

УДК 614.8

Опасные геофизические явления и процессы как источники чрезвычайных ситуаций природного характера: модель среднесрочного прогнозирования землетрясений

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2022.19.1.71

© Технологии гражданской безопасности, 2022

В.А. Акимов, М.В. Бедило, Е.О. Иванова

Аннотация

В статье представлено формализованное описание наиболее катастрофичной для Российской Федерации природной чрезвычайной ситуации геофизического характера – землетрясения, то есть внезапного движения блоков литосферы Земли разного размера, которое генерирует сейсмические волны внутри Земли и сотрясает ее поверхность.

Ключевые слова: опасное геофизическое явление или процесс; чрезвычайная ситуация природного характера; землетрясение; модель среднесрочного прогнозирования землетрясений; магнитуда землетрясения; параметры сейсмического воздействия землетрясения.

Dangerous Geophysical Phenomena and Processes as Sources of Natural Emergencies: a Model for Medium-Term Earthquake Forecasting

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2022.19.1.71

© Civil Security Technology, 2022

V. Akimov, M. Bedilo, E. Ivanova

Abstract

The article presents formalized description of the most catastrophic for the Russian Federation natural emergency of geophysical nature — an earthquake, that is, a sudden movement of different sizes blocks of the Earth's lithosphere, which generates seismic waves inside the Earth and shakes its surface.

Key words: dangerous geophysical phenomenon or process; natural emergency; earthquake; medium-term earthquake forecasting model; earthquake magnitude; earthquake seismic impact parameters.

08.02.2022

Согласно [1] «источниками природных чрезвычайных ситуаций (ЧС) являются опасные природные явления и процессы, к которым относятся и опасные геофизические явления и процессы, такие как: землетрясение, вулкан, обвал, оползень, карст. Среди них наиболее катастрофичными (по количеству погибших, пострадавших людей и материальному ущербу) являются землетрясения» [2, 3].

«В Российской Федерации сейсмоактивные зоны охватывают обширные районы Дальнего Востока, Забайкалья, Северного Кавказа, где интенсивность землетрясений может достигать девяти баллов» [4, 5].

«Поражающими факторами при землетрясениях являются прежде всего механические воздействия колебаний земной поверхности и трещины. Движение почвы крайне редко является причиной человеческих жертв. Главными причинами несчастных случаев и гибели людей являются вторичные факторы землетрясения: повреждения и разрушения зданий и сооружений, осыпания битых стекол, падение разорванных электропроводов, взрывы и пожары, связанные с утечкой газа из поврежденных труб, а также неконтролируемые действия людей, вызванные испугом и паникой» [6, 7].

«К 1980-м годам литосфера Земли была признана сложной иерархически нелинейной самоорганизованной диссипативной системой с критическими фазовыми переходами через наиболее сильные землетрясения» [8, 9].

Успешное прогнозирование катастрофических землетрясений подразумевает последовательное пошаговое определение, позволяющее сузить временной интервал, область местоположения и диапазон магнитуд готовящегося землетрясения.

В [10] для прогнозирования таких ЧС предложены методы статистической обработки данных, основанные на теореме Байеса. Разработан проект соответствующего национального стандарта [11], который содержит описание процессов формирования априорной информации для прогнозирования землетрясений на контролируемой территории.

«Магнитуду землетрясения (M) по инструментальным данным, полученным по поверхностным волнам (M_s), следует определять, исходя из условий:

$$M = \begin{cases} M_s, & \text{при } h \leq 70 \\ M_s + 0,8, & \text{при } h > 70 \end{cases}, \quad (1)$$

где:

h — глубина эпицентра землетрясения, км;
 M_s — магнитуда землетрясения по шкале Рихтера.

Для расчетов параметров сейсмического воздействия землетрясения необходимо осуществить разбивку территорий населенных пунктов на однородные по площадным характеристикам площадки в виде регулярной сетки сейсморайона. Значения координат площадок принимаются равными значениям координат их центров (x, y).

Тогда вероятность попадания случайной величины интенсивности I на отрезок (I_{\min}, I_{\max}) определяется по формуле:

$$P(I_{\min} < I < I_{\max}) = \int_{I_{\min}}^{I_{\max}} f(I) dI. \quad (2)$$

Функцию распределения случайной величины $F(x, y, I)$ следует вычислять по формуле:

$$F(x, y, I) = \int_{-\infty}^I f(x, y, I) dI. \quad (3)$$

Полученный параметр интенсивности (I) для каждой площадки (ячейки матрицы регулярной сетки) с координатами (x, y) подлежит оценке в модели среднесрочного прогнозирования землетрясений» [12].

Вероятность поражения населения в пределах площадки (ячейки матрицы регулярной сетки сейсморайона) от сотрясений различной интенсивности следует определять по формуле:

$$P(x, y) = \int_{I_{\min}}^{I_{\max}} P(I) f(x, y, I) dI, \quad (4)$$

где:

I_{\min}, I_{\max} — минимально и максимально возможная интенсивность сотрясений в пределах площадки;

$P(I)$ — вероятность поражения населения при повреждении зданий землетрясением интенсивностью I в каждой площадке. Допускается использовать один преобладающий тип $P(I)$ для одной площадки (см. таблицу);

$f(x, y, I)$ — плотность распределения случайной величины I в точке с координатами (x, y).

В этом случае, количество людей в пределах площадки (ячейки матрицы регулярной сетки сейсморайона) определяется по формуле:

Таблица

Вероятность поражения людей при различных степенях повреждения зданий

Структура потерь населения	Вероятность поражения людей при степени повреждения зданий				
	Косметические повреждения зданий (1 степень)	Легкие разрушения зданий (2 степень)	Средние разрушения зданий (3 степень)	Сильные разрушения зданий (4 степень)	Полные разрушения зданий (5 степень)
	d = 1	d = 2	d = 3	d = 4	d = 5
Повреждения зданий					
	Легкие	Умеренные	Тяжелые поражения	Разрушения	Обвалы
Общие	0	0,01	0,11	0,6	0,97
Безвозвратные	0	0	0,02	0,23	0,6
Санитарные	0	0,01	0,09	0,37	0,37

$$N(x, y) = \psi(x, y) \Delta x \Delta y, \quad (5)$$

где:

$\psi(x, y)$ — плотность населения в пределах площадки (ячейки матрицы регулярной сетки сейсморайона), чел./км²;

$\Delta x, \Delta y$ — размеры площадки (ячейки матрицы регулярной сетки сейсморайона).

Математическое ожидание потерь среди населения в пределах площадки (ячейки матрицы регулярной сетки сейсморайона) ($M[N_j(x, y)]$) следует определять по формуле:

$$M[N_j(x, y)] = P_{Cj}(x, y) N(x, y), \quad (6)$$

где:

$P_{Cj}(x, y)$ — среднearифметическое значение вероятности разрушений всех типов зданий на каждой площадке.

Математическое ожидание потерь среди населения в целом по сейсморайону ($M_{(N_j)}^{пл}$) определяется по формулам (7) или (8):

$$M_{(N_j)}^{пл} = \int_1^n \int_{S_{пл}} P_{Cj}(x, y) \psi(x, y) dx dy, \quad (7)$$

где:

$S_{пл}$ — площадь площадки (ячейки матрицы регулярной сетки сейсморайона), км²;

N_j — численность населения в пределах площадок (ячеек матрицы регулярной сетки сейсморайона), чел.;

n — количество площадок (ячеек матрицы регулярной сетки сейсморайона).

$$M_{(N_j)}^{пл} = \iint_{S_{сп}} \int_{I_{мин}}^{I_{макс}} P_{Cj}(I) \cdot f(x, y, I) \cdot \psi(x, y) dI dx dy, \quad (8)$$

где:

$S_{сп}$ — площадь сейсморайона, км².

Математическое ожидание числа зданий со степенью повреждения (d_i) на каждой площадке (ячейке

матрицы регулярной сетки сейсморайона) для определенного типа зданий следует определять по формуле:

$$M_{(V_{d_i})}^{пл} = \iint_{S_{сп}} \int_{I_{мин}}^{I_{макс}} P_{d_i}(I) \cdot f(x, y, I) \cdot \varphi_i(x, y) dI dx dy, \quad (9)$$

где:

$\varphi_i(x, y)$ — количество зданий i -го типа, приходящих к единице площадки (ячейки матрицы регулярной сетки сейсморайона) с координатами x, y , ед./км²;

d_i — степень разрушений зданий, принимает значения d_4 и d_5 .

Вероятность получения зданиями сильных и полных разрушений определяется по формулам:

$$P_4(I) = M_{(V_{d_4})}^{пл} / V_i; \quad (10)$$

$$P_5(I) = M_{(V_{d_5})}^{пл} / V_i, \quad (11)$$

где:

$$M_{(V_{d_4})}^{пл}, M_{(V_{d_5})}^{пл} —$$

математические ожидания числа зданий рассматриваемого типа на каждой площадке, получивших соответственно, 4 и 5 степени повреждений, по формуле (9);

V_i — общее число зданий рассматриваемого i -го типа на каждой площадке (ячейке матрицы регулярной сетки сейсморайона).

Таким образом, в данной статье рассмотрено формализованное описание наиболее катастрофичной для Российской Федерации природной чрезвычайной ситуации геофизического характера — землетрясения. Наиболее катастрофичные для Российской Федерации природные чрезвычайные ситуации гидрологического и метеорологического характера описаны в [13, 14].

Литература

1. ГОСТ Р 22.0.03-2020. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.
2. Акимов В. А., Олтян И. Ю., Иванова Е. О. Методика ранжирования чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биолого-социального характера по степени их катастрофичности // Технологии гражданской безопасности. 2021. № 1 (67). С. 4–7.
3. Акимов В. А., Олтян И. Ю., Иванова Е. О. Ранжирование чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера по социально-экономическим показателям их катастрофичности // Материалы V МНПК по ГО. Ч. IV. М.: Академия ГПС МЧС России, 2021. С. 199–204.
4. Россия в борьбе с катастрофами. Кн. 1. IX–XIX века. М.: Деловой экспресс, 2007. 288 с.
5. Россия в борьбе с катастрофами. Кн. 2. XX–начало XXI века. М.: Деловой экспресс, 2007. 272 с.
6. Акимов В. А. Приложения общей теории безопасности к исследованию чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биолого-социального характера // Технологии гражданской безопасности. 2021. Т. 18 (спецвыпуск). С. 12–27.
7. Акимов В. А., Бедило М. В., Суцев С. П. Исследование чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биолого-социального характера современными научными методами. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2021. 180 с.
8. Акимов В. А., Диденко С. Л., Смирнов А. С. Научные основы общей теории безопасности жизнедеятельности / Под ред. А. П. Чуприяна / МЧС России. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2019. 252 с.

9. Арсеньев С. А. Землетрясения с точки зрения теории катастроф // Триггерные эффекты в геосистемах: Материалы IV Всероссийской конференции с международным участием / Под ред. В. В. Адушкина, Г. Г. Кочаряна. М.: ООО «Издательство ГЕОС», 2017. С. 52–59.
10. Отчет о НИОКР «Разработка единых стандартов, функциональных, технических требований и прогнозно-аналитических решений аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» с требуемым нормативно-правовым и методическим обеспечением». Формирование научно-технической основы по предметной области АПК «Безопасный город» по теме: Прогнозные и аналитические модели по основным видам угроз, описанным в концепции. 2 очередь. Кн. 4. Общее описание типовой прогнозной и аналитической модели. ООО НЦИ, 2021. 66 с.
11. ГОСТ Р 22.1.XX–202X. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Безопасный город. Прогнозирование землетрясений. Общие требования.
12. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ и обеспечение защищенности от чрезвычайных ситуаций. М.: МГОФ «Знание», 2021. 500 с.
13. Акимов В. А., Бедило М. В., Суцев С. П. Опасные гидрологические явления и процессы как источники чрезвычайных ситуаций природного характера: вербальная модель // Технологии гражданской безопасности. 2021. № 4 (70). С. 4–8.
14. Акимов В. А., Бедило М. В., Суцев С. П. Опасные метеорологические явления и процессы как источники чрезвычайных ситуаций природного характера: вербальная модель // Технологии гражданской безопасности. 2021. № 4 (70). С. 14–18.

Сведения об авторах

Акимов Валерий Александрович: д. т. н., проф., засл. деятель науки РФ, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), г. н. с. института. Москва, Россия.
e-mail: akimov@vniigochs.ru
SPIN-код: 8120-3446.

Бедило Максим Владимирович: к. в. н., доц., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), начальник института. Москва, Россия.
e-mail: mbedilo@vniigoch.ru
SPIN-код: 5524-2038.

Иванова Екатерина Олеговна: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), с. н. с. науч.-исслед. центра. Москва, Россия.
e-mail: fleurdelys-ket@yandex.ru
SPIN-код; 5483-4886.

Information about authors

Akimov Valery A.: ScD (Technical Sc.), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Chief Researcher of the Institute. Moscow, Russia.
e-mail: akimov@vniigochs.ru
SPIN-scientific: 8120-3446.

Bedilo Maxim V.: Ph.D. (Military Sc.), Assistant professor, All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Head of the Institute. Moscow, Russia.
e-mail: mbedilo@vniigoch.ru
SPIN-scientific: 5524-2038.

Ivanova Ekaterina O.: All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Senior Researcher, Research Center. Moscow, Russia.
e-mail: fleurdelys-ket@yandex.ru
SPIN-scientific: 5483-4886.

Издания ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

Авторы, название	URL
<i>Акимов В.А. и др.</i> Нелинейная наука для исследования аварий, катастроф и стихийных бедствий	https://elibrary.ru/item.asp?id=45040288
<i>Авдеева В. Г. и др.</i> Развитие системы оказания помощи пострадавшим в дорожно-транспортных происшествиях на современном этапе: опыт, проблемы, перспективы	https://elibrary.ru/item.asp?id=44621912
<i>Гуренков А.С. и др.</i> Сборник лекционных материалов для проведения занятий с дежурно-диспетчерским персоналом единых дежурно-диспетчерских служб муниципальных образований	https://elibrary.ru/item.asp?id=44805322
<i>Сосунов И.В. и др.</i> Настольная книга (пособие) председателя комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности	https://elibrary.ru/item.asp?id=32546511
<i>Батырев В.В. и др.</i> Средства коллективной защиты. Оценка эффективности и качества защиты населения в чрезвычайных ситуациях	https://elibrary.ru/item.asp?id=35283773
<i>Кусилов В.К. и др.</i> Информационно-аналитический бюллетень об организации деятельности территориальных органов МЧС России в области реагирования пожарно-спасательных подразделений на дорожно-транспортные происшествия в субъектах Российской Федерации в 2017 году	https://elibrary.ru/item.asp?id=35367271
Основные результаты развития и совершенствования МЧС России в 2012–2018 годах: Фотокнига	https://elibrary.ru/item.asp?id=35201457
Настольная книга руководителя гражданской обороны. Изд. 6-е, актуализ. и дополн.	https://elibrary.ru/item.asp?id=35027110
<i>Разумов В.В. и др.</i> Масштабы и опасность наводнений в регионах России	https://elibrary.ru/item.asp?id=35108092
<i>Шапошников С.В. и др.</i> История войсковой части 54277. Изд. 2-е, доп. и перераб.	https://elibrary.ru/item.asp?id=35556236
<i>Акимов В. А.</i> Общая теория безопасности жизнедеятельности в современной научной картине мира	https://elibrary.ru/item.asp?id=36813168
<i>Сосунов И.В. и др.</i> Проблемные вопросы разработки перечня мероприятий по гражданской обороне, мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в составе проектной документации объектов капитального строительства. Монография	http://elibrary.ru/item.asp?id=28414015