

Л.С. Оскорбин, А.Н. Бойчук, Е.А. Воробьева,
М.И. Рудик, А.А. Шишкин

ШИКОТАНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 3 СЕНТЯБРЯ 1981 г.

3 сентября 1981 г. в 05 ч 35 мин гринвичского времени юго-восточнее о-ва Шикотан зарегистрировано землетрясение, макросейсмический эффект которого на этом острове достигал 8 баллов. Подробные сведения о характере проявления этого землетрясения на островах Шикотан, Кунашир и Итуруп были собраны сотрудниками ОМСП СахКНИИ, на о-ве Уруп — работниками СаХУГМС, на островах Хоккайдо и Хонсю заимствованы из [1].

Инструментальные данные получены по наблюдениям близких и удаленных сейсмических станций СССР и Японского метеорологического агентства. Глубина залегания очага землетрясения, определенная по $sP-P$ и $pP-P$, оказалась равной $h = 42 \pm 5$ км, а магнитуда $M_{DH} = 6,7$ ($M_{SH} = 7,1$) (см. каталог).

Землетрясение сопровождалось слабовыраженной серией повторных толчков, число которых до конца года достигло 59. При этом 50% афтершоков произошло в течение первых суток. Сильнейший афтершок с $M = 5,4$ отмечался 8 сентября на глубине $h = 44$ км. Большинство последующих толчков произошло на той же глубине, что и главный. Область очага землетрясения 3 сентября, околосредняя по эллипсальному полю афтершоков, может быть аппроксимирована (рис. 1) эллипсом с полуосями $a = 45$ км, $b = 27$ км и площадью $S = 3,81 \cdot 10^3$ км².

Очаговая область ориентирована вдоль простирания островных структур (рис. 1), на ее южном участке 23 ноября в 10 ч 17 мин был отмечен второй толчок с $M = 6,1$ и $h = 42$ км, который в свою очередь сопровождался более слабыми землетрясениями ($M \leq 5,0$).

Пространственное распределение знаков первых смещений в волне P на близких и удаленных сейсмических станциях позволило получить сведения о механизме очага главного толчка (см. "Каталоги дополнительных параметров очагов землетрясений", Курило-Охотский регион). Первая возможная плоскость разрыва имела простирание на северо-запад — юго-восток, вторая ориентировалась на северо-восток — юго-запад, что согласуется с ориентацией области афтершоков и характером распространения поверхности эффекта землетрясения (рис. 2). Обе возможные нодальные плоскости имеют крутое падение. По данным о механизме очага установлено, что землетрясение произошло в условиях горизонтально ориентированного напряжения сжатия, при этом напряжение растяжения было ориентировано более круто относительно горизонта. Дислокацию в очаге землетрясения можно интерпретировать как левосторонний взрывосодный без существенного преобладания какой-либо из компонент подвижки. Механизмы очагов трех наиболее сильных последующих толчков (8 сентября в 19 ч 26 мин, 13 ноября в 19 ч 35 мин, 23 ноября в 10 ч 17 мин) оказались подобными механизму очага главного события.

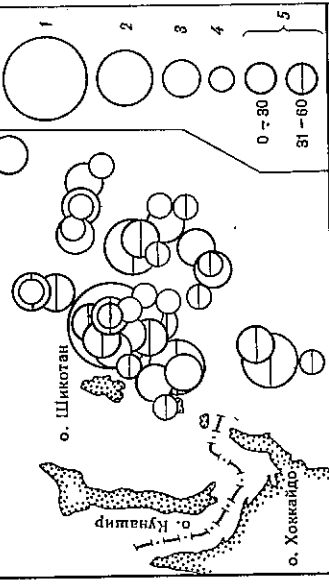
Макросейсмические данные о землетрясении 3 сентября представлены в табл. 1. Наибольший эффект от землетрясения, как мы отметили выше, наблюдался на о-ве Шикотан, макросейсмические данные были получены от жителей поселков Крабовозводское, Малокурильское и маяка Шланберга. Сотрудники сейсмостанции Шикотан проводили опрос населения, осмотр поврежденных зданий и сооружений и остаточных явлений в грунтах и рельефе. Основные признаки балльности по шкале MSK-64 однотипны и примерно одинаковы.

1. Ощущалось всеми бодрствующими жителями как в помещениях, так и на открытом воздухе. Люди ощущали сильные толчки, вызывавшие страх, многие в панике выбегали из домов. Характерно, что очень сильно были напуганы маленькие дети, находившиеся на открытом воздухе или в помещениях. Многие жители отметили два характерных толчка, второй из них значительно более сильный, слышался гул. Некоторые наблюдатели утверждали, что гул предшествовал толчкам.

2. Сильно раскачивались висячие предметы; открывались и закрывались двери; падала с полок посуда, книги и другие предметы; срывались со стен картины и полки; опрокидывались телевизоры на ножках; перемещались тяжелые предметы — шкафы,

Рис. 1. Карта эпицентров главного толчка и афтершоков землетрясения 3 сентября и других землетрясений, происшедших в районе Малой Курильской гряды после 3 сентября

Магнитуда и энергетический класс:
1 — $M \geq 6,25$; 2 — $5,75 \leq M < 6,25$;
3 — $4,25 < M < 5,25$; 4 — $3 < M \leq 4,25$; 5 — глубина очага, км



кровати, столы и т.п. Разрывались обои по углам помещений. На открытом воздухе наблюдались раскачивание деревьев, высокие трубы, мачт, электрических столбов и опор, а также домов, слышался шум и треск, почва под ногами сильно дрожала и колбасалась.

3. В домах всех типов (каркасно-засыпных, брусчатых, кирпичных) осыпалась штукатурка стен и потолка. В бетонных стенах на маяке части дымоходных труб сдвигались с места или падали. В печах образовались трещины, вываливались отдельные кирпичи; некоторые печи полностью разрушались.

В отдельных домах лопались оконные стекла, растрескивалась шиферная и разрывалась мягкая кровля.

Характерных различий в повреждениях сооружений, расположенных на сопках, в низинах или поймах рек не обнаружено.

4. Наблюдалось падение камней и осыпи с крутых незадернованных склонов и обрывов. Свежие следы катившихся камней и свежее осыпи отмечены практически повсюду на береговых обрывах. Имеется одно сообщение об образовании трещины шириной 1 см и длиной около 1 м в грунте во дворе дома п. Крабовозводское. Следует отметить, что 3 и 4 сентября был сильный дождь, который, по-видимому, размыл также трещины в других местах острова.

5. На судах, находившихся в море, ощущали тряску и вибрацию, схожие с теми, которые бываю при касании судном мели, буксировке, выбирании якоря, а также в тех случаях, когда на гребной винт наматывается канат или рыболовная снасть.

6. Необычных волнений на море не отмечено.

7. Домашние животные (куры, свиньи, коровы) беспокоились, были возбуждены, вырывались из клеток и сараев. Некоторые владельцы утверждали, что животные беспокоились до землетрясения.

Шикотанское землетрясение 3 сентября зарегистрировано многомаятниковым сейсмографом ИГИС на сейсмостанции Курильск, сейсмографом СБМ на станциях Курильск и Шикотан, а на последней также акселерографом ССРЗ. В соответствии с табл. 2 из [2] инструментальная интенсивность по записи СБМ на сейсмической станции Курильск и Шикотан равна соответственно 4 ($X_0 = 0,46$ мм) и 8 ($X_0 = 0,55$ мм) баллов, что согласуется с макросейсмической оценкой балла.

Ускорения по записи акселерографа ССРЗ на сейсмостанции Шикотан имеют по составляющим значения: север-юг — 275 см/с^2 при $T_{\omega} = 0,2 \text{ с}$, восток-запад — $0,185 \text{ см/с}^2$ при $T_{\omega} = 0,3 \text{ с}$ и вертикальная — 110 см/с^2 при $T_{\omega} = 0,15 \text{ с}$.

По записи прибора ИГИС на сейсмостанции Курильск определены приведенные ускорения τ для разных маятников по формуле из [3]

$$\tau = g x (T_{gs} / T_s)^2 / a,$$

где T_{0s} — период маятника, подвешенного как вертикальный или горизонтальный и освобожденного от упругих связей; T_s — период собственных колебаний маятника; a — расстояние от острия иглы до так называемого центра вращения маятника; y — максимальное отклонение острия регистрационной иглы маятника; g — земное ускорение.

Таблица 1
Макросейсмические данные о землетрясении 3 сентября

№ п/п	Пункт	Δ, км	№ п/п	Пункт	Δ, км	Пункт	Δ, км
1	8 баллов		11	5 баллов		21	Уракава
2	Маяк Шпанберга	40	12	Головинно	134	22	о-в Хонсю
3	7-8 баллов		13	Буревестник	165	23	Хатинохи
4	Крабовозодск.	46	14	Горячие Ключи	177		Мориока
5	6-7 баллов		15	Пионер	182	24	3 балла
6	Малокурильских	48		Куширо	230		м. Кастрикум
7	8 баллов		16	4-5 баллов			2-3 балла
8	Немуро	126	17	Курильск	205	25	Обихиро
9	6 баллов		18	Рейдовое	210	26	Асахитава
10	Южно-Курильск	120	19	4 балла		27	Хаккодате
	Отрадное	121	20	Рыбаки	202	28	Мияко
	Горячий пляж	122		Китовый	207	29	Аомори
	5-6 баллов			3-4 балла		30	Мито
	Менделеево	125		Абасири	242	31	Токио
	Лагунное	125					
	Дубовое	138					

Горизонтальные приведенные ускорения τ по ИГИС даны ниже:

T_s, c	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,6	0,8
$x_0, мм$	0,5	0,8	1,1	1,7	1,7	1,5	1,0	0,2
$\tau, см/с^2$	84	94	35	42	25	17	8	2

Вертикальные приведенные ускорения по упомянутой формуле для ИГИС имеют значения: $660 см/с^2$ для $T_s = 0,1$ и $480 см/с^2$ для $T_s = 0,2$ с.

Для коэффициентов уравнения макросейсмического поля курильских землетрясений, согласно [3], $b = 1,5$; $s = 4,5$ и $c = 4,5$ определены некоторые макросейсмические параметры Шикотанского землетрясения. Прежде всего по данным табл. 1 рассчитаны средние значения расстояний Δ_M до населенных пунктов с одинаковой балльностью (табл. 2). Затем найдена магнитуда по макросейсмическим данным $M_M = 6,9 \pm 0,3$ как среднее значение магнитуд $M(\Delta_M)$, определенных для $i = 5; 4,5; 4; 3$ и $2,5$ балла по формуле

$$i_i \approx 1,5 M(\Delta_{M_i}) - 4,5 \lg \Delta_{M_i} + 4,5.$$

Макросейсмическая интенсивность в эпицентре $I_{0M} = 8,2$ балла определена для $i_i = 8$ и $7,5$ балла по формуле

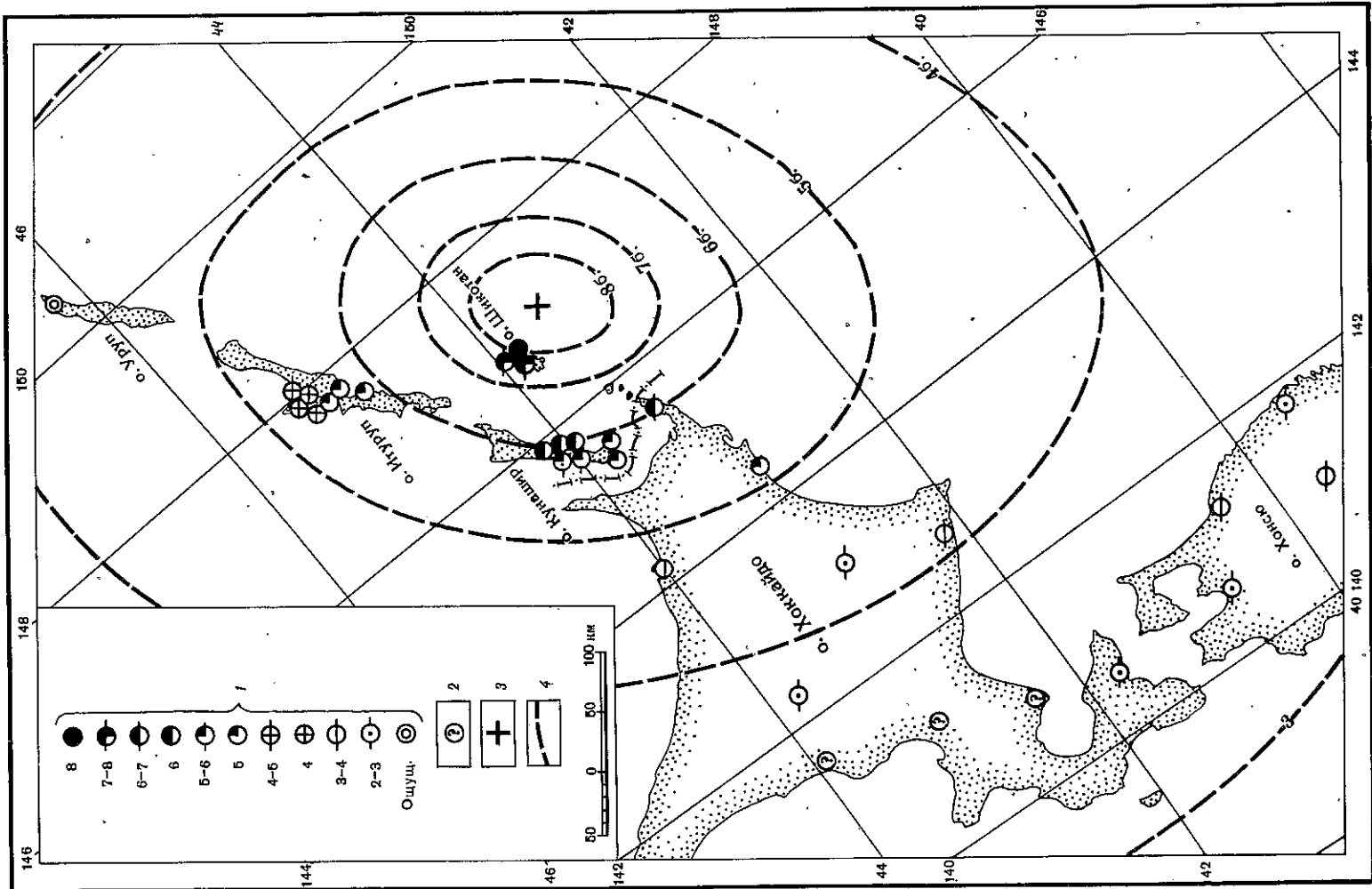
$$I_0 \approx I_i = 2,25 \lg \frac{\Delta_i^2 + h^2}{h^2}.$$

По формуле $I_0 = 1,5 M - 4,5 \lg h + 4,5$ макросейсмическая глубина в очаге для $I_{0M} = 8,2$ балла и $M_M = 6,9 \pm 0,3$ равна $h_M = 30$ (24-38) км.

Сопоставляя M_M и M_M, h_M и h_M и I_{0M} , можно взять, по-видимому, за окончательные параметры Шикотанского землетрясения 3 сентября по инструментальным и макросейсмическим данным следующие значения: $M \approx 6,9 \pm 0,3$, $h = 30$ (24-38) км, $I_0 = 8,2 \pm 0,2$ балла.

Наконец, были рассчитаны теоретические изосейсты Шикотанского землетрясения. Для определения ориентации изосейст использованы данные о механизме очага (см. "Каталоги дополнительных параметров очагов землетрясений", Курило-Охотский ре-

Рис. 2. Схема поверхностного эффекта землетрясения 3 сентября
1 — интенсивность, баллы; 2 — сведений нет; 3 — инструментальный эпицентр; 4 — теоретическая изосейста



В.М. Зобин, Е.И. Гордеев, Е.И. Иванова, Л.Г. Синельникова,
В.А. Гаврилов, В.П. Митякин, В.А. Широков

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ КАМЧАТКИ И КОМАНДОРСКИХ ОСТРОВОВ

Аппаратура и методика обработки материалов наблюдений

В 1981 г. детальные сейсмологические наблюдения на Камчатке и Командорских островах продолжались в рамках Опытно-методической сейсмологической партии Института вулканологии ДВНЦ АН СССР. Данные о региональной сети сейсмических станций приведены в статье [1]. В 1981 г. сеть станций пополнилась региональной станцией Березовая (БРЗ), расположенной на восточном побережье Камчатки между г. Петропавловск-Камчатским и м. Лопатка. Станция оснащена комплектом аппаратуры СМ-3-ГБ-IV с увеличением 5000 на трех каналах и четвертым загрузленным каналом с увеличением 250. Частотная характеристика столпообразна на периодах 0,1–0,2 с.

Наряду с региональными сейсмическими станциями функционирует телеметрическая сеть сейсмических станций [2]. Пять передающих пунктов расположены на расстоянии до 70 км от г. Петропавловска-Камчатского, один — в районе вулкана Шивелуч. Передача информации от передающих пунктов в Центр сбора информации осуществляется в непрерывном режиме по УКВ-радиоканалу. Регистрация ведется магнитографами и устройствами видеоматрицы. Каждый передающий пункт оснащен двумя сейсмометрами типа СМ-3: вертикальным и горизонтальным. Регистрируемый параметр — скорость смещения грунта, диапазон регистрируемых частот на уровне 0,1 составляет полосу 0,3–25 Гц. В диапазоне 1–18 Гц сквозные амплитудно-частотные характеристики плоские, увеличение на частоте 1 Гц составляет около 6000. В 1981 г. функционировала сеть из 13 станций сильных движений, регистрировавшая землетрясения интенсивностью от 3 баллов (табл. 1).

Определение гипоцентров камчатских землетрясений проводилось на ЭВМ "Минск-32" по программе ГИ-77, составленной А.А. Гусевым [3]. При определении гипоцентров землетрясений использовался эмпирический годограф, построенный для Камчатки И.П. Кузиным [4].

Энергетический класс K_i $K_{Si}^{\Phi, 6,8}$ определялся по номограмме С.А. Федотова [5]. Для землетрясений с $K \geq 11,5$ найден механизм очага землетрясений по первым вступлениям Р-волн, записанных на сейсмических станциях камчатской сети, а также с привлечением данных Сейсмологического бюллетеня (СБ) ИФЗ АН СССР и выпусков "Earthquake Data Report" (EDR) Геологической службы США. Для этих же землетрясений определены очаговые параметры (сейсмический момент M_0 , величина сброшенного напряжения) по данным спектров продольных волн и поверхностных волн Рэлея, зарегистрированных среднепериодной аппаратурой СКД на сейсмических станциях Петропавловск (ПТР), Стекольный (МГД), Северо-Курильск (С-К). Методика расчета очаговых параметров описана ранее [6]. Определение механизма очага землетрясений проводилось как вручную по стандартной методике, так и на ЭВМ ЕС-1030 по программе, описанной в [7]. При расчете на ЭВМ весовая функция знака вступления Р-волны задавалась в зависимости от четкости вступления, также с учетом того, снят знак вступления с сейсмограммы или взят по данным бюллетеня. В счет на ЭВМ вводились лишь те землетрясения, для которых количество знаков вступления Р-волны было больше 30. Таким образом, из 24 землетрясений с $K \geq 11,5$ на ЭВМ посчитано десять, шесть из них включены в каталог (отмечены звездочкой), остальные четыре имели ненадежное решение. Магнитуды M_L камчатских землетрясений взяты по данным EDR, магнитуды M_LH — по данным СБ, также привлечались магнитуды M_LH по данным станции Петропавловск.

Камчатско-Командорская зона разделена на три пояса (рис. 1). Внешний пояс, охватывающий: Курило-Камчатскую глубоководную впадину и прилегающую часть плат-

1. В дальнейшем просто К.

Таблица 2
Некоторые параметры реальных и теоретических изосейст землетрясения 3 сентября

Параметр, км	Баллы											
	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5
ΔM_i	40	47	—	126	121	129	178	207	205	471	400	661
D	60	77	100	128	165	204	275	356	460	595	768	994
K	42	54	70	90	117	151	194	251	325	420	542	701
\sqrt{DK}	50	65	84	107	139	175	231	299	386	498	645	837

гион) этого подземного толчка, причем изосейсты построены (см. рис. 2) в соответствии с простиранием второй из возможных плоскостей разрыва в очаге, при этом получено хорошее согласие с макросейсмическими наблюдениями.

Первая изосейста (восьмибалльная) построена в виде овала с большой осью, вытянутой по азимуту простирания плоскости разрыва, и ее длина принята равной $2D_0 = l + 2h_x$, где $l = 35$ км определена из формулы $lg l = 0,5 M_x - 1,8$, длина малой оси $2K_0$ принята равной $2h_x$. Длины осей последующих изосейст вычислялись для $i = 7,5; 7; 6,5; 6; 5,5; 4,5; 4; 3,5; 3$ и 2,5 балла по формулам

$$l_i - l_i \approx s \lg \frac{K_i}{l + 2h_x}, \quad l_0 - l_i \approx s \lg \frac{K_i}{h_x}$$

Также вычислены средние радиусы \sqrt{DK} теоретических изосейст. Результаты всех вычислений приведены в табл. 2. При построении считалось, что последующие изосейсты наследуют форму первой.

Сопоставление наблюденной балльности в населенных пунктах (см. рис. 2) и теоретических изосейст указывает на удовлетворительное согласие макросейсмических данных, в том числе и для островов Хоккайдо и Хонсю, с теоретическими изосейстами. Отсюда видно, что уравнения макросейсмического поля курильских землетрясений можно использовать и для подземных толчков, происходящих восточнее Хоккайдо и Хонсю. Кроме того, согласие позволяет в данном случае отдать предпочтение одной из двух возможных плоскостей разрыва в очаге изучаемого землетрясения.

ЛИТЕРАТУРА

1. The seismological bulletin the Japan of meteorological Agency for september 1981. Tokyo, 1982.
2. Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР. М.: Наука, 1974, с. 102–105.
3. Оскарбин Л.С., Поллавакя Л.Н.; Шумилина Л.С. и др. Макросейсмические данные о Парамуширском землетрясении 28 февраля 1973 г. — В кн.: Теоретические и экспериментальные исследования по проблеме цунами. М.: Наука, 1977, с. 177–185.