

НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ИЗМЕНЕНИЕМ НАГРУЗКИ НА ВУЛКАНИЧЕСКИЙ ПОЯС ОСТРОВНОЙ ДУГИ – ОСНОВА ДЛЯ НАДЕЖНОГО ПРОГНОЗА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В СЕЙСМОФОКАЛЬНОЙ ЗОНЕ

В.М. Ившин¹, Е.В. Ившина²

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, ivt@kscnet.ru

²ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Московская обл., Ленинский р-н, п. Развилка, E_Ivshina@vniigaz.gazprom.ru

Как известно, под вулканами существуют локальные неоднородности, отличающиеся от вмещающей среды пониженными скоростями сейсмических волн. Протяженность по вертикали этих аномальных тел достигает ста километров, а горизонтальные размеры варьируют от нескольких километров до первых десятков километров. Так как расстояние между вулканами равно нескольким десяткам километров, локальные неоднородности делают вулканический пояс с его глубинными корнями упругим геологическим телом. Вследствие этого островная призма – фронтальная часть островной дуги (рис.1) – под нагрузкой океанской плиты перед сильным землетрясением в сейсмофокальной зоне изгибается на вулканическом поясе в принципе так же, как изгибается длинная балка на упругом основании под действием поперечной силы.

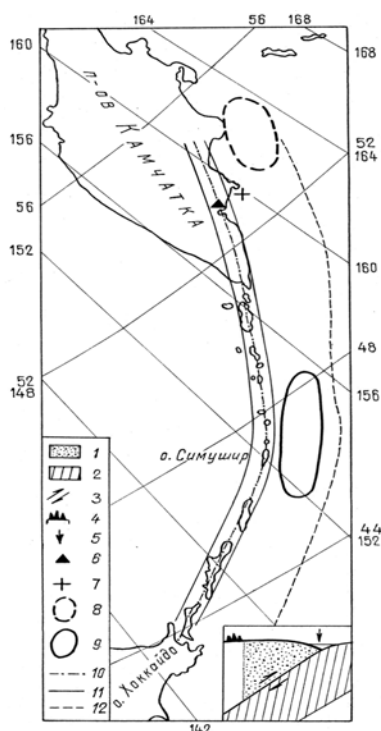


Рис.1. Карта-схема района геомеханических наблюдений.

1 - островная призма; 2 - океанская плита; 3 - усилия сдвига между океанской плитой и островной призмой; 4 - вулканический пояс; 5 - глубоководный желоб; 6 – геомеханический датчик в Петропавловске-Камчатском; 7 - эпицентр землетрясения в Авачинском заливе 2 марта 1992 г. с $M = 7.1$; 8 - очаг Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г. с $M = 7.8$; 9 – очаг Симуширского землетрясения 15 ноября 2006 г. с $M = 8.3$; 10 - ось Курило-Камчатского вулканического пояса; 11 - примерные границы Курило-Камчатского вулканического пояса; 12 - ось глубоководного желоба.

В районе очага землетрясения островная призма прогибается в сторону вулканического пояса, а на удалении от очага – в сторону океана. Прогиб островной призмы в сторону вулканического пояса упруго сжимает его, а прогибы в сторону океана – растягивают. Если при землетрясении происходит взброс по границе между островной призмой и океанской плитой со смещением в направлении к океану, то нагрузка океанской плиты с островной призмы снимается и последняя мгновенно оказывается только под нагрузкой упруго сжатого вулканического пояса. Резко приложенная нагрузка вызывает перемещение, которое в два раза превышает перемещение, создаваемое той же нагрузкой при постепенном ее приложении. Следовательно, под нагрузкой вулканического пояса островная призма во время землетрясения надвигается на океанскую плиту. После землетрясения она из-за действия на ее границе с океанской плитой силы трения вернуться в нейтральное положение не может и начинает изгибаться на вулканическом поясе как на упругом основании. В результате в вулканическом поясе в районе надвига возникает область растяжения, а вдали от него – области сжатия.

Из сказанного следует, что наблюдать за изменением тектонических сил в сейсмофокальной зоне и, следовательно, за изменением сдвиговых усилий в очаге назревающего землетрясения можно путем слежения за изменением нагрузки островной призмы на вулканический пояс, то есть путем слежения за изменением напряженного состояния в вулканическом поясе. С этой целью в Петропавловске-Камчатском был создан геомеханический датчик (рис. 1), представляющий собой жестко закрепленную в скальном массиве на глубине 50 м вертикальную гильзу длиной 2 м, в которой для преобразования величины угла отклонения гильзы от отвесной линии в электрический сигнал установлен специально разработанный для этого скважинный наклонномер НИВ-1 [Ившин, 1993]. Датчик позволяет наблюдать за изменением вертикальных градиентов горизонтального смещения в поверхностном слое Земли в направлении С-Ю и З-В. Под действием веса вышележащих пород сигнал датчика в направлении С-Ю линейно увеличивается, а в направлении З-В – линейно уменьшается. Под действием сжимающей нагрузки островной призмы, которая в вулканическом поясе заметно уменьшает объем (повышает давление), сигнал датчика нелинейно увеличивается как в направлении С-Ю, так и в направлении З-В. Растягивающая нагрузка островной призмы, заметно повышающая объем (уменьшающая давление) в вулканическом поясе, вызывает нелинейное уменьшение сигналов датчика и в направлении С-Ю, и в направлении З-В. Под действием сжимающей нагрузки островной призмы, которая практически не меняет объем (давление) в вулканическом поясе, сигнал датчика в направлении С-Ю нелинейно уменьшается, а в направлении З-В – нелинейно увеличивается. Реакция датчика на растягивающую нагрузку островной призмы, которая практически не меняет объем (давление) в вулканическом поясе, противоположна.

Наблюдения на геомеханическом датчике начались в октябре 1990 г. На рис. 2 приведены полученные данные. Рассмотрим их, опираясь на изложенные выше представления об изгибе островной призмы. Во время наблюдений, а именно 2 марта 1992 г., на расстоянии примерно 110 км от Петропавловска-Камчатского в Авачинском заливе произошло землетрясение с $M = 7.1$ (рис.1). В очаге была отмечена взбросовая подвижка по поверхности, падающей под полуостров Камчатка [Зобин и др., 1996]. До момента землетрясения, как видно на рис.2, сигналы датчика и в направлении С-Ю, и в направлении З-В одновременно нелинейно увеличивались и одновременно нелинейно уменьшались. Значит, перед Авачинским землетрясением в вулканическом поясе в районе Петропавловска-Камчатского менялось давление. Характер изменения давления говорит о том, что нагрузка океанской плиты на островную призму, а нагрузка последней на вулканический пояс сначала постепенно нарастала, а затем, достигнув незадолго до землетрясения максимума, начала снижаться, свидетельствуя о начале квазипластических деформаций горнопородной среды в очаге. Если в сейсмофокальной зоне рост сдвиговых усилий обусловлен только движением океанской плиты, с наступлением квазипластических деформаций землетрясение неизбежно. Поэтому наблюдение за ростом давления в вулканическом поясе с помощью геомеханического датчика позволяет прогнозировать сильные землетрясения в сейсмофокальной зоне Курило-Камчатской островной дуги.

Основанием для прогноза является уменьшение давления в вулканическом поясе после достижения им наибольшей величины [Ившин и др., 2005]. С 1992 г. геомеханические наблюдения велись для того, чтобы указанным методом на практике осуществить прогноз сильного землетрясения.

5 декабря 1997 г. у тихоокеанского побережья Камчатки недалеко от Кроноцкого полуострова произошло землетрясение с $M = 7.8$ (рис.1). Механизм землетрясения интерпретируется как типичный "субдукционный" взброс, при котором подвижка достигла величины 2.4 м [Гусев и др., 1998]. На рис.2 видно, что после Кроноцкого землетрясения сигналы датчика начали отклоняться от почти линейного хода до землетрясения. В направлении С-Ю сигнал увеличивался, а в направлении З-В уменьшался. Следовательно, в вулканическом поясе в районе Петропавловска-Камчатского, который расположен на расстоянии примерно 250 км от центра очага землетрясения, возникли силы растяжения, направленные поперек вулканического пояса. Появление сил растяжения означает, что после Кроноцкого землетрясения островная призма стала изгибаться на вулканическом поясе как на упругом основании, причем вблизи Петропавловска-Камчатского она прогибалась в сторону Тихого океана. Такой прогиб в сейсмофокальной зоне Авачинского залива вызвал рост сдвиговых усилий, которые увеличили сдвиговые усилия, создаваемые

субдуцирующей океанской плитой. В результате этого в 2002 г., как следует из рис.2, начался рост давления в вулканическом поясе в районе Петропавловска-Камчатского, что указывало на возможность нового сильного землетрясения в Авачинском заливе. Наибольшей величины давление достигло к 2004 г. Продолжительность роста давления тем больше, чем глубже находится участок сейсмофокальной зоны, в котором происходит увеличение усилий сдвига между океанской плитой и островной призмой [Ившин и др., 2009]. Поэтому ожидаемое землетрясение должно было быть более глубоким, чем землетрясение 2 марта 1992 г. с $M = 7.1$. С 2004 г. давление плавно уменьшается, свидетельствуя о квазипластическом разрушении в сейсмофокальной зоне Авачинского залива. На основании этого в докладе на Всероссийской конференции "Риск-2006" было сделано сообщение о том, что до конца 2006 г. в Петропавловске-Камчатском должно произойти сильное землетрясение [Ившин и др., 2006].

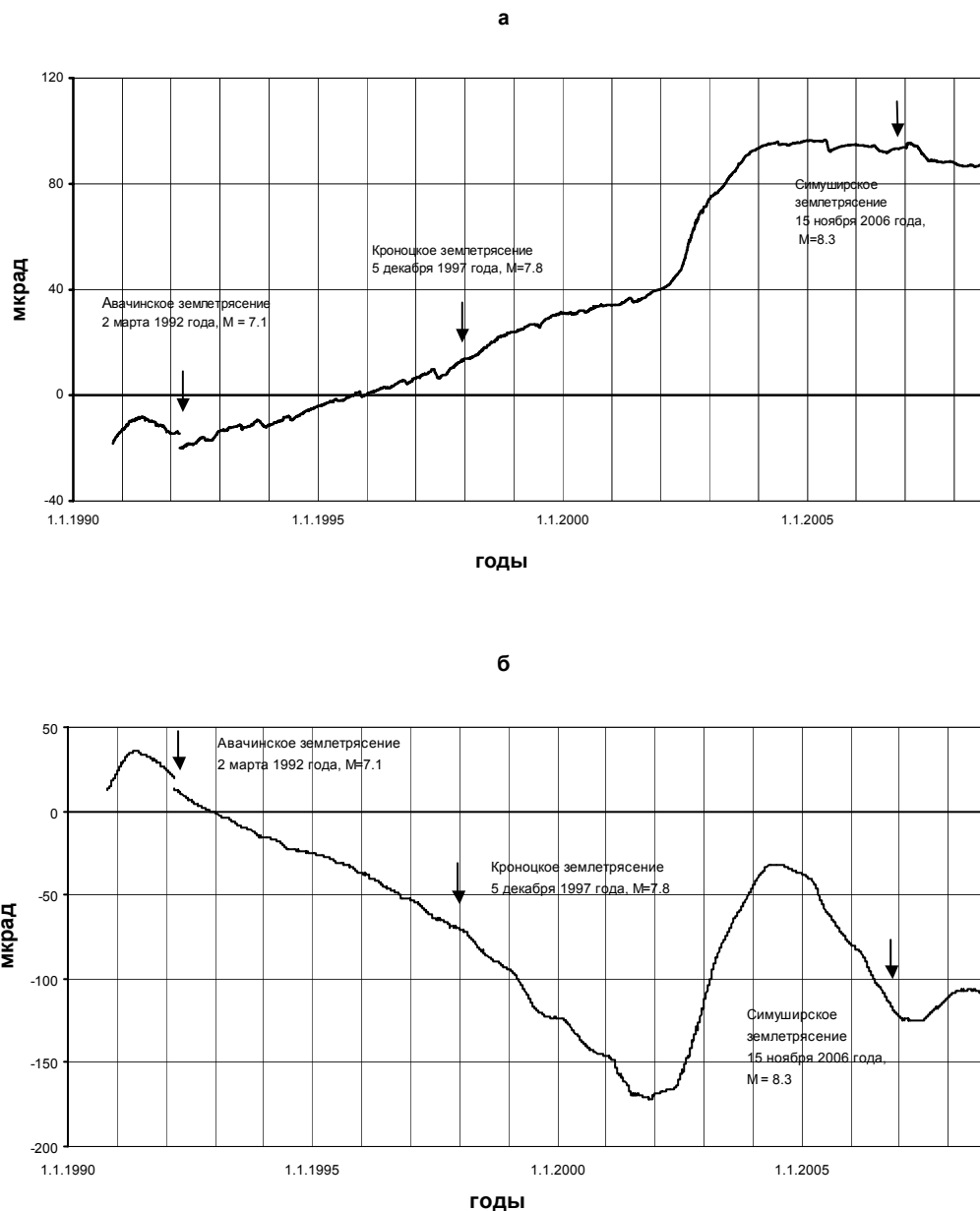


Рис. 2. Временные ряды углов отклонения продольной оси геомеханического датчика от отвесной линии в направлении С-Ю (а) и в направлении З-В (б), характеризующие изменение вертикальных градиентов горизонтального смещения в скальном массиве вулканического пояса в районе Петропавловска-Камчатского.

Однако назревающее землетрясение не произошло. Рассмотрим причину данного события и вытекающие из него следствия. 15 ноября 2006 г. восточнее о.Симушир на расстоянии примерно 800 км от Петропавловска-Камчатского возникло землетрясение с $M = 8.3$ (рис.1). Оно было

вызвано взбросом со смещением величиной 6.7 м вдоль полого падающей на запад поверхности [Тихонов и др., 2007]. После землетрясения, как можно видеть на рис.2, началось более интенсивное, чем до землетрясения, уменьшение сигнала геомеханического датчика в направлении С-Ю, а в направлении З-В сигнал датчика вместо уменьшения стал увеличиваться. Это означает, что после Симуширского землетрясения в вулканическом поясе в районе Петропавловска-Камчатского возникли силы сжатия, направленные поперек вулканического пояса. Появление сил сжатия говорит о том, что после Симуширского землетрясения островная призма начала изгибаться на вулканическом поясе как на упругом основании. При этом вблизи Петропавловска-Камчатского она прогибалась в сторону вулканического пояса. Такой прогиб в сейсмофокальной зоне Авачинского залива вызвал рост сдвиговых усилий, которые уменьшили сдвиговые усилия, создаваемые субдуцирующей океанской плитой. По этой причине квазипластические деформации, которые начались в 2004 г. в сейсмофокальной зоне Авачинского залива, прекратились. Это означает, что макроразрыв в земной коре, вызывающий землетрясение, так же, как и разрыв любого тела, может быть предотвращен приложением соответствующих сил.

Выше был сформулирован геомеханический способ прогноза сильных землетрясений, разработанный после землетрясения в Авачинском заливе в 1992 г. с $M = 7.1$. Он базируется на том, что рост сдвиговых усилий в сейсмофокальной зоне обусловлен только движением океанской плиты. Однако результаты геомеханических наблюдений, выполненных после 1992 г., показывают, что сильные землетрясения, вызванные взбросом со смещением в сторону Тихого океана, из-за изгиба островной призмы на вулканическом поясе как на упругом основании обусловлены активным движением как Тихоокеанской плиты, так и островной призмы. Вследствие этого прогноз сильных землетрясений в некоторой точке сейсмофокальной зоны будет надежным, если известно напряженное состояние в вулканическом поясе не только в рассматриваемой точке, но и на расстоянии многих сотен км от нее. Для выполнения надежного прогноза в условиях Курило-Камчатской дуги необходимо иметь геомеханические датчики, кроме созданного в Петропавловске-Камчатском, по крайней мере, в г. Ключи, на о.Парамушир, на о.Симушир и на о.Кунашир.

Список литературы

- Гусев А.А., Левина В.И., Салтыков В.А., Гордеев Е.И.** Сильное Кроноцкое землетрясение 5 декабря 1997 года: основные данные, сейсмичность очаговой зоны, механизм очага, макросейсмический эффект //Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 года / Под ред. Гордеева Е.И., Иванова Б.В., Викулина А.В. Петропавловск-Камчатский, 1998. С. 32-49.
- Зобин В.М., Гордеев Е.И., Левина В.И. и др.** Камчатское землетрясение 2 марта 1992 г. (магнитуда $M_L=7.1$) в Авачинском заливе и связанные с ним явления // Вулканология и сейсмология. 1996. № 6. С. 48-61.
- Ившин В.М.** Скважинный наклономер НИВ-1 // Вулканология и сейсмология. 1993. № 5. С. 105-112.
- Ившин В.М., Ившина Е.В.** Геомеханический метод прогноза сильных землетрясений // Вулканология и сейсмология. 2005. № 6. С. 61-67.
- Ившин В.М., Ившина Е.В.** Текущая сейсмическая обстановка в районе Петропавловска-Камчатского по геомеханическим данным // Материалы Всероссийской конференции «Риск-2006» / Отв.редактор Рагозин А.Л. Москва: Изд-во Российского университета дружбы народов, 2006. С. 133-135.
- Ившин В.М., Ившина Е.В.** Геомеханический способ прогноза цунами в зоне островных дуг // Материалы Всероссийской научной конференции "100-летие Камчатской экспедиции Русского географического общества 1908-1910 гг." Петропавловск-Камчатский. ИВиС ДВО РАН. 2009. С. 116-123.
- Тихонов И.Н., Василенко Н.Ф., Прытков А.С. и др.** Катастрофические Симуширские землетрясения 15 ноября 2006 г. и 13 января 2007 г. // Проблемы сейсmobезопасности Дальнего Востока и Восточной Сибири: междунар. научн. симпоз., Южно-Сахалинск, Россия, 27-30 сентября 2007 г. / Отв. ред. Тихонов И.Н., Коновалов А.В. Южно-Сахалинск: Ин-т мор. геологии и геофизики ДВО РАН, 2007. 166 с.