

УДК 550.348.436

**АНАЛИЗ ФОРШОКОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДВУХ СИЛЬНЫХ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В КОЛЛИЗИИ ЕВРАЗИЙСКОЙ, ТИХООКЕАНСКОЙ
И ИНДО-АВСТРАЛИЙСКОЙ ПЛАТФОРМ**

Гаджиев Аюб Акбашович

канд. тех. наук

Ахмедулаева Месей Магомедхабибовна

аспирант

Дагестанский государственный технический университет, Махачкала

author@apriori-journal.ru

Аннотация. В данной работе авторы приводят результаты феноменологического анализа двух сильных землетрясений в коллизии Евразийской, Тихоокеанской и Индо-Австралийской платформ, а также возможности компьютерных технологий для моделирования форшокового процесса и решения задачи прогноза времени и места совершения землетрясения.

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

FORESHOCK ACTIVITY ANALYSIS OF TWO STRONG EARTHQUAKES IN THE COLLISION OF THE EURASIAN, PACIFIC AND INDO-AUSTRALIAN PLATE

Gadjiev Ajub Akbashovich

candidate of technical sciences

Ahmedulaeva Mesej Magomedhabibovna

post-graduate student

Dagestan state technical university, Makhachkala

Abstract. In this work the authors present the results of a phenomenological analysis of two strong earthquakes in the collision of the Eurasian, Pacific and Indo-Australian plate, as well as the capabilities of computer technology to model foreshock process and solving the problem of prediction time and place of an earthquake.

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

1. Анализ форшоковой деятельности двух сильных землетрясений 2011 г.

В качестве примеров анализа форшоковой (ФС) деятельности по предлагаемой нами схеме [1; 5] рассмотрим два сильных землетрясения – Новозеландское ЗТ 21.02.2011 г. с магнитудой $M_{6,3}$ и катастрофическое Японское ЗТ 11.03.2011 г. с $M_{9,0}$.

Приведённый ниже анализ этих ЗТ построен на статистических данных Геологической службы США, на основе которых получены следующие характеристики ЗТ.

2. Общая сейсмологическая информация двух сильных ЗТ 2011 г.

Новозеландское ЗТ:

– время ФШ деятельности $T_{фш} = 82$ сутки с 1.12.2010 г. по 20.02.2011 г.,

– общее число ФШ событий $N_{фш} = 70$,

главный толчок (ГТ) с $M 6,3$ глубиной расположения гипоцентра $h=5$ км и координатами эпицентра $\phi = -43,58$ гр. ю.ш., $\lambda = 172,70$ гр. в.д.;

Японское ЗТ:

– время ФШ деятельности $T_{фш} = 69$ суток с 1.01.2011 г. по 10.03.2011 г.,

– общее число ФШ событий $N_{фш} = 77$,

ГТ с $M 9,0$ глубиной расположения гипоцентра $h = 19$ км с координатами эпицентра $\phi = 38,29$ гр. с.ш., $\lambda = 142,40$ гр.в.д.

Анализ ФШ деятельности осуществлён по следующим направлениям:

1. Временное распределение ФШ событий в виде функционала

$$R = F[N_c, t_{фш}], \quad (1)$$

где R – рейтинг сейсмической активизации, выраженный в баллах, определяемых числовым рядом Фибоначчи [2; 3],

n_c – количество сейсмических событий различных энергетических классов в сутки,

$t_{фш}$ – время ФШ деятельности, измеренное в сутках (или в часах).

Возможно также построение графика $n_{фш} = f(t_{фш})$. Но график функционала сейсмической активизации позволяет получить более полную характеристику *качественного развития* ФШ процесса на всех участках его развития.

2. Пространственно-временное распределение ФШ событий в виде функционала

$$h[N_c = N_{мф} + N_{сф} + N_{гф}] = F[n_c, M, t_{фш}], \quad (2)$$

где N_c – общее количество ФШ событий,

$N_{мф}$ – количество мелкофокусных событий, ($0 \leq h \leq 30$ км),

$N_{сф}$ – количество среднефокусных событий, ($30 \leq h \leq 50$ км),

$N_{эф}$ – количество глубокофокусных событий, ($h > 50$ км),

M – магнитуда события,

$t_{фш}$ – время, в сутках (или часах).

3. Энергетическая диссипация ФШ процесса в виде функционалов

$$E \text{ (Дж)} = F_1[n_c, t_{фш}, M], \quad (3)$$

$$Q \text{ (ккал)} = F_2[n_c, t_{фш}, E]. \quad (4)$$

4. Закономерности связи пространственно-временного распределения ФШ событий с энергетической диссипацией ФШ процесса и формированием очаговой зоны, к которой, предположительно приурочен ожидаемый ГТ.

3. Анализ ФШ деятельности Новозеландского ЗТ 20.02.2011 г.

а. График временного распределения ФШ событий показал:

- заметное повышение сейсмической активности (диссипации энергии) в конце декабря и начале января, т.е. график временного развития сейсмической активности ФШ деятельности относится к П-типу ФШ деятельности (по К. Моги – [4]);
- наличие сейсмического «затишья» на интервале времени с 18.02. по 21.02. (3 суток) – «провал» в процессе высвобождения сейсмической энергии;
- повышение интенсивности событий и количества высвобожденной энергии в заключительной части ФШ деятельности.

б. Временное распределение сейсмических событий по магнитудам событий иллюстрируется в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Данные о временном распределении событий по значениям магнитуд

Магнитуда	Декабрь 2010	Январь 2011	Февраль 2011 (с 1 по 20.02.)	$\sum N_c$
3,5-4,0	8	9	7	24
4,1-4,5	10	19	7	36
4,6-5,0	3	2	3	8
5,1-6,0	0	2	0	2
$\sum N_c$	21	32	17	70

**Пространственно-временное распределение событий
и энергетическая диссипация ФШ деятельности**

Глуб. ГЦ, км	Декабрь			Январь			Февраль			ΣN_c	ΣE * 10^{12} Дж	ΣQ * 10^9 ккал
	N_c	E	Q	N_c	E	Q	N_c	E	Q			
ГФ	7	2,09	0,5	9	27,4	6,55	5	1,89	0,45	21	31,38	7,5
Сф	0	-	-	5	1,89	0,45	2	0,79	0,19	7	2,68	0,64
МФ	14	3,34	0,8	18	2,93	0,7	10	1,82	0,43	42	8,09	1,93
ΣN_c	21	-	-	32	-	-	17	-	-	70	-	-
ΣE	-	5,43	-	-	32,22	-	-	4,5	-	-	42,15	-
ΣQ	-	-	1,3	-	-	7,7	-	-	1,07	-	-	10,07

Табл. 1 и 2 подтверждают, что характер ФШ деятельности Ново-Зеландского ЗТ относится к П-типу: в средней части времени ФШ деятельности (январь) произошло наибольшее количество событий – 32 (около 50 % от общего количества 70 событий), а также высвободилось наибольшее количество энергии – $E_{я}=32,22 \cdot 10^{12}$ Дж – это в 6 раз больше, чем в предыдущем месяце (декабре 2010 г.), и более чем 7 раз в феврале, на заключительном этапе ФШ процесса.

По данным табл. 2 за весь период ФШ деятельности наибольшее количество энергии E (и теплоты Q) высвободилось от ГФ событий ($h = 50$ км и более): $E_{гф} = 31,4 \cdot 10^{12}$ Дж, ($Q_{гф} = 7,7 \cdot 10^9$ ккал);

В январе – феврале на всех глубинах ФШ деятельности высвободилось 87 % всей энергии ФШ процесса, и, наконец, «приповерхностная работа» ФШ деятельности: при совершении 42 событий (60 %) с МФ расположением ($0 \leq h \leq 30$ км) в течение 21 сутки высвободилось сейсмической энергии $E_{мф} = 8,09 \cdot 10^{12}$ Дж (около 20 %).

Эти данные свидетельствуют о развивающемся процессе подготовки очаговой зоны, где должен совершиться ГТ.

в. Данные о динамике развития интенсивности высвобождения энергии E (и теплоты Q) приведены в табл. 3.

**Интенсивности высвобождения энергии (I_E)
и выделения теплоты (I_Q) в ФШ процессе**

	Декабрь $N_d = 21,$ $T_d = 31c$ $= 744\text{час}$	Январь $N_j = 32,$ $T_j = 31c$ $= 744\text{час}$	Февраль $N_\phi = 17, T_\phi = 21c$ $= 504\text{час}$	Σ
$E \cdot 10^{12} \text{Дж}$	5,4322	32,2325	4,4886	42,154
$I_{E1} \cdot 10^{12} \text{Дж/сут}$	0,1752	1,0398	0,2137	-
$I_{E2} \cdot \text{Дж/час}$	0,0073	0,0433	0,0089	-
$Q \cdot 10^9 \text{ккал}$	1,2972	7,6971	1,0719	10,07
$I_{Q1} \cdot 10^9 \text{ккал/сут}$	0,0418	0,2483	0,0510	-
$I_{Q2} \cdot 10^9 \text{ккал/ч}$	0,0017	0,0103	0,0021	-

Из табл. 3 следует, что в течение 6 суток (с 13 по 18.02.) перед ГТ (19, 20 и 21.02. наблюдалось «затишье») высвободилось энергии $E_{13-18} = 2,64 \cdot 10^{12} \text{Дж}$ – это 59 % общей сейсмической энергии февраля. За эти же шесть суток интенсивности высвобождения энергии составили соответственно

$$I_{E1}(13-18.02.) = 0,44 \cdot 10^{12} \text{ Дж/сутки},$$

$$I_{E2}(13-18.02.) = 0,0183 \cdot 10^{12} \text{ Дж/час}$$

– это два раза выше, чем средняя интенсивность за весь февраль.

Приведённые данные об интенсивности высвобождения энергии (и теплоты) также подтверждают завершение формирования очаговой зоны, где должен произойти главный толчок.

И, наконец, визуализация динамики развития ФШ деятельности по распределению эпицентров событий (2D – модель) и гипоцентров (3D – модель) с большой наглядностью показывает динамику формирования очаговой зоны: её простираание в объёмном пространстве, формы, размеры и глубину расположения в локальном участке ЗК. Эта информация позволяет прогнозировать (расчётным путём) примерную силу ГТ и глубину расположения гипоцентра.

На рис. 1 приведён график изменения расстояния между гипоцентрами двух последовательных событий.

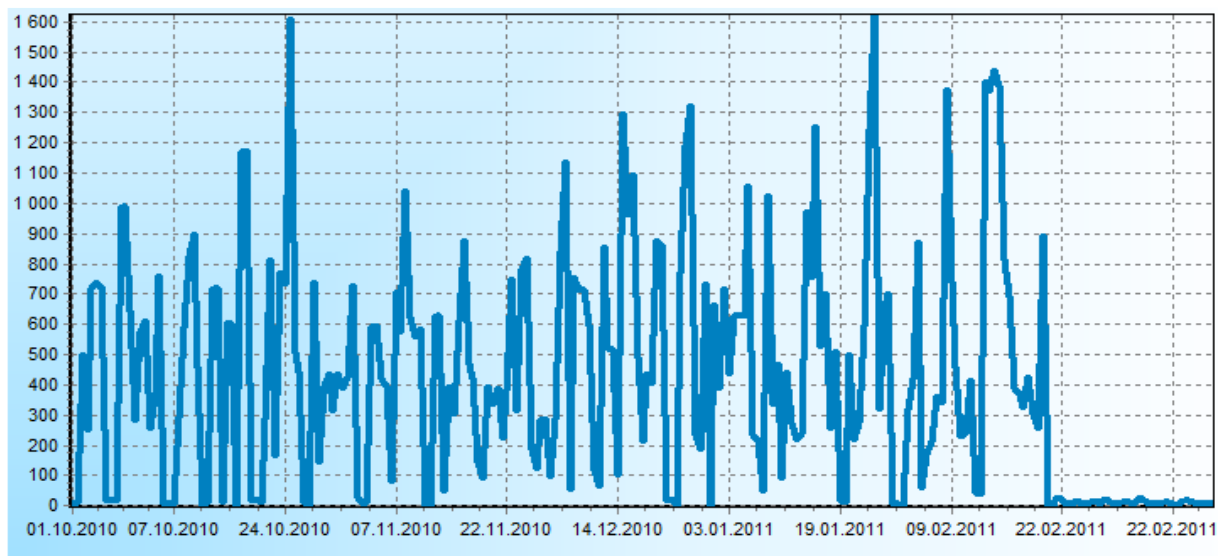


Рис. 1. График изменения расстояния между двумя последовательными событиями ФШ процесса Новозеландского ЗТ за период 1.10.2010 – 22.02.2011 г.

Этот график убедительно показывает, что при определённых условиях непрерывное наблюдение ФШ процесса (сначала посуточно, затем, в заключительной части – в режиме почасового слежения) с использованием компьютерных технологий возможно прогнозировать время и место совершения сильного землетрясения.

4. Анализ ФШ деятельности Японского ЗТ 11.03.2011 г.

а. Анализ временного развития ФШ деятельности.

На основе данных сейсмологических наблюдений ГС США мы рассматриваем ФШ деятельность на промежутке времени с 1.01.2011 г. по 10.03.2011г., на котором были отмечены 77 событий:

- в январе произошло 22 события с $M_{4,2} - M_{5,3}$;
- в феврале – 19 событий с $M_{4,3} - M_{5,5}$;
- с 1 по 8 марта наблюдалось сейсмическое «затишье»;

- 9.03. произошло 26 событий, из которых умеренно сильных 23 события с М4,7 – М5,7, сильных – 2 события с М6,0 и одно очень сильное – с М7,3 (как стало известно, японские сейсмологи прогнозировали это событие как ГТ).
- 10.03. произошло 10 событий с М4,6 – М5,6.

Если в январе-феврале из 59 были отмечены как сейсмически активные 32 сутки, а в течение остальных 27 суток – по 1, 2, 3 и 4 сутки события приведённых выше значений магнитуд не фиксировались. По общепринятой практике регистрации сейсмические события с М3 и ниже, как слабые по энергетическому содержанию, не всегда регистрируются. По нашему мнению, это обстоятельство исключает возможность полного описания качества геофизических процессов, поскольку события этих классов в определённой степени оказывают влияние на физическое состояние вещества аномальной зоны, где происходит подготовка очага будущего сильного ЗТ [2].

Наибольшей динамикой геофизических процессов были отмечены 9.03. и 10.03. В табл. 4 и 5 приведены данные почасового развития интенсивности ФШ процесса в эти сутки.

Таблица 4

Данные о почасовом развитии ФШ процесса 9.03.

02-03 ч.	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-10	10-11	11-12	12-14	14-18	18-21	21-23	23-01 ч.	Кол. соб.
2	2	5	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	26

Таблица 5

Данные о почасовом развитии ФШ процесса 10.03.

01-04	04-07	07-08	08-09	09-11	11-16	16-21	21-22 ч. 44 м.	Кол. соб.
2	1	2	1	1	1	1	1	10

Данные о ФШ процессе 9.03 и 10.03 по интенсивности и энергетическому содержанию свидетельствуют о грядущем очень сильном ЗТ, о возникшей настоятельной необходимости почасового контроля развития ФШ процесса, начиная с 9.03.

Главный толчок произошёл в 05 ч. 46 мин. 11.03, т.е. после последнего сейсмического события 10.03 (в 22 ч. 44 мин.) до главного толчка 11.03 (в 05 ч. 46 мин.) резерв времени 7 часов, в течение которого были возможны оперативный анализ сложившейся сейсмической ситуации, принятие решения о прогнозе надвигающейся угрозы сильного ЗТ на уровне экспертов-сейсмологов, и для организации оперативных действий на уровне правительства страны.

б. Анализ пространственно-временного развития ФШ деятельности.

Зона ФШ деятельности в январе-феврале ограничена координатами: по широте $\phi_{\min} = 32,33^\circ$ с.ш., $\phi_{\max} = 43,06^\circ$ с.ш., $\Delta\phi = 10,73^\circ$; по долготе $\lambda_{\min} = 142,37^\circ$ в.д., $\lambda_{\max} = 146,02^\circ$ в.д., $\Delta\lambda = 8,67^\circ$; в км соответственно $\Delta\phi \times \Delta\lambda = 1191 \times (704 - 814)$ (км²).

Зона ФШ деятельности ЗТ 9.03 и 10.03 ограничена координатами: по широте $\phi_{\min} = 38,25^\circ$ с.ш., $\phi_{\max} = 38,87^\circ$ с.ш., $\Delta\phi = 0,62^\circ$; по долготе $\lambda_{\min} = 142,42^\circ$ в.д., $\lambda_{\max} = 143,47^\circ$ в.д., $\Delta\lambda = 1,05^\circ$; в км соответственно $\Delta\phi \times \Delta\lambda = 68,8 \times 85,2$ (км²).

Обратим внимание на тот факт, что точка с координатами главного толчка $\phi = 38,29^\circ$ с.ш. и $\lambda = 142,4^\circ$ в.д. располагается в нижнем левом углу прямоугольника зоны ФШ деятельности 9-10.03, т.е. зоны очага ГТ, как мы покажем это ниже в табл. 6.

Таблица 6.

Распределение гипоцентров ФШ событий по глубине

	Глубина, км	Январь-февраль (41 событие)	(9-10).03 (36 событий)
Мелкофокусные ЗТ (МФ)	0-30	18	31
Среднефокусные ЗТ (СФ)	30-50	13	5
Глубокофокусные ЗТ (ГФ)	>50	10*	0

Примечание к табл. 6: из 10 помеченных знаком *) гипоцентры 6 событий расположены на глубине $h > 100$ км ($103 \leq h \leq 284$).

Данные табл.6 дают наглядное представление о характере динамики ФШ деятельности по мере приближения момента совершения главного толчка: за двое суток (9 и 10.03) не были зарегистрированы ГФ события, более чем в два раза уменьшилось число СФ событий, и почти в двукратно увеличилось число МФ событий. Если в январе-феврале сейсмическая активизация характеризовалась как почти равномерно распределённая по глубине, то 9-10.03 гипоцентры событий были сосредоточены на глубинах ближе к дневной поверхности. При более внимательном анализе МФ событий можно выделить три группы событий, расположенных соответственно: на первой критической глубине $h^1_{кр} < 20$ км, $N^1_{кр} = 19$ событий, на второй – $15 \leq h^2_{кр} \leq 20$ (км), $N^2_{кр} = 7$, и на третьей критической глубине (т.е. на глубине расположения гипоцентра ГТ) $h^3_{кр} = 19$ км, $N^3_{кр} = 3$, из которых 2 события произошли 10.03. (В качестве критической глубины мы рассматриваем глубину расположения гипоцентра ГТ $h_{ГТ} = 19$ км).

На рис. 2 приведён график изменения расстояния между гипоцентрами двух последовательных событий.

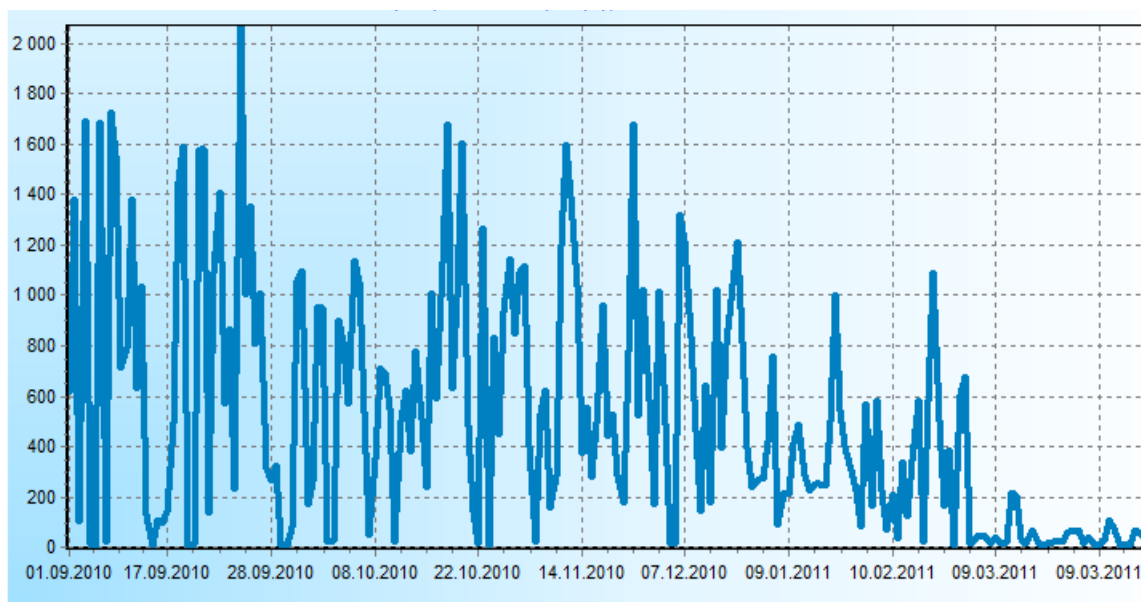


Рис. 2. График изменения расстояния между двумя последовательными сейсмическими событиями Японского ЗТ 11.03.2011 г.

Таким образом, как показывает график (рис. 2), характер изменения динамики ФШ деятельности 9-10.03 свидетельствует о формировании очага ГТ и постепенной концентрации гипоцентров событий в окрестности гипоцентра ГТ, как описано выше. Следовательно, возможность прогноза времени совершения этого катастрофического ЗТ существовала.

Приведённые выше соображения, мы считаем, являются ключевыми для решения задачи прогноза времени и места совершения ожидаемого сильного ЗТ. Технология решения этой очень сложной (и трудной) задачи кажется очевидной – отслеживать с помощью компьютерных технологий динамику ФШ деятельности, особенно на конечном участке, с визуализацией пространственного (в 2D и 3D представлениях) и временного развития процессов.

в. Анализ энергетической диссипации ФШ процесса.

Выше, в п.п. б и в, мы показали, как в результате ФШ деятельности сформировалась сначала аномальная зона, которая обусловила образование очаговой зоны, где интенсивно развивались геофизические процессы, приведшие, в конечном счёте, к созданию гипоцентра грядущего сильного ЗТ.

С физической точки зрения аномальная зона – это пространство некоторого объёма V , где давление p и температура T вещества в результате ФШ деятельности от почти статического (естественного) состояния переходит в изменчивое, так как происходит разрядка поля механических напряжений в геологической среде, сопровождающаяся высвобождением энергии и выделением тепла.

Ниже приводятся сравнительные данные по эволюции энергетики Японского ЗТ 11.03.2011 г. (табл. 7) [5].

Энергетическая оценка ФШ деятельности Японского ЗТ 11.03.2011 г.

	Количество событий	Энергия E, Дж	Эквивалент тепла Q, ккал
Январь	22	$2,9528 \cdot 10^{13}$	$7,06 \cdot 10^9$
Февраль	19	$6,0328 \cdot 10^{13}$	$14,42 \cdot 10^9$
9.03	26	$593,1048 \cdot 10^{13}$	$1417,0 \cdot 10^9$
10.03	10	$4,4740 \cdot 10^{13}$	$10,69 \cdot 10^9$
Σ	77	$6,066 \cdot 10^{15}$	$1,45 \cdot 10^{12}$
ГТ	1	$1,585 \cdot 10^{18}$	$378,5 \cdot 10^{12}$

Примечание к табл. 7. Значительно высокие (на два порядка больше) значения энергии и эквивалента тепла событий 9.03 по отношению к этим же значениям на других интервалах времени связано с одним событием с М 7.3, которое произошло 9.03.

При Японском ЗТ 11.03.2011 г. с М9 высвободилось сейсмической энергии $E_{\text{я}} = 1,585 \cdot 10^{18}$ Дж. в течение 10-15 сек. Это – взрыв колоссальной силы. С чем его можно сравнить?

При взрыве 10^3 килотонн тринитротолуола выделилась бы энергия $E = 4,2 \cdot 10^{15}$ Дж. 6 августа 1945 г. на г. Хиросима была брошена атомная бомба мощностью 20 килотонн. Простой арифметический расчёт показывает, что энергия Японского ЗТ эквивалентна энергии взрыва 18870 атомных бомб, брошенных на Хиросиму.

Эти оценки подтверждают те катастрофические геологические и разрушительные последствия Японского ЗТ 11.03.2011г.

г. Динамика развития интенсивности высвобождения энергии E (и теплоты Q) представлена данными табл. 8.

Как мы установили, факт выделения огромного количества теплоты в очаговой зоне подтверждается изменением температурного поля на дневной поверхности перед ГТ. Эпицентр Японского ЗТ 11.03.2011 г. находился примерно в 70 км от берега. О том, что в очаговой зоне при совершении ЗТ выделилось большое количество теплоты, свидетельствует тот факт, что волна цунами выбросила на берег большую массу мёртвой рыбы.

Интенсивность высвобождения энергии E и теплоты Q

	Январь $N_c = 22,$ $T_{\text{я}} = 31 \text{ с} =$ 744 час	Февраль $N_c = 19,$ $T_{\text{ф}} = 28 \text{ с} =$ 672 час	Март (9.03.) $N_c = 26,$ $T_9 = 24 \text{ ч}$	Март (10.03.) $N_c = 10,$ $T_{10} = 24 \text{ ч}$
$E \cdot 10^{12} \text{ Дж}$	29,528	60,328	5931,08 (282,08)	44,74
$I_{E1} \cdot 10^{12} \text{ Дж/сут}$	0,952	2.154	5931,08 (282,08)	44,74
$I_{E2} \cdot 10^{12} \text{ Дж/час}$	0,0397	0,090	247,13 (11.75)	1,865
$Q \cdot 10^9 \text{ ккал}$	7,06	14,42	1417,0 (68,0)	10,69
$I_{Q1} \cdot 10^9 \text{ ккал/сут}$	0,228	0,515	1417,0 (68,0)	10,69
$I_{Q2} \cdot 10^9 \text{ ккал/час}$	0,0095 ($9,5 \cdot 10^6$)	0,0215 ($21,5 \cdot 10^6$)	59,04 (2,83)	0,445

Примечание к табл. 8. В графе (9.03.) в скобках указаны значения энергии E и теплоты Q без учёта одного события – сильного ЗТ М7,3 с $h = 32 \text{ км}$.

Анализируя данные табл. 8, следует отметить существенное увеличение количества высвободившейся энергии E (Дж) и выделенной теплоты Q (ккал) 9.03. Это обстоятельство связано с тем, что в течение суток произошло 26 событий высоких энергетических классов, в том числе: два события с М7,3 и М5,4 с гипоцентрами на глубине $h = 32 \text{ км}$, 24 события с М(4,7-5,7), из которых гипоцентры 16 событий располагаются на глубинах $h = 1-20 \text{ км}$ и 8 событий – на $h = 21-25 \text{ км}$.

Это свидетельствует об окончательном формировании 9.03. очаговой зоны, как термодинамической системы, с резким повышением температуры вещества, а также локализацией её на глубине $h = 15-25 \text{ км}$. Формы, параметры и координаты очаговой зоны достаточно точно определяются по 3D модели пространственно-временного распределения ФШ событий. Завершение формирования очаговой зоны Японского ЗТ состоялось 10.03., после чего 11.03. произошло сильнейшее за последние десятилетия ЗТ [5].

Общие выводы:

1. В графике временного развития ФШ процессов как общие признаки определены:

а) наличие сейсмического «затишья» пред ГТ различной продолжительности,

б) понижение до нулевого уровня интенсивности высвобождения сейсмической энергии, связанное с «затишьем», и затем резкое повышение интенсивности перед ГТ.

2. Формирование очаговой зоны, как термодинамической системы, характеризуется разностью температур и давлений в очаговой зоне и окружающей её среде, с достаточно чётко обозначенной формой, простираемым в объёмном пространстве, размерами и глубиной расположения в локальном участке ЗК.

3. Применение компьютерных технологий моделирования и анализа ФШ процесса, по-видимому, является эффективным инструментом для решения задачи прогноза сильного ЗТ.

Список использованных источников

1. Гаджиев А.А., Ахмедулаева М.М. Об одном подходе к анализу форшоковой деятельности сильного землетрясения // APRIORI. Серия: Естественные и технические науки. 2014. № 1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.apriori-journal.ru/journal-estesvennie-nauki>
2. Гаджиев А.А. Предсказание землетрясений. Нетрадиционный подход к решению. Махачкала: «Эпоха», 2005. 406 с.
3. Гаджиев А.А., Гаджиев Р.А. Интегральная количественная мера сейсмической активности и её прогностические возможности // Вестник Дагестан. научного центра РАН. 1999. № 5. С. 26-31.
4. Моги К. Предсказание землетрясений. М.: «Мир», 1988. 382 с.
5. 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.