

В.А. Минаев¹
 А.О. Фаддеев²
 А.В. Абрамова³
 С.А. Павлова⁴

V.A. Minaev
 A.O. Faddeev
 A.V. Abramova
 S.A. Pavlova

**ОБОБЩЕННАЯ ВЕРОЯТНОСТНАЯ
 МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ
 УСТОЙЧИВОСТИ СРЕДЫ
 ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ
 ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**GENERALIZED PROBABILISTIC
 ESTIMATING MODEL
 OF GEODYNAMIC STABILITY
 ENVIRONMENT OF NATURAL AND
 TECHNICAL TERRITORIAL SYSTEMS**

В статье предпринята попытка постановки и решения задачи оценки и прогнозирования геодинамической устойчивости среды распределенной природно-технической системы на основе обобщенной вероятностной модели, в явном виде учитывающей распределение на исследуемой территории тектонических разломных нарушений и других неоднородностей геологической среды.

In the article the authors attempt to formulate and solve the problem of estimating and predicting the stability of the geodynamic environment of distributed natural-technical system based on the generalized probabilistic model that takes into account the distribution in the study area of tectonic fault violations and other irregularities of the geological environment.

Ключевые слова: оценка, прогнозирование, вероятностная модель, геодинамические риски, тектонические нарушения, неоднородности геологической среды.

Keywords: estimating, prediction, probabilistic model, geodynamic risks, tectonic faults, heterogeneity of the geological environment.

Введение

Вероятностные модели оценки геодинамического риска, как показано в работах [1–3], в последнее время приобретают все большую теоретическую и практическую значимость. Подобные модели наглядно демонстрируют вероятность геодинамического риска не для какой-либо территории (региона, распределенной природно-технической системы – РПТС) в целом, а характеризуют «точечно-площадную» вероятность такого риска, т.е. риска для территорий и объектов относительно малой протяженности. Рассмотрим особенности построения вероятностной

модели оценки геодинамической устойчивости среды РПТС.

Вероятностная модель оценки геодинамической устойчивости среды

Предположим, что последовательность геодинамических состояний среды некоторой достаточно протяженной РПТС представляет собой поток однородных событий, который удовлетворяет условиям независимости, однородности и ординарности, т.е. представляет собой так называемый простейший поток.

¹ Доктор технических наук, профессор, профессор НОУ ВПО «Российский новый университет».

² Доктор технических наук, доцент, профессор Академии права и управления ФСИН России.

³ Преподаватель кафедры информационно-технического обеспечения Дальневосточного юридического института МВД России.

⁴ Преподаватель кафедры математики и информационных технологий управления экономического факультета Академии ФСИН России.

Действительно, учитывая геологический генезис геодинамических рисков, возникающих в среде РПТС, в первом приближении мы можем допустить, что число проявлений опасных геодинамических процессов в каждом из двух произвольно взятых, одинаковых по длительности и следующих друг за другом временных интервалов $[a, b]$ и $[c, d]$ не зависят друг от друга [1]. Из той же геологической природы рассматриваемых нами геодинамических рисков следует, что

вероятность реализации подобных опасностей в течение временного интервала $[a, b]$ совпадает с вероятностью реализации этих опасностей в течение временного интервала $[c, d]$, что фактически означает соблюдение условия однородности. Если же за один и тот же бесконечно малый промежуток времени реализуются две геодинамические опасности, то в геофизическом смысле энергетически они рассматриваются как одно событие, т.е. выполняется и условие ординарности.

Обозначая через $P_k(t)$ вероятность того, что в течение некоторого промежутка времени длительности t к процессу реализации различных геодинамических состояний среды РПТС будут предъявлены k требований (различных геодинамических процессов), а также учитывая, что эта вероятность не зависит ни от выбора системы отсчета, ни от предыстории РПТС, мы можем однозначно построить формулы для определения вероятностей $P_k(t)$ [2–3].

Для построения таких формул в работах [1–3] определяются так называемые геодинамические состояния среды РПТС.

Предположим, что в некоторый момент времени t_0 геосреда РПТС обладает некоторым энергетическим параметром геодинамических процессов (ГП) E_0 , количественно характеризующим их энергию.

Тогда **состоянием 1** назовем такое состояние геосреды РПТС, при котором $\Delta E_1 = E_1 - E_0 \rightarrow 0$, т.е. геосреда РПТС находится в равновесном устойчивом состоянии (E_1 – энергетический параметр ГП в среде РПТС в момент времени t_1).

Состоянием 2 назовем состояние геосреды РПТС, при котором среда находится в неустойчивом неравновесном состоянии, т.е. $\Delta E_2 = E_2 - E_1 \neq 0$ (E_2 – энергетический параметр ГП в среде РПТС в момент времени t_2).

И **состоянием 3** назовем квазиравновесное состояние геосреды РПТС, при котором $\Delta E_3 = E_3 - E_1 \neq 0$, причем $\Delta E_1 < \Delta E_3 \ll \Delta E_2$ (E_3 – энергетический параметр ГП в среде РПТС в момент времени t_3).

Указанные состояния и переходы среды РПТС между ними графически представлены на рис. 1.

Величины α_{ij} (где $i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3$) физически отражают суммарное воздействие энергетических параметров процессов, окончание которых приводит к непосредственному переходу геосреды из состояния i в состояние j (рис. 1).

В таком случае изменения вероятностей $p_1(t)$, $p_2(t)$, $p_3(t)$ нахождения среды РПТС в состояниях 1, 2, 3, с учетом всего вышеизложен-

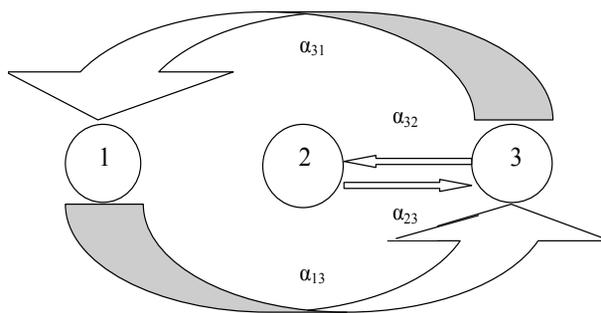


Рис. 1. Схема взаимопереходов геологической среды РПТС между состояниями 1, 2, 3

ного, будут описываться следующей системой дифференциальных уравнений Колмогорова:

$$\begin{cases} p_1'(t) = -\alpha_{13}p_1(t) + \alpha_{31}p_3(t), \\ p_2'(t) = -\alpha_{23}p_2(t) + \alpha_{32}p_3(t), \\ p_3'(t) = \alpha_{13}p_1(t) + \alpha_{23}p_2(t) - (\alpha_{31} + \alpha_{32})p_3(t). \end{cases} \quad (1)$$

Матрица коэффициентов системы (1) $\forall \alpha_{ij}$ является вырожденной, поэтому для ее разрешения любое из ее уравнений (например, третье) заменим условием нормировки, т.е. условием $p_1(t) + p_2(t) + p_3(t) = 1$. Тогда система уравнений (1) переписется в виде:

$$\begin{cases} -\alpha_{13}p_1(t) + \alpha_{31}p_3(t) = p_1'(t), \\ -\alpha_{23}p_2(t) + \alpha_{32}p_3(t) = p_2'(t), \\ p_1(t) + p_2(t) + p_3(t) = 1. \end{cases} \quad (2)$$

Поскольку геодинамические процессы протекают в среде РПТС в течение достаточно длительного времени, то имеет смысл говорить о предельном поведении вероятностей $p_i(t)$ при $t \rightarrow \infty$ [2].

Предполагая для среды РПТС существование предельных (финальных) вероятностей состояний 1, 2, 3, т.е. существование вероятностей $p_i = \lim_{t \rightarrow \infty} p_i(t)$, не зависящих от того, в каком состоянии i среда находилась в условный начальный момент времени, мы можем также предположить установление в среде РПТС предельного стационарного режима, при котором она переходит из состояния в состояние, но вероятности состояний p_i уже не меняются во времени.

В таком случае финальные вероятности состояния среды РПТС находятся из решения системы линейных алгебраических уравнений, получаемых из дифференциальных уравнений Колмогорова. Для этой цели необходимо приравнять производные вероятностей к нулю, а вероятностные функции состояний $p_i(t)$ в правых частях уравнений Колмогорова заменить на неизвестные финальные вероятности p_i [2]:

$$\begin{cases} -\alpha_{13}p_1 + \alpha_{31}p_3 = 0, \\ -\alpha_{23}p_2 + \alpha_{32}p_3 = 0, \\ p_1 + p_2 + p_3 = 1. \end{cases} \quad (3)$$

Определитель матрицы коэффициентов системы (3) отличен от нуля $\forall \alpha_{ij}$, поэтому система уравнений (3) имеет единственное решение, а именно:

$$\begin{cases} p_1 = \frac{\alpha_{23}\alpha_{31}}{\alpha_{13}\alpha_{23} + \alpha_{13}\alpha_{32} + \alpha_{23}\alpha_{31}}, \\ p_2 = 1 - \frac{\alpha_{13} + \alpha_{31}}{\alpha_{31}} p_1, \\ p_3 = 1 - p_1 - p_2. \end{cases} \quad (4)$$

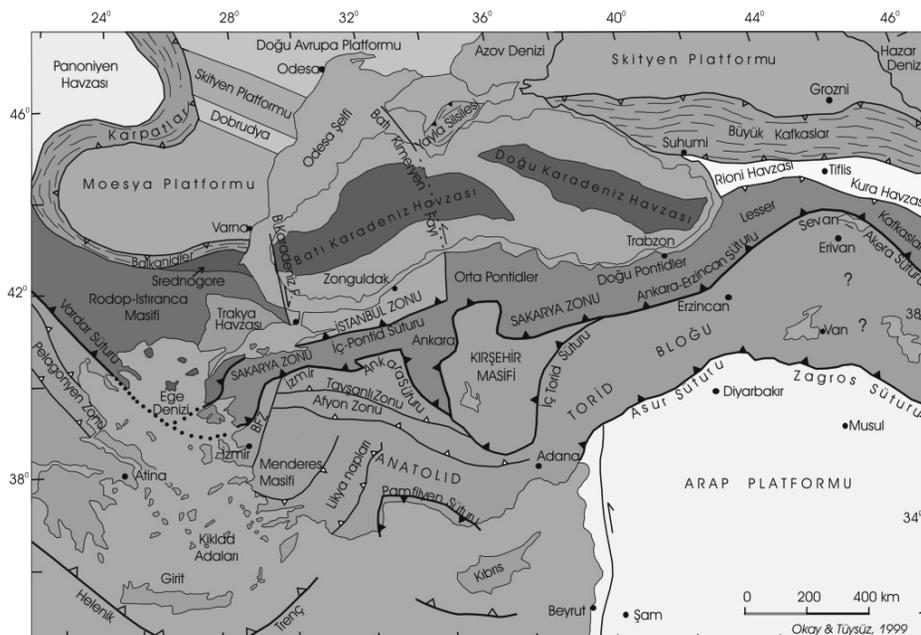


Рис. 2. Тектоническая карта территории Турции и прилегающих к ней государств

По рассчитанным таким образом вероятностям нахождения среды в работах [1–5] были построены оценочно-прогностические карты эквипотенциального распределения показателя комплексного риска ЧС геодинамического характера для различных РПТС.

Существенным недостатком подобной модели, на наш взгляд, является то, что она не учитывает в явном виде геологических неоднородностей среды РПТС (например, см. рис. 2 применительно к территории Турции).

Между тем, учет влияния таких неоднородностей, как тектонические разломные нарушения, является очень существенным при оценке геодинамической устойчивости среды РПТС, так как не всегда аномалии гравитационного поля соответствуют существованию тектонических разломных нарушений.

Предположим, что вдоль таких тектонических разломных нарушений идет процесс переноса сейсмодинамической энергии как после произошедшего сейсмического события, так и в период его подготовки. Тогда особую значимость при этом будет иметь учет мест пересече-

ний тектонических разломов, так называемых тектонических узлов.

То есть, для того чтобы более точно оценить геодинамическую устойчивость среды РПТС, необходимо уметь определять величину сейсмической энергии, запасенную в каком-либо объеме геосреды, величину выделившейся при сейсмическом событии энергии и величину этой энергии, переданную по системе тектонических разломов. Узлы при этом играют роль специфических «клапанных механизмов», сдерживающих или пропускающих сейсмическую энергию в том или ином направлении.

Рассмотрим в этих предположениях обобщенную вероятностную модель оценки геодинамической устойчивости среды распределенных природно-технических систем.

Обобщенная вероятностная модель

Представим упрощенно, в первом приближении, некоторую территорию (участок РПТС) в виде системы четырех узлов и соединяющих их друг с другом тектонических разломных нарушений геосреды (рис. 3). (Собственно говоря,

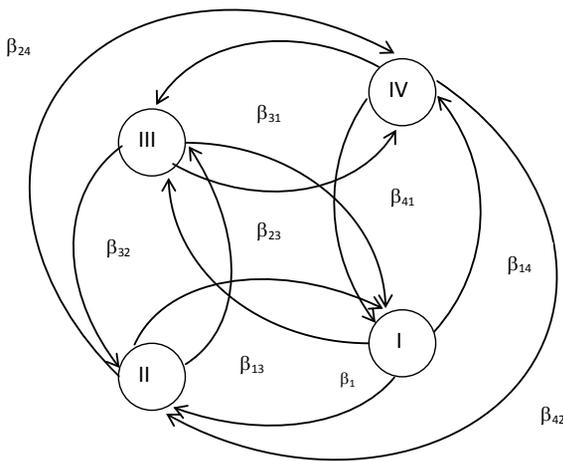


Рис. 3. Разломно-узловая тектоническая модель участка территории распределенной природно-технической системы

количество узлов может быть и значительно большим. С практической точки зрения их количество обусловлено следующими факторами. В первую очередь, число узлов зависит от тектонической неоднородности территории. Для локальных РПТС это то же самое, что и участки с повышенной трещиноватостью геологической среды. Во-вторых, важно учитывать таксонометрическую градацию территории, т.е. на каком иерархическом уровне мы выделяем отдельные блоки общей структуры геосреды РПТС. И, наконец, надо принимать во внимание общую протяженность исследуемой территории. Мы же в настоящей статье именно для упрощения описания нашего метода отвлеченно берем участок некоторой «абстрактной» территории с четырьмя узлами и соединяющими их тектоническими разломами.)

Согласно нашим модельным построениям, на первом этапе необходимо оценить вероятность события A – «передачи» сейсмодинамической энергии из узла I. Эта схема уже известна и стандартна для переходов по энергетическим состояниям 1, 2, 3, на что мы уже указывали ранее в предыдущем разделе. Передача сейсмодинамической энергии произойдет только в том случае, если будет реализовано сейсмическое событие определенного энергетического класса с вероятностью p_2 , т.е. $P(A) = p_2$.

Тогда, учитывая соотношения (2) и (3), мы можем достаточно легко найти выражение для определения вероятности события A :

$$P(A) = \frac{\alpha_{13}\alpha_{32}}{\alpha_{32}\alpha_{13} + \alpha_{23}(\alpha_{31} + \alpha_{13})} \quad (5)$$

На этом этапе необходима оценка коэффициентов интенсивности процессов α_{ij} . Эти коэф-

фициенты должны быть пронормированы, а их величины определяются на основании комплексной оценки следующих величин:

$$\alpha_{13} = E_\rho; \quad \alpha_{31} = E_\rho - D_{E\rho};$$

$$\alpha_{32} = E_\rho + \dot{u}_r + \dot{u}_z; \quad \alpha_{23} = E_\rho + \dot{u}_r + \dot{u}_z - S_E,$$

где $D_{E\rho}$ – величина рассеяния потенциальной энергии E_ρ деформируемых пород геосреды; S_E – величина сброшенной энергии при землетрясениях; $\dot{u}_r = \frac{2\mu u_r^2}{3}$, $\dot{u}_z = \frac{2\mu u_z^2}{3}$ – соответственно, обобщенные (переведенные в энергетические единицы) значения горизонтальных u_r и вертикальных u_z смещений в геологической среде.

Для оценки величины $D_{E\rho}$ необходимо знать значения модуля сдвига μ и вязкости среды η для конкретного рассматриваемого объема этой геосреды. Для оценки величины S_E необходима информация о произошедших сейсмических событиях в пределах данного объема геосреды (магнитуды, глубины залегания очага).

На втором этапе выполняется оценка вероятности события B – возможности «передачи» сейсмодинамической энергии из области I в смежные с ней области, например в области II, III, IV.

Итак, допустим, что для каждой из указанных областей известны вероятности «передачи» энергии, рассчитываемые по формулам вида:

$$P^{(k)}(A) = \frac{\alpha_{13}^{(k)}\alpha_{32}^{(k)}}{\alpha_{32}^{(k)}\alpha_{13}^{(k)} + \alpha_{23}^{(k)}(\alpha_{31}^{(k)} + \alpha_{13}^{(k)})}, \quad (6)$$

где $k = 1, \dots, 4$.

Тогда взаимодействия для данных областей будут описываться следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} p_1'(t) = \beta_{31}p_3(t) + \beta_{21}p_2(t) + \beta_{41}p_4(t) - (\beta_{13} + \beta_{12} + \beta_{14})p_1(t), \\ p_2'(t) = \beta_{12}p_1(t) + \beta_{32}p_3(t) + \beta_{42}p_4(t) - (\beta_{21} + \beta_{23} + \beta_{24})p_2(t), \\ p_3'(t) = \beta_{13}p_1(t) + \beta_{23}p_2(t) + \beta_{43}p_4(t) - (\beta_{31} + \beta_{32} + \beta_{34})p_3(t), \\ p_4'(t) = \beta_{14}p_1(t) + \beta_{24}p_2(t) + \beta_{34}p_3(t) - (\beta_{41} + \beta_{42} + \beta_{43})p_4(t), \\ p_1(t) + p_2(t) + p_3(t) + p_4(t) = 1. \end{cases} \quad (7)$$

Обозначая через $\gamma_1 = \beta_{13} + \beta_{12} + \beta_{14}$; $\gamma_2 = \beta_{21} + \beta_{23} + \beta_{24}$; $\gamma_3 = \beta_{31} + \beta_{32} + \beta_{34}$; $\gamma_4 = \beta_{41} + \beta_{42} + \beta_{43}$ и отбрасывая одно из уравнений системы (7), придем к следующей системе алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} -\gamma_1 p_1 + \beta_{21} p_2 + \beta_{31} p_3 + \beta_{41} p_4 = 0, \\ \beta_{12} p_1 - \gamma_2 p_2 + \beta_{32} p_3 + \beta_{42} p_4 = 0, \\ \beta_{13} p_1 + \beta_{23} p_2 - \gamma_3 p_3 + \beta_{43} p_4 = 0, \\ p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1. \end{cases} \quad (8)$$

Разрешая эту систему относительно неизвестных вероятностей, получим следующие рас-

четные формулы для указанных вероятностей:

$$\left\{ \begin{aligned} p_1 &= \frac{\varepsilon_1 \delta_{22} - \delta_{12} \varepsilon_2}{\delta_{11} \delta_{22} - \delta_{12} \delta_{21}}, \\ p_2 &= \frac{\varepsilon_2}{\delta_{22}} - \frac{\delta_{21}}{\delta_{22}} p_1, \\ p_3 &= \frac{\beta_{43}}{\gamma_3 + \beta_{43}} - \frac{\beta_{43} - \beta_{13}}{\gamma_3 + \beta_{43}} p_1 - \frac{\beta_{43} - \beta_{23}}{\gamma_3 + \beta_{43}} p_2, \\ p_4 &= 1 - p_1 - p_2 - p_3, \end{aligned} \right. \quad (9)$$

или в более развернутом виде для вероятностей

$$\begin{aligned} p_2 &= \frac{\varepsilon_2}{\delta_{22}} - \frac{\delta_{21}}{\delta_{22}} \cdot \frac{\varepsilon_1 \delta_{22} - \delta_{12} \varepsilon_2}{\delta_{11} \delta_{22} - \delta_{12} \delta_{21}}, \\ p_3 &= \frac{\beta_{43}}{\gamma_3 + \beta_{43}} - \frac{\beta_{43} - \beta_{13}}{\gamma_3 + \beta_{43}} \cdot \frac{\varepsilon_1 \delta_{22} - \delta_{12} \varepsilon_2}{\delta_{11} \delta_{22} - \delta_{12} \delta_{21}} - \\ &\quad - \frac{\beta_{43} - \beta_{23}}{(\gamma_3 + \beta_{43}) \delta_{22}} \left(\varepsilon_2 - \delta_{21} \cdot \frac{\varepsilon_1 \delta_{22} - \delta_{12} \varepsilon_2}{\delta_{11} \delta_{22} - \delta_{12} \delta_{21}} \right); \\ p_4 &= 1 - \frac{\varepsilon_2}{\delta_{22}} - \frac{\beta_{43}}{\gamma_3 + \beta_{43}} - \\ &\quad - \frac{\varepsilon_1 \delta_{22} - \delta_{12} \varepsilon_2}{\delta_{11} \delta_{22} - \delta_{12} \delta_{21}} \left(1 - \frac{\delta_{21}}{\delta_{22}} - \frac{\beta_{43} - \beta_{13}}{\gamma_3 + \beta_{43}} \right) + \\ &\quad + \frac{\beta_{43} - \beta_{23}}{(\gamma_3 + \beta_{43}) \delta_{22}} \left(\varepsilon_2 - \delta_{21} \cdot \frac{\varepsilon_1 \delta_{22} - \delta_{12} \varepsilon_2}{\delta_{11} \delta_{22} - \delta_{12} \delta_{21}} \right), \end{aligned}$$

где $\delta_{11} = \gamma_1 + \beta_{41} - \frac{(\beta_{41} - \beta_{31})(\beta_{43} - \beta_{13})}{\gamma_3 + \beta_{43}}$;

$$\begin{aligned} \delta_{12} &= \beta_{41} - \beta_{21} - \frac{(\beta_{41} - \beta_{31})(\beta_{43} - \beta_{23})}{\gamma_3 + \beta_{43}}, \\ \delta_{21} &= \beta_{42} - \beta_{12} - \frac{(\beta_{42} - \beta_{32})(\beta_{43} - \beta_{13})}{\gamma_3 + \beta_{43}}, \\ \delta_{22} &= \gamma_2 + \beta_{42} - \frac{(\beta_{42} - \beta_{32})(\beta_{43} - \beta_{23})}{\gamma_3 + \beta_{43}}, \\ \varepsilon_1 &= \beta_{41} - \frac{(\beta_{41} - \beta_{31})\beta_{43}}{\gamma_3 + \beta_{43}}, \\ \varepsilon_2 &= \beta_{42} - \frac{(\beta_{42} - \beta_{32})\beta_{43}}{\gamma_3 + \beta_{43}}. \end{aligned}$$

Теперь о величинах коэффициентов β_{ij} . Коэффициенты β_{ij} представляют собой вероятность «передачи» сейсмодинамической энергии из области i в область j , т.е. величины, рассчитываемые по соотношению (6). Описанная схема позволяет, по нашему мнению, установить вероятностную траекторию движения сейсмодинамической энергии (ее миграции) в геосреде вдоль тектонических разломных нарушений.

Результаты использования обобщенной вероятностной модели

В первую очередь рассмотрим результаты, полученные по обобщенной вероятностной модели для региона, в пределах которого предполагается строительство АЭС около города Гюльнар в Турции (г. Гюльнар обозначен на карте-схеме окружностью с шестью исходящими лучами) (рис. 4).

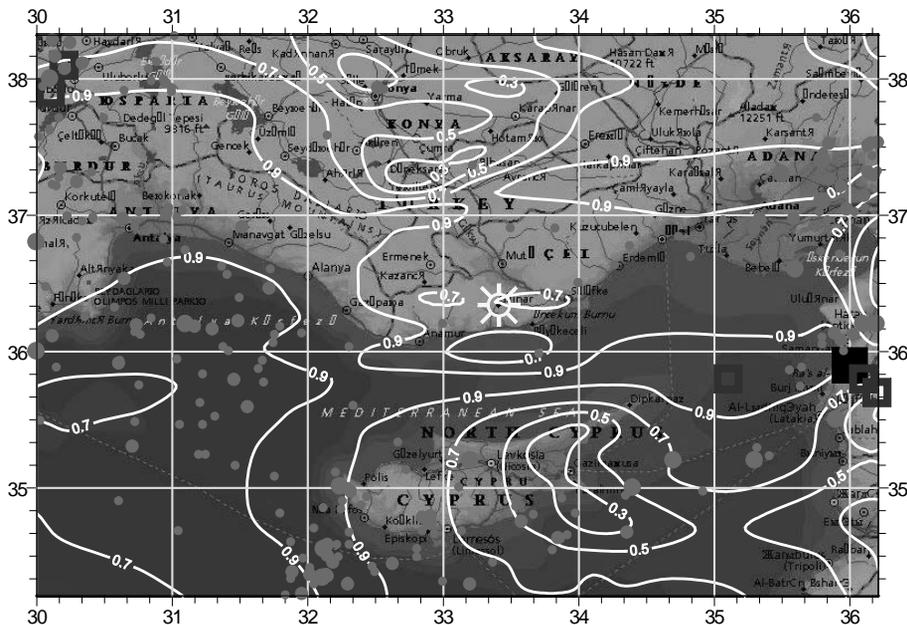


Рис. 4. Карта-схема эквипотенциального распределения вероятностного геодинамического риска (вероятностный геодинамический риск – риск, определяемый не в плане его энергетической характеристики, а в плане вероятности реализации опасного геодинамического, в нашем случае, сейсмического события) для региона предполагаемого размещения АЭС «Акку»

Области геодинамического риска оконтурены изолиниями в диапазоне от 0.1 до 0.9 с шагом значений 0.2. Кружками обозначены эпицентры уже произошедших за период времени с 528 г. по май 2010 г. в этом регионе землетрясений с магнитудами от 4 до 7 (всего 232 сейсмических события).

Незакрашенными квадратами указаны эпицентры пяти исторических высокоэнергетических землетрясений на территории, прилегающей к Турции, взяты из информационной базы Мирового центра данных по физике твердой Земли, охватывающей период с 2100 г. до н.э. по 1992 г. н.э.

Время событий, координаты и сила землетрясений следующие: 13.12.115 г. н.э. (координаты 35.°8 северной широты (с.ш.), 35.°1 восточной долготы (в.д.), магнитуда $M = 7.5$); 13.02.1404 г. н.э. (35.°7 с.ш., 36.°2 в.д., $M = 7.0$); 30.12.1408 г. н.э. (35.°8 с.ш., 36.°1 в.д., $M = 7.5$); 04.05.1875 г. н.э. (35.°1 с.ш., 30.°2 в.д., $M = 7.3$); 03.10.1914 г. н.э. (37.°9 с.ш., 30.°1 в.д., $M = 7.1$).

Черным закрашенным квадратом обозначен эпицентр катастрофического землетрясения 08.04.859 (35.°9 с.ш., 36.°0 в.д., $M = 8.0$).

Как видно на рис. 4, пространственное рас-

пределение вероятностного геодинамического риска достаточно значимо согласуется с распределением выделившейся сейсмической энергии в рассматриваемом регионе, что свидетельствует об адекватности математической модели, использованной для количественной оценки указанного риска. В окрестности г. Гюльнар (места предполагаемого строительства АЭС «Аккую») геодинамическая ситуация потенциально опасная (вероятность реализации опасных геодинамических процессов порядка 0.7).

Подобная модель была нами применена и к исследованию РПТС, включающей территорию Эквадора и части территорий сопредельных с ним государств. Исследовательский интерес к этому латиноамериканскому государству обусловлен следующим.

Северные Анды, как и вся Андийская система, относятся к сейсмически активным зонам Земли. Так, в 1949 г. в Эквадоре город Пелилео был полностью уничтожен в результате землетрясения мощностью 6,8 балла по шкале Рихтера, а в 1999 г. значительным разрушениям подверглись крупные колумбийские города Армения и Перейра.

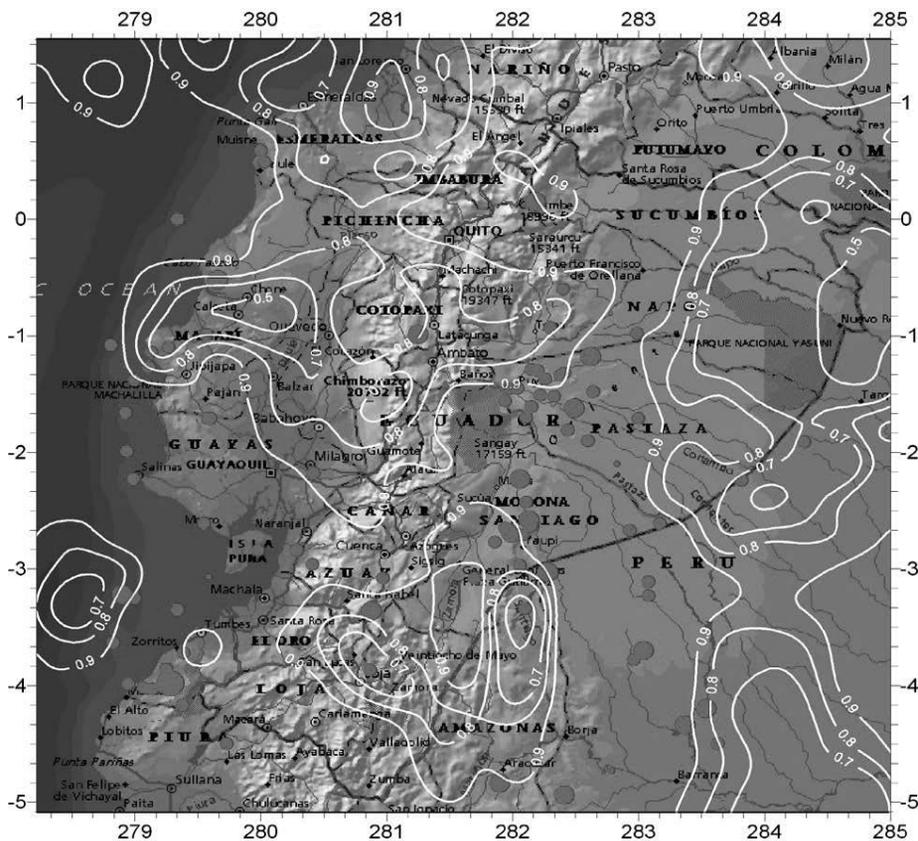


Рис. 5. Карта эквипотенциального распределения вероятностного геодинамического риска для территории Эквадора и прилегающих к нему государств с эпицентрами произошедших за период 1970–2011 гг. землетрясений

Между двумя горными цепями Эквадора расположена приподнятая до 2500–2700 м тектоническая депрессия с полосой разломов, вдоль которых поднимаются потухшие и действующие вулканы. Самые высокие из них – вулкан Пичинча (4794 м) и потухший вулкан Чимборасо (6130 м). В пределах этой тектонической депрессии на высоте 2700 м расположена столица Эквадора – Кито.

Совсем недавно вулканы заставили серьезно поволноваться население Эквадора и в особенности ее столицы – Кито. В декабре 2012 г. правительство этой небольшой латиноамериканской страны объявило в провинциях Тунгурауа и Чимборасо высокий – «оранжевый» – уровень вулканической опасности. И все из-за повышенной активности вулкана Тунгурауа, расположенного всего в 135 км от столицы. Предыдущие извержения этого вулкана были зафиксированы в апреле и августе 2012 г., а последнее крупное извержение Тунгурауа произошло семь лет назад. Тогда его жертвами стали шесть человек, все – жители расположенного у подножия горы поселка. В 1999 г. из-за извержения власти эвакуировали из опасных районов около 15 тысяч человек.

Учитывая эти последние события, нами предпринята попытка оценки геодинамической устойчивости среды территории Эквадора и прилегающих к нему государств.

На рис. 5 изображено эквипотенциальное распределение вероятностного геодинамического риска для территории Эквадора с эпицентрами произошедших за период 1970–2011 гг. землетрясений. Области, оконтуренные изолиниями со значением вероятности 0.5, определены как зоны латентно-потенциального риска; 0.7 – зоны умеренного риска; 0.8 – зоны повышенного риска; 0.9 – зоны чрезвычайной опасности.

Эта карта, с нанесенными на нее эпицентрами землетрясений, также наглядно демонстрирует эффективность и работоспособность обобщенной математической модели: эпицентры произошедших землетрясений «легли» как раз на те участки территории, которые определены по модели как наиболее опасные в геодинамическом отношении.

Еще раз подчеркнем, что карты, подобные представленным на рис. 4 и рис. 5, отражают не интегральную вероятность сейсмического риска для всего региона в целом, а именно «точечно-площадную» вероятность проявления сейсмических событий. Размеры таких «точечных» площадок зависят от линейной протяженности исследуемой территории, сводясь к территориям

порядка нескольких квадратных километров или даже сотен метров.

Заключение

Невзирая на колоссальные усилия, предпринимаемые исследователями во всем мире, точный временной прогноз землетрясений и, в особенности, катастрофических землетрясений на сегодняшний день пока остается тайной за семью печатями, поскольку динамика опасных природных явлений до сих пор не укладывалась в прокрустово ложе современной прикладной математики.

Полагаем, что небольшим вкладом в решение этой актуальнейшей проблемы является предложенная обобщенная вероятностная модель оценки геодинамической устойчивости среды распределенной природно-технической системы, позволяющая учитывать в явном виде распределение на исследуемой территории РПТС тектонических разломных нарушений и других неоднородностей геологической среды.

Дальнейшее развитие модели позволит, по нашему мнению, установить вероятностную траекторию миграции сейсмодинамической энергии, что выступает весьма значимым в прогностическом смысле результатом.

Литература

1. Минаев В.А., Фаддеев А.О. Оценки геоэкологических рисков. Моделирование безопасности туристско-рекреационных территорий. – М. : Финансы и статистика: изд. дом ИНФРА-М, 2009. – 370 с.
2. Фаддеев А.О., Данилов Р.М. Геодинамическая безопасность ландшафтно-территориальных комплексов / под ред. д.т.н., профессора В.А. Минаева : монография. – Хабаровск, 2010. – 169 с.
3. Минаев В.А., Фаддеев А.О. Вероятностная модель оценки сейсмического риска // Вестник Российского нового университета: серия «Управление, вычислительная техника и информатика» : сборник научных трудов. – М. : РосНОУ, 2009. – Вып. 2. – С. 15–24.
4. Минаев В.А., Фаддеев А.О., Данилов Р.М. Математическое моделирование рисков геодинамического происхождения // Спецтехника и связь. – 2011. – № 1. – С. 48–52.
5. Минаев В.А., Фаддеев А.О. Геоэкологические риски рекреационных зон в Байкальском регионе // Мир и безопасность. – 2007. – № 3. – С. 35–42.