

МОНИТОРИНГ ОБЪЕМНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД – ОДИН ИЗ ИНСТРУМЕНТОВ ОЦЕНКИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ

*И.И. Степанов *, В.И. Степанов ***

**Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский;*

***Федеральное Государственное Унитарное Предприятие Александровская Опытная-
Методическая Экспедиция Министерства Природных Ресурсов, г. Александров,
stepanovvi@mail.ru*

Продолжающиеся восьмой год наблюдения за поведением объемных деформаций поверхностных образований с помощью геохимического объемного деформометра [1] в точке наблюдения, находящейся в г. Петропавловске-Камчатском, показали, что они могут служить одним из эффективных инструментов оценки геодинамического состояния больших участков земной коры.

В первые годы мониторинга этого параметра предполагалось, что вариации объемных деформаций могут отражать процессы, происходящие лишь в соседних областях, поэтому не обращалось должного внимания на события, происходившие на больших расстояниях.

Однако, по мере накопления данных, стало очевидно, что на местное деформационное поле могут оказывать влияние, иногда очень большое, вплоть до того, что становятся определяющими, геодинамические процессы, завершающиеся сильными землетрясениями с эпицентрными расстояниями, около 3000 км. Это означает, что геодинамические возмущения могут охватывать области площадью до 10 млн. кв. км и даже более.

Естественно, чем меньше масштабы геодинамического возмущения, тем меньшую площадь они затрагивают.

В литературе встречались предположения, что подготовка сильных сейсмических событий должна охватывать большие территории с радиусом в несколько тысяч километров. Эта гипотеза исходила из разумных априорных предположений, что чем выше накапливаемая тектоническая энергия, тем большие участки земной коры должны испытывать влияние этих процессов. Однако, прямых доказательств гипотезы не приводилось вследствие отсутствия адекватных технологий.

Для исследования зависимости функции изменения объемных деформаций в точках наблюдения в период их мониторинга (1998-2005 гг.) от энергии землетрясений, зафиксированных за этот период, использовались данные каталога USGS (NEIC). Учитывались землетрясения с глубинами очагов $H \leq 500$ км, магнитудами $M \geq 5,0$ и эпицентрными расстояниями $D \leq 3500$ км. Магнитуды землетрясений переводились в энергию согласно уравнению

$$K_s = 0,85 M_s + 8,3$$

Были рассчитаны величины среднемесячных величин объемных деформаций и для тех же временных интервалов значения суммарной энергии землетрясений с $M = \geq 5$ для области радиусом 3500 км с центром в городе Петропавловске-Камчатском.

На Рис. 1 приведены графики обеих функций. Эти распределения показывают, что объемные деформации несут неизвестную ранее информацию о геодинамической обстановке в регионе.

Неожиданным оказалось отражение в местном деформационном поле дальних сейсмических событий. Ожидалось, что регистрируемое деформационное поле должно определяться геодинамической ситуацией вблизи точки наблюдения на территории с радиусом максимум 200 км. Но эмпирические данные показали, что в некоторых условиях может контролироваться намного большая область, измеряемая даже миллионами квадратных километров.

Естественно, что такие большие размеры участков коры, охваченных деформационными возмущениями, соответствуют подготовке лишь крупных геодинамических событий. Но именно они представляют наибольшую опасность, и своевременная информация об их подготовке имеет максимальную ценность.

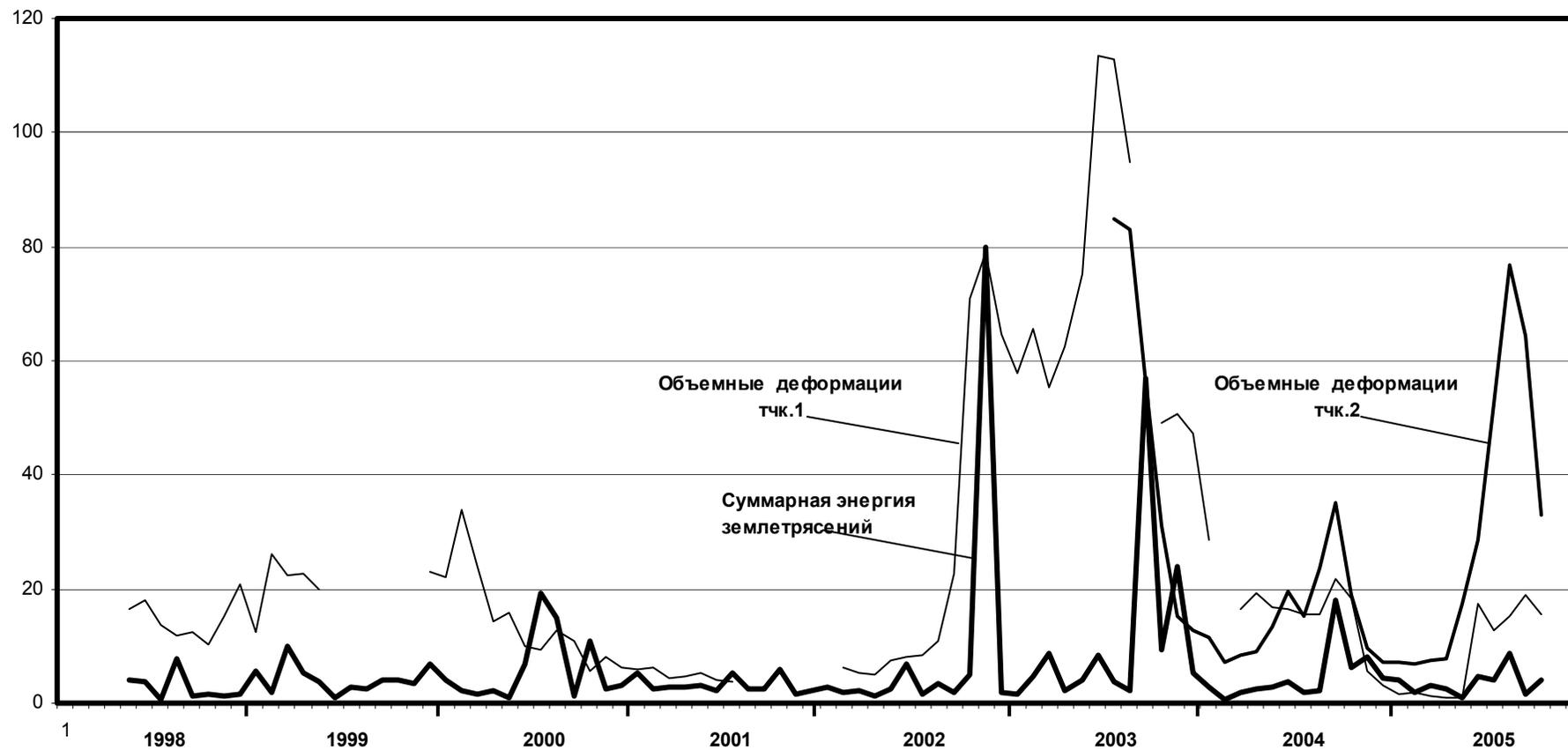


Рис. 1. Функции изменения среднемесячных значений объемных деформаций в точках №1 и №2 (Петропавловск-Камчатский) и среднемесячных величин суммарной энергии землетрясений с магнитудами $M \geq 5$, произошедших на территории с радиусом ≤ 3500 км с центром в точке измерения №1 в 1998-2005 гг. По оси ординат - величина объемных деформаций и суммарная энергия землетрясений в условных единицах. По оси абсцисс - даты (годы).

Существование зависимости между среднемесячными значениями амплитуды деформационного поля и энергии землетрясений очевидно из приведенных на рисунке графиков. Легко визуально заметная положительная корреляция подтверждается и вычислениями. Определение коэффициента парной корреляции « r » показало, что для данной выборки $r = 0,277$. Коэффициент корреляции значим, поскольку его критическое значение на уровне значимости 0,95 равно 0,217. Относительно невысокое вычисленное значение коэффициента корреляции в данном случае объясняется тем, что на деформационное поле, естественно, по-разному влияют геодинамические события, происходящие на разных расстояниях от точки наблюдения и разных глубинах.

При прочих равных условиях, чем ближе событие, тем больше амплитуда деформационного поля в данной точке. И, наоборот, чем дальше, тем слабее. Зависимость амплитуды деформаций от расстояния степенная, показатель степени неизвестен, но, скорее всего, он больше 2,5 и меньше 3,0.

Кроме того, зависимость амплитуды деформационного поля от энергии землетрясений не может быть во всех точках графика однозначной потому, что накопленная тектоническая энергия может выделяться разными способами и в виде ударных волн при землетрясении, и, например, в виде тепла в процессе крипа. Поэтому в некоторых точках вероятно занижение величины энергии землетрясений.

Мониторинг объемных деформаций, как показывают приведенные данные, может служить эффективным среднесрочным предвестником землетрясений. Чем крупнее событие, тем яснее и рельефнее выступает его подготовка.

Наличие регулярной сети пунктов наблюдения создаст условия для прогноза не только времени наступления событий, но и их приблизительных координат. А это позволит приблизиться к решению задачи полноценного прогноза землетрясений, поскольку знание местоположения эпицентра ожидаемого события облегчит оценку его предполагаемой магнитуды.

На приведенном рисунке величина объемных деформаций указана в условных единицах. Поэтому, хотя энергия землетрясений рассчитана в стандартных единицах ($n \times 10^{14}$ Дж), оба распределения построены в произвольных друг относительно друга масштабах.

Сопоставление распределений позволяет без труда выделять периоды, когда местные геодинамические события превалируют над региональными и, наоборот, когда деформационное поле определяется региональными, удаленными от места наблюдения феноменами.

Например, в августе 1998 г. всплеск энергии обусловлен двумя землетрясениями с магнитудами и эпицентрными расстояниями в км (указанными соответственно в числителе и знаменателе) 7,1/440 и 6,3/1100. Вследствие больших эпицентральных расстояний они, практически, не нашли заметного отражения в деформационном поле.

В начале 1999 и 2000 гг., напротив, деформационное поле выглядело аномальным по сравнению с близкой к фоновому уровню выделившейся сейсмической энергией. По-видимому, такое поведение деформационного поля говорит о том, что в этот период оно определялось, главным образом, локальными геодинамическими событиями.

Деформационное поле, как это достаточно четко отражено в приведенном распределении, несколько опережает сейсмические события, а его спад затянут во времени. Объяснение такого поведения кажется несложным. Подготовка любого геодинамического события должна сопровождаться накоплением тектонической энергии, что, естественно, требует времени. А после события, сопровождающегося выделением накопленной энергии, также требуется некоторое время для возвращения деформационного поля, охватывающего большую территорию, в исходное невозбужденное состояние. Согласно данному распределению подготовка даже сильного землетрясения с $M = 8,5$, происшедшего 3 ноября 2002 г. на Аляске, потребовала примерно 4 месяца.

Весь 2001 год и первую половину 2002 г. и деформационное поле, и сейсмическая ситуация вели себя синхронно и находились вблизи фоновых уровней. Ситуация резко изменилась в августе 2002 года, когда деформационное поле начало свой быстрый рост. Это совпало с подготовкой сильного Аляскинского землетрясения 3 ноября 2002 г. с $M = 8,5$.

В течение примерно полугода после этого выдающегося события сохранялся высокий деформационный фон при относительно низком уровне выделившейся суммарной сейсмической энергии. Вероятно, это отвечало повышенной локальной геодинамической активности, проявившейся, в частности, в виде землетрясения с $M = 6,9$ с эпицентром южнее Ключевской группы вулканов. Подготовка этого значительного по энергии события с очагом глубокого

заложения, учитывая его близость к точке наблюдения (эпицентральное расстояние $D = 280$ км, $H = 170$ км), по-видимому, и вызвала продолжительное аномально большое возмущение деформационного поля в точке наблюдения.

Дальнейшее поведение деформационного поля отражает снижение местной геодинамической активности на Камчатке и ее усиление в районе Японии. Относительно удаленные (с эпицентральными расстояниями $D = \geq 1700$ км), но значительные по энергии, землетрясения в Японии, особенно сильное землетрясение с $M = 8,3$ у острова Хоккайдо 25 сентября 2003 г., а также ноябрьские землетрясения привели к заметному усилению объемных деформаций в точке мониторинга.

Показателен всплеск амплитуды деформационного поля в сентябре-октябре 2004 г., соответствующий очередному усилению сейсмичности в Японии. Он свидетельствует о том, что сейсмические события, даже среднего масштаба, происходящие на удалении 1500 и более км от места наблюдения, могут в некоторых случаях отражаться контрастными деформационными аномалиями.

Так же логично вели себя деформации и в течение 2005 г. Локальная сейсмическая активность в районе Камчатки в этом году была низкой, зато в районе Японии имело место ее очередное усиление, совпавшее с контрастной деформационной аномалией, продолжавшейся около полугода.

Резюмируя сказанное, можно утверждать, что мониторинг объемных деформаций поверхностных образований служит эффективным средством получения неизвестной прежде информации о геодинамической ситуации не только в локальном, но и в региональном масштабах. Опыт почти восьмилетних наблюдений показывает, что объемные деформации могут выступать в роли эффективного среднесрочного предвестника сильных сейсмических событий, дополняющего известные методы и, таким образом, повышающего надежность их среднесрочного прогноза.

Список литературы

1. Степанов И.И., Степанов В.И. Опыт использования на Камчатке геохимического объемного деформометра с целью изучения вариаций объемных деформаций. // В Сборнике "Инженерно-физические исследования на Камчатке", труды КГАРФ, 1999 г., вып.9, стр. 71-80.