



**С.О. Борисов**  
канд. геол.-мин. наук  
ФБУ «ГКЗ»  
зам. генерального директора  
serge017@mail.ru

# Прогноз времени и места сильных землетрясений на основе мониторинга волн деформаций

*В статье приведен пример практического использования теории волн деформаций (тектонических волн) для целей прогноза мест и времени сильных и катастрофических землетрясений. Определены основные параметры медленных волновых процессов в земной коре и заложена основа применения теории для долгосрочного предсказания сильных землетрясений*

*The examples of practical application of the theory of deformations (tectonic) waves for purposes of prediction location and times of strong and catastrophic earthquakes has done in the Article. It was determined the main parameters of slow-wave processes the Earth crust and defined the basement for using the theory for long-term prediction of strong earthquakes*

**Ключевые слова:** землетрясение, прогноз, волны деформаций  
**Keywords:** earthquake, forecast, deformations wave

**П**роблема прогноза времени и места готовящихся сильных и катастрофических землетрясений всегда была и остается весьма актуальной. К настоящему времени в практике исследований параметров сейсмической активности с целью прогноза землетрясений сложились два основных направления. Первое – районирование территорий по принципу величины (балльности) ожидаемых землетрясений на основании изучения механических, деформационных и напряженных параметров геологической среды, а также использования статистического анализа исторической базы наблюдаемых проявлений сейсмической активности. Второе – прогноз времени и места конкретного землетрясения.

Традиционный путь решения проблем сейсмического районирования в значитель-

ной степени базируется на статистическом анализе результатов многолетних наблюдений за сейсмическим режимом исследуемого региона. Однако достоверность такой методики, особенно для внутриплитных регионов, сомнительна (Зомбак, Зомбак, 1984; Уломов, 1983), так как временной интервал аппаратных (достоверных) наблюдений за сейсмическим режимом весьма мал, а в геологическом масштабе времени – ничтожен. Несейсмичные по результатам таких исследований территории в любой момент (в связи со значительной длительностью тектонофизических процессов, формирующих зоны повышенной сейсмической активности) могут проявиться как весьма сейсмоопасные.

В связи с этим особую ценность приобретают методы, позволяющие районировать территории по уровню их потенциальной тектоно-

физической, а значит и сейсмической активности на основе исследований, опирающихся на результаты изучения и анализа механических и динамических свойств геологической среды и их изменений в связи со спецификой реального распределения в земной коре и мантии термодинамических параметров, которые отражают динамику развития современных тектонофизических процессов. Для изучения вариаций сейсмической активности такой подход представляется особенно важным и (как показывают проведенные автором исследования) продуктивным как при сейсмическом районировании, так и при прогнозе сильных и катастрофических землетрясений (Борисов, 1981, 1982, 1983).

Процесс формирования очага землетрясения в первом приближении можно представить в виде двух основных фаз: подготовительной, заключающейся в накоплении энергии в пределах достаточно локализованной области земной коры, и самого землетрясения – взрывоподобного выделения части этой энергии, сопровождающегося образованием соответствующих структур (разрывов, сдвигов и т.п.). Процессы накопления энергии определяют место готовящегося землетрясения. Время же контролируется явлениями (процессами), носящими функции «спускового механизма», т.е. явлениями, способными привести в зону готовящегося землетрясения достаточно большой импульс энергии за незначительный интервал времени. Можно привести длинный перечень процессов, претендующих, по мнению различных авторов, на роль такого механизма. Однако наибольшего внимания заслуживает гипотеза криповых волн (в различных системах терминологий их называют тектоническими, дилатационными, волнами Эльзассера, волнами напряжений и деформаций и т.д.), высказанная Сэвиджем (*Savage*, 1971) еще в 1971 г. и проверенная им на примере главных разрывов вдоль северо-восточной окраины Тихого океана. Убедительные доказательства наличия распространяющегося фронта деформаций шириной около 300 км получил К. Шольц (*Sholz*, 1977) на основании наблюдений за различными явлениями перед землетрясением в Хейтчене. По мнению Дж. Райса (1982) наиболее яркие проявления процессов распространения фронта напряжений и деформаций – последовательности крупных разрывов в земной коре.

Главный вывод этих исследований (независимо от предполагаемого механизма) заключается в том, что активность очагов сильных землетрясений контролируется медленными волновыми процессами, в то время как

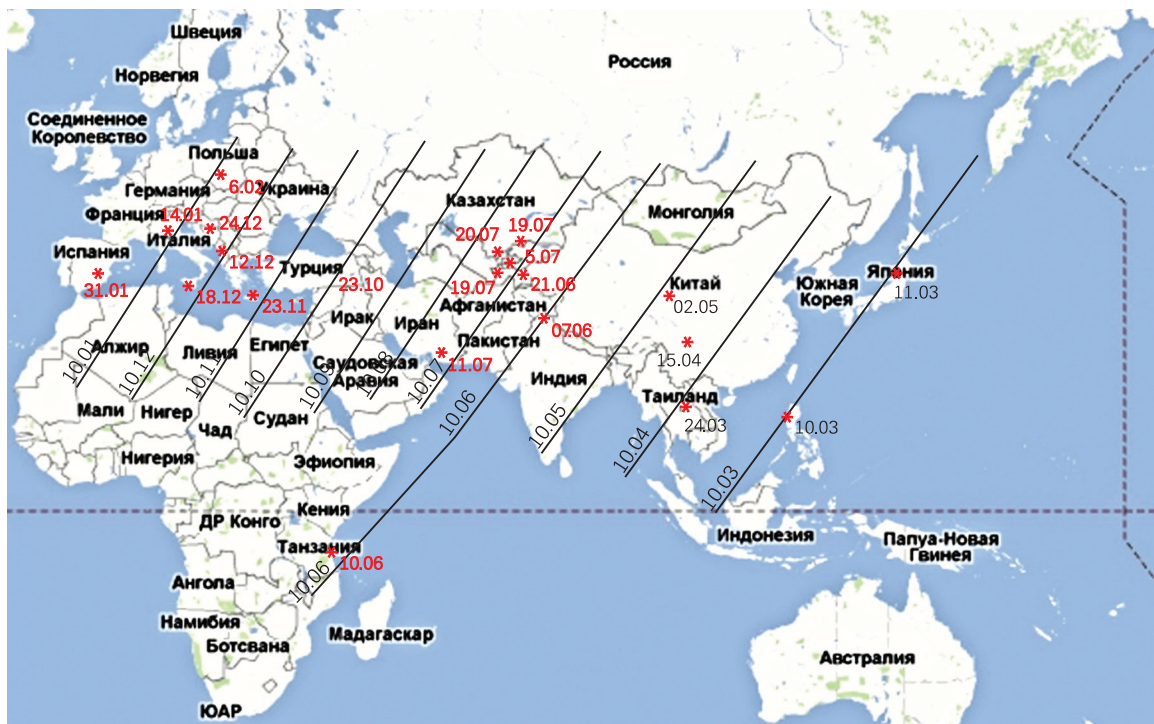
сейсмическая активность меньшей амплитуды развивается хаотически (*Mogi K.*, 1968). Представляется возможным, анализируя пространственно-временные параметры сильных землетрясений, выявить, проследить волны крипа и получить информацию о направлении и скорости их распространения, а также о положении и характере источников этих волн.

В результате проведенного автором анализа мест расположения и времени очагов сильных землетрясений за период 1900–1987 гг. на территории СССР были выявлены серии последовательно происходивших землетрясений, что позволило в первом приближении восстановить геометрию волн крипа, направление и скорость их распространения, оценить некоторые другие параметры (Борисов, 1988). Прослеженные серии включают в себя от 3–4 до 10 землетрясений магнитудой 4 и выше. Наиболее представительные из них обычно разбиваются на две группы, фронтальную, представляющую собой серию землетрясений, инициация которых обусловлена прохождением через энергетически и деформационно-напряженную очаговую зону фронта волны крипа, и тыловую, связанную с процессом снятия напряжений по прохождении волны. Это подтверждает существующее мнение (Райс Дж. 1982) о том, что волна крипа представляет собой некоторый процесс распространения в литосфере деформации (напряжения) и характеризуется сначала нарастанием, затем стабилизацией и последующим снятием. В качестве «спускового механизма», инициирующего землетрясение, выступают, главным образом первый, и, в меньшей мере, последний этапы процесса.

Выявленные и прослеженные серии позволяют рассчитать ширину волны крипа (в направлении распространения), которая варьирует в пределах от 100 до 170 км и зависит от направления распространения волны (характера источника) и охвата слоев тектонически расслоенной литосферы. Стоит отметить, что в соответствии с теорией изгибов волн Эльзассера ширина уединенной волны для земной коры континентального типа оценивается в 100–200 км (Гамбурцева, Дараган и др. 1985).

Прослеженные серии последовательно инициируемых волнами крипа сильных землетрясений позволяют говорить о наличии для изученной части Евразии как минимум трех основных источников волн напряжений и деформаций, стабильно проявляющихся от серии к серии. Исходя из геометрии волн и фактора повторяемости направлений и скоростей их распространения, автор высказал предположение о существовании контроля

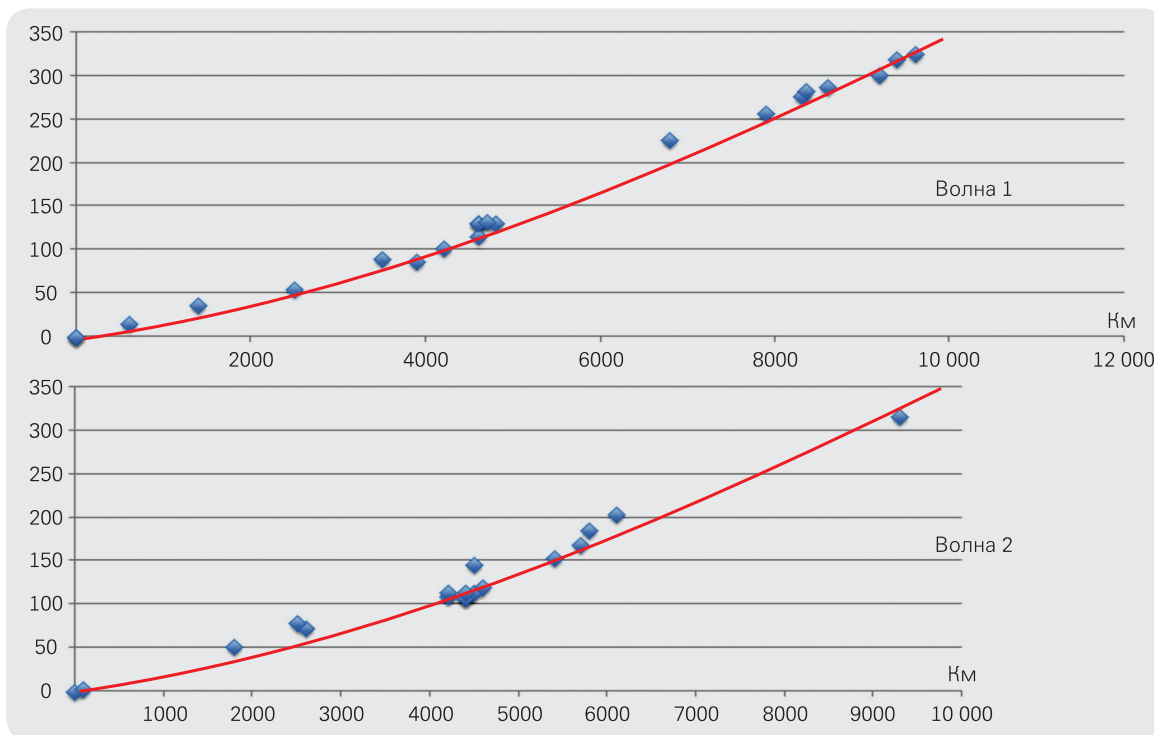
**Рис. 1.**  
Схематичное изображение положения Волны-1 с интервалом 1 месяц



источников волн крипа глобальными процессами, происходящими в настоящее время: рифтогенезом Красного моря – для волн северо-восточного направления; взаимодействием Евразийской и Индийской плит – для меридионального направления, и субдукционными процессами тихоокеанской зоны – для широтного направления распространения волн крипа (Борисов, 1988).

Рассмотрим два примера прогноза серий сильных землетрясений на основании мониторинга в реальном масштабе времени волн крипа широтного направления в 2011–2012 гг.

**Рис. 2.**  
Зависимость «время–расстояние» для двух волн крипа: по вертикали – время в днях до начала распространения волны; по горизонтали – расстояние от начального положения волны в км



### Практика прогноза сильных землетрясений

Представленные выше теоретические выкладки, а также результаты анализа сейсмической активности в пределах азиатского региона (Борисов, 1988) были применены автором при прослеживании волны крипа, первые эффекты прохождения (возникновения) которой были проявлены во время катастрофических землетрясений в марте 2011 г. в Японии.

Первые два землетрясения исследуемой серии (Волна-1) произошли практически одновременно в Японии близ Фукусимы (10.03.2011) и на Филиппинах (Миндоро, 11.03.2011) на расстоянии около 3000 км друг от друга. Эти синхронные события фиксируют первоначальное положение волны деформаций, которое практически совпадает с положением зоны субдукции Тихоокеанской плиты под Евразийский континент (*рис. 1*). В связи с искажениями при

плоском изображении эллипсоидоподобного геоида Земли графическое положение фронта волн деформаций представлено схематично, а видимые вариации расстояний между положениями фронта через равные промежутки времени также связаны с картографическими особенностями, а не с реальными вариациями параметров волн.

Из графика зависимости «время–расстояние» для двух волн крипа (*рис. 2*) очевидно, что скорость распространения волны деформаций монотонна с тенденцией ее падения по мере удаления от первоначального положения.

Дальнейшее распространение Волны-1, происходившее со средней скоростью 35 км в день, и с вариациями, обусловленными неоднородно ячеистой структурой коры и затуханием скорости распространения волны по мере ее продвижения, прослежено по 20 крупным землетрясениям (*табл. 1, рис. 1*). Последнее из отслеженных землетрясений серии про-

## Серия сильных землетрясений с первовступлением 10.03.2011

Таблица 1

### Волна 1

№	Дата в очаге	Страна (город)	Магнитуда или сила землетрясения	Расстояние от источника (км)	Время в днях от первого землетрясения серии	Средняя скорость км/день
1.0	10.03.11	Филиппины (Миндоро)	5	0	0	
1.1	11.03.11	Япония	9	0	0	
1.2	24.03.11	Мьянма (Чианграй)	7	600	14	42,9
1.3	15.04.11	Китай (Юньнань)	4,8	1400	36	38,9
1.4	02.05.11	Китай (Техетуханг)	4,3	2500	54	46,3
1.5	07.06.11	Пакистан (Кашбад)	4,7	3900	87	44,8
1.6	10.06.11	Танзания (Дар Ас Саалам)	4,8	3500	90	38,9
1.7	21.06.11	Индия (Кашмир)	4,6	4200	101	41,6
1.8	05.07.11	Киргизия (Ош)	4,6	4600	116	39,7
1.9	19.07.11	Таджикистан (Обигарм)	4,6	4800	130	36,9
1.10	19.07.11	Киргизия (Баткен)	6,2	4600	130	35,4
1.11	20.07.11	Узбекистан (Ташкент)	7	4600	131	35,1
1.12	21.07.11	Иран (Робрандан)	4,6	4700	132	35,6
1.13	23.10.11	Турция (Ван)	7,1	6800	226	30,1
1.14	23.11.11	Греция (Крит)	5,5	7900	257	30,7
1.15	12.12.11	Черногория (Плевля)	4,7	8300	276	30,1
1.16	18.12.11	Central Mediterranean Sea	4,6	8350	282	29,6
1.17	24.12.11	Албания–Черногория море	4	8600	288	29,9
1.18	06.01.12	Польша	4	9200	301	30,6
1.19	24.02.11	Италия (Парма)	4,1	9400	319	29,5
1.20	31.01.11	Испания (Гренада)	4,4	9600	326	29,4
				Средняя скорость		35,6

**Рис. 3.**  
Схематичное изображение положения Волны крипа 2 с интервалом 1 месяц



изошло на расстоянии в 9600 км от первого через 326 дней. На **рис. 1** указаны положения фронта волны на 10 число каждого месяца, очаги крупных землетрясений (красные точки) и даты в очагах.

Результатом прохождения прослеженной волны крипа стали: крупнейшее землетрясение в Пакистане (07.06.2011), серия мощных землетрясений в Средней Азии (19–20.07.2011 – Обигарм, Таджикистан; Баткен, Киргизия; Ташкент, Узбекистан), катастрофическое землетрясение в Турции (23.10.2011, Ван) (**рис. 1**).

10.07.2011 г. в Японии произошло новое крупное землетрясение, ставшее индикатором распространения новой волны крипа (**рис. 3**).

Распространение Волны-2 было прослежено по 18 крупным землетрясениям. Ее средняя скорость, как и в первом случае, составила 35 км в день. Серия включает катастрофическое землетрясение в Индии, крупные землетрясения в Иране и катастрофическое землетрясение в Италии (21.05.2012) с магнитудой 5,8 в очаге (**табл. 2**).

30 ноября 2011 г. автор на основании анализа параметров распространения и последующего мониторинга выявленных двух волн крипа сделал прогноз мест и времени вероятных сильных землетрясений и опубликовал его в интернете (<https://www.facebook.com/LoftyBand/>). На той же странице велся мониторинг результатов прогноза, который показал, что автор предсказал 10 землетрясений, произошедших в декабре 2011 и в начале 2012 гг.

Возможность осуществления прогнозных построений на основании установленных закономерностей вытекает из сопоставимости параметров прохождения выявленных волн крипа рассматриваемого направления (широтного) для различных периодов. Это выражается в полной идентичности графиков зависимости «время–расстояние» (**рис. 2**) для Волны-1 (первые вступления 10.03.2011) и Волны-2 (первые вступления 10.07.2011).

Очевидно, что форма фронта волны крипа не является прямой линией, как это изображено на **рис. 1** и **рис. 3**. Для конкретизации формы волны, изучения неоднородного строения земной коры по отношению к скорости распространения волн крипа, изучения других их особенностей необходимо вовлечение в анализ базы землетрясений меньшей магнитуды. Также необходимо создание неоднородной модели литосферы по параметру влияния ее неоднородностей (в том числе тектонофизических), а также мощностей расслоенной литосферы на скорости прохождения волн тектонических деформаций. Это позволит с большей точностью прогнозировать положение фронта волны в каждый конкретный момент времени.

Кроме того, необходимо изучить повторяемость возникновения сильных землетрясений, инициируемых волнами крипа в очаговых зонах с повышенной сейсмичностью. Исследованиями автора выявлены некоторые закономерности, заключающиеся в том, что одни очаговые зоны проявляют сейсмическую

## Серия сильных землетрясений с первовступлением 10.07.2011

Таблица 2

## Волна 2

№	Дата в очаге	Страна (город)	Магнитуда или сила землетрясения	Расстояние от источника (км)	Время в днях от первого землетрясения серии	Средняя скорость км/день
2.1	10.07.11	Япония	7,4	0	0	
2.2	13.07.11	Тайвань (море)	5,2	90	3	30,0
2.3	30.08.11	Мьянма-Китай	4,4	1800	51	35,3
2.4	18.09.11	Индия (Сиккима)	6,8	2600	73	35,6
2.5	23.09.11	Индия (Manipur)	4,5	2500	78	32,1
2.6	23.10.11	Киргизия	4,5	4400	108	40,7
2.7	23.10.11	Казахстан (Алмата)	3,7	4400	108	40,7
2.8	24.10.11	Китай Южный (Синцзянь)	4,4	4200	109	38,5
2.9	31.10.11	Афганистан (Гиндукуш)	4,6	4500	113	39,8
2.10	31.10.11	Gulf of Aden	5	4200	113	37,2
2.11	01.11.11	Китай (Синцзянь)	6	4400	114	38,6
2.12	07.11.11	Афганистан (Гиндукуш)	5,5	4600	120	38,3
2.13	03.12.11	Кения-Эфиопия	5	4500	146	30,8
2.14	10.12.11	Иран (Eastern Iran)	4,7	5400	153	35,3
2.15	26.12.11	Северо-восток Ирана	4,5	5700	169	33,7
2.16	11.01.12	Север Ирана	5,1	5800	185	31,4
2.17	29.01.12	Турция	4,7	6100	203	30,0
2.18	21.05.12	Север Италии	5,8	9300	316	29,4
				Средняя скорость		35,2

активность при прохождении каждой второй волны крипа, а другие накапливают энергию значительно дольше.

Детальный регулярный мониторинг медленных волновых процессов в литосфере по-

зволит создать систему оперативного прогноза сильных и катастрофических землетрясений с прогнозными построениями на год вперед, и с последующими уточнениями по мере мониторинга каждой конкретной волны крипа. <sup>(10)</sup>

## Литература

1. Борисов С.О. Глубинные термодинамические условия и динамика земной коры Средней Азии. Ташкент. 1988. 95 с.
2. Борисов С.О. Глубинный тепловой режим земной коры и сейсмоактивность // Физические свойства пород при высоких давлениях и температурах для задач сейсмологии. Ташкент. 1981.
3. Борисов С.О. Методика исследований распределения тектонических напряжений в земной коре и потенциальная сейсмичность некоторых районов Средней Азии. Ташкент. 1982.
4. Борисов С.О. Некоторые результаты исследований связи глубинного теплового режима и сейсмоактивности // Узбекский геологический журнал. 1983. № 2.
5. Гамбурцева Н.Г. и др. Периодические изменения параметров сейсмических волн, излучаемых мощными источниками и деформации литосферы // Прогноз землетрясений. 1985. № 6.
6. Зомбак М.Д., Зомбак М.Л. Поле напряжений и внутриплитовые землетрясения в США // Современные проблемы геодинамики. М. 1984.
7. Райс Дж. Механика очага землетрясения. М. 1982.
8. Mogi K. Earthquake Res. Inst., 1968.
9. Savage C.H. J. Geophys. Res., 1971.
10. Sholz C.H. Nature., 1977.