

Г. А. СОБОЛЕВ, Л. Б. СЛАВИНА

## БЫСТРЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СРЕДЫ В СЕЙСМОАКТИВНОМ РАЙОНЕ

(Представлено академиком М. А. Садовским 6 VII 1973)

В работе <sup>(1)</sup> были описаны аномальные изменения ряда геофизических полей перед сильными землетрясениями в различных сейсмоактивных районах Советского Союза. Значительные изменения отношения скоростей продольных и поперечных сейсмических волн отмечены в Средней Азии <sup>(2)</sup>, изменения в электротеллурическом поле (э.т.п.) наиболее четко проявлялись на Камчатке <sup>(3)</sup>. При выделении такого рода предвестников большие трудности возникают как вследствие незнания временных и амплитудных характеристик аномалий, так и ввиду отсутствия критерия нормального поля. По-видимому, правильность выделения аномалий может быть подтверждена только сопоставлением с соответствующими сейсмическими событиями при условии стандартизации правил выделения аномальных изменений. В настоящей работе сопоставляются результаты наблюдений двух различных геофизических полей при единообразной методике их машинной обработки.

Изучение э.т.п. на Камчатке проводится с 1966 г. в общем комплексе исследований по прогнозу землетрясений в данном районе <sup>(4,5)</sup>. С частотой опроса один раз в час автоматически измеряется разность потенциалов между системой электродов, установленных вдоль линий север — юг и восток — запад на нескольких обсерваториях. В. Н. Богаевским в содружестве с одним из авторов были созданы алгоритм и программа обработки результатов этих измерений. Алгоритм обработки предусматривает снятие высокочастотного шума, выделение «нулевой» линии, вычисление собственно аномальных изменений электротеллурического поля, их осреднение по всем датчикам. При осуществлении двух первых операций используется многократное усреднение при меняющемся временном интервале с целью снизить возможное влияние неизученных помех и обеспечить большую устойчивость выделения аномалий разной длительности. Результатом машинной обработки является усредненный квадрат модуля разности потенциалов на данной станции  $|\Delta V|^2$ .

Изучение изменения отношения скоростей продольных и поперечных волн землетрясений Камчатки  $v_p/v_s$  во времени начато в 1969 г. Было показано, что предложенный в работе <sup>(6)</sup> метод изучения по общему наклону графика Вадати в геологических условиях Камчатки при больших расстояниях между станциями наблюдения неприменим. Используется методика определения  $v_p/v_s$  по данным одной станции на основе соотношения  $v_p/v_s = (t_s - t_p)/t_p + 1$ , где  $t_s$ ,  $t_p$  — время вступления соответственно поперечной и продольной волн землетрясения на данной станции, причем параметры землетрясений определялись по сети станций Института вулканологии Дальневосточного научного центра и Института физики Земли АН СССР. При описываемой ниже методике обработки учитывались землетрясения энергетического класса  $\geq 8$  на эпицентральных расстояниях  $\leq 150$  км от станции. Алгоритм включает в себя вычисление разностей между текущим отношением скоростей  $v_p/v_s$  и средним значением для данной станции, введение весовых коэффициентов для групп этих разностей, раз-

дельное суммирование положительных и отрицательных значений  $\Delta v_p/v_s$ , во времени и вычисление среднего геометрического полученных сумм. Так же как и при обработке данных электротеллурических наблюдений, для повышения устойчивости выделения аномалий разной и заранее неизвестной длительности применено многократное усреднение при меняющемся временном интервале. На выходе ЭВМ получается функция, совпа-

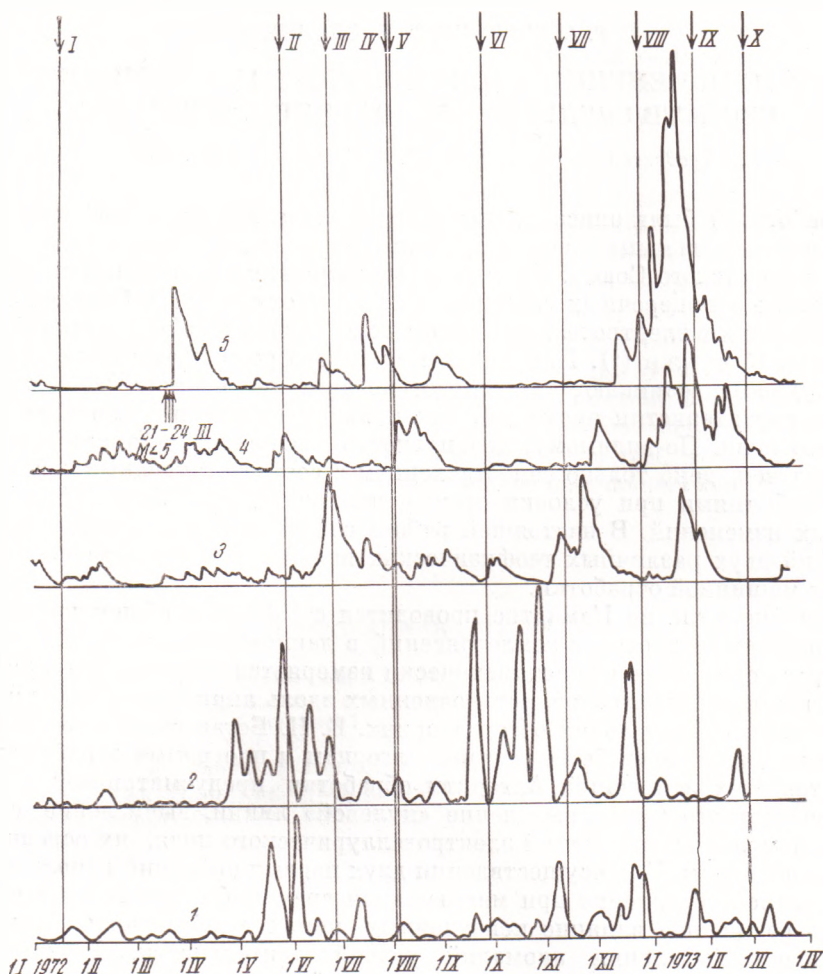


Рис. 1. Результаты обработки наблюдений способом электротеллурического поля и отношения продольных и поперечных сейсмических волн: 1, 2 —  $|\Delta V|^2$  для станций №№ 1, 3; 3, 4, 5 —  $|\Delta v_p/v_s|^2$  для станций №№ 2; 3, 4. Римские цифры обозначают номера землетрясений в соответствии с рис. 2: I — 18 I 1972,  $M=5,4$ ; II — 27 V,  $m_{p_s}=6,2$ ; III — 26 VI,  $m_{p_s}=6,1$ ; IV — 2 VIII,  $M=5,9$ ; V — 4 VIII,  $M=6,7$ ; VI — 27 IX,  $M=5,1$ ; VII — 10 XI,  $m_{p_s}=5,2$ ; VIII — 25 XII,  $M=5,6$ ; IX — 25 I 1973,  $M=5,0$ ; X — 28 II,  $M=7,4$

дающая по размерности с квадратом отношения скоростей. Программы обработки реализацией э.т.п. и отношения скоростей сейсмических волн существенно отличаются, поскольку в первом случае исходные данные представлены частой и равномерной цифровкой, тогда как появление значений  $v_p/v_s$  зависит от меняющегося уровня сейсмичности, т. е. резко неоднородно во времени.

На рис. 1 приводятся графики обработки результатов наблюдений э.т.п.  $|\Delta V|^2$  и отношения скоростей  $|\Delta v_p/v_s|^2$ , причем стрелками указаны все землетрясения магнитуды  $\geq 5,5$  в данный период в сейсмоактивном

районе Камчатки, а также более сильные землетрясения севера Курильской гряды. Местоположение станций наблюдений и эпицентры землетрясений нанесены на рис. 2.

В работах (7, 8) указывалось, что большинство краткосрочных предвестников землетрясений имеют бухтообразную форму, которая объясняется развитием лавинообразного процесса трещинообразования и перераспределением поля напряжений перед сильными сейсмическими событиями, причем сильные землетрясения приурочены к максимуму развития предвестника, его спаду или окончанию. Приводимые ниже результаты обработки в общем соответствуют ранее высказанным предположениям.

График 1 на рис. 1 получен по результатам наблюдений э.т.п. на станции № 1, расположенной на севере сейсмоактивного района Камчатки; пять из шести максимумов графика наблюдаются перед землетрясениями  $M \geq 5,5$  на расстояниях до 430 км от станции регистрации э.т.п.; один максимум наблюдается сразу после землетрясения. Кривая 2 построена по данным станции № 3 в центре Камчатского сейсмоактивного района; большинство крупных максимумов также наблюдаются перед сильными землетрясениями с эпицентрными расстояниями  $\geq 300$  км, однако отмечаются также «ложные» максимумы. В среднем максимумы  $|\Delta V|^2$  опережают соответствующие землетрясения на 10 суток.

Графики 3–5, представляющие функцию  $|\Delta v_p/v_s|^2$  отношения скоростей сейсмических волн, в общем имеют более протяженные участки повышенных значений, на фоне которых иногда проходит несколько землетрясений, как это было в период с конца декабря 1972 г. по конец февраля 1973 г. По сравнению с функцией  $|\Delta V|^2$  чаще отмечается реакция  $|\Delta v_p/v_s|^2$  на уже произошедшие землетрясения. В частности, появление максимума графика 5 в конце марта 1972 г. связано, по-видимому, с серией землетрясений магнитуды 5, произошедших 21, 22, 24 III 1972 г. вблизи станции № 4. Интересно отметить, что функция  $|\Delta v_p/v_s|^2$  данной станции (Петропавловск-Камчатский), являющейся самой южной в нашей системе, предвещает повышенными значениями все сильные землетрясения на юге анализируемого сейсмоактивного района. Из рис. 2 видно, на каких станциях отмечались аномальные изменения в

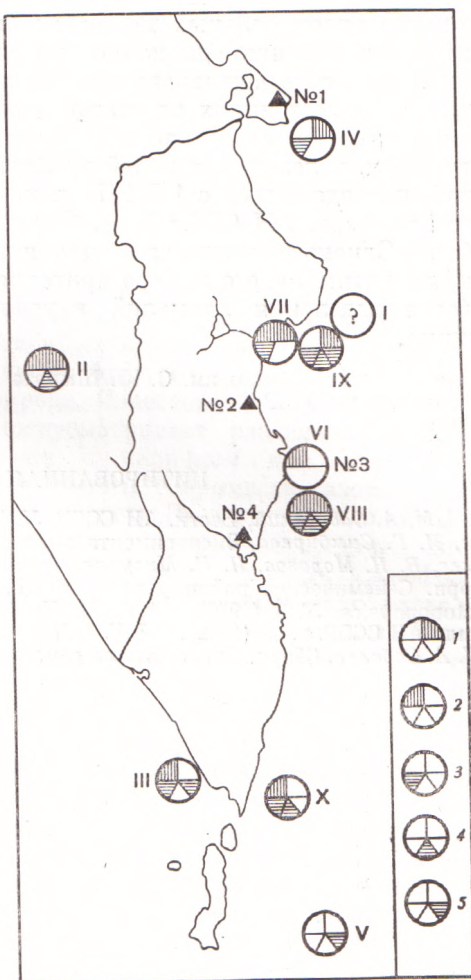


Рис. 2. Расположение станций наблюдения и эпицентров сильных землетрясений. Штриховка в кругах показывает, что перед соответствующим землетрясением наблюдались максимумы: 1 —  $|\Delta V|^2$  на станции № 1, 2 —  $|\Delta V|^2$  на станции № 3, 3 —  $|\Delta v_p/v_s|^2$  на станции № 3, 4 —  $|\Delta v_p/v_s|^2$  на станции № 2, 5 —  $|\Delta v_p/v_s|^2$  на станции № 4

функциях  $|\overline{\Delta V}|^2$  и  $|\overline{\Delta v_p/v_s}|^2$  непосредственно перед каждым из сильных землетрясений.

Алгоритмы обработки электротеллурических наблюдений и отношения скоростей сейсмических волн были составлены таким образом, чтобы подчеркнуть реакцию двух данных способов на быстрое изменение напряженного состояния среды. Из сопоставления данных можно заключить, что перед рядом сильных землетрясений действительно наблюдались такого рода изменения, однако они происходили не строго синхронно на всей территории сейсмоактивного района, хотя и отмечались на довольно значительных расстояниях от очагов последующих землетрясений. Разработанные способы машинной обработки данных наблюдений э.т.п. и  $v_p/v_s$  могут быть полезны для целей пробного оперативного прогноза землетрясений, проводящегося с 1 I 1972 г. на Камчатском полигоне под руководством чл.-корр. АН СССР С. А. Федотова и одного из авторов настоящей работы. Однако имеющихся в настоящее время наблюдений недостаточно как для оптимального выбора критерия «тревог», так и для оценки устойчивости выделения аномалий в условиях меняющегося сейсмического режима.

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта  
Академии наук СССР  
Москва

Поступило  
28 VI 1973

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> М. А. Садовский, Вестн. АН СССР, № 11 (1971). <sup>2</sup> И. Л. Нерсесов, А. Н. Семенов, И. Г. Симбирева, Экспериментальная сейсмология, «Наука», 1971. <sup>3</sup> Г. А. Соболев, В. Н. Морозов, Н. И. Мизунов, Физика Земли, № 2 (1972). <sup>4</sup> С. А. Федотов, Сборн. Сейсмическое районирование СССР, «Наука», 1968. <sup>5</sup> S. A. Fedotov et al., Tectonophysics, № 9 (1970). <sup>6</sup> А. М. Кондратенко, И. Л. Нерсесов, Тр. Инст. физ. Земли АН СССР, в. 25 (1962). <sup>7</sup> V. I. Myachkin et al., Tectonophysics, № 14, 3/4 (1972). <sup>8</sup> Г. А. Соболев, Сборн. Предвестники землетрясений, 1973.