -го типа* — показатель, характеризующий ущерб в стоимостном выражении, равный отношению стоимости восстановления зданий  $D_{dj}(I)$  после сейсмического воздействия интенсивностью  $I$  к стоимости зданий до поражения  $D_{ej}$ :





**Рис. 4.** Зависимость экономической уязвимости зданий типов А (1), В (2), В (3), С7 (4), С8 (5) и С9 (6) от интенсивности землетрясений

$V_{ej}(I) = D_{dj}(I) / D_{ej} = \sum_{i=1}^5 P_{Bi}(I) K_i$ , где  $K_i$  — коэффициент ущерба,  $K_i = 0,02, 0,1, 0,3, 0,8$  и  $1,0$  для  $d = 1, 2, 3, 4$  и  $5$  [8]. Зависимость экономической уязвимости зданий различных типов от интенсивности землетрясений приведена на рис. 4.

Застройка населенного пункта или города может включать различные типы зданий. Уязвимость застройки населенного пункта в целом при сейсмическом воздействии также следует оценивать в физическом и экономическом виде.

*Физическая уязвимость  $V_f(I)$  застройки населенного пункта в целом (группы зданий разного типа)* — показатель, характеризующий потерю функциональных свойств всеми зданиями (группой зданий разных типов) в городе или населенном пункте, и равный отношению жилой площади в зданиях, получивших повреждения при сейсмическом воздействии интенсивностью  $I$ , к общей жилой площади всех зданий (группы зданий разного типа) в населенном пункте

$V_f(I) = \left( \sum_{j=1}^m V_{fj}(I) S_j \right) / S$ , где  $S_j$  — жилая площадь зданий  $j$ -го типа;  $S$  — общая жилая площадь зданий всех рассматриваемых типов;  $m$  — число рассматриваемых типов зданий.

В зависимости от решаемых задач можно рассматривать долю жилой площади в зданиях, получивших не менее определенной или определенной степень повреждения.

*Экономическая уязвимость  $V_e(I)$  застройки населенного пункта* — показатель, характеризующий ущерб, нанесенный застройке населенного пункта в стоимостном выражении, равный отношению стоимости восстановления застройки  $D_{de}(I)$  после сейсмического воздействия интенсивностью  $I$  к стоимости застройки до поражения  $D_e$ :

$$V_e(I) = D_{de}(I) / D_e = \left( \sum_{j=1}^m V_{ej}(I) S_j \right) / S.$$

**Уязвимость населения.** Уязвимость населения для сейсмической опасности оценивают для людей, находящихся в однотипных зданиях и в зданиях различных типов населенного пункта в целом.

Уязвимость населения  $V_{sj}(I)$  в зданиях  $j$ -го типа численно равна отношению ожидаемого числа пораженных с летальным исходом  $M(N_j)$  в результате сейсмического воздействия интенсивностью  $I$  к общему числу людей  $N_j$ , находящихся в зданиях рассматриваемого  $j$ -го типа:  $V_{sj}(I) = M(N_j)/N_j$ , где  $M(N_j)$  — математическое ожидание потерь среди населения, находящегося в зданиях  $j$ -го типа с учетом распределения в них людей в течение суток,  $M(N_j) = \int_S \int_0^{24} \int_{I_{\max}}^{I_{\min}} P_{Cj}(I) f(x, y, I) \psi(x, y) f(t) dI dt dx dy$ .

Здесь  $f(t)$  — функция, характеризующая размещение людей в зданиях в течение суток, получаемая на основе статистической обработки информации по перемещению и размещению людей на объекте;  $P_{Cj}(I)$  — вероятность поражения людей при землетрясениях, находящихся в зданиях  $j$ -го типа (3);  $\psi(x, y)$  — плотность населения в пределах рассматриваемой площадки (число людей, приходящихся на единицу площади).

Уязвимость населения  $V_s(I)$ , проживающего в зданиях разного типа в целом по населенному пункту, численно равна отношению ожидаемого числа пораженных с летальным исходом  $M(N)$  в населенном пункте к общему числу людей  $N$ , проживающих в населенном пункте:

$$V_s(I) = \frac{M(N)}{N} = \frac{\sum_{j=1}^m V_{sj}(I) N_j}{N}. \quad (4)$$

**Сейсмический риск для населения.** Наиболее приемлемыми критериями оценок степени опасности для жизни людей могут служить индивидуальный и коллективный риски.

*Индивидуальный сейсмический риск*  $R_s$  — вероятность смертельного исхода в результате действия на человека опасных факторов от возможного землетрясения за год на рассматриваемой территории.

*Коллективный сейсмический риск*  $R_c$  — ожидаемое число погибших в результате сейсмического воздействия на определенное число людей за год.

Указанные показатели широко используются в качестве критериев при обосновании мероприятий по предупреждению, смягчению последствий и реагированию на чрезвычайные ситуации.

Сопоставляя значения индивидуального риска с показателями приемлемого риска, можно судить о соответствии мероприятий по защите населения приемлемому уровню риска.

*Индивидуальный сейсмический риск*  $R_{sj}$  для людей, находящихся в зданиях  $j$ -го типа, определяется как произведение частоты  $H$  возник-

новения землетрясения за год и уязвимости населения  $V_{sj}(I)$  в зданиях  $j$ -го типа, 1/год:  $R_{sj} = HV_{sj}(I)$ .

*Коллективный сейсмический риск  $R_{cj}$  для людей, находящихся в зданиях  $j$ -го типа, равен произведению индивидуального риска  $R_{sj}$  и численности людей  $N_j$ , находящихся в зданиях  $j$ -го типа, чел./год:  $R_{cj} = R_{sj}N_j$ .*

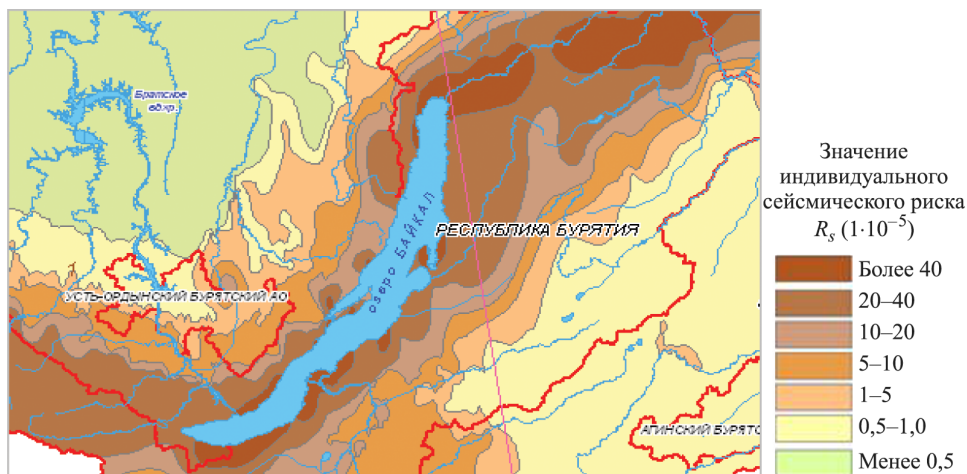
Индивидуальные и коллективные риски для населенного пункта определяются с учетом уязвимости населения в целом для населенного пункта (4).

**Построение региональных карт сейсмического риска с применением ГИС-технологий.** Для проведения расчетов показателей риска и построения карт сейсмического риска создается ГИС-проект. Информация о сейсмической опасности, распределении населения, сейсмостойкости зданий и сооружений заносится в тематическую базу данных ГИС. Тематическая база данных сопрягается с базой геоданных с помощью специальных “ключей” и ссылок, т.е. между всеми информационными единицами базы данных устанавливается адресная взаимосвязь. Технология оценки показателей риска заключается в том, что для каждого населенного пункта оценивается вероятность события, связанного с гибелью человека от сильных сейсмических явлений в год. Для этого оцениваются степень повреждения зданий различного типа и гибель людей в поврежденных зданиях.

В зависимости от решаемых задач при использовании карт риска применяются следующие способы построения тематических карт: способ значков; способ изолиний; способ качественного фона.

*Способ значков* используют для отображения показателей риска непосредственно в населенных пунктах. *Способ изолиний* применяют для отображения показателей риска, свойства которых изменяются в пространстве непрерывно и постепенно.

*Способ качественного фона* используют для отображения уровня риска на территории. При этом принимается, что любая площадка территории может быть застроена зданиями с сейсмостойкостью, характерной для рядом расположенных населенных пунктов. Карты с подобной визуализацией могут использоваться при анализе риска на территориях с повышенной опасностью. Опорной сетью риска для отображения гипсослоев служат количественные показатели рисков для существующих населенных пунктов. Удобство такого способа определяется тем, что нет необходимости каждый малый населенный пункт обозначать значком и наносить его на карту, затрудняя чтение основного содержания. Для построения карты риска способом качественного фона разрабатывается шкала цветности гипсослоев. Фрагмент карты



**Рис. 5.** Фрагмент карты с отображением уровня риска способом качественного фона

с отображением уровня риска способом качественного фона приведен на рис. 5.

Карты риска с визуализацией способом качественного фона могут использоваться для разработки градостроительной документации для территорий городских и сельских поселений, а также для создания схем территориального планирования муниципальных образований и субъектов РФ.

**Выводы.** 1. Получены оценки уязвимости зданий и населения при сейсмическом воздействии и сопротивления элементов риска сейсмической опасности с учетом вероятностных подходов.

2. Приведены методы анализа сейсмического риска для населения, для урбанизированных территорий с учетом типа застройки и конструктивных особенностей зданий и сооружений, степени износа зданий и пр., позволяющие проводить комплексный анализ сейсмического риска. В основу этих методов положена единая методология анализа риска чрезвычайных ситуаций [11]. Последующие исследования в области использования теории риска при защите от чрезвычайных ситуаций предполагается вести по пути применения рассмотренного унифицированного подхода для любых видов чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

3. Показан результат построения региональных карт сейсмического риска с применением ГИС-технологий способом качественного фона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Оценка сейсмической опасности и сейсмического риска; под ред. Г.А. Соболева. М.: Центр БСТС, 1997. 54 с.

2. Ларионов В.И. Законы разрушения зданий // Анализ сейсмического риска, спасение и жизнеобеспечение населения при катастрофических землетрясениях (сейсмические, методологические и методические аспекты). Ч. 1.; под ред. С.К. Шойгу. М.: ГК РФ по ГОЧС, Институт Литосферы РАН, 1992. С. 157–176.
3. Шебалин Н.В. Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании. Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968, С. 95–121.
4. Комплект карт ОСР-97-А, В, С и другие материалы для Строительных норм и правил – СНиП “Строительство в сейсмических районах”. М.: ОИФЗ, 1998.
5. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР. М.: Наука, 1977. 535 с.
6. Улучшенный вариант шкалы сейсмической интенсивности (ММСК-86) на базе шкал MSK-64 и МСССС-73 (заключительный) / Н.В. Шебалин, И.А. Ершов, Г.С. Шестоперов и др. М.: МСССС, ИФЗ, 1986. 61 с.
7. Котляревский В.А., Ларионов В.И., Суцев С.П. Энциклопедия безопасности: строительство, промышленность, экология. В 3 т.; под ред. В.А. Котляревского. Т. 1. Аварийный риск. Взрывные и ударные воздействия. М.: Наука. 2005. 696 с.
8. Ларионов В.И., Фролова Н.И. Особенности оценки уязвимости для сейсмических воздействий // Природные опасности России: Монография Российской академии наук. В 6 т.; под ред. А.Л. Рагозина. Т. 6. Оценка и управление природными рисками. М.: КРЭК, 2003. С. 120–130.
9. Котляревский В.А., Ларионов В.И., Суцев С.П. Энциклопедия безопасности: строительство, промышленность, экология. В 3 т.; под ред. В.А. Котляревского. Т. 3. Сейсмостойкость и теплозащита сооружений. М.: АСВ, 2010. 640 с.
10. Шойгу С.К., Гончаров С.Ф., Лобанов Г.П. Землетрясения: закономерности формирования и характеристика потерь населения. М.: Всероссийский центр медицины и катастроф “Защита”, 1998. 124 с.
11. Александров А.А., Ларионов В.И., Суцев С.П. Единая методология анализа риска чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2015. № 1. С. 112–130.

## REFERENCES

- [1] Sobolev G.A., ed. Otsenka seysmicheskoy opasnosti i seysmicheskogo riska [Evaluation of seismic danger and seismic risk]. Moscow, Tsentr BSTS Publ., 1997. 54 p.
- [2] Larionov V.I. Zakony razrusheniya zdaniy. Analiz seysmicheskogo riska, spasenie i zhizneobespechenie naseleniya pri katastroficheskikh zemletryaseniyyakh (seysmicheskie, metodologicheskie i metodicheskie aspekty) [Principles of damages to buildings. Analysis of seismic risk, life-saving and life-support at catastrophic earthquakes (seismic, methodological, and methodical aspects)]. Part. 1. Shoygu S.K., ed. Moscow, GK RF po GOChS, Institut Litosfery RAN Publ., 1992, pp. 157–176.
- [3] Shebalin N.V. Metody ispol'zovaniya inzhenerno-seysmologicheskikh dannykh pri seysmicheskom rayonirovani. Seysmicheskoe rayonirovanie SSSR [Methods to use engineering-seismologic data at seismic zoning]. Moscow, Nauka Publ., 1968, pp. 95–121.
- [4] Komplekt kart OSR-97-A, V, S i drugie materialy dlya Stroitel'nykh norm i pravil – SNiP “Stroitel'stvo v seysmicheskikh rayonakh”. Moscow, OIFZ Publ., 1998.
- [5] Novyy katalog sil'nykh zemletryaseniy na territorii SSSR [New catalogue of strong earthquakes on the USSR territory]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 535 p.

- [6] Shebalin N.V., Ershov I.A., Shestoporov G.S. Uluchshenny variant shkaly seismicheskoy intensivnosti (MMSK-86) na baze shkal MSK-64 i MSSSS-73 (zaklyuchitel'nyy) [Improved version of the seismic activity scale (MMSK-86) based on the scales MSK-64 and MCCCC-73 (final version)]. Moscow, MSSSS, IFZ Publ., 1986. 61 p.
- [7] Kotlyarevskiy V.A., Larionov V.I., Sushchev S.P., ed. Entsiklopediya bezopasnosti: stroitel'stvo, promyshlennost', ekologiya. V 3 t. T. 1. Avaryynnyy risk. Vzryvnye i udamnye vozdeystviya [Encyclopedia of safety: building, industry, ecology. In 3 vol. Vol. 1. Accidental risk. Explosion and Shock Actions]. Moscow, Nauka Publ., 2005. 696 p.
- [8] Larionov V.I., Frolova N.I. Osobennosti otsenki uyazvivosti dlya seismicheskikh vozdeystviy. Prirodnye opasnosti Rossii: Monografiya Rossiyskoy akademii nauk. V 6 t. T. 6. Otsenka i upravlenie prirodnyimi riskami [Features of vulnerability evaluation for seismic forces. Natural hazards in Russia: Monograph of the Russian Academy of Sciences. In 6 vol. Vol. 6. Natural risks estimation and control]. Moscow, KRUK Publ., 2003, pp. 120–130.
- [9] Kotlyarevskiy V.A., Larionov V.I., Sushchev S.P., ed. Entsiklopediya bezopasnosti: stroitel'stvo, promyshlennost', ekologiya. V 3 t. T. 3. Seysmostoykost' i teplozashchita sooruzheniy [Encyclopedia of safety: building, industry, ecology. In 3 vol. Vol. 3. Seismic stability and thermal protection of constructions]. Moscow, ASVPubl., 2010. 640 p.
- [10] Shoygu S.K., Goncharov S.F., Lobanov G.P. Zemletryaseniya: zakonomernosti formirovaniya i kharakteristika poter' naseleniya [Earthquakes: formation mechanism, characteristics of civilian casualties]. Moscow, Vserossiyskiy tsentr meditsiny i katastrof "Zashchita" Publ., 1998. 124 p.
- [11] Aleksandrov A.A., Larionov V.I., Sushchev S.P. United methodology of the risk analysis for man-caused and natural emergency situations. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2015, no. 1, pp. 112–130 (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 12.10.2014

Александров Анатолий Александрович — д-р техн. наук, профессор, ректор МГТУ им. Н.Э. Баумана, заведующий кафедрой “Экология и промышленная безопасность”. Автор более 100 научных работ в области ресурсо- и природосбережения при хранении и транспортировке жидкого углеводородного топлива с использованием криогенной техники, теории рисков, механики разрушения, промышленной безопасности и эксплуатации опасных производственных объектов.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Aleksandrov A.A. — Dr. Sci. (Eng.), professor, Rector of the Bauman Moscow State Technical University, head of “Ecology and Industrial Safety” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 100 publications in the field of resources and nature conservation during storage and transportation of liquid hydrocarbon fuel using cryogenic technology, theory of risks, fracture mechanics, industrial safety and exploitation of dangerous production objects.

Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Ларионов Валерий Иванович — д-р техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе Научно-образовательного центра исследований экстремальных ситуаций МГТУ им. Н.Э. Баумана, заведующий лабораторией сейсмического риска сейсмологического центра Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН).

Автор более 200 научных работ в области теории рисков и промышленной безопасности потенциально опасных объектов.

ИГЭ РАН, Российская Федерация, 101000, Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Larionov V.I. — Dr. Sci. (Eng.), professor, deputy director of the Scientific and Educational Center Extreme Situations Research of the Bauman Moscow State Technical University, head of the seismic risk laboratory in the seismological center of Sergeev Institute of Environmental Geoscience of the Russian Academy of Sciences. Author of more than 200 publications in the field of theory of risks and industrial safety of potentially dangerous objects.

Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences, Ulanskiy per. 13, build. 2, Moscow, 101000 Russian Federation.

Сущев Сергей Петрович — д-р техн. наук, профессор кафедры “Экология и промышленная безопасность” МГТУ им. Н.Э. Баумана, генеральный директор ООО “ЦИЭКС”. Автор более 100 научных работ в области теории рисков, механики разрушения, промышленной безопасности и эксплуатации опасных производственных объектов.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

ООО “ЦИЭКС”, Российская Федерация, 109028, Москва, Подколокольный пер., д. 16/2.

Sushchev S.P. — Dr. Sci. (Eng.), professor of “Ecology and Industrial Safety” department of the Bauman Moscow State Technical University, director of Extreme Situations Research Center (ESRC). Author of more than 100 publications in the field of theory of risks, fracture mechanics, industrial safety and exploitation of dangerous production objects.

Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Extreme Situations Research Center, Podkolokol'nyy per. 16/2, Moscow, 109028 Russian Federation.

Фролова Нина Иосифовна — канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник сейсмологического центра Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН). Автор около 70 научных работ в области оценки и управления сейсмическим и природным риском.

ИГЭ РАН, Российская Федерация, 101000, Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2.

Frolova N.I. — Cand. Sci. (Phys.-Math.), leading researcher of the seismological center of Sergeev Institute of Environmental Geosciences, Russian Academy of Sciences. Author of about 70 publications in the field of seismic and natural risk assessment and management. Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences, Ulanskiy per. 13, build. 2, Moscow, 101000 Russian Federation.

Гумеров Рустам Анрикович — программист ООО “ЦИЭКС”. Специализируется в области промышленной безопасности объектов нефтяной и газовой индустрии.

ООО “ЦИЭКС”, Российская Федерация, 109028, Москва, Подколокольный пер., д. 16/2.

Gumerov R.A. — programmer of Extreme Situations Research Center (ESRC). Specializes in the field of industrial safety of objects of oil and gas industry.

Extreme Situations Research Center, Podkolokol'nyy per. 16/2, Moscow, 109028 Russian Federation.