

Синтетические прогностические кривые для выявления предвестников землетрясений

Оценка достоверности и информативности прогностических признаков землетрясений обычно осуществляется формальным сопоставлением экспериментально наблюдаемых изменений во времени того или иного изучаемого параметра с моментом возникновения более или менее крупного землетрясения. При этом поиск предвестников и отбор сведений о происшедших землетрясениях проводится без какой-либо физически обоснованной системы и состоит в демонстрации удачных совпадений предполагаемых прогностических признаков и отдельных подземных толчков, как правило, произвольно выбранных из генеральной совокупности землетрясений. Ограниченность такого подхода — в отсутствии физических и, тем более, сейсмологических основ, а следовательно, и надежных критериев обнаружения и изучения прогностических признаков сейсмических явлений, поскольку он не учитывает всей совокупности представительных землетрясений, различий в эпицентральных расстояниях и времени подготовки.

Для устранения этих недостатков нами и другими исследователями предложены количественные способы выявления прогностических признаков, указывающие на необходимость [2, 5, 6] учета эпицентральных расстояний и величины землетрясений. Однако и этот подход к разработке алгоритмов для прогнозирования сильных землетрясений, хотя и более прогрессивный, отличается невысокой достоверностью исследований из-за определенных ограничений при выявлении и оценке значимости того или иного прогностического признака, поскольку в этих случаях поиск корреляции осуществляется между долговременной прогностической кривой и мгновенными дискретными значениями сейсмических событий, которые завершают длительный процесс подготовки землетрясения.

Наш метод выявления предвестников землетрясений основан на поиске корреляционной связи между наблюдаемой прогностической кривой (НПК) и специально построенной синтетической

прогностической кривой (СПК), характеризующей относительную деформацию и трещинообразование земной коры, предшествующие землетрясениям. Необходимо отметить, что аномальные деформации земной коры, по мнению автора, служат основным прогностическим признаком сейсмических подвижек, а все остальные известные предвестниковые явления обусловлены деформационными аномалиями, распространяющимися на значительные расстояния от очага землетрясения. Интенсивность и характер этих сейсмогеодинамических процессов и определяют особенность всех второстепенных типов предвестников [5, 6].

Одно из наиболее выразительных проявлений аномальных прогностических деформаций земной коры — процесс трещинообразования, возникающий при деформации земной поверхности. Трещины как своеобразный «усилитель» этих деформаций служат надежным индикатором современных медленных движений земной коры в окрестностях и даже на удалении от будущего очага землетрясения. Так, специальные деформометрические наблюдения (1965—1980 гг.) за процессом трещинообразования, проведенные под руководством автора в Центральных Кызылкумах, позволили успешно осуществить долгосрочный прогноз крупных землетрясений в этом районе. Представления о трещинообразовании, как о предвестнике сейсмических явлений и предложенная автором четырехстадийная сейсмогеодинамическая модель подготовки и развития сейсмического очага, подтвердились двумя крупнейшими Газлийскими землетрясениями 1976 г., $M=7,0$, $M=7,3$, происшедшими на изучаемой территории [1, 3, 4].

Результаты деформометрических (геодезические, радонометрические и др.) наблюдений положены в основу построения синтетических прогностических кривых (СПК). Они строятся в виде экспоненциально возрастающих до критической величины «бухтообразных» кривых, продолжительность которых определяется по уравнению, статистически связывающему величину T (сутки) с магнитудой M или классом K землетрясения и эпицентральной дистанцией R (км) до пункта прогностических наблюдений.

Нами составлена палетка для построения синтетических прогностических кривых, рассчитанных для десятикратных по отношению к размерам соответствующих очагов эпицентральных расстояний (рис. 1). Вдоль оси абсцисс справа налево в линейном масштабе, как и наблюдаемая кривая, отсчитывается время T до момента возникновения землетрясения. Вдоль оси ординат для СПК каждого энергетического класса нанесена логарифмическая шкала эпицентральных расстояний, оцифровка которых начинается внизу с величины, равной размеру очага, а оканчивается у верхнего ограничения палетки величинами, равными 10-кратным размерам очага по данной выборке землетрясений.

Как уже отмечалось, в основу построения синтетических прогностических кривых положена среднестатистическая зависимость величины интервала времени T проявления прогностического при-

знака от размера соответствующего землетрясения (например, $\lg T = 0,33 K - 2,14$), а также представления о конфигурации прогностической кривой и постоянстве величины аномалий на расстояниях одинаковой кратности по отношению к размеру очага [5, 6]. СПК представляет собой экспоненциально увеличивающиеся кривые ϵ , достигающие максимума, соответствующего предкритической деформации в очаговой области землетрясения, и быстро

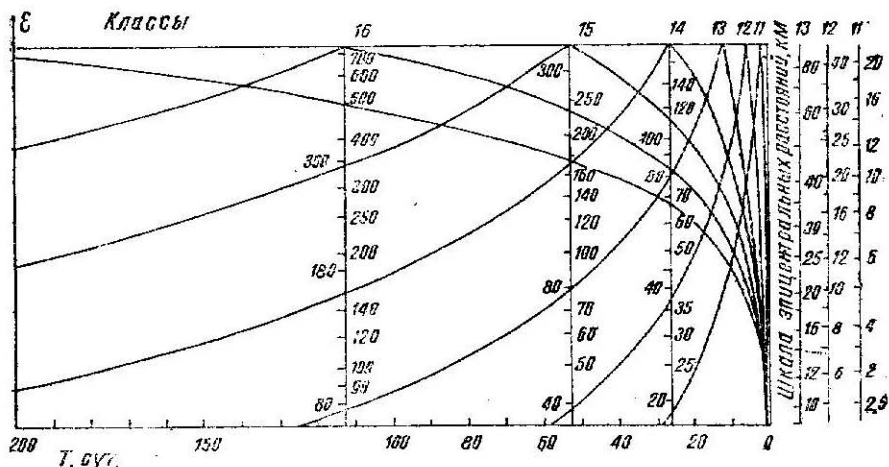


Рис. 1. Синтетические прогностические кривые СПК ожидаемых относительных деформаций земной коры для землетрясений разных энергетических классов $K = \lg E$, построенные для десятикратных по отношению к размерам очага эпицентральных расстояний. Номограмма $T(K_i)$ может быть продолжена как влево, так и вправо с помощью зависимости

$$T_{k_i+1} \approx 10^{\frac{k_i+1-k}{3}} T_{k_i},$$

где K — энергетический класс землетрясений (цифры сверху палетки).

убывающие примерно за 0,1 отрезка времени T перед землетрясением [3, 4].

На практике метод СПК реализуется следующим образом. Сначала из всех зарегистрированных в регионе землетрясений отбирают те, параметры которых являются представительными по величине и эпицентральному расстояниям до пункта прогностических наблюдений. Отбор для каждого конкретного пункта осуществляется по принципу одинаковой кратности (т. е. в данном случае 10-кратный) эпицентральных расстояний линейным размером очагов землетрясений различного энергетического класса. Аналогично описанной методике [5, 6] для определения эффективных размеров области подготовки землетрясений, оценки информативности того или иного предвестника и более глубоко-

го анализа корреляционной связи между землетрясениями и наблюдаемой за этот интервал времени прогнозной кривой НКП, можно сделать несколько самостоятельных выборок, например, землетрясений с эпицентрными расстояниями, не превышающими 5-, 10-, 20- или 30-кратного размера очага, и отдельно для каждой выборки построить синтетические прогностические кривые. Затем для каждого из отобранных землетрясений, представленных графически вдоль оси времени в виде дискретных вели-

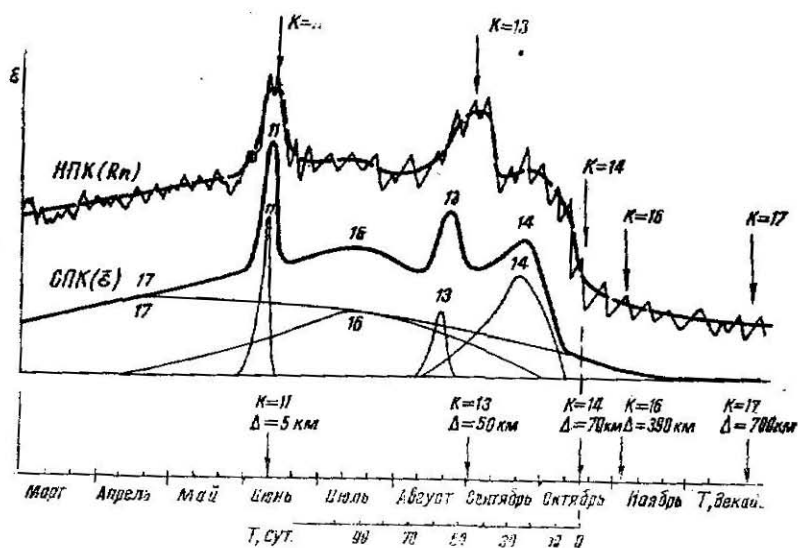


Рис. 2. Сопоставление кривой СПК с наблюдаемой кривой НКП.

чин с указанием энергетических классов и эпицентральных расстояний, строятся синтетические прогностические кривые (рис. 2).

Построение СПК для разных энергетических классов обычно осуществляется с помощью трафаретов, вырезанных по контуру кривых (K , T , R) в масштабе чертежа, например, из прозрачного пластика, одинаковых по амплитуде и различных в соответствии с номограммой (рис. 1) по горизонтальной протяженности. Затем перед каждым нанесенным вдоль горизонтальной оси времен моментом землетрясения (вертикальные стрелки) устанавливается соответствующий энергетическому классу трафарет, который располагается по вертикали на уровне конкретного эпицентрального расстояния и обводится по верхнему контуру.

Полученные таким образом синтетические кривые показаны тонкими линиями (рис. 2) с пометками у вершины величиной энергетического класса, для которых они построены. В нижней части рисунка для примера нанесен след абсциссы палетки при построении СПК для K-14.

Если синтетические кривые из-за частоты происшедших землетрясений на каких-то участках оси времени перекрывают друг друга (рис. 2), их алгебраически суммируют и получают интегральную синтетическую кривую (жирная линия), которую и сопоставляют с наблюдаемой НПК на том же отрезке времени (волнистые линии — вариации, например радона, пунктир — осреднение).

Как показали многолетние исследования, использование предлагаемого метода при выявлении предвестников землетрясений значительно расширяет возможности каждого из прогностических способов, повышает информативность и достоверность результатов. Применение метода СПК позволяет решать важные задачи по оптимизации систем прогностических наблюдений, изучению физики сейсмического очага и разработке научных основ прогнозирования землетрясений. В частности, при построении СПК становится наглядным отсутствие синхронности между дискретными сейсмическими событиями (стрелки) и их прогностическими признаками (смена знака деформаций), а также уменьшение времени T с увеличением эпицентрального расстояния наблюдательного прогностического пункта (постепенный «уход за горизонт» вершины СПК и уменьшение расстояния между ее склонами).

Применение СПК позволяет более надежно выявлять прогностические признаки предстоящих землетрясений, когда они завуалированы сложной сейсмогеодинамической обстановкой в районе прогнозных наблюдений (рис. 2). Так, путем вычитания синтетической кривой, построенной для уже происшедших, например до декабря, землетрясений, из наблюдаемой, в которой наряду с происшедшими «заложены» и предстоящие сейсмические события, можно предсказать землетрясение с $K=17$, прогностического признака которого на НПК, явно не видно. Завуалированно на НПК выглядит и прогностическая кривая для другого крупного землетрясения с $K=16$ и т. п.

Поскольку именно сейсмогеодинамические процессы, предшествующие землетрясениям, обуславливают все геофизические, гидрогеохимические, геодезические и другие прогностические аномалии, при построении СПК открываются перспективы физического истолкования и сопоставления друг с другом различных прогностических методов, благодаря тому, что деформирование, трещинообразование и разрушение поддаются количественному расчету и относительно легко предсказуемы. Так как некоторые прогностические признаки негативно связаны с величиной и характером деформаций и трещинообразованием пород земной коры, кривые СПК и НПК могут оказаться не в прямой, а в обратной зависимости. В этом случае для удобства анализа ту или иную кривую можно «перевернуть» и использовать ее зеркальное отображение. Более сложная комбинация кривых СПК может быть применена при квадратном распределении на земной поверхности величин и знаков прогностических аномалий, обусловленном

сдвиговым механизмом деформаций готовящегося очага землетрясения [5, 6].

При построениях и сопоставлении СПК и НПК следует учитывать, что амплитуда кривых СПК условна, но непременно одинакова на эпицентральных расстояниях той же кратности с размерами соответствующих очагов землетрясений. Время же проявления теоретического прогностического признака при заданной кратности расстояния пропорционально размерам сейсмического очага, которые, в свою очередь, связаны между собой зависимостью

$$L_{ki} \approx 10^{\frac{k_i - k}{3}} \cdot L_k,$$

обусловленной примерно одинаковой плотностью упругой энергии в единице объема пород в сейсмогенных зонах земной коры.

Все построения СПК легко осуществляются на ЭВМ и графоре. СПК хорошо моделируется выражением

$$e = x \cdot e^{1-x},$$

где $x = x(k, R, T)$.

Пользуясь разностным методом (НПК—СПК), имея хорошо «отлаженную» палетку СПК и подбирая подобно лекалу изготовленный ранее трафарет к «остаточным» аномалиям, можно определить не только время возникновения землетрясения, но и его силу и координаты эпицентра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каржаув Т. К., Уломов В. И. Проявление современной тектоники и сейсмичность Кызылкумов. «Узб. геол. ж.», 1966, № 3.
2. Сидорин А. Я. Зависимость времени проявления предвестников землетрясений от эпицентрального расстояния. ДАН СССР, т. 245, 1979, № 4.
3. Уломов В. И., Мавашев Б. З. О предвестнике сильного тектонического землетрясения. ДАН СССР, т. 176, 1967, № 2.
4. Уломов В. И. На пути к прогнозу землетрясений. «Земля и Вселенная», 1968, № 3.
5. Уломов В. И. Методика поиска прогностических признаков землетрясений. Информационное сообщение АН УзССР № 186, 1977, с. 1—11.
6. Уломов В. И. Методика поиска прогностических признаков землетрясений. В кн. «Сейсмологические исследования в Узбекистане». Ташкент, 1979.