

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭКОНОМИКЕ И УПРАВЛЕНИИ

В.А. Минаев¹
А.О. Фаддеев²

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

В статье предлагается оценивать и производить мониторинг крупномасштабных геодинамических систем на основе их моделирования. Приводятся примеры оценки геодинамических рисков.

Ключевые слова: безопасность, геодинамические процессы, математические модели.

V.A. Minaev
A.O. Faddeev

GEODYNAMIC MONITORING LARGE-SCALE SYSTEMS ON THE BASIS OF MATHEMATICAL MODELS

In the article it is offered to estimate and make monitoring of large-scale geodynamic systems on the basis of their modelling. Examples of an estimation of geodynamic risks are resulted.

Keywords: safety, geodynamic processes, mathematical models.

Задачи управления крупномасштабными системами, в особенности сложными распределенными природно-техническими системами, относятся к разряду задач оптимального управления стратегического характера. Отличительной особенностью управления такими системами в современных условиях является обеспечение их безопасности в условиях возможного проявления опасных природно-техногенных процессов. События, произошедшие в Японии в марте 2011 года, показали крайнюю незащищенность населения и территорий при реализации опасных природных процессов геодинамического происхождения, точнее, кульминации этих процессов – высокоэнергетических сейсмических событий.

С этой точки зрения, для обеспечения безопасности крупномасштабных систем необходим постоянный высококачественный мониторинг их геологической среды (геосреды). Такой мониторинг в настоящее время основывается либо на методах традиционного качественного описания, либо проведения исключительно приборных исследований, которые позволяют отслеживать реализацию опасных геодинамических со-

бытий в режиме реального времени, но затрудняют возможность осуществления превентивных мероприятий.

При подобном подходе остаются нерешенными такие проблемы, как неполнота информации о пространственно-временном распределении внешнего воздействия на систему и неопределенность в поведении системы. То есть мониторинг должен быть ориентирован на оценку динамики опасных геодинамических процессов посредством выявления пространственного распределения и количественной оценки зон геодинамического риска. Традиционно используемыми в настоящее время являются технологии оценки динамики опасных геодинамических процессов на основе статистических данных о пространственно-временном распределении таких процессов. А если такой статистики нет или ее недостаточно?

В этом случае, по мнению авторов, мониторинг должен обязательно включать в себя использование современных эффективных математических моделей, позволяющих превентивно количественно оценивать зоны геодинамического риска, т.е. с позиций математического моделирования возможно разрешение обеих обозначенных нами выше проблем.

Проблема неполноты информации о пространственно-временном распределении внешнего воздействия на систему решается посредством

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

² Кандидат физико-математических наук, доцент Академии ФСИН России, г. Рязань, заместитель начальника кафедры МиИТУ.

комплекса математических моделей оценки геодинамической устойчивости крупномасштабных систем, базирующихся на способе восстановления полей геодинамических и смещений, основанном на разложении аномального гравитационного поля в изостатической редукции на составляющие его зональные гармоники [1].

В таком случае распределенное внешнее воздействие $P(x, y)$, известные дискретные значения которого заданы с некоторым фиксированным шагом по осям X и Y , представляется в виде:

$$P(x, y) = \frac{p_{00}}{4} + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^s p_{m0} + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^l p_{0n} + \sum_{m=1}^s \sum_{n=1}^l p_{mn}, \quad (1)$$

где, например,

$$p_{mn} = a_{mn} \cos k_x x \cos k_y y + b_{mn} \sin k_x x \cos k_y y + c_{mn} \cos k_x x \sin k_y y + d_{mn} \sin k_x x \sin k_y y;$$

$$a_{mn} = \frac{4}{ab} \int_0^a \int_0^b p(x, y) \cos k_x x \cos k_y y dx dy;$$

$k_x = \frac{\pi m}{a}$; $k_y = \frac{\pi n}{b}$; a, b – соответственно длина (X) и ширина (Y) рассматриваемой территории;

$p(x, y)$ – величины изостатических аномалий гравитационного поля.

Тогда компоненты тензора напряжений и составляющие вектора смещений в геосреде представляются аналогичным образом, например для нормальных компонент тензора напряжений соотношением вида:

$$\sigma_\alpha(x, y, z) = \frac{1}{4} \sigma_\alpha^{(00)} + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^s \sigma_\alpha^{(m0)} + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^l \sigma_\alpha^{(0n)} + \sum_{m=1}^s \sum_{n=1}^l \sigma_\alpha^{(mn)}, \quad (2)$$

где $\alpha \in \{x, y, z\}$.

Подобный подход является весьма эффективным с экономической точки зрения, поскольку не предполагает проведения приборных исследований. Анализ рассчитанных компонент тензора напряжений и составляющих вектора смещений позволяет строить пространственно-распределенные карты-схемы возможного проявления опасностей геодинамического происхождения, на которых представлены величины относительной плотности потенциальной энергии деформируемых пород геосреды (рис. 1).

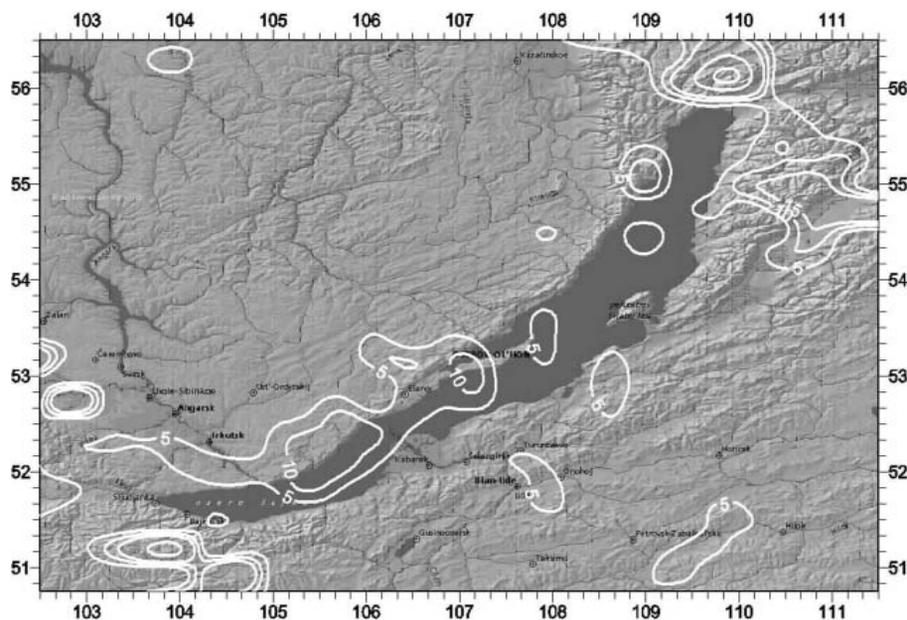


Рис. 1. Карта-схема распределения величин относительной плотности потенциальной энергии деформируемых пород геосреды на территории Байкальского региона

Для решения проблемы неопределенности в поведении систем предложен математический метод вероятностной оценки геодинамического риска [2]. Он основан на представлении возможных геодинамических состояний среды как про-

стейшего потока геодинамических событий с последующим построением системы дифференциальных уравнений Колмогорова относительно вероятности нахождения среды в этих состояниях (рис. 2).

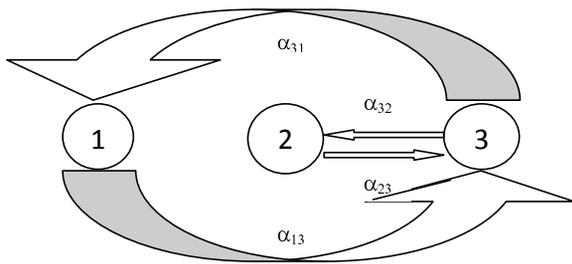


Рис. 2. Схема взаимопереходов геосреды по состояниям 1, 2, 3

При составлении системы уравнений для вероятностей $p_1(t)$, $p_2(t)$, $p_3(t)$ нахождения среды в состояниях 1, 2, 3 определяются интенсивности процессов α_{ij} (где $i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3$), физически представляющих собой сумму энергетических параметров процессов, протекающих в системе, окончание которых приводит к непосредственному переходу системы из состояния i в состояние j . Тогда изменения указанных вероятностей будут описываться следующей системой дифференциальных уравнений Колмогорова:

$$\begin{cases} p_1'(t) = -\alpha_{13}p_1(t) + \alpha_{31}p_3(t), \\ p_2'(t) = -\alpha_{23}p_2(t) + \alpha_{32}p_3(t), \\ p_3'(t) = \alpha_{13}p_1(t) + \alpha_{23}p_2(t) - (\alpha_{31} + \alpha_{32})p_3(t), \\ p_1(t) + p_2(t) + p_3(t) = 1. \end{cases} \quad (3)$$

Интенсивности процессов α_{ij} оцениваются на основе информации о величинах деформаций в геосреде, вертикальных, горизонтальных смещений в геосреде (и их градиентах), полученных по данным математического моделирования. Подобный подход позволяет строить прогнозные карты-схемы пространственного распределения комплексного геодинамического риска для систем любого масштабного уровня и целевого назначения с достоверностью выходных карт-схем 0,9 (после соотнесения расчетных прогнозных данных с распределением геодинамических (в частности, сейсмических) событий, произошедших в тестовых регионах после выполнения расчетов) (рис. 3).

К сожалению, точный прогноз высокоэнергетических опасных геодинамических событий и в особенности катастрофических землетрясений на сегодняшний день остается тайной за семью печатями. Тем не менее, авторы надеются на то, что дальнейшие их разработки в области применения методов математического моделирования и численных методов к изучению опасных геодинамических явлений позволят приблизиться к решению этой очень важной для всего человечества проблемы.

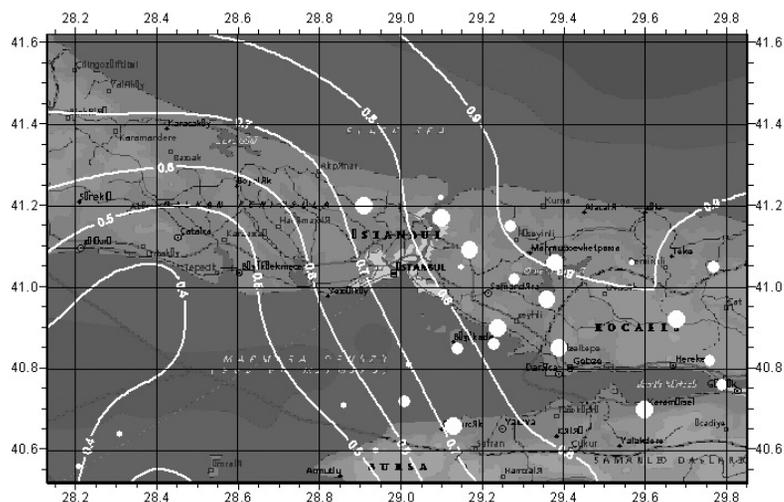


Рис. 3. Карта-схема пространственного распределения вероятностного комплексного геодинамического риска для окрестностей Стамбула с эпицентрами произошедших в 1999–2008 гг. землетрясений (с магнитудами от 3,8 и до 5,2)

Литература

1. Минаев, В.А., Фаддеев, А.О. Оценки геологических 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.