

## РЕГИОНАЛЬНАЯ МАГНИТУДНАЯ ШКАЛА ПО ПОВЕРХНОСТНЫМ ВОЛНАМ $M_S(20\text{-reg})$

*Гусев А.А.<sup>1,2</sup>, Чубарова О.С.<sup>1</sup>, Викулина С.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, gusev@emsd.ru*

<sup>2</sup> *Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский*

### Введение

Необходимость построения нового варианта шкалы магнитуд вызвана тем, что стандартные шкалы определения магнитуд по поверхностным волнам  $M_S(20)$  и  $M_S(BB)$  обладают рядом недостатков. Телесеismicкая магнитуда  $M_S(20)$ , основанная на классической магнитуде  $M_S$  Гутенберга [3], определена для периодов волн 18-22 с и эпицентральных расстояний  $20^\circ \leq \Delta \leq 160^\circ$ . Недостатком является невозможность получать оценки  $M_S(20)$  на региональных расстояниях. Широкополосная магнитуда  $M_S(BB)$  [1] определена в широком диапазоне эпицентральных расстояний  $2^\circ \leq \Delta \leq 160^\circ$ , но не имеет четкой спектральной привязки и поэтому не вполне удобна для таких важных приложений, как оценка потенциала разрушительных волн цунами или анализ сильных движений грунта. Недостатки общепринятых шкал магнитуды по поверхностным волнам отмечались ранее [2-4, 6], причем предлагались различные варианты улучшенных калибровочных кривых.

Новая модифицированная шкала магнитуд  $M_S(20\text{-reg})$  позволяет продлить на малые эпицентральные расстояния классическую шкалу  $M_S(20)$ . Шкала опирается на амплитуды поверхностных волн узкого диапазона периодов (16-25 с) вблизи периода 20 с для эпицентральных расстояний от 80 до 3000 км. Выделение диапазона периодов производится путем использования цифрового фильтра.

### Методика построения калибровочной кривой для шкалы магнитуд $M_S(20\text{-reg})$

В работе использованы цифровые записи 392 землетрясений Северо-Западной части Тихоокеанского региона периода 1993-2008 гг. на 12 сейсмических станциях (PET, YSS, MA2, YAK, KAM, ADK, TIXI, BILL, MDJ, INCN, ERM, MAJO). Глубина очагов землетрясений – до 70 км. Сейсмические станции и эпицентры землетрясений, записи которых были обработаны, представлены на рис. 1.

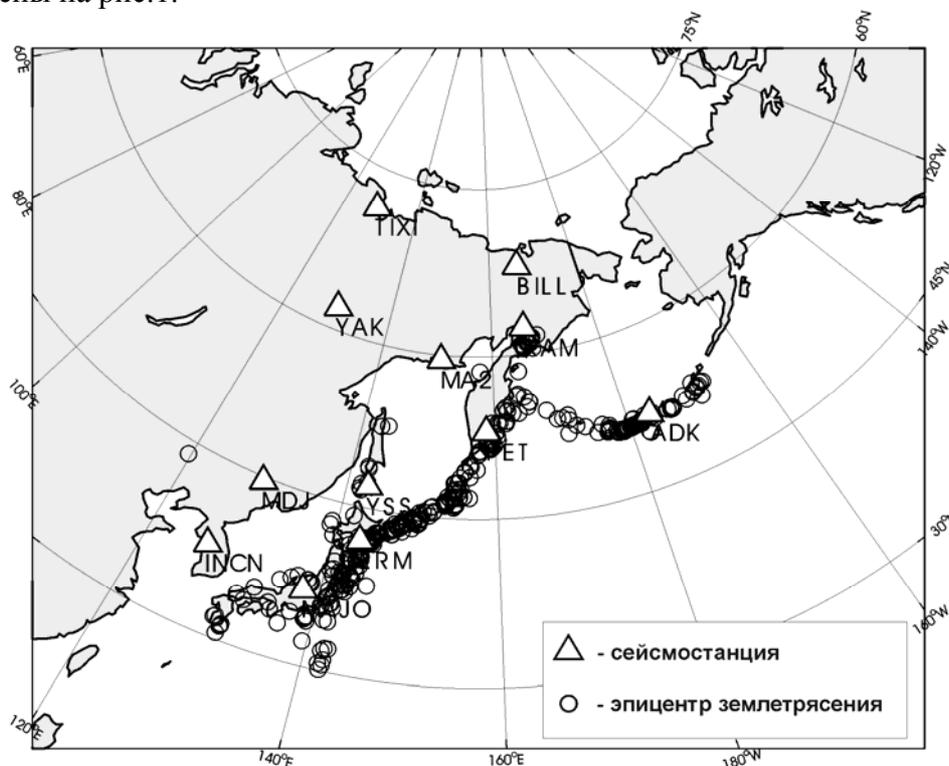


Рис. 1 Карта эпицентров землетрясений 1993-2008 гг. Северо-Западной части Тихоокеанского региона и цифровых сейсмических станций, использованных для построения калибровочной кривой.

Для построения калибровочной кривой рассматривалась зависимость от расстояния максимальных амплитуд поверхностных волн, профильтрованных в полосе около 0.05 Гц, и нормированных на ожидаемую амплитуду от данного землетрясения на эпицентральной расстоянии  $\Delta = 20^\circ$ , согласно фактическому значению телесейсмической магнитуды  $M_S(20)$  по каталогу NEIC (рис.2).

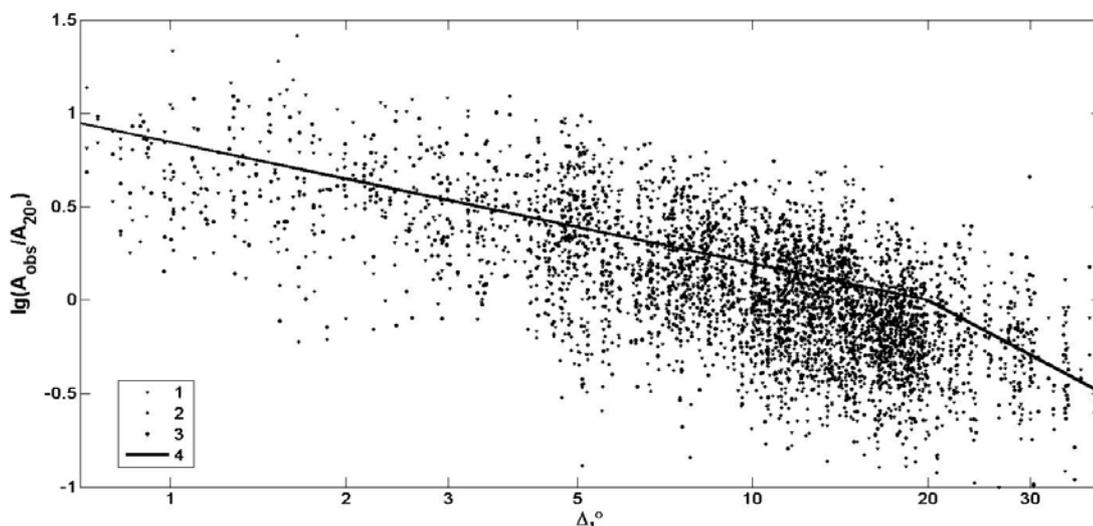


Рис. 2. Наблюдаемое максимальное смещение в профильтрованной поверхностной волне, приведенное к значению единица при эпицентральной расстоянии  $\Delta = 20^\circ$  на основе  $M_S(20)$  данного землетрясения, как функция эпицентрального расстояния. Использовано 12 станций, 392 землетрясения, 1476 трехкомпонентных записей. Сегмент калибровочной кривой при  $\Delta > 20^\circ$  – это стандартный спад амплитуд при  $\Delta > 20^\circ$  как  $\Delta^{-1.66}$  по Гутенбергу-Соловьеву; сегмент при  $\Delta < 20^\circ$  – это первая версия калибровочной кривой, описывающей спад амплитуд в зоне  $\Delta < 20^\circ$  как  $\Delta^{-0.65}$ . 1- компонента E, 2 - N, 3 - Z, 4 – вариант калибровочной кривой для континентальных станций.

Для оценки качества аппроксимации тренда амплитуд с расстоянием были рассмотрены невязки станционных оценок магнитуды от расстояния. Предварительно были рассмотрены различные варианты отбора и осреднения станционных данных (рис.3). В результате, станционные магнитуды рассчитывались на основании среднеквадратического значения приведенных максимальных амплитуд трех компонент (максимумы измерялись в независимые

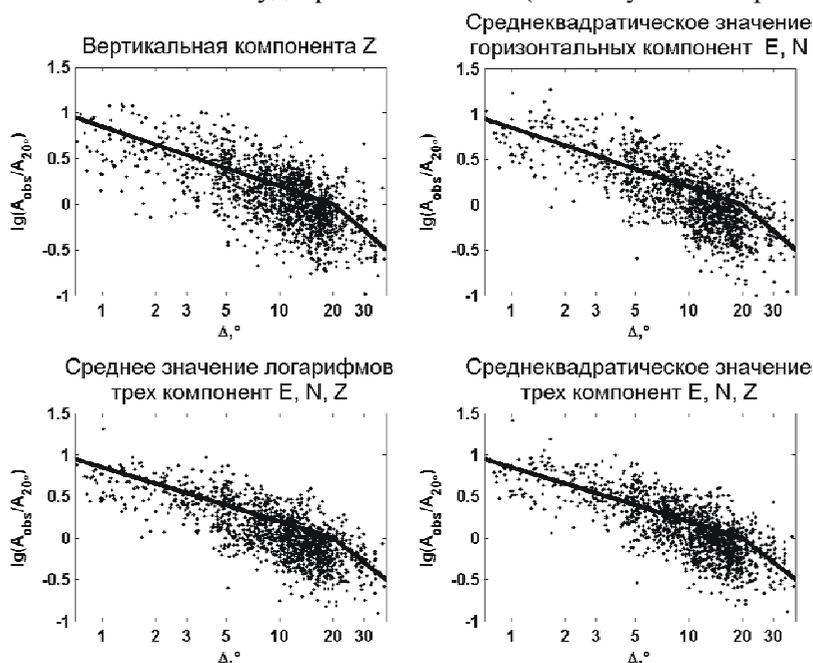


Рис. 3. Приведенная максимальная амплитуда смещения в профильтрованной поверхностной волне, как функция эпицентрального расстояния. Точками показаны результаты различных вариантов отбора и осреднения станционных данных, сплошная линия – калибровочная кривая.

моменты времени). Такая методика объединения амплитудных данных по компонентам и типам волн оказалась наиболее приемлемой. При расчете невязок в качестве "истинной" рассматривалась телесеismicкая оценка магнитуды данного землетрясения  $M_S(20)$  по каталогу NEIC.

После предварительного анализа и опробования магнитудной шкалы на данных отдельных сейсмостанций, выявились региональные особенности затухания амплитуд с расстоянием. Поэтому все станции региона были разделены на две группы: "континентальные" и "островодужные". Для каждой группы станций предлагается своя калибровочная кривая для оценки магнитуды  $M_S(20-reg)$ . Различие между кривыми умеренное и только в ограниченном диапазоне расстояний 7-27°.

Оценку магнитуды  $M_S(20-reg)$  предлагается производить по следующему алгоритму:

Для "континентальных" станций (КАМ, ТИХИ, ВИЛЛ, УАК):

$$M_S(20R) = \begin{cases} \lg(A/T) + 1.66 \lg \Delta + 3.30 & \Delta > 20^\circ \\ \lg(A/T) + 0.65 \lg \Delta + 4.61 & 0.7^\circ < \Delta \leq 20^\circ \\ \text{не определена} & \Delta \leq 0.7^\circ \end{cases},$$

где  $\Delta$  - эпицентральный расстояние в градусах,  $A$  - максимальная амплитуда смещения в поверхностной волне на выходе фильтра в мкм,  $T = 20$  с.

Для "островодужных" станций (РЕТ, АДК, МА2, УСС, МДЖ, ИНСН, ЕРМ, МАЖО):

$$M_S(20R) = \begin{cases} \lg(A/T) + 1.66 \lg \Delta + 3.30 & \Delta > 27^\circ \\ \lg(A/T) + 0.87 \lg \Delta + 4.43 & 7^\circ < \Delta \leq 27^\circ \\ \lg(A/T) + 0.65 \lg \Delta + 4.61 & 0.7^\circ < \Delta \leq 7^\circ \\ \text{не определена} & \Delta < 0.7^\circ \end{cases}$$

Также обнаружилась необходимость введения постоянных станционных поправок для учета локальных условий некоторых сейсмостанций. Полученные оценки станционных поправок приведены в табл. 1.

Табл. 1 Исходные данные и параметры распределения станционных невязок магнитуды  $\Delta M$

Сейсмостанция	Число событий	Стандартное отклонение	Среднее	Медиана	Станционная поправка
"Островодужные" станции					
РЕТ	283	0.20	-0.082	-0.074	0.1
УСС	256	0.24	-0.025	-0.013	-
МА2	59	0.25	-0.053	-0.010	-
АДК	76	0.19	-0.067	-0.061	0.1
ЕРМ	113	0.27	0.039	0.049	-
ИНСН	113	0.22	-0.037	-0.011	-
МАЖО	220	0.22	-0.124	-0.115	0.1
МДЖ	144	0.20	-0.052	-0.038	-
"Континентальные" станции					
ВИЛЛ	28	0.20	0.001	-0.054	-
ТИХИ	6	0.10	-0.067	-0.094	-
УАК	24	0.20	-0.030	0.039	-
КАМ	28	0.20	-0.009	0.038	-

Представленные на рис. 4 зависимости приведенных максимальных амплитуд от расстояния для нескольких сейсмостанций показывают, что данные достаточно хорошо согласуются с разработанными калибровочными кривыми.

Стандартное уклонение оценок новой магнитуды  $M_S(20-reg)$  по данным отдельных сейсмостанций от принятых калибровочных кривых составляет 0.20-0.27, что достаточно типично для точности станционных оценок магнитуды.

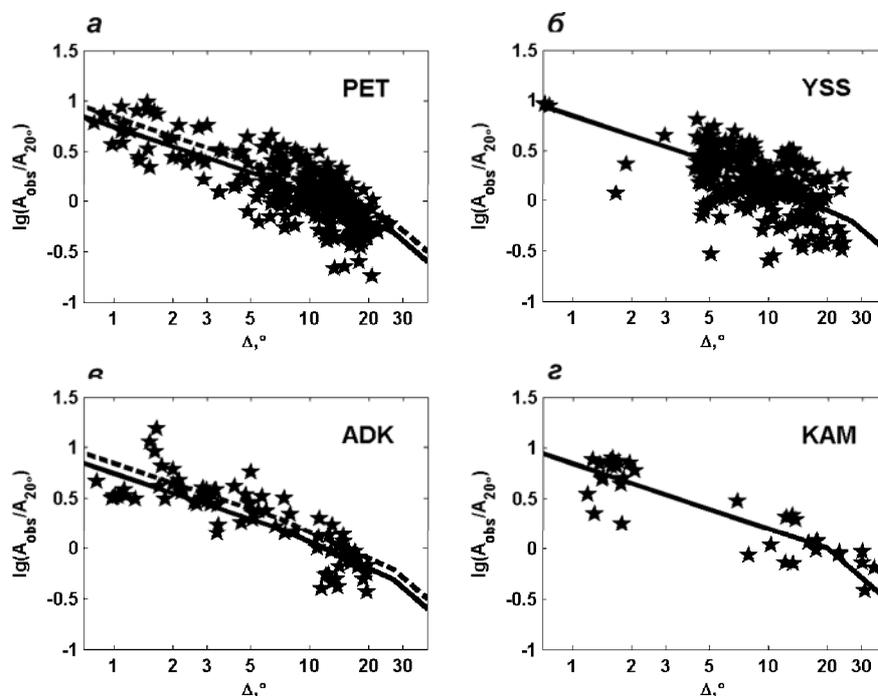


Рис. 4. Зависимости приведенных максимальных амплитуд смещения от расстояния для "островодужных" сейсмостанций PET (а), YSS (б), ADK (в) и "континентальной" сейсмостанции KAM (г). Показано среднеквадратическое значение трех компонент. Сплошные линии - калибровочные кривые. Для "островодужных" станций PET и ADK пунктиром показаны калибровочные кривые до введения станционных поправок.

### Заключение

Предлагаемую методику обмера и калибровочные кривые в условиях Северо-Западной части Тихоокеанского региона можно считать приемлемым приближением к спектрально устойчивой региональной магнитудной шкале по поверхностным волнам. Важно, что делается возможным систематическое определение спектрально определенной магнитуды для слабых землетрясений магнитудного диапазона 3.5-5. В этом случае такая магнитуда позволяет построить быструю и мало искаженную оценку моментной магнитуды  $M_w$ . Результат позволит существенно улучшить описание очагов землетрясений Дальнего Востока России. Можно полагать, что основанная на новой калибровке методика будет применима и в других регионах России и мира.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 07-05-00775.

### Список литературы

1. Ванек И., Затопек А., Карник В., Кондорская Н.В., Ризниченко Ю.В., Саваренский Е.Ф., Соловьев С.Л., Шебалин Н.В. Стандартная шкала магнитуд // Изв. АН СССР. сер. геофизич. 1962, № 2. С. 153 – 158.
2. Evernden J.F. Variation of Rayleigh-wave amplitude with distance // Bull. Seism. Soc. Am. 1971. V. 61. P. 231-240
3. Gutenberg B. Amplitudes of surface waves and magnitude of shallow earthquakes // Bull. Seism. Soc. Am. 1945. V. 35. P. 3-12
4. Herac M., Herac D. Distance dependence of  $M_S$  and calibration function for 20-second Rayleigh waves // Bull. Seism. Soc. Am. 1993. V. 83. P. 1881-1892.
5. Panza G.F., Duda S.J., Cernobori L., Herac M. Gutenberg's surface-wave magnitude calibration function: theoretical basis from synthetic seismograms // Tectonophysics. 1989. V. 166. P. 35-43
6. Von Seggern D. Amplitude-distance relation for 20-second Rayleigh waves // Bull. Seism. Soc. Am. 1977. V. 67. P. 405-411.