



УДК 531:550.3

В. М. Ившин¹, Е. В. Ившина²

¹ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский, 683 006;
e-mail: ivt@kscnet.ru

² ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
Московская обл., Ленинский р-н, п. Развилка, 142 717;
e-mail: E_Ivshina@vniigaz.gazprom.ru

Детерминистический метод краткосрочного прогноза землетрясений

Предлагается способ прогноза землетрясений, позволяющий в зоне коллизии детерминистически осуществлять краткосрочный прогноз.

Введение

В настоящее время в разных странах с целью прогноза землетрясений выполняются наблюдения за предвестниками землетрясений аномалиями различных природных явлений, которые сопровождают подготовку землетрясений. Однако попытки прогноза на основе результатов наблюдений, как правило, оказываются безуспешными, поскольку указанные аномалии мозаичны и с трудом выделяются на фоне шумов.

В этой связи ниже рассматривается способ прогноза землетрясений, который основан не на традиционном выявлении аномалий, а на наблюдении за изменением во времени тектонического давления в поверхностном слое Земли.

Способ наблюдения за тектоническим давлением

В работах [4, 7] доказывалось, что перед сильным землетрясением в сейсмофокальной зоне островных дуг в вулканическом поясе вблизи очага возникает область довольно сильного горизонтального сжатия, которое меняется во времени в соответствии с изменением нагрузки океанской плиты.

В области сжатия вблизи земной поверхности главные тектонические напряжения однородны на больших вертикальных площадках. В системе координат XYZ они определяются из выражений [9]:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \lambda\Delta + 2G\varepsilon_x, \\ \sigma_y &= \lambda\Delta + 2G\varepsilon_y, \\ \sigma_z &= \lambda\Delta + 2G\varepsilon_z.\end{aligned}\quad (1)$$

В выражениях (1) σ — напряжение, ε — деформация, $\Delta = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$ — объёмная деформация. Коэффициенты в (1) имеют вид:

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}, \quad G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

где E — модуль Юнга, ν — коэффициент Пуассона.

Напряжения (1) в некоторой точке поверхностного слоя из-за невозможности бокового расширения вызывают одноосные горизонтальные деформации. Когда деформация направлена вдоль оси X , из (1) имеем:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= (\lambda + 2G)\varepsilon_x, \\ \sigma_y &= \lambda\varepsilon_x, \\ \sigma_z &= \lambda\varepsilon_x.\end{aligned}\quad (2)$$

На основании (2) получаем:

$$\varepsilon_x = \frac{p}{K}\quad (3)$$

где $p = (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)/3$ — давление, $K = (3\lambda + 2G)/3 = E/[3(1 - 2\nu)]$ — объёмный модуль.

Соотношение (3) показывает, что одноосная деформация при трёхосном напряжённом состоянии равна объёмной деформации. Изменение объёма на отрезке длиной l от точки, где деформация равна нулю, до точки наблюдения равно:

$$u_x = \int_0^l \varepsilon_x dx = \int_0^l \frac{p}{K} dx = \frac{\bar{p}}{\bar{K}} l\quad (4)$$

где \bar{p} и \bar{K} — средние на отрезке l значения давления p и объёмного модуля K .

В выражении (4) \bar{K} зависит от глубины. Поэтому под действием океанской нагрузки в поверхностном слое вулканического пояса возникает вертикальный градиент горизонтального смещения du/dz , являющийся функцией \bar{p} . А это означает, что наблюдая за указанным градиентом смещения можно следить за изменением во времени тектонического давления.

Результаты наблюдения

Для наблюдения за изменением градиента смещения du/dz в скальном массиве в г. Петропавловск-Камчатский был создан геомеханический датчик. Датчик представляет собой прочно связанную со средой на глубине 50 м вертикальную гильзу длиной

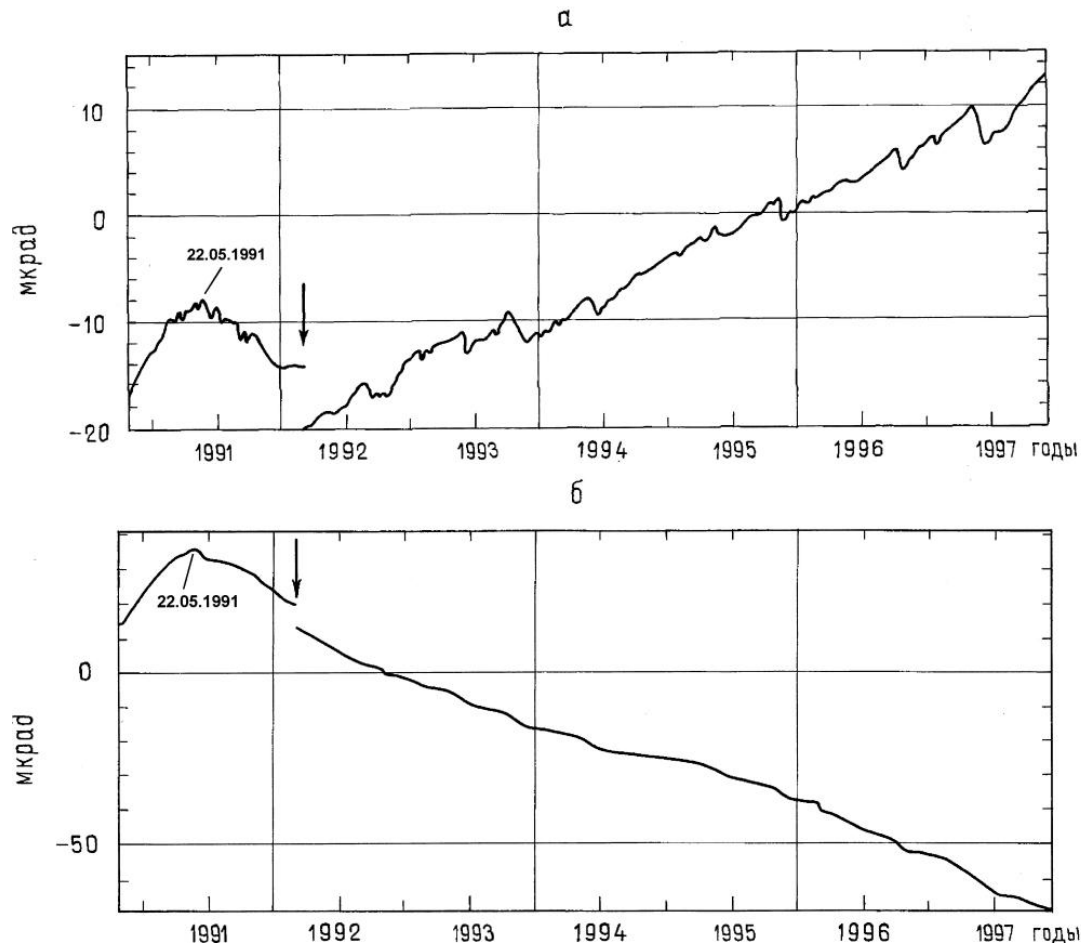


Рис. 1. Временные ряды геомеханического датчика, созданного в г. Петропавловск-Камчатский для наблюдения за изменением тектонического давления. Стрелкой указан момент землетрясения 2 марта 1992 г. в Авачинском заливе.

2 м, в которой для преобразования механического сигнала в электрический закреплён скважинный наклонмер модели НИВ-1 [2].

Создание такого датчика стало возможным после многолетних исследований градиента смещения $\partial u/\partial z$, обусловленного давлением вышележащих горных пород. Исследования показали, что в скальном массиве на глубине 50 м указанный градиент характеризуется соотношением [6]:

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{k}{\eta} \frac{\partial p}{\partial z} t \quad (5)$$

где p — давление вышележащих горных пород, η — коэффициент вязкости среды, t — время, k — коэффициент пропорциональности.

Из (5) следует, что в скальном массиве градиент смещения, обусловленный давлением вышележащих пород, является линейной функцией времени и на него не влияет тектоническое давление.

Полученные результаты позволяли надеяться, что с помощью созданного геомеханического датчика можно обнаружить нелинейное изменение тектонического давления перед сильным землетрясением в сейсмофокальной зоне. Под давлением вышеле-

жащих пород сигнал этого датчика в направлении С-Ю во времени линейно увеличивается, а в направлении З-В — линейно уменьшается. С ростом тектонического давления сигнал датчика должен нелинейно увеличиваться как в направлении С-Ю, так и в направлении З-В. Падение тектонического давления будет вызывать нелинейное уменьшение сигналов датчика.

В период наблюдений с помощью геомеханического датчика, а именно 2 марта 1992 г., на расстоянии около 100 км от г. Петропавловск-Камчатский произошло сильное землетрясение с $M = 7,1$. Эпицентр землетрясения находился в Авачинском заливе. Его очаг занимал диапазон глубин от 10 до 40 км. В очаге была отмечена взбросовая подвижка по поверхности, падающей под полуостров Камчатка [1].

Временные ряды, полученные с помощью геомеханического датчика, представлены на рис. 1. Данные ряды свидетельствуют, что сигналы датчика до землетрясения менялись во времени нелинейно, а после землетрясения — практически линейно. Перед землетрясением сигналы и в направлении С-Ю, и в направлении З-В сначала увеличивались, а потом плавно уменьшались. Значит, нагрузка Ти-

хоокеанской плиты, которая движется с постоянной скоростью, в районе Авачинского залива вначале росла, а достигнув наибольшей величины стала падать. Такой характер изменения нагрузки говорит о том, что землетрясение 2 марта 1992 г. предварялось квазипластическими деформациями в очаге, которые начались тогда, когда создаваемое нагрузкой напряжение в очаге достигло предела его прочности [10].

Обсуждение результатов наблюдения

1. Полученные ряды доказывают, что с помощью геомеханического датчика можно зафиксировать начало квазипластических деформаций в очаге назревающего землетрясения. Это обстоятельство делает возможным прогноз сильных землетрясений. Основанием для прогноза является уменьшение давления после достижения им наибольшей величины [3, 5, 8].

2. Из типичных кривых напряжение-деформация для горных пород следует, что чем выше давление и выше температура при постоянной скорости деформации, тем больше времени проходит с момента достижения напряжением предела прочности горной породы до момента её разрушения [10]. Основываясь на данных кривых можно утверждать, что перед сильными землетрясениями в сейсмофокальной зоне островных дуг, которые чаще всего возникают на глубине нескольких десятков километров, продолжительность спада давления в вулканическом поясе от момента максимума до момента землетрясения должна быть значительной. Перед землетрясением в Авачинском заливе 2 марта 1992 г. этот спад продолжался примерно 9 месяцев.

3. На приведённом рисунке видно, что во время землетрясения в Авачинском заливе 2 марта 1992 г. с $M = 7,1$ произошёл скачок давления в вулканическом поясе. Данный факт свидетельствует о том, что в момент землетрясения имел место переход потенциальной энергии горизонтального сдвига, накопленной до землетрясения в поверхностном слое вулканического пояса в районе датчика в кинетическую энергию.

Выводы

1. В зоне коллизии как и в зоне субдукции островных дуг нагрузка перед землетрясением сначала растёт, а с наступлением квазипластических деформаций в очаге — постепенно уменьшается. Следовательно, и в зоне коллизии наблюдение с помощью геомеханического датчика за изменением давления в поверхностном скальном массиве на глубине 50 м позволяет осуществлять прогноз сильных землетрясений. Этот прогноз будет краткосрочным, так как в зоне коллизии землетрясения возникают на глубинах до 10 — 15 км, где почти сразу же после достижения напряжением в очаге предела прочности происходит его разрушение.

2. В зоне коллизии, как известно, сильные землетрясения не зависят друг от друга. Здесь с наступлением квазипластических деформаций макро-разрыв становится неизбежным. Поэтому прогноз сильных землетрясений в зоне коллизии, основанный на данных геомеханического датчика, является детерминистическим.

3. Геомеханические наблюдения в зоне коллизии могут быть средством прогноза катастрофических землетрясений, так как они позволяют следить за накоплением в поверхностном слое Земли потенциальной энергии горизонтального сдвига, которая в момент землетрясения превращается в кинетическую энергию.

Список литературы

1. 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.
2. Ившин В. М. Скважинный наклономер НИВ-1 // Вулканология и сейсмология. 1993. № 5. С. 105–112.
3. Ившин В. М., Ившина Е. В. Геомеханический метод прогноза сильных землетрясений // Вулканология и сейсмология. 2005. № 6. С. 61–67.
4. Ившин В. М., Ившина Е. В. О причине кривизны островных дуг // Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Том 1. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. С. 67–70.
5. 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.
6. Ившин В. М., Ившина Е. В. Способ непрерывного наблюдения за изменением тектонического давления в вулканическом поясе с целью прогноза сильных землетрясений // Материалы ежегодной конференции, посвящённой Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2010. С. 81–91.
7. Ившин В. М., Ившина Е. В. Механизм образования сейсмических брешей // Материалы ежегодной конференции, посвящённой Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2010. С. 92–100.
8. Ившин В. М., Ившина Е. В. Наблюдение за изменением нагрузки на вулканический пояс островной дуги — основа для надёжного прогноза сильных землетрясений в сейсмофокальной зоне // Материалы Всероссийской конференции, посвящённой 75-летию Камчатской вулканологической станции. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2010. С. 38–42.
9. Тимошенко С. П. Теория упругости. Л.-М.: ОНТИ, 1937. С. 19–23.
10. Хэндин Д. Реология горных пород // Структурная геология и тектоника плит. Том 2. / Под ред. К. Сейферта. М.: Мир, 1991. С. 249–262.