

УДК 550.34.012:621.391.19

ГЕОФИЗИКА

В. И. БУНЭ, И. Т. ТУРБОВИЧ, Б. А. БОРИСОВ, В. Г. ГИТИС,
Г. И. РЕЙСНЕР, Е. Ф. ЙОРКОВ

О МЕТОДЕ ВЫЯВЛЕНИЯ СВЯЗИ МАГНИТУДЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С ТЕКТОНИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ РАЙОНА

(Представлено академиком М. А. Садовским 10 V 1973)

Настоящая работа проведена с целью оценки возможности применения метода прогнозирования⁽¹⁾ для установления связи сейсмичности с совокупностью различных геолого-геофизических признаков. Исходные геолого-геофизические и сейсмологические данные подготовлены в Институте физики Земли АН СССР на основе ранее опубликованных материалов⁽²⁻⁵⁾; алгоритм метода разработан в Институте проблем передачи информации АН СССР.

Математические положения метода. Задача установления связи между тектоникой района и его сейсмичностью решается методом прогнозирования, который основан на применении одномерных нелинейных преобразований. Прогнозирование максимальной магнитуды землетрясений (M_{\max}) осуществляется путем нахождения прогноза в классе функций вида

$$M_{\max} = f(x_1, x_2, \dots, x_i) = Z \left(\sum_{i=1}^I \varphi_i(x_i) \right), \quad (1)$$

где $\{x_i\}$ — параметры (геологические характеристики), Z и φ_i — искомые одномерные монотонно возрастающие нелинейные функции; i — номер параметра.

Вид зависимости функции φ_i от x_i говорит о характере влияния геологического параметра x_i на величину M_{\max} в предположении неизменности остальных факторов. Введение в формулу прогноза (1) нелинейной монотонной функции Z позволяет получить прогноз величины M_{\max} в виде более сложной функции.

Только монотонные функции φ_i и Z в формуле прогноза (1) имеют физический смысл. Это ограничение резко уменьшает число степеней свободы алгоритма, что позволяет при меньшем объеме статистических данных получить более достоверные результаты.

Алгоритм нахождения функций φ_i и Z основан на аппроксимации случайной величины M (в данном случае магнитуды) функцией $f(x_1, x_2, \dots, x_i)$. В соответствии с методом наименьших квадратов неизвестные функции φ_i и Z могут быть найдены из условия минимума взвешенной среднеквадратичной ошибки аппроксимации:

$$E\{M-f\}^2 = \int \int \left\{ M - Z \left[\sum_{i=1}^I \varphi_i(x_i) \right] \right\}^2 S(M, X) P(M, X) dM dx, \quad (2)$$

где E — знак математического ожидания, X — вектор параметров с компонентами x_1, x_2, \dots, x_i , $S(M, X)$ — весовой множитель, $P(M, X)$ — совместная плотность вероятности величин M, X .

Решение этой вариационной задачи градиентным методом приводит к рекуррентному алгоритму нахождения функций φ_i и Z (6):

$$\begin{aligned} Z^{(n+1)}(y) &= Z^{(n)}(y) + \gamma^{(n)} P^{(n)}(y) E\{(M^{(n)} - Z^{(n)}) S^{(n)}/y\}, \\ \varphi_i^{(n+1)}(x_i) &= \varphi_i^{(n)}(x_i) + \gamma^{(n)} P^{(n)}(x_i) E\{g^{(n)} S^{(n)}/x_i\}, \\ g &= [M - Z(y)] \frac{\partial Z}{\partial y}, \quad y = \sum_{i=1}^I \varphi_i(x_i), \quad i=1, 2, \dots, I. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь $P(x_i)$ и $P(y)$ — одномерные плотности вероятностей, $E\{(M - Z) S/y\}$, $E\{gS/x_i\}$ — условные математические ожидания величин $(M - Z)$ и g с ве-

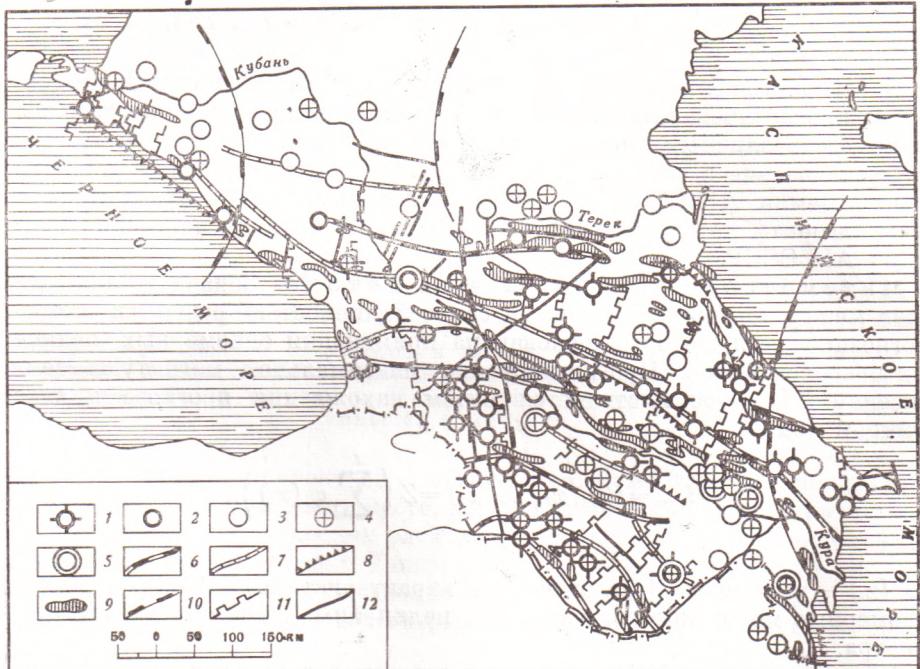


Рис. 1. Схема расположения экспериментального материала. 1—3 — категории ячеек, 4 — ячейки всех категорий, в пределах которых происходили землетрясения с магнитудой, соответствующей экспертизной оценке; 5 — ячейки всех категорий, для которых прогноз M_{max} не соответствует экспертизной оценке; 6 — зоны активных в новейшее время глубинных разломов; 7 — зоны глубинных разломов, новейшая активность которых не установлена; 8 — зоны контрастных сочленений; 9 — зоны высоких значений градиента скорости новейших тектонических движений; 10 — глубинные флексуры, ограничивающие активные в новейшее время поперечные поднятия первого порядка; 11 — границы активных в новейшее время поперечных поднятий (ступеней) более высокого порядка; 12 — активные в новейшее время разломы, в том числе связанные с вулканизмом

сом S , каждая из этих величин зависит от одного параметра; $\gamma^{(n)}$ — коэффициент, зависящий от алгоритма градиентного спуска.

Вычислительный алгоритм составлен для ЭВМ «БЭСМ-6» на языке Алгол-60.

Подготовка исходного геолого-геофизического материала. В качестве предмета геологического описания выбраны участки территории (ячейки), имеющие вид кругов с радиусом 14 км. Центры кругов находятся на пересечении параллелей (через 10') и меридианов (через 15'). Размеры ячеек соизмеримы с размерами проекций очагов наиболее сильных землетрясений Кавказа ($M \approx 6$) на поверхность Земли. На территории Кавказа размещается около 1200 таких ячеек. Геологическое

описание не ограничено информацией, относящейся только к площади выбранной ячейки. Характеристики структур, размеры которых превышают размеры ячейки, также включены в геологическое описание. Использованы данные о землетрясениях на территории Кавказа с очагами в пределах земной коры.

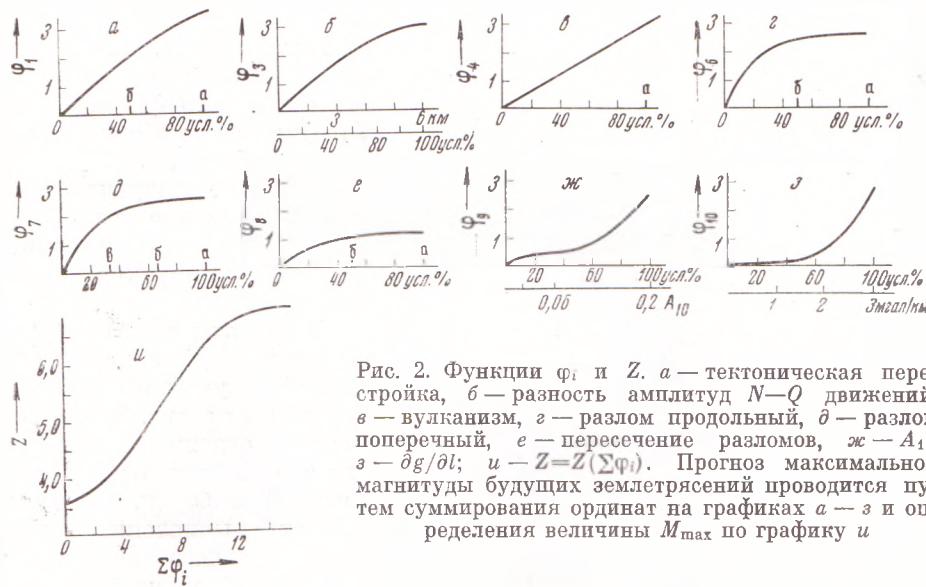


Рис. 2. Функции φ_i и Z . a — тектоническая перестройка, b — разность амплитуд $N-Q$ движений, c — вулканизм, g — разлом продольный, δ — разлом поперечный, e — пересечение разломов, $ж$ — A_{10} , $з$ — $\partial g/\partial l$; u — $Z = Z(\Sigma\varphi)$. Прогноз максимальной магнитуды будущих землетрясений проводится путем суммирования ординат на графиках a — $з$ и определения величины M_{\max} по графику u

В зависимости от максимальной магнитуды землетрясений ячейки разделены на три категории. Для решения задачи выбраны 94 ячейки, около 8% территории Кавказа (рис. 1).

В первую (1) категорию ($M_{\text{max}}=6^{1/2}\pm 1/2$) вошли участки, в пределах которых уже произошли землетрясения с $M \geq 6$, а также некоторые ячейки, в которых зарегистрированы землетрясения с $M \geq 5$, располагающиеся в зонах пересечения глубинных разломов, активных в новейшее время, ограничивающих крупные (30–50 км) блоки земной коры.

Во вторую (2) категорию ($M_{\max}=5^{1/4}\pm^{1/2}$) вошли ячейки, расположенные в зонах продольных или поперечных глубинных разломов, в зонах контрастного сопряжения блоков с разной историей развития на новейшем этапе и в зонах высоких значений градиента скорости новейших вертикальных тектонических движений.

В третью (3) категорию ($M_{\max}=4\pm^{1/2}$) вошли ячейки, расположенные вблизи от населенных пунктов, где в течение нескольких веков сильные и средние землетрясения не отмечались.

Отнесение различных районов к той или иной категории по M_{\max} производилось экспертами с разной степенью уверенности. Поэтому вводился весовой множитель S , зависящий от того, происходили ли на площади данной ячейки землетрясения соответствующего класса, и от точности определения их географического положения. Введение этого множителя дает возможность получить более достоверные результаты при прогнозировании (менее зависимые от способа выбора экспертных оценок).

Для описания привлекались следующие характеристики: перестройка тектонического режима в новейшее время; амплитуда новейших вертикальных движений; горизонтальный градиент скорости новейших движений; проявления неоген-четвертичного вулканизма; геотектоническая неоднородность (попадание в пределы ячейки двух и более знаков на карте историко-тектонического районирования); наличие и протяженность продольных разломов; наличие поперечных разломов разных порядков; узлы пересечения продольных и поперечных разломов; сейсмическая активность

A_{40} ; горизонтальный градиент изостатической аномалии силы тяжести.

На основании предшествующих сейсмо-геологических исследований можно предполагать, что значения M_{\max} на Кавказе монотонно связаны с выбранными геолого-геофизическими характеристиками (2-4).

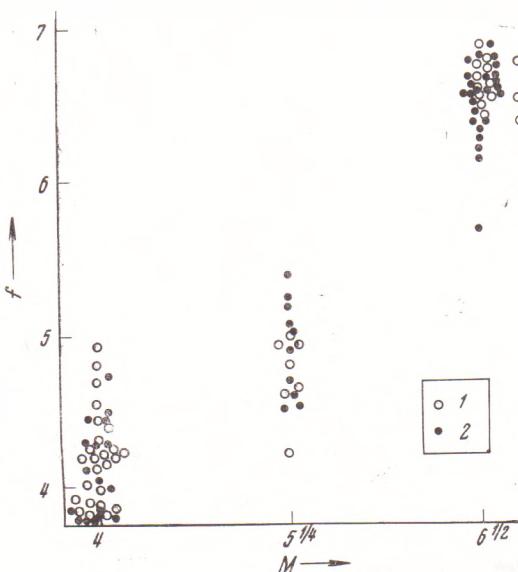


Рис. 3. Сопоставление экспертных оценок и прогнозных значений M_{\max} для экспериментального материала: M — экспертные оценки, $f = Z(\Sigma \Phi_i)$ — прогноз. 1 — учебный, 2 — контрольный материал

способах разбиения выборки на учебную и контрольную получены аналогичные результаты прогноза. Это позволяет сделать вывод, что с помощью найденных функций можно выделить наиболее сейсмичные районы. Для некоторых ячеек, в основном, 2 категории, имеются расхождения между экспертными оценками и прогнозом M_{\max} . Причины этих расхождений могут быть обусловлены как неточностью экспертных оценок магнитуд, так и неполнотой и даже ошибками геологического описания.

Основным результатом проведенной работы является установление связи между максимально возможной магнитудой землетрясений Кавказа и совокупностью геологических характеристик. Этот результат использован для классификации всех ячеек территории Кавказа по магнитуде ожидаемых землетрясений.

Методику подготовки экспериментального материала и разработанный алгоритм можно применить для решения подобных задач в других, достаточно хорошо изученных регионах.

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта
Академии наук СССР
Москва

Поступило
18 IV 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 В. Г. Гитис, И. Т. Турбович, Е. Ф. Юрков, В сборн. Проблемы избыточности в информационных системах, ч. 1, Л., 1972, стр. 241.
- 2 В. В. Белоусов, А. А. Сорский, В. И. Бунэ, Сейсмотектоническая карта Европы, М., 1960.
- 3 И. В. Кириллова, Е. Н. Люстик и др., Анализ геотектонического развития и сейсмичности Кавказа, М., 1960.
- 4 В. И. Бунэ, И. В. Кириллова и др., В сборн. Сейсмические исследования для строительства, М., 1971, стр. 3.
- 5 В. И. Бунэ, М. Е. Артемьев, Н. Ш. Камбаров, ДАН, 201, № 6, 1305 (1971).
- 6 Е. Ф. Юрков, Применение нелинейных одномерных преобразований к задаче аппроксимации функции по ее значениям в случайно выбранных точках, Деп. 1973, ВИНИТИ, № 5370—73.