

УДК 550.343

СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ КАМЧАТКИ: РАСПОЛОЖЕНИЕ ОЧАГОВ В ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ ПЕРИОД

© 2006 г. А. А. Гусев

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 683006, Петропавловск-Камчатский, 683006.

Поступила в редакцию 05.05.2005 г.

Составлена карта-схема очаговых зон сильнейших землетрясений тихоокеанской фокальной зоны у берегов Камчатки за 1899–2000 гг. на основе критической компиляции данных из разных источников по состоянию на 2003 г. В карте-схеме учтена существенная ревизия магнитуд каталога Гутенберга и Рихтера, предпринятая К. Абе и С. Ногучи.

В 1960-е годы XX в. С.А. Федотовым [5, 6] была составлена довольно непротиворечивая схема пространственной организации протяженных очаговых зон сильных землетрясений Курило-Камчатской сейсмической зоны. Схема С.А. Федотова в определенной мере базировалась на гипотезе наличия “мертвого времени” (порядка 70 лет) для заполнения участка фокальной зоны очагом следующего сильнейшего землетрясения. Ниже приводится новый вариант подобной схемы для Камчатки с учетом пересмотра магнитуд М. Гутенберга для периода 1898–1917 гг., проведенного К. Абе и С. Ногучи в [7–10]. При этом известная серия камчатских землетрясений 1904 г. потеряла свой характер уникально мощного события: ее суммарная моментная магнитуда едва достигает 7.7. Принцип “мертвого времени” при построении схемы специально не учитывался, но, в соответствии с этим принципом, при рисовке близких по времени очаговых зон с плохо известными деталями избегали перекрытий. При нанесении на схему малонадежных очаговых зон учитывали результаты С.А. Федотова [5] и А.В. Викулина [1].

Результаты К. Абе и С. Ногучи были ранее рассмотрены А.А. Гусевым и Л.С. Шумилиной (далее ГШ) [3]. В этой статье также подробно обсуждены вопросы определения и уточнения магнитуд камчатских землетрясений за последние три века; обоснован и обсужден переход к шкале моментной магнитуды M_w , составлен каталог значений M_w . Мы будем пользоваться результатами этой работы. Ниже будут даны некоторые дополнения и поправки к каталогам из этой статьи. Землетрясения на глубине более 200 км не рассматривались.

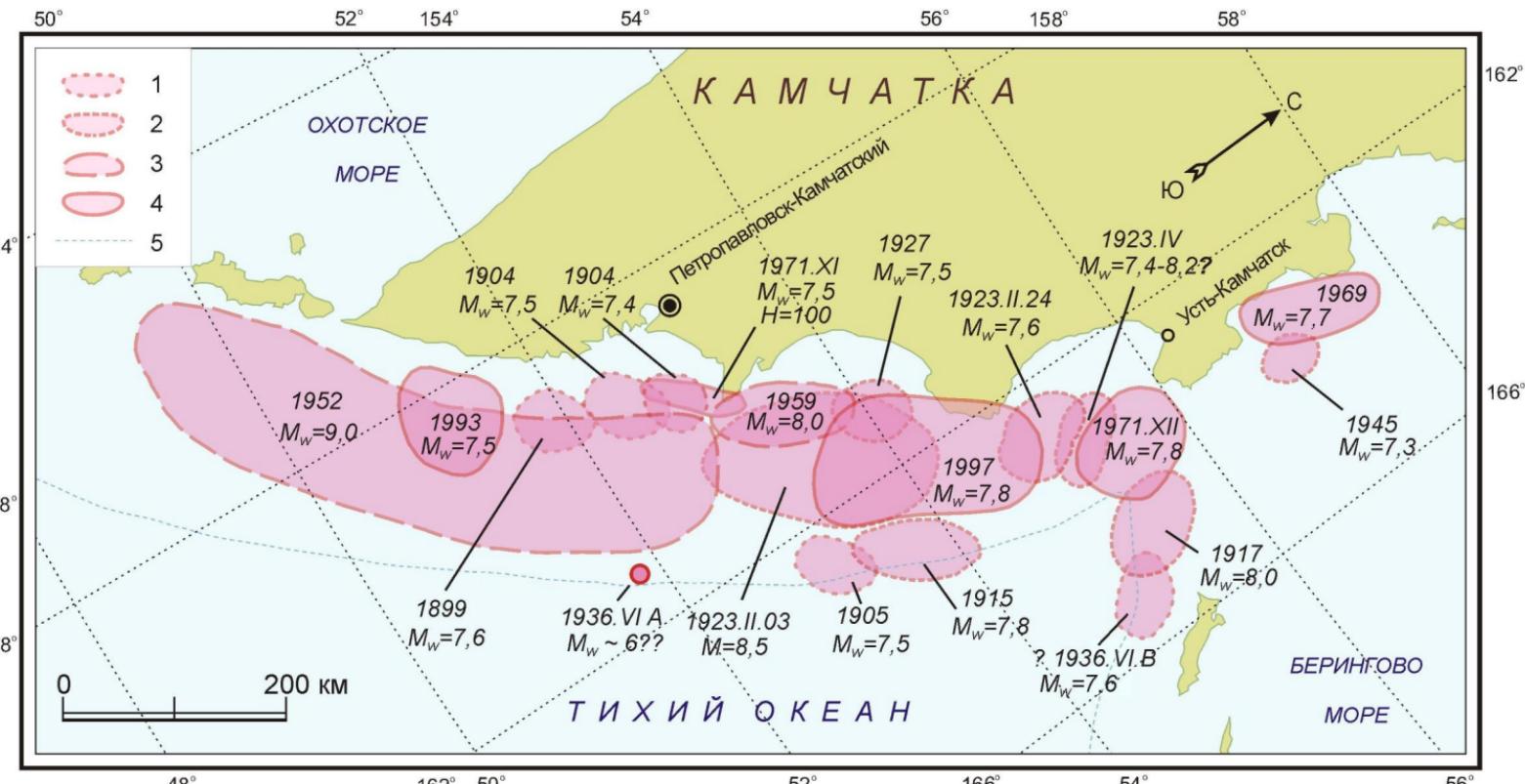
На рисунке приведен новый вариант расположения очаговых зон землетрясений Камчатки за 1899–2003 гг. (под “очаговой зоной” здесь понимается проекция очага на плоскость карты). Нижний уровень по магнитуде выбран $M_w > 7.5$, глуби-

ны до 120 км. Нанесены также некоторые очаги с $M_w = 7.3$ –7.4. На схеме выделяются следующие четыре категории рисовки границ очаговых зон: (1) гипотетические, когда реальная ошибка эпицентра может быть ощущимо больше размера изображенной очаговой зоны; (2) сомнительные, когда эпицентр, скорее всего, накрыт изображением очаговой зоны; (3) малоточные, когда границы очага проведены в основном по телесейсмически определенным эпицентрам афтершоков; (4) относительно надежные, проведенные в основном по эпицентрам афтершоков, полученным местной сетью.

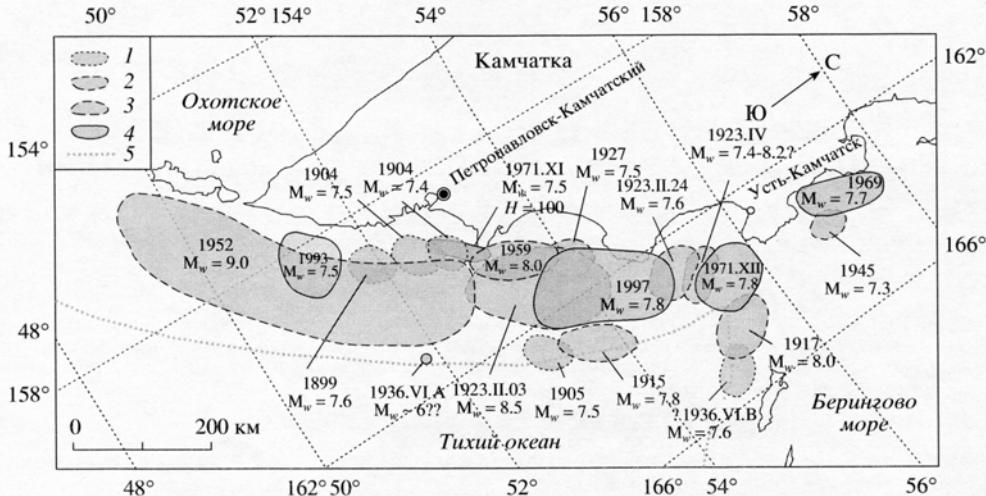
Дадим пояснения к схеме в календарном порядке. В том же списке дадим попутно предлагаемые уточнения и дополнения к [3]. Обозначения НК – “Новый каталог...” [4], ГР – Gutenberg&Richter [13]: CENT – гл. 41 в “International Handbook...” [14].

1899.11.23. 53.0° с.ш., 159.0° в.д., глубина нормальная (НК), $M_w = 7.6$ (ГШ). Первое из инструментально зарегистрированных землетрясений на Камчатке. Его время в очаге и координаты приводит Б. Гутенберг в известной сводке [12] и приписывает ему магнитуду $M = 7.9$. Составители наиболее авторитетного в СССР/России “Нового каталога...” не ревизуют эти цифры и приписывают эпицентру точность: $\pm 3^\circ$ по широте и $\pm 2^\circ$ по долготе. Само же землетрясение отмечено как “сомнительное”, несмотря на то что Б. Гутенберг имел в своем распоряжении материалы регистрации мировой сетью приборов Милна, которая насчитывала в 1899 г. 14 станций [9]. В названной работе К. Абе и С. Ногучи опубликовали исходную магнитуду M_s из записей Б. Гутенберга: $M_s^{(GR)} = 7.8$ (здесь и ниже верхний индекс GR указывает на исходную калибровку шкалы M_s Гутенбергом, в то время как “современная” магнитуда M_s по Пражской формуле, обозначаемая далее $M_s^{(PR)}$, в сред-

Схема расположения очагов сильнейших землетрясений Камчатки с 1899 г.



Контуры очагов: 1- возможные, 2 - ориентировочные, 3- менее надежные, 4 - относительно надежные, 5 - осевая линия глубоководных желобов.



Карта-схема очагов сильнейших камчатских землетрясений инструментального периода с глубинами до 125 км. Очаговые зоны: 1 – гипотетические; 2 – сомнительные; 3 – малоточные; 4 – относительно надежные; 5 – осевая линия глубоководных желобов.

нем на 0.2 выше). Позднее К. Абе и С. Ногути [10] обнаруживают систематическую ошибку всех предыдущих работ (неучет резонансного характера кривой увеличения приборов Милна до введения в них затухания Шоу) и дают исправленное значение $M_s^{(GR)} = 7.4$, что соответствует $M_s^{(PR)} = 7.6$. На основе известной корреляции $M_s - M_w$ в ГШ для события оценена $M_w = 7.6$. В каталоге SECNE [15] происхождение оценок координат и глубины ошибочно приписано якобы существующим макросейсмическим данным. Приводится также оценка $M_w = 7.0$ по балльности в эпицентре?! К сожалению, на самом деле макросейсмических данных о событии 1899.12.23 не имеется. Формально эпицентр по Б. Гутенбергу, определенный по сети приборов Милна, оказывается на берегу Авачинского залива в 40 км к востоку от г. Петропавловска-Камчатского. Полностью исключить возможность подобного землетрясения здесь в 1899 г. невозможно, но это представляется маловероятным. Отсутствие макросейсмических данных с учетом весьма низкой точности эпицентра заставляет предполагать гораздо более обычное положение очага – в основной фокальной зоне Камчатки, под континентальным склоном. На схеме (рисунок) приведен вариант возможного положения очага события 1899 г. в основной фокальной зоне к югу от Петропавловска-Камчатского, на расстоянии более 100 км. При таком удалении ожидаемая балльность 6 или менее вполне могла оставаться неотмеченной в реальных условиях тогдашнего населенного пункта. Наш выбор далек от однозначного: другой эпицентр с подобным же удалением

от Петропавловска-Камчатского, например, в Кроноцком заливе или на траперзее Авачинской губы, также вполне приемлем.

1904.06.25. 14:45 52.0° с.ш., 159.0° в.д., глубина нормальная (НК) $M_w = 7.4$ (ГШ).

1904.06.25. 21:00 52.0° с.ш., 159.0° в.д., глубина нормальная (НК), $M_w = 7.5$ (ГШ). Эти два события и еще толчок 1904.06.27 с $M_w = 7.5$ имеют в НК точность эпицентра $\pm 1^\circ$. Вероятно, очаги находились ближе к г. Петропавловску-Камчатскому, иначе едва ли они создали бы там сотрясения в 8 баллов. Они нанесены гипотетически, с учетом этого соображения.

1905.09.15. 53.0° с.ш., 164.0° в.д., глубина нормальная (НК), $M_w = 7.5$ (ГШ).

1907.08.17. 52.0° с.ш., 157.0° в.д., глубина 120 км (НК), $M_w = 7.0$ (исправление к ГШ).

1911.05.04. 51.8° с.ш., 156.0° в.д., глубина 140 км (НК), 240 км (ГР), $M_w = 7.5$. Нет в (ГШ).

1915.07.31. 53.5° с.ш., 163.3° в.д., глубина нормальная (НК), $M_w = 7.8$ (ГШ).

1917.01.30. 55.2° с.ш., 164.5° в.д., глубина нормальная (НК), $M_w = 8.0$ (ГШ).

1923.02.03. 53.0° с.ш., 161.0° в.д., глубина нормальная (НК), $M_w = 8.5$ (ГШ). Возможно, M_w ближе к 8.7.

1923.02.24. 55.0° с.ш., 162.4° в.д., глубина нормальная (НК), $M_w = 7.6$ (исправление к ГШ).

По НК, полагая использование пражской формулы, $M_s^{(PR)} = 7.7$, в то время как по К. Абе $M_s^{(GR)} =$

$M_s^{(PR)} = 7.4$, так что $M_w = 7.6$. Осредняя и переходя к M_w , получаем приводимую оценку. Образует пространственный дублет вместе со следующим событием. В CENT “уточненный” эпицентр (55.94 N, 162.62 E) попадает в окрестность Усть-Камчатска; это противоречит глухой информации о сейсмосетях (5–6 баллов по [1]).

1923.04.13. 55.4° с.ш., 162.8° в.д., глубина нормальная (НК), $M_w = 7.4\text{--}8.2$ (исправление к ГШ). Магнитуда этого землетрясения обладает большой неопределенностью: сейсмические волны дают $M_s^{(GR)} = 7.2$, а масштаб цунами и на побережье, и вдали указывает на цунами-магнитуду $M_t = 8.2$. Возможно, имело место “циклона-землетрясение” по Канамори, когда M_t заметно превышает сейсмологическую оценку M_w . К. Сатаке [16] реконструировал источники трех известных цунами-землетрясений: Алеутского, 1946; Никарагуа, 1992 и Санрику, 1896. Каждый из этих случаев он объясняет необычно высокой эффективностью генерации цунами за счет малой глубины очага, его удлиненной формы, его расположения в низкомодульной среде (аккреционная призма, осадки вблизи желоба), либо за счет необычно резкого рельефа дна. В данном случае расположение вблизи желоба маловероятно (9 баллов в Усть-Камчатске). Не исключен и вариант генерации мощного цунами за счет сейсмогенного подводного оползня.

1927.12.28. 53.8° с.ш., 161.4° в.д., глубина нормальная (НК), $M_w = 7.5$ (ГШ). В НК это землетрясение ошибочно приписано к 1925 г. В CENT “уточненный” эпицентр (55.66° с.ш., 160.04° в.д.) попадает глубоко на сушу и, скорее всего, ошибочен (циклона-магнитуда $M_t = 7.5$).

1936.06.30. 55.0° с.ш., 165.0° в.д., глубина нормальная (НК), $M_w = 7.6$. В НК отмечено противоречие инструментальных координат (51.2° с.ш., 161.6° в.д.) и макросейсмических данных (8–9 баллов на о. Беринга, соответствующий гипотетический эпицентр по НК см. выше). Предположительно, имел место тесный дублет (с запаздыванием по времени от 10 с до 5 мин) с первым событием на траверзе Авачинского залива (1936.VI.A, на схеме) и вторым, намного более мощным, в Алеутском желобе (1936.VI.B, на схеме).

1945.04.15. 57.0° с.ш., 164.0° в.д., глубина нормальная (НК), $M_w = 7.3$ (ГШ).

1952.11.04. 52.3° с.ш., 161.0° в.д., глубина нормальная (НК), $M_w = 9.0$ (ГШ).

1952.11.29. 52.8° с.ш., 159.2° в.д., глубина нормальная (НК), $M_w = 7.3$ (исправление к ГШ).

1959.05.04. 53.1° с.ш., 160.3° в.д., глубина нормальная (НК), $M_w = 8.0$ (ГШ).

1959.06.18. 53.9° с.ш., 160.5° в.д., глубина нормальная (НК), $M_w = 7.0$ (исправление к ГШ).

1969.11.22. 57.8° с.ш., 163.6° в.д., глубина нормальная (НК), $M_w = 7.7$ (ГШ).

1971.11.24. 52.67° с.ш., 159.5° в.д., глубина 125 км (НК), $M_w = 7.5$ (ГШ). На карте отмечена глубина 100 км, по данным местной сети.

1971.12.15. 55.91° с.ш., 163.37° в.д., глубина нормальная (НК), $M_w = 7.8$ (ГШ).

1993.06.08. 51.25° с.ш., 157.77° в.д., глубина 50 км, $M_w = 7.5$ (ГШ).

1996.01.01. 54.00° с.ш., 159.65° в.д., глубина 10 км, $M_w = 6.3$. Землетрясение пропущено в Гарвардском каталоге, так как плохо выделяется на фоне толчка с $M = 7.6$ в Индонезии, произошедшего на 2 часа ранее. Магнитуды: M_s (NEIC USA) = = 6.6, MLH(ЦСО Обнинск) = 7.0. $M_w = 6.3$ и глубина центрида 10 км определены В.М. Павловым по совместному анализу длиннопериодного смещения в ближней зоне и статических деформаций.

1997.12.05. 54.88° с.ш., 161.95° в.д., глубина нормальная (НК), $M_w = 7.8$ (исправление к ГШ).

Анализ движений пунктов GPS [2, 11] и Гарвардский каталог одинаково дают $M_w = 7.8$ для ко-сейсмической подвижки; при суммарном учете пресейсмической, косесясмической и постсейсмической подвижки за интервал времени (−15 сут +18 сут) относительно момента землетрясения получили $M_w = 8.0$.

Детальная интерпретация полученной карты-схемы не входила в задачу работы. Однако нельзя не отметить кажущейся тенденции очагов землетрясений “класса $M_w = 7.4\text{--}7.5$ ” располагаться полосой вдоль тыловой (западной) границы основной фокальной зоны. Эта тенденция, если ее реальность подтвердится в дальнейшем, геомеханически хорошо понятна: названные очаги маркируют зону концентрации напряжений оперяющих разломов и/или сопряженных разломов более низкого ранга, которая должна формироваться на периферии площадок гигантских субдукционных очагов с $M_w = 8.5\text{--}9$.

Взгляд на рисунок может навести на мысль о возможности и второй подобной полосы – вдоль глубоководного желоба. Такое рассуждение прежде всего. Во-первых, положение очагов 1905 и 1915 г. известно с низкой точностью (± 1). Во-вторых, очаги могут иметь иной тектонический характер и быть внутриплитовыми “нормальными” сбросами, типичными для подобных участков других зон субдукции.

Автор благодарен Л.С. Шумилиной за полезные замечания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Викулин А.В. Вариант долгосрочного сейсмического прогноза для Камчатского залива и Кроноц-

- кого полуострова // Вулканология и сейсмология. 1986. № 3. С. 72–83.
2. Гордеев Е.И., Гусев А.А., Левин В.Е. и др. Предварительный анализ перемещений станций GPS на Камчатке: скорости плит и геодезический предвестник землетрясения // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский: 2001. С. 82–94.
 3. Гусев А.А., Шумилина Л.С. Повторяемость сильных землетрясений Камчатки в шкале моментных магнитуд // Физика Земли. 2004. № 3. С. 34–42.
 4. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977. 535 с.
 5. Федотов С.А. Закономерности распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии // Тр. Ин-та физики Земли. 1965. № 36 (203). С. 66–93.
 6. Федотов С.А. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе // Сейсмическое районирование СССР. Гл. 8. М.: Наука, 1968. С. 121–150.
 7. Abe K. Magnitudes of large shallow earthquakes from 1904 to 1980 // Phys. Earth Planet. Interiors. 1981. V. 27. P. 72–92.
 8. Abe K. Complements to magnitudes 1904–1980 // Phys. Earth Planet. Interiors. 1984. V. 34. P. 17–23.
 9. Abe K., Noguchi S. Determination of magnitude for large shallow earthquakes, 1898–1917 // Phys. Earth Planet. Interiors. 1983. V. 32. P. 45–59.
 10. Abe K., Noguchi S. Revision of magnitudes of large shallow earthquakes, 1897–1912 // Phys. Earth Planet. Interiors. 1983. V. 33. P. 1–11.
 11. Gordeev E. I., Gusev A.A., Levin V.E. et al. Preliminary analysis of deformation at the Eurasia-Pacific-North America plate junction from GPS data // Geophys. J. Int. 2001. V. 147. P. 189–198.
 12. Gutenberg B. Great earthquakes 1896–1903 // Trans. Amer. Geophys. Union. 1956. V. 37. P. 608–614.
 13. Gutenberg B., Richter C. Seismicity of the Earth and associated phenomena. Princeton Univ. Press. Princeton, 1954. 310 p.
 14. International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, part A. Amsterdam, Academic Press, 2003. 934 p.
 15. Kondorskaya N.V., Uломов В.И. (Editors). Special catalogue of earthquakes of the Northern Eurasia (SECNE), URL: <http://www.seismo.ethz.ch/gshap/neurasia/nordasiacat.txt>
 16. Satake K. Seismotectonics of tsunami. Int. Workshop “Tsunami mitigation and risk assessment”. Abstract book. Petropavlovsk-Kamchatskii, Russia, 1996.

Large Earthquakes in Kamchatka: Locations of Epicentral Zones for the Instrumental Period

A. A. Gusev

*Institute of Volcanology and Seismology, Far East Division, Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006, Russia*

We present a map of source zones of great earthquakes in the Pacific Benioff zone off Kamchatka in 1899–2000 based on a critical compilation of data from a variety of sources before 2003. The map incorporates the substantial Abe-Noguchi revision of earthquake magnitudes for the Gutenberg–Richter catalog.