

УДК550.343.6

О ДВУХ МОДЕЛЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ОЧАГОВОЙ ЗОНЫ ГЛАВНОГО ТОЛЧКА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ФОРШОКОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И АЛГОРИТМАХ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Гаджиев Аюб Акбашович

канд. тех. наук

Ахмедулаева Месей Магомедхабибовна

аспирант

Дагестанский государственный технический университет, Махачкала

author@apriori-journal.ru

Аннотация. Смоделирована динамика развития форшоковой деятельности, позволяющая определить момент завершения формирования очаговой зоны, подготовки и места совершения сильного землетрясения. Приведены и проанализированы две модели формирования очаговой зоны ЗТ – влажной (*fluid-model*) и сухой (*dry-model*).

Ключевые слова: землетрясение; форшоки; прогноз; очаговая зона; модель.

ABOUT TWO MODELS OF FORMATION OF A FOCAL ZONE OF THE MAIN EVENT ON THE BASIS OF THE ANALYSIS OF FORSHOCKS ACTIVITY AND ALGORITHMS OF THE SHORT-TERM FORECAST OF AN EARTHQUAKE

Gadjiev Ajub Akbashovich

candidate of technical sciences

Ahmedulaeva Mesej Magomedhabibovna

post-graduate student

Dagestan state technical university, Makhachkala

Abstract. In this work presented dynamics of development of the forshocks activity what allowing to us to define the moment of completion of formation of a focal zone, preparation and a place of commission of a strong earthquake. Also here represented and analyzed two models of formation of focal zone of an earthquake – fluid (fluid-model) and dry (dry-model).

Key words: earthquake; foreshock; forecast; focal zone; model.

1. Предварительные соображения о двух моделях формирования очаговой зоны землетрясения

Анализ ФШ деятельности многих сильных ЗТ последних пятнадцати лет, проведённый нами по методике, изложенной в работе [1], показал, что геофизические процессы ФШ деятельности сильного ЗТ обуславливают в обширном объёмном пространстве распределения сейсмических событий формирование *аномальной зоны*. Внутри аномальной зоны, при определённых условиях (в частности, при высокой интенсивности потока событий с гипоцентрами,

расположенными в некотором ограниченном объёмном пространстве), происходит формирование *очаговой зоны* ЗТ, как термодинамической системы. В такой зоне физические свойства вещества геологической среды претерпевают существенные изменения (в частности, появляется жидкая составляющая), которые приводят к возникновению разности потенциалов поля механической напряжённости между средой очаговой зоны и окружающей эту зону среды. Это в свою очередь способствует началу процесса перемещения вещества из окружающей среды в очаговую зону, и совершению главного толчка.

Подобный генез очаговой зоны и механизма подготовки главного толчка мы назвали *флюидной (или влажной) моделью (fluid-model) дислокаций* в очаговой зоне. Эта модель нашла подтверждение при анализе ФШ деятельности практически абсолютного большинства сильных ЗТ за период 1999-2012 годы. Она не нашла подтверждения лишь в анализе Корякского ЗТ 2006 г. и ЗТ в Турции (2010, 2011г.).

Особенный характер носят дислокации, связанные с подготовкой Корякского ЗТ 2006 г. Как известно, прогноз этого ЗТ, проведённый Институтом Физики Земли РАН ни по времени (декабрь 2005 г.), ни по месту расположения эпицентра не состоялся.

Проведённый нами анализ показал, что геологические и тектонические особенности п-ова Камчатка обусловили дислокации не по флюидной модели, описанной выше, а по другой схеме. ФШ деятельность Корякского ЗТ (около 1680 сейсмических событий) продолжалась примерно с 1.01.2006 г. до момента главного толчка 20.04.2006 г. со средней интенсивностью потока 15-16 событий в сутки (при этом в последние 20 суток – с 1.04. по 10.04. – 9-23 события в сутки, а с 11.04 по 20.04.2006 г. – 19-44 события в сутки). Гипоцентры 79 % событий расположены на глубинах $h = 0-50$ км, образуя обширную аномальную зону на всём протяжении п-ова Камчатка. При этом не наблюдается формирование очаговой зоны как термодинамической

системы. По-видимому, такой характер пространственно-временного распределения ФШ деятельности обусловил дислокации не только в области распределения гипоцентров событий, но и ослабление межблочных механических связей севернее – в Корякии (понижению механической напряжённости поля) в ограниченном пространстве тектонически сопряжённого района, и образование очага главного толчка. Из теории физики подземных взрывов известно, что для регулирования дробления больших объёмов горных пород необходимо не повышение пикового давления, а увеличение длительности воздействия на породу [2].

Эту модель, в отличие от флюидной модели, мы назвали *сухой (безводной) моделью (dry-model) формирования очаговой зоны и дислокаций, связанных с главным толчком.*

В этих моделях мы отмечаем аналогию с известными влажной и сухой моделями дилатансии в очаговой зоне, предшествующей главному толчку.

Относительно сухой модели дилатансии в [3] Рикитаке отмечает: «Согласно Моги, первый и второй этапы, т.е. накопление деформаций при тектоническом процессе (этап I) и возникновение дилатансии (этап II) могут быть теми же, что и во влажной модели. Однако во время следующего этапа (этап III) дилатансия и связанное с ней напряжение концентрируются в очень ограниченной зоне – таким образом, уменьшение напряжений будет наблюдаться всюду, кроме этой ограниченной зоны, где, в конце концов, произойдёт разрыв».

Однако, проводя аналогию между сухой моделью дилатансии и характером развития ФШ деятельности Корякского ЗТ 20.04.2006 г., следует заметить, что физическое объяснение процессов подготовки и совершения Корякского ЗТ по сухой модели, данное нами, отличается от сухой модели дилатансии. Полная аналогия в моделях отсутствует: во-первых, эпицентр главного толчка оказался в большом отдалении от

основных событий ФШ деятельности, во-вторых, никаких предвестников, кроме аномального изменения температуры, в эпицентральной зоне перед главным толчком не было отмечено, ни влажная, ни сухая модель дилатансии не объясняет вариации температурного поля в эпицентральной зоне.

Из приведённых выше соображений следует необходимость разработки разных подходов к построению алгоритма краткосрочного прогноза ЗТ.

2. Алгоритмы краткосрочного прогноза ЗТ по флюидной модели формирования очаговой зоны.

Методы анализа ФШ деятельности, предложенные в [4-6], позволяют нам сформулировать, по крайней мере, три подхода к построению алгоритма краткосрочного прогноза времени, места и силы ЗТ. Первый: с использованием только результатов анализа ФШ деятельности (инвариантный алгоритм), и второй: комплексный подход с использованием результатов анализа ФШ деятельности и аномальных явлений на дневной поверхности, обусловленных ФШ деятельностью. Ниже описан и третий подход, основанный на информационном анализе ФШ деятельности в реальном масштабе времени.

В работах [4; 5] предлагается методика анализа ФШ деятельности сильного ЗТ, позволяющая решить задачу прогноза времени совершения сильного ЗТ.

В работе [6] авторами предложена топологическая модель миграции сейсмического поля и локализации эпицентров (ЭЦ) и гипоцентров событий в локальном участке ЗК. Эта модель построена на представлении пространства ЭЦ и объёмного пространства гипоцентров ФШ событий в виде метрического топологического пространства и вычислении расстояний между ЭЦ (и/или гипоцентров) событий с последующим ранжированием их по суммарному расстоянию для каждого события.

Таким образом, очевидным представляется вывод, что численное значение расстояния между ЭЦ (и гипоцентрами) двух последовательных ФШ событий может служить признаком формирования и локализации очаговой зоны грядущего ЗТ.

а. Количественная мера, характеризующая завершение ФШ деятельности и формирования очаговой зоны. Алгоритм оценки локализации очаговой зоны ЗТ.

Действительно, как указано выше, по мере приближения момента совершения ожидаемого сильного ЗТ происходит сосредоточение ЭЦ (и гипоцентров) событий в очень ограниченном пространстве, т.е. расстояние между ЭЦ двух последовательных i -го и $i+1$ -го событий $x_i(\varphi_i, \lambda_i)$ и $x_{i+1}(\varphi_{i+1}, \lambda_{i+1})$

$$d_{i,i+1}(x, y) = \sqrt{[(\varphi_i - \varphi_{i+1}) \cdot \Delta\varphi]^2 + [(\lambda_i - \lambda_{i+1}) \cdot \Delta\lambda]^2} \quad (1)$$

и расстояние между ГЦ двух последовательных i -го и $i+1$ -го событий

$$x_i(\varphi_i, \lambda_i, h_i) \text{ и } x_{i+1}(\varphi_{i+1}, \lambda_{i+1}, h_{i+1})$$

$$d_{i,i+1}(x, y, h) = \sqrt{[(\varphi_i - \varphi_{i+1}) \cdot \Delta\varphi]^2 + [(\lambda_i - \lambda_{i+1}) \cdot \Delta\lambda]^2 + (h_i - h_{i+1})^2} \quad (2),$$

где $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ – цена градуса (в км) по широте и долготе события.

Эти расстояния изменчивы и уменьшаются к завершению ФШ процесса.

Поскольку два последовательных события происходят в случайные моменты времени с промежутками, равными от единиц секунд, минут, часов и даже суток, то возможны два подхода к вычислению расстояний по формулам (1) и (2):

- 1) вычисление без учёта промежутка времени между двумя событиями;
- 2) вычисление среднего расстояния по (1) и (2) между множеством событий, происшедших в течение заданного промежутка времени, например, 0.5 часа, 1 часа или 1 суток в зависимости от интенсивности потока событий на заключительном участке ФШ процесса.

Очевидно, что, если построить график изменения значения расстояния $d_{i,i+1}$ от времени (по мере развития ФШ процесса), то можно получить наглядную картину формирования очага.

На графике изменения расстояния $d_{i,i+1}$ всегда просматриваются три участка:

Δt_1 – участок графика, соответствующий формированию аномальной зоны, когда ЭЦ (и гипоцентры) распределены в пространстве на большие расстояния;

Δt_2 – участок графика, свидетельствующий о начале формирования очаговой зоны – локализации ЭЦ (и гипоцентров) событий в некотором ограниченном пространстве;

Δt_3 – участок графика, свидетельствующий о завершении формирования очаговой зоны и наступлении момента грядущего ГТ.

Естественно, что наиболее ответственным с точки зрения прогноза момента и места совершения ЗТ является начало участка Δt_3 .

б. Алгоритм определения формы и параметров очаговой зоны

В работе [1] показано, что использование компьютерных технологий для визуализации пространственно-временного распределения ЭЦ (и гипоцентров) событий ФШ деятельности позволяет найти подход к решению задачи краткосрочного прогноза места совершения ГТ в реальном масштабе времени.

Для этого следует построить 2D модель распределения ЭЦ (и 3D модель распределения гипоцентров) ФШ событий в реальном времени, наблюдая одновременно характер графика изменения значения расстояния $d_{i, i+1}$ между парами ЭЦ (и гипоцентров). Как отмечено выше, формирование кластера событий очаговой зоны по ЭЦ (и объёмного пространства гипоцентров) начинается на участке Δt_2 и завершается в начале участка Δt_3 .

По-видимому, определив стандартную геометрическую форму и размеры очаговой зоны на 2D и 3D модели, можно ориентировочно

указать координаты ЭЦ и глубину расположения гипоцентра ожидаемого ЗТ.

Правильность и целесообразность подобного подхода были продемонстрированы нами на примерах анализа ФШ деятельности ряда сильных ЗТ 2011 года (например, Новозеландского ЗТ 21.02.2011 г. и Японского ЗТ 11.03.2011 г. и др.).

в. Алгоритм точного определения координат гипоцентра

По завершении формирования очаговой зоны (до совершения ГТ) поступить следующим образом (построить «лотто» – модель очаговой зоны):

1. Выполнить сортировку ФШ событий, образующих очаговую зону, путём разбиения на подмножества событий, адресованных слоям: $h_0 = 0-5$ км, $h_1 = 5-10$ км, $h_2 = 10-15$ км, ..., $h_{n-1} = h_k - h_{k+1}$ км, где h_n – наибольшая глубина.
2. Вычислить суммарную энергию E (Дж) по значениям магнитуд событий каждого слоя.
3. Определить слой (или слои) с $\sum E = \max$ и указать глубину расположения этого слоя.
4. Принять решение: определённый таким образом слой очаговой зоны является наиболее вероятным местом (глубиной) гипоцентра.

2.1. Инвариантный алгоритм краткосрочного прогноза ЗТ

Прежде небольшой комментарий, почему мы назвали первый алгоритм инвариантным. Как нами установлено, главный толчок – это всегда, неизменно есть следствие ФШ деятельности; как бы она не развивалась во времени – признаки развития ФШ деятельности неизменны – начало, промежуточное развитие (П-тип или Н-тип по К. Моги [7]), завершение – короткое (непродолжительное) сейсмическое «затишье» и резкое увеличение интенсивности потока событий перед главным толчком. Эта схема неизменна.

1. Определение начала ФШ деятельности. Если наблюдение сейсмических событий показывает повышение интенсивности потока событий, то по таблице идентификации интенсивности установить степень интенсивности потока.

2. Вычислить по формуле (2) вариации значения расстояния d_{ij} между гипоцентрами пары (i,j) последовательных событий.

3. Если расстояние d_{ij} принимает в среднем большие значения – гипоцентры событий расположены на больших расстояниях друг от друга, то этот момент можно отнести к началу ФШ деятельности.

Правило принятия решения: если значения интенсивности потока событий I_n и расстояний d_{ij} велики, то принять решение о начале ФШ деятельности.

4. Продолжить наблюдение за развитием ФШ процесса, вычисляя расстояние d_{ij} и временную функцию развития ФШ деятельности, одновременно вычисляя и визуализируя графики развития во времени ФШ деятельности: функции расстояний $f_d(t)$, функций изменения числа событий в сутки $f_1(t, N_{фш})$, диссипации сейсмической энергии $f_2(t, E_{фш})$, и интегралы от этих функций.

Правило принятия решения:

– Если функция расстояний $f_d(t)$ в среднем постоянна, значения функций f_1 и f_2 стремятся к некоторому максимуму, функции значения их интегралов имеют точку перегиба (экстремума функции), то ФШ процесс относится к П-типу (по К. Моги).

– Если функции f_1 и f_2 сохраняют в среднем постоянные значения, а интегралы функций носят характер в среднем пропорционального роста, то процесс относится к Н-типу (по К. Моги).

5. Продолжить наблюдения ФШ процесса и вычисление функций f_1 , f_2 , и $f_d(t)$.

6. Определение начала участка завершения ФШ деятельности – визуализировать развитие функций f_1 , f_2 , и $f_d(t)$ ФШ деятельности.

7. Если наблюдается падение графика функции расстояний $f_d(t)$ и резкое уменьшение интенсивности потока событий, то это относится к моменту начала завершения ФШ процесса.

8. Визуализировать 3D распределение ФШ событий.

9. Если функции f_1 , f_2 , и $f_d(t)$ принимают минимальные значения и 3D модель распределения событий принимает законченную известную геометрическую форму, то это интерпретируется как завершение формирования очаговой зоны грядущего ЗТ.

10*. Вычислить примерное время совершения ГТ.

11. Определить характер формы (геометрию) 3D простираения очаговой зоны.

12. Вычислить размеры очаговой зоны.

13. Вычислить объём пространства очаговой зоны.

14. Вычислить глубину и расположение очаговой зоны относительно слоёв ЗК.

15*. По подпрограмме «лотто-модель» вычислить глубину слоя очаговой зоны с наибольшим значением высвободившейся энергии.

16*. По таблице значений глубинных давлений ЗК определить примерную силу ГТ.

17. Определить количество событий и высвободившейся энергии по магнитудам событий очаговой зоны..

18. Вычислить энергетическую плотность очаговой зоны.

19. Вычислить тепловую плотность очаговой зоны.

20. По пп. 10,14,15 и 16 принять окончательное решение о прогнозе времени, места и силе ЗТ.

Комментарий к инвариантному алгоритму:

- операторы алгоритма:

1) визуализация развития ФШ процесса (функции f_1 , f_2),

2) построение 3D модели распределения гипоцентров событий и сопутствующие вычисления

выполняются в реальном масштабе времени в соответствии с графиком развития ФШ процесса, учитывая параметры каждого события всего спектра энергетических классов (4-14 кл. или магнитуд M1-5(5,5)).

2.2. Комплексный (с проверкой непротиворечивости) алгоритм краткосрочного прогноза ЗТ

Комплексный алгоритм прогноза – это составной алгоритм, который включает два параллельно и независимо действующих подалгоритма. Кроме первого подалгоритма – инвариантного алгоритма, комплексный алгоритм включает второй – подалгоритм анализа предвестников, аномальных явлений на дневной поверхности, являющихся следствием ФШ процесса. Следовательно, одновременно с наблюдением ФШ процесса осуществляется (выполнение первого подалгоритма – инвариантного алгоритма) оперативный мониторинг, по крайней мере, трёх предвестников:

- теплового (α_T) – вариации температурного поля в предполагаемой зоне ФШ деятельности (температура почвы и воздуха) – вариации, коррелированные с функциям f_1 и f_2 ;
- геохимического (α_H) – вариации молекулярного водорода (H_2) – повышение концентрации H_2 в предполагаемой зоне ФШ деятельности, и резкое увеличение потока H_2 на завершающем участке ФШ процесса;
- геофизического (α_V) – вариации отношения скоростей продольной и поперечной волн (V_P/V_S) событий ФШ процесса, учитывая, что для каждого региона с индивидуальной сеймотектоникой закономерность изменения этого отношения индивидуальна – её следует установить на основе достаточно представительной выборки сильных ЗТ и их ФШ процессов в этом регионе.

Поскольку тепловой, геохимический и геофизический предвестники ЗТ обусловлены ФШ процессом, но не коррелированы друг с другом, а аномальные изменения этих предвестников на дневной поверхности, с

некоторым запаздыванием, повторяют общие признаки закономерного развития ФШ процесса, то предвестники в комплексном алгоритме целесообразно использовать не только для прогноза времени и места ЗТ, но и для проверки непротиворечивости решения о прогнозе, принимаемого на основе инвариантного подалгоритма.

Для получения достоверного прогнозного решения следует использовать инвариантный алгоритм, как основной алгоритм прогноза, а комплексный (по предвестникам) – как вспомогательный алгоритм проверки непротиворечивости основного алгоритма.

1. Выполнив п. 3 инвариантного алгоритма прогноза, зафиксировать в пространстве аномальной зоны расположение ближайших штатных метеостанций Гидрометеослужбы, где можно выполнить мониторинг теплового (температура почвы и воздуха) и геохимического (молекулярный водород) предвестников.

(Комментарий. Если такие станции отсутствуют в аномальной зоне (или они расположены на больших расстояниях), то следует организовать экспресс-контроль и анализ вариаций предвестников с помощью мобильных лабораторий, оснащённых соответствующими техническими средствами. По-видимому, целесообразно в сейсмически активных зонах организовать более плотную сеть метеостанций с приданием им специальных функций мониторинга предвестников землетрясений).

2. Измерить значения предвестников α_T , α_H и α_V .

3. Сравнить текущие измеренные значения предвестников с значениями предыдущего измерения этих величин.

4. Построить графики изменения во времени функций $f_\alpha(T, t)$, $f_\alpha(H, t)$, $f_\alpha(V, t)$.

(Комментарий. Графики f_α ФШ процесса перед его завершающим участком, как следует ожидать, должны иметь, в среднем, мало заметное развитие. На участке завершения ФШ процесса, где следует ожидать

кратковременное сейсмическое «затишье», графики функций f_{α} получают тенденцию резкого роста. При этом на дневной поверхности очерчивается контур узкого пространства температурного поля – пространство вокруг эпицентра грядущего ГТ. Критические изменения функций f_{α} – в комплексе с аномально кратным увеличением выхода молекулярного водорода в этом пространстве – следует рассматривать как свидетельство о завершении формирования очаговой зоны ЗТ, и указание о времени и некоторого участка этой зоны, где примерно должен совершиться ГТ.)

5. Результаты выполнения п. 4 сравнить с результатами пп. 6-10 инвариантного алгоритма прогноза. Если результаты анализа сравнимы (совпадают примерно) с ожидаемыми значениями, то принять решение, что противоречия в прогнозе времени и места ЗТ отсутствуют, в противном случае – продолжить построение графиков f_{α} , сравнивая одновременно с результатами п.п. 11-20 инвариантного алгоритма прогноза.

3. О краткосрочном прогнозе по сухой модели формирования очаговой зоны

Как показал анализ ФШ деятельности Турецких ЗТ 2010, 11 и 12 годов и Корякского ЗТ 20.4.2006 г. с использованием 2D распределения эпицентров и 3D распределения гипоцентров событий графики развития ФШ деятельности по расстоянию между эпицентрами и гипоцентрами двух последовательных событий, вычисленные по формулам (1) и (2), характеризуются в среднем большими значениями расстояний.

Другими словами, концентрация эпицентров и гипоцентров событий в некотором ограниченном пространстве перед ГТ не наблюдается, т.е. в результате наблюдения развития ФШ деятельности мы не получаем информации о формировании очаговой зоны готовящегося ЗТ.

Это обстоятельство, кроме наблюдения собственно развития ФШ деятельности в ожидании ГТ, не позволяет принимать какое-либо решение о прогнозе времени и места совершения ожидаемого ЗТ.

Основные результаты и выводы:

1. Сформулированы основные положения двух моделей формирования очаговой зоны ЗТ – влажной (*fluid-model*) и сухой (*dry-model*) моделей.
2. Сформулирован подход к построению алгоритма краткосрочного прогноза ЗТ по структуре «И», состоящий из трёх подалгоритмов, решающих одну задачу – краткосрочный прогноз времени и места совершения ЗТ при флюидной модели формирования очаговой зоны.
3. В качестве основного алгоритма рассматривается инвариантный алгоритм. Комплексный подалгоритм позволяет исключить возможное противоречивое решение о прогнозе, полученное с помощью инвариантного подалгоритма.

Список использованных источников

1. Гаджиев А.А. О возможности прогноза сильного землетрясения: на примере анализа форшоковой деятельности Японского землетрясения 11.03.2011г. // Вестник Дагестан. гос. тех. ун-та. Технические науки. 2011. Т. 21. Вып. № 2. С. 71-76.
2. Механический эффект подземного взрыва / под ред. М.А. Садовского. М., 1971.
3. Рикитаке Т. Предсказание землетрясения. М.: Мир, 1979. 390 с.
4. Гаджиев А.А. Предсказание землетрясений. Нетрадиционный подход к решению. Махачкала: Эпоха, 2005. 406 с.
5. Гаджиев А.А., Ахмедова Ф.М., Газанова Н.Ш. Анализ форшокового процесса для прогноза времени совершения сильного землетрясения // Вестник Дагестан. гос. тех. ун-та. Технические науки. 2011. Вып. № 20 (1). С. 25-30.
6. Гаджиев А.А., Газанова Н.Ш., Ахмедова Ф.М. Топологическая модель сейсмического режима локального участка земной коры // Вестник Дагестан. гос. тех. ун-та. Технические науки. 2009. Вып. № 12. С. 113-117.
7. Моги К. Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1988. 382 с.
8. Гаджиев А.А., Ахмедова Ф.М., Газанова Н.Ш. 2D модель пространственно-временного распределения сейсмических событий в зоне Восточного Предкавказья за период 2001-2007 годы и задача прогноза места землетрясения // Матер. Всерос. науч.-тех. конф. Computer-Based Conferenses. 2009. Декабрь. С. 7-9.