

Л.Н. Поплавская, В.Е. Крутовских, М.И. Рудик, В.Н. Дьяченко, Р.И. Сухомякина

Землетрясения Курило-Охотского региона

Как и в предыдущие годы, наблюдения над землетрясениями Курильских островов и Охотского моря осуществляли 11 сейсмических станций СахКНИИ ДВНЦ АН СССР, расположенных на о-ве Сахалин и Курильских островах. Основные параметры сейсмической аппаратуры, эксплуатируемой на этих станциях (табл. 1), позволили регистрировать сейсмические колебания в достаточно широком динамическом и частотном диапазонах. Наблюдения обобщались в группе свободной обработки Опытно-методической сейсмологической партии СахКНИИ и публиковались в выпусках "Сейсмологического бюллетеня Дальнего Востока" [1].

Кроме данных сейсмических станций, упомянутых в табл. 1, при определении основных параметров курило-охотских землетрясений использовались сведения, помещаемые в ежегодных бюллетенях сейсмических станций ИФЗ АН СССР Пулково, Итулин, Владивосток, Петропавловск-Камчатский, а также станций СВКНИИ ДВНЦ АН СССР Магадан, Стекольный, Сеймчан и станции Института вулканологии (ИВ) ДВНЦ АН СССР Паужетка. Наряду с данными сетей близких и удаленных станций СССР в свободной

Таблица 1
Величина максимального увеличения и соответствующие периоды

Станция	Тип аппарата	N-S		E-W		Z
		V _m	T _m , с	V _m	T, с	
Курильск	СКД	1000	0,3-20	1000	0,3-20	1000
	СК КПЧ	20	0,5-10	20	0,5-10	20
Николаевск-на-Амуре	ВЭГИК			100	0,2-0,8	10000
	СКД	1000	0,3-16	1000	0,3-16	1000
Оха	С-5-С	3000	0,1-0,9	3000	0,1-0,9	3000
	СКМ-3	176000	0,6	176000	0,6	176000
Рейдово	СКД	1000	0,3-20	1000	0,3-20	1000
	СКМ-3	7500	0,6	7500	0,6	7500
Северо-Курильск	СКМ-3	68500	0,3-0,6	68500	0,3-0,6	68500
	СКД	26000	0,4-0,6	26000	0,4-0,6	26000
Сямшур	СКД	1000	0,3-20	1000	0,3-20	1000
	СКД КПЧ	50	0,1-16	50	0,1-16	50
Тымовское	СК	1200	0,6-10	1200	0,6-10	1200
	ВЭГИК	17600	0,55	17600	0,55	17600
Углегорск	СКМ-3	58600	0,5	58600	0,5	58600
	СКД	1000	0,3-20	1000	0,3-20	1000
Шикотан	СКМ-3	13000	0,5	13000	0,5	13000
	СКД	1000	0,3-20	1000	0,3-20	1000
Южно-Курильск	СКМ-3	51500	0,5	51500	0,5	51500
	СКД КПЧ	100	0,5-5	20	0,5-5	50
Южно-Сахалинск	СКМ-3	16000	0,5	16000	0,5	16000
	СКД	1000	0,3-20	1000	0,3-20	1000
Пресс-Юнг	Пресс-Юнг	700	6-60	700	6-60	700
	СКД КПЧ	100	0,3-16	100	0,3-16	100
СКМ-3	СКМ-3	60000	0,6-0,8	60000	0,6-0,8	65000

обработке использовались наблюдения сейсмических станций Японии, США, Австралии, Канады, Новой Зеландии и некоторых других стран.

Основные параметры курило-охотских землетрясений определялись в основном методами, не требующими применения географов и позволяющими получить независимые оценки этих параметров.

Координаты эпицентров землетрясений с $M \geq 4$, для которых имелись данные как близких, так и удаленных станций, определялись методом средних линий [2]. Эпицентры более слабых толчков, зарегистрированных, как правило, сетью только близких станций, находились с использованием какого-либо сочетания методов. При этом выбор конкретного сочетания методов зависел от вида, качества и количества используемой информации, а также конкретной геометрии эпицентр-станции. Чаще всего употреблялось сочетание трех методов: засечек по t_p [3], средних линий и азимутального метода Б.Б. Голицына [4] с использованием азимута ближайшей к эпицентру станции. В методе засечек при интерпретации наблюдений над землетрясениями с $H \leq 150$ км, полученных на расстояниях $\Delta \leq 2000$ км, применялся географ Р.З. Тараканова [5], на расстояниях $\Delta > 2000$ км, а также для землетрясений с $H > 150$ км на всех расстояниях — географ Джеффриса-Буллена.

Глубины очагов курило-охотских землетрясений во всех случаях, когда это было возможно, определялись двумя способами: по запаздыванию волн P_p и s_p относительно P [6-8], а также методом производной [9]. В тех случаях, когда использование упомянутых методов не представлялось возможным, глубина очага определялась перебором географов волн P и минимизацией невязок к ним. При этом следует отметить, что перечисленные методы дают взаимно несмещенные оценки глубины очага [10] с точностью для метода $pP-p$, $sP-p$ — 3-6 км, для метода производной — 3-9 км. Надежность определения глубины очага с помощью минимизации невязок к географу зависит от конкретной геометрии эпицентр-станции и может изменяться в довольно широких пределах.

Время в очаге определялось с помощью соотношения Вагата

$$t_0 = P - (S - P)/(v_p/v_s - 1)$$

При этом средняя ошибка определения t_0 (с) оценивалась как

$$\delta t_0 = 0,01(S - P)$$

ле [11]; $M_{pP}^{СКД}$, $M_{sP}^{СКД}$, для землетрясений с $H \leq 80$ км — по номограммам [12]; для глубоководных — по номограммам [13]. В случаях, когда глубоководные землетрясения аппаратурой СКД не регистрировались, начиная с 1980 г. магнитуды таких землетрясений аппаратурой СКД не регистрировались, начиная с 1980 г. магнитуды таких землетрясений определялись по [13] с использованием данных СКМ-3. В этих случаях магнитудные оценки сопровождалась звездочкой (M_{pP}^* , M_{sP}^* , M_{SH}^*). Энергетическая классификация курило-охотских землетрясений по данным короткопериодной аппаратуры СКМ-3, ВЭГИК осуществлялась с помощью номограмм [14-16].

Механизм очагов с 1975 г. определялся на ЭВМ М-222 по программе [17], используемой в качестве исходной информации сведения о знаках первых смещений в волне P . В качестве решения о механизме очага программа выдает 85%-ную достоверную область существования для обеих возможных нодальных плоскостей и соответствующие им 85%-ные достоверные области существования осей главных действующих напряжений. В каталоге дополнительных параметров приведены два крайних положения каждой из нодальных плоскостей, оконтуривающие 85%-ную достоверную область, и соответствующие им координаты осей напряжений сжатия, растяжения и промежуточных напряжений.

По результатам сводной обработки наблюдений над землетрясениями Курило-Охотского региона составлены карта эпицентров (рис. 1) и гистограммы хода сейсмического процесса во времени (рис. 2). Основные фактические данные сведены в каталог землетрясений и каталог дополнительных параметров (см. наст. сборник).

Распределение землетрясений по магнитуде и глубине очага в отдельных эпицентральных районах

Магнитуда	Глубина очага, км									
	0-30	31-80	>80	0-30	31-80	>80				
	№ 1			№ 2			№ 3			
4	2	10		8	3	3	13			
4,25	4	9	1	3	9	3	7	8		5
4,5	9	7		5	3	2	3	2		5
4,75	2	3	1	1	1	1	1	1		4
5	2			1	1			2		2
5,25							1	1		1
7										1
	№ 4			№ 5			№ 6			
4	7	31	6	22	84	12	2	4		5
4,25	3	14	2	8	30	7	1	6		2
4,5	3	12	2	5	21	1		2		2
4,75		1		3	7	1		1		2
5	1	3		2	9	2		1		1
5,25					1					
5,5		1			2					
5,75				2						
6		1		1						
6,5										
6,25				1						
7										

В 1980 г. зарегистрировано два (табл. 2) сейсмических события с $M = 7 - 23$ февраля в 05 ч 51 мин и 31 декабря в 10 ч 32 мин. Однако серия повторных толчков, сопровождавшая первое из этих землетрясений и прослеженная до конца года [18], оказалась весьма многочисленной. Последующие события, вызванные землетрясением 31 декабря, приходятся на 1981 г. Таким образом, 1980 г. следует отнести к годам со средним уровнем сейсмической активности.

Распределение курило-охотских землетрясений в пространстве и во времени не претерпело в 1980 г. существенных изменений (рис. 1, табл. 2). Следует отметить, однако, заметное увеличение числа глубоководных толчков вблизи шельфа Курильских островов. Детали, характеризующие особенности пространственно-временного распределения сейсмической активности, хорошо видны из анализа графических материалов, а также табл. 2 и 3.

В парамуширском районе (рис. 1, № 1) зарегистрировано 51 землетрясение, о пяти из них имеются макросейсмические сведения. Наибольшее число сейсмических толчков наблюдалось на глубинах 30-80 км. Сильнейшие же события отмечались на глубинах $H > 80$ км.

В шельфовой зоне о-ва Парамушир и Южной Камчатки отмечено пять глубоководных

Рис. 1. Карта эпицентров курило-охотских землетрясений

Классификация по магнитуде M : 1 - $6,50 \leq M < 7,50$; 2 - $5,50 \leq M < 6,50$; 3 - $4,25 \leq M \leq 5,50$; $9,5 \leq K < 11,5$; 4 - $M = 4$; K - M = 4; 5 - $0 \leq H \leq 30$; 6 - $30 < H \leq 60$; 7 - $60 \leq H \leq 90$; 8 - $90 \leq H \leq 300$; 9 - $H > 300$; 10 - эпицентральный район; 11 - ось глубоководного курило-камчатского желоба; 12 - Южно-Охотская котловина; 13 - сейсмическая станция

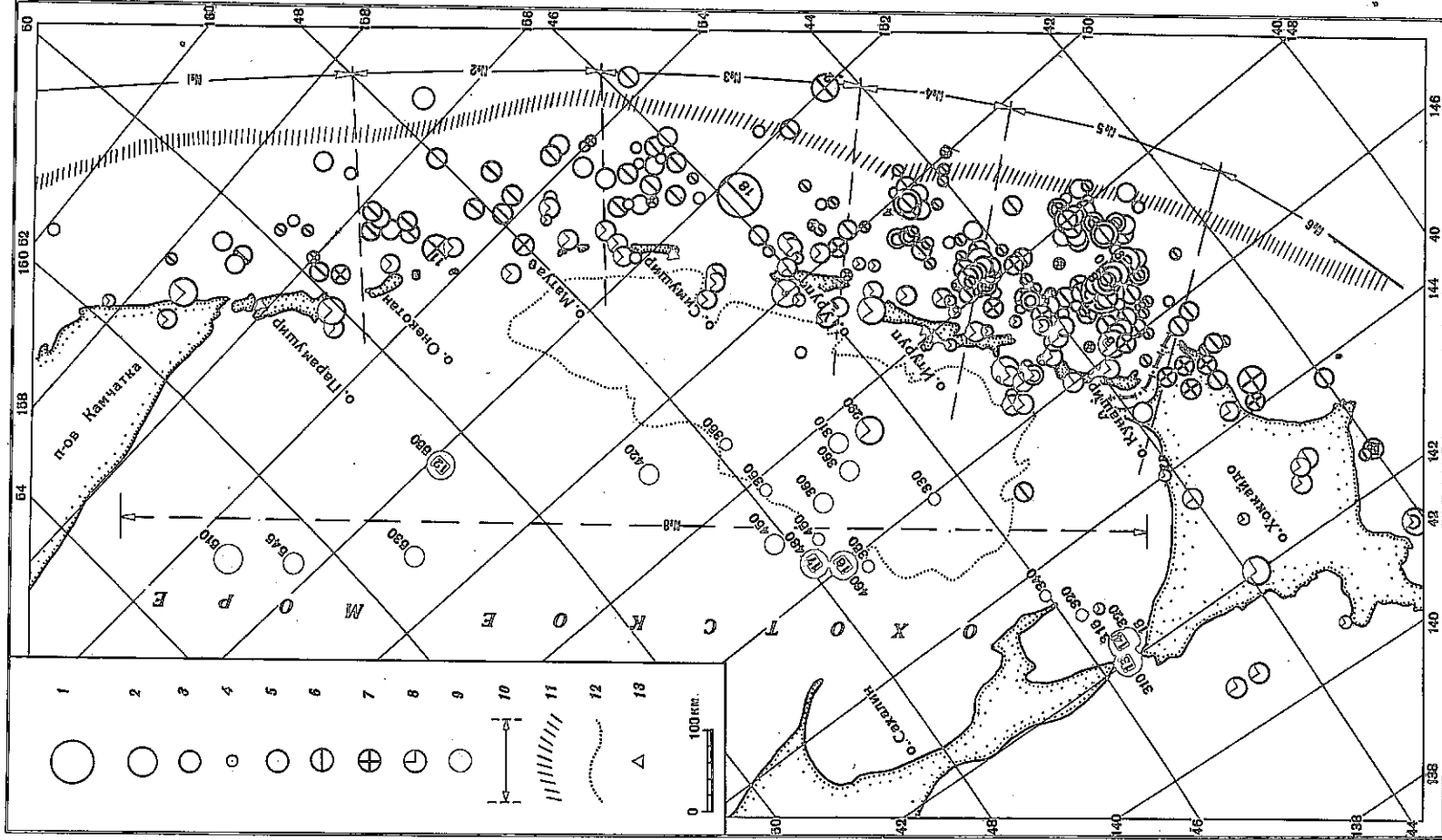
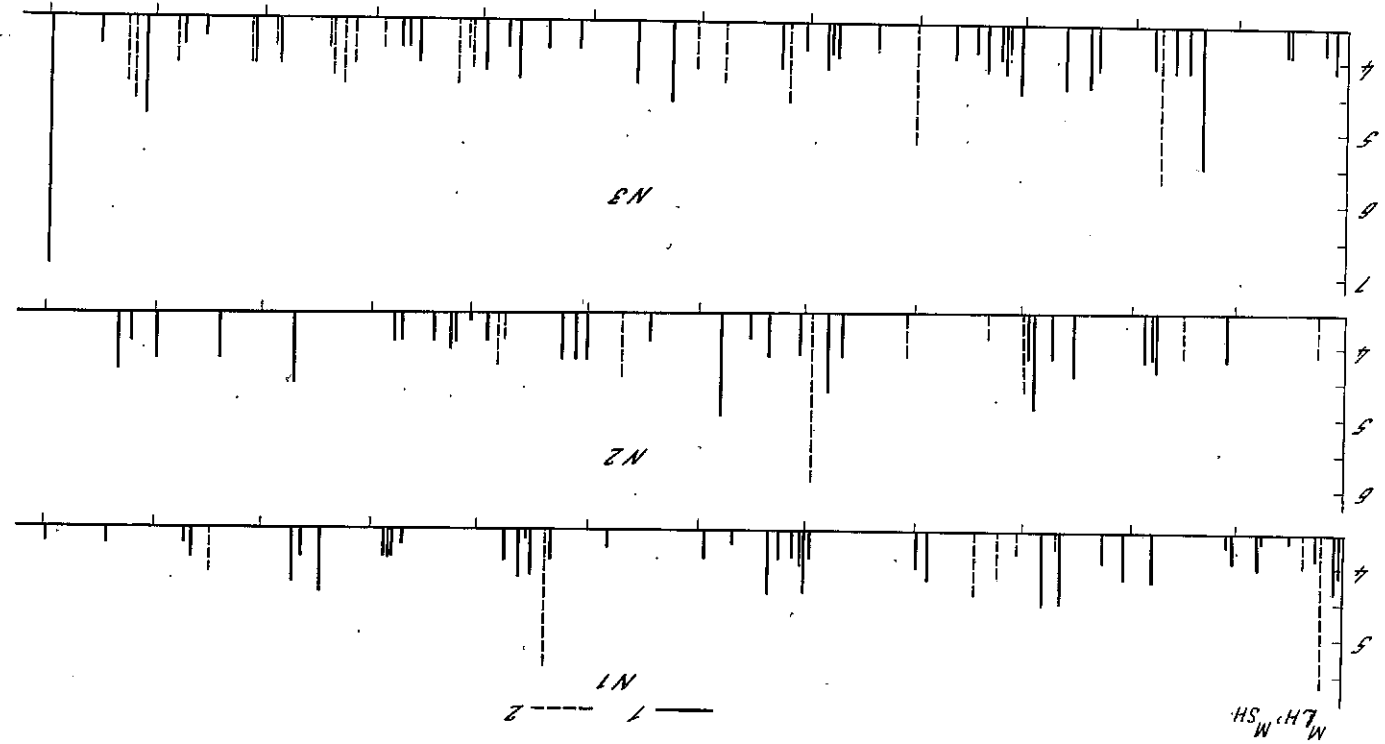
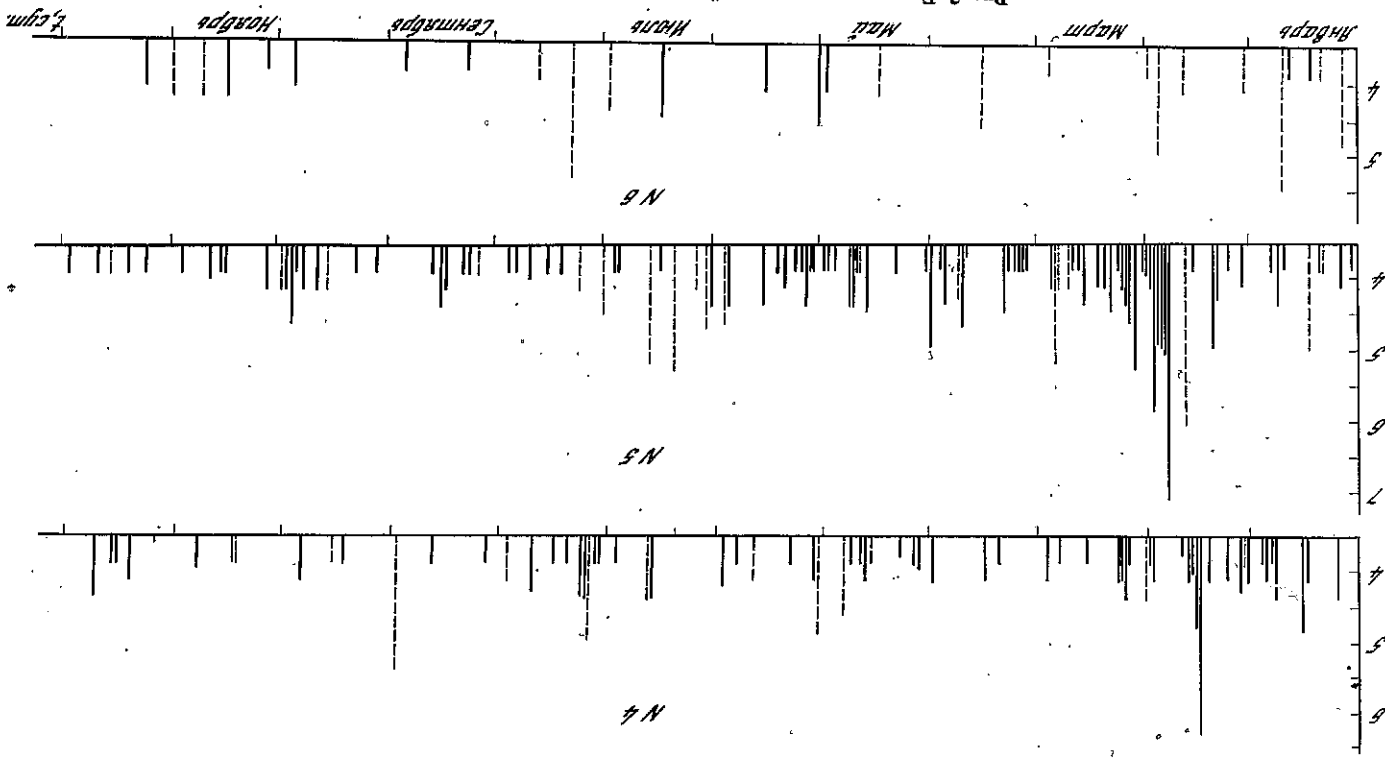


Рис. 2. Изотопамми холл селенитеското процесса во време



Сравнительные характеристики сейсмической активности отдельных эпицентральных районов

№ района	Глубина очага H , км	Число землетрясений	Число опутанных землетрясений	M_{max}	I_{max}
1	0-30	19	3	5,2	4
	31-80	29	1	4,7	2
	> 80	3	1	5,6	3,5
2	0-30	13	—	5,0	—
	31-80	16	1	4,9	2
	> 80	10	1	5,1	3
3	0-30	25	—	4,7	—
	31-80	28	1	7,0	4
	> 80	16	2	5,7	3
4	0-30	14	—	4,9	—
	31-80	63	8	6,3	3
	> 80	10	—	5,4	—
5	0-30	44	5	5,0	—
	31-80	154	41	7,1	7
	> 80	23	5	6,1	5
6	0-30	3	—	4,2	—
	31-80	13	—	4,7	—
	> 80	12	—	5,7	—
7	0-30	—	—	—	—
	31-80	—	—	—	—
	> 80	4	—	5,2	—
8	0-30	1	—	—	—
	31-80	1	—	—	—
	> 80	30	—	6,1	—

кусных землетрясений. Самым значительным из них было землетрясение с $M_{SH}^{СКД} = 5,4$, произошедшее 13 августа в 11 ч 35 мин на глубине $H = 120$ км.

В очагах землетрясений Парамуширского района, по данным о механизме очагов, преобладали взбросовые подвижки. Землетрясения этого района находились под воздействием близгоризонтально ориентированных напряжений сжатия и более крутых напряжений растяжения.

В Онекотан-Магуанском районе (рис. 1, № 2) в течение года зарегистрировано 44 толчка, два из которых ощущались в населенных пунктах близлежащих островов. Большинство землетрясений происходило в диапазоне глубин 0-80 км, эпицентры их концентрировались юго-восточнее островов Онекотан и Магуа.

Самое значительное из онекотан-магуанских землетрясений произошло 30 мая в 18 ч 17 мин на глубине $H = 81$ км, имевшее макросейсмический эффект на о-ве Магуа в 3 балла.

Сейсмический процесс во времени был чрезвычайно неравномерным (рис. 2, № 2). Как и в Парамуширском районе, самые сильные события отмечаются на глубинах свыше 80 км.

Удалось определить механизмы очагов для четырех землетрясений Онекотан-Магуанского района, из них три землетрясения характеризуются взбросовыми подвижками. Напряжения сжатия в этом районе не имеют явной преимущественной ориентации, а напряжения растяжения были ориентированы перпендикулярно направлению островной дуги для землетрясений со взбросовой подвижкой и под некоторым углом к ней — для землетрясений со сбросовой подвижкой.

В Симушир-Урулском районе в течение года было зарегистрировано 69 землетрясений, основная часть которых происходила юго-восточнее о-вов Симушир и Урул. Наибольшая активность наблюдалась на глубинах 0-80 км. Имелись макросейсмические сведения о трех землетрясениях района.

Самое сильное землетрясение района произошло 31 декабря в 10 ч 32 мин с $M = 7$ на глубине $H = 50$ км, ощущавшееся на Южных и Центральных Курильских островах силой до 4 баллов.

Вблизи северной оконечности о-ва Симушир отмечено несколько значительных глобофокусных толчков, однако макросейсмических сведений о них не поступило.

В северо-западной и восточной частях шельфа о-ва Урул также отмечались глубокие землетрясения, в том числе значительные. Среди них землетрясение 22 февраля в 01 ч 15 мин с $H = 145$ км и $M_{SH}^{СКД} = 5,7$ ощущалось на Южных Курильских островах.

Представляет интерес землетрясение 10 февраля в 12 ч 41 мин, произошедшее на глубине $H = 22$ км вблизи восточного склона глубоководного Курило-Камчатского желоба. Магнитуда его $M = 5,5$.

Для четырех землетрясений Симушир-Урулского района определены механизмы очагов. Результаты показали, что для трех землетрясений по обеим возможным плоскостям разрыва произошли взбросовидные. Напряжения сжатия для этого района было ориентировано вкrest простирания основных структур, что касается направления растяжения, то оно не имело преимущественной ориентации.

Северо-Итурупский район (рис. 1, № 4) характеризуется повышенной сейсмической активностью. Здесь зарегистрировано 87 землетрясений, большая часть которых имела очаги на глубинах 10-50 км.

Сильнейшим из северо-итурупских землетрясений был толчок 15 февраля в 14 ч 25 мин с $M = 6,3$, произошедший юго-восточнее о-ва Итуруп на глубине $H = 48$ км. Макросейсмический эффект его на побережье Курильских островов не превышал 3 баллов. Землетрясение сопровождалось повторными толчками, образовавшимися вблизи западного склона глубоководного желоба компактную группу эпицентров. Основная часть сейсмических событий района происходила юго-восточнее о-ва Итуруп, о девяти толчках имеются макросейсмические сведения. Самыми активными месяцами в 1980 г. были февраль и март (см. рис. 2, № 4).

Характерными для северо-итурупских землетрясений были также взбросовидные дислокации. Напряжения сжатия не имело явной преимущественной ориентации. Напряжения растяжения для части очагов было ориентировано ортогонально простиранию основных структур, для другой части — под некоторым углом к нему. Промежуточные напряжения были близгоризонтальными и ориентированы вкrest простирания островных структур.

Кунашир-Шикотанский район в 1980 г. определял уровень сейсмической активности Курило-Охотского региона в целом. Здесь было зарегистрировано 221 землетрясение, из них 51 толчок ощущался на побережье Курильских островов и Японии. Магнитуда сильнейшего из них, произошедшего 23 февраля в 05 ч 51 мин, $M = 7,1$. Землетрясение сопровождалось заметным макросейсмическим эффектом и вызвало слабые волновые лунки (см. статью в наст. сборнике).

Значительным событием района явилось и землетрясение 18 февраля в 06 ч 08 мин, произошедшее на глубине $H = 110$ км с $M_{SH}^{СКД} = 6,1$. Его макросейсмический эффект на побережье о-ва Кунашир достигал 3 баллов. Так же как и в Северо-Итурупском районе, наиболее активными были февраль-март. В очагах землетрясений Кунашир-Шикотанского района происходили преимущественно взбросовидные подвижки. Оси главных действующих напряжений сжатия при этом были близгоризонтальными и ортогональны простиранию Курильской островной гряды. Оси главных напряжений растяжения были более крутыми и ориентированы как субшироко, так и вкrest простирания островной дуги.

4. Голицын Е.Б. К вопросу об определении азимута эпицентра землетрясений. — Избр. тр. М.: Изд-во АН СССР, 1960, с. 231—241.
5. Тараканов Р.З. Географы волн P и S - P и скоростной разрез верхней мантии Земли: по данным наблюдений над курило-никоксскими землетрясениями. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1965, № 7, с. 90—101.
6. Введенская Н.А. Выделение волны P на записях глубоких землетрясений Средней Азии. — Тр. Геофиз. ин-та АН СССР, 1956, № 36 (163), с. 25—34.
7. Кондорская Н.В. Выделение волны sP при неглубоких землетрясениях и ее использование для определения глубины очага. — Тр. Геофиз. ин-та АН СССР, 1956, № 36 (163), с. 35—47.
8. Рукководство по производству и обработке наблюдений группы сейсмических станций. М.: Изд-во АН СССР, 1954, с. 26—30.
9. Поплавский А.А., Поплавская Л.Н., Капанина Л.И. Определение глубины очага близкого подкорового землетрясения. — В кн.: Обработка сейсмологических наблюдений и поиск предвестников землетрясений на Дальнем Востоке. Владивосток, 1978, с. 34—43.
10. Поплавский А.А., Поплавская Л.Н., Капанина Л.И. Оценка точности определения глубины очагов дальневосточных землетрясений методом производной. — Вулканогеология и сейсмология, 1981, № 5, с. 74—81.
11. Соловьева О.Н., Соловьев С.Л. Новые данные о динамике сейсмических волн неглубокофокусных курило-охотских землетрясений. — В кн.: Проблема цунами. М.: Наука, 1968, с. 75—97.
12. Соловьева О.Н., Соловьев С.Л. Амплитудные кривые волн P , P_n и S_n неглубокофокусных тихоокеанских землетрясений на расстояниях 2—40°. — In: *Vorträge des Sonderlehre Symposiums der 4 subcommission von IAGLR*, Br., 1970.
13. Соловьева О.Н. Определение магнитуды глубокофокусных землетрясений. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1978, № 1, с. 25—35.
14. Соловьев С.Л., Соловьева О.Н. Скорость колебания земной поверхности в объемных волнах неглубокофокусных курило-камчатских землетрясений на расстояниях до 17°. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1967, № 1, с. 37—60.
15. Соловьев С.Л., Соловьева О.Н. Соотношение между энергетическим классом и магнитудой курильских землетрясений. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1967, № 2, с. 13—23.
16. Анхилин В.Д., Соловьев С.Л. Скорость колебания земной поверхности в короткопериодных продольных волнах неглубокофокусных курильских землетрясений. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1969, № 1, с. 13—21.
17. Анхилин В.Д., Желанский Т.С., Кейлис-Борок В.И. и др. Массовое определение механизмов землетрясений на ЭВМ. — В кн.: Теория и анализ сейсмологических наблюдений. М.: Наука, 1979, с. 45—59. (Вычисл. сейсмология; Вып. 12).
18. Нагорных Т.В., Поплавская Л.Н., Рудик М.И. и др. Землетрясение и цунами 23 февраля 1980 г. — Наст. сборник.

УДК [550.348+550.344.42] (571.645)

Т.В. Нагорных, Л.Н. Поплавская, М.И. Рудик, М.Е. Кузнецов, К.И. Негоп

Землетрясение и цунами 23 февраля

23 февраля 1980 г. в 05 ч 51 мин Гринвичского времени восточнее о-ва Шикотан произошло землетрясение, макросейсмический эффект которого на этом острове достигал 6—7 баллов. Землетрясение сопровождалось слабыми волнами цунами.

Инструментальные данные о землетрясении, полученные разными сетями сейсмических станций и службами (см. таблицу), свидетельствуют о том, что очаг его находился вблизи подошвы земной коры, а магнитуда была близка к пороговой цунамияпасной. Землетрясение сопровождалось сериями повторных толчков. К концу декабря 1980 г. их насчитывалось 163 с $M \geq 4$. Афтершоки первых суток (рис. 1, а) образовали эпицентральною область, ориентированную вкост простирания Малой Курильской гряды. Эта ориентация сохранилась и для всей эпицентральной области (рис. 1, б) в целом. Очаг главного землетрясения находился в середине эпицентральной области (рис. 1), очаги афтершоков, происшедших вблизи шельфовой зоны, были более глубокими, чем толчки с эпицентрами юго-восточнее основного землетрясения.

89

Район о-ва Хоккайдо (рис. 1, № 6) был в 1980 г. самым спокойным по сравнению с другими эпицентрально районами. Большая часть землетрясений происходила вблизи юго-восточного побережья этого острова на глубинах $H = 60 \div 90$ км. Все самые сильные землетрясения о-ва Хоккайдо были глубокофокусными. Из них наиболее значительными оказались землетрясения 21 января в 21 ч 06 мин с $H = 130$ км и $M_{SKD}^{SH} = 5,7$ и толчок 8 августа в 22 ч 07 мин с $H = 200$ км и $M_{SKD}^{SH} = 5,4$.

Для землетрясений о-ва Хоккайдо также характерны взрососдвиговые дислокации. Для некоторых землетрясений этого района главные действующие напряжения сжатия были ориентированы перпендикулярно основному структурам, для других же — под некоторым углом к ним. Оси главных напряжений растяжения ориентировались вдоль островной дуги, в некоторых же случаях — под небольшими углами к ее простиранию. Из полученных данных о механизме очагов и ориентации осей главных действующих напряжений можно сделать вывод о том, что очаги о-ва Хоккайдо находились под преобладающим воздействием близгоризонтальных напряжений сжатия, что и определило характер дислокаций в них.

В Охотском море удалось определить эпицентры 32 землетрясений. Большая часть из них отмечалась у северо-западной границы Южно-Охотской котловины на глубинах 300—500 км. Самые последние были толчки 11 декабря в 22 ч 53 мин с $H = 460$ км и $M_{SKD}^{SH} = 5,8$ и 22 декабря в 20 ч 31 мин с $H = 480$ км и $M_{SKD}^{SH} = 6,0$. В центральной части Южно-Охотской котловины произошло землетрясение 4 марта в 08 ч 21 мин с $H = 290$ км и $M_{SKD}^{SH} = 5,4$.

Среди сильнейших событий было землетрясение 10 июня в 23 ч 13 мин, эпицентр — в центральной части Охотского моря на глубине $H = 550$ км с $M_{SKD}^{SH} = 6,1$, а также толчок 20 июля в 12 ч 08 мин с эпицентром в северо-восточной части Охотского моря, имевший очаг на глубине $H = 510$ км и $M_{SKD}^{SH} = 5,3$.

Удалось определить механизм очагов лишь двух землетрясений этого района, которые произошли в условиях близгоризонтально ориентированных напряжений сжатия и более крутых напряжений растяжения. Результаты определения механизма очагов показывают, что одна из возможных плоскостей разрыва имеет меридиональное простирание, вторая из возможных nodальных плоскостей ориентирована с северо-востока на юго-запад.

Резюмируя результаты изучения сейсмической обстановки в Курило-Охотском регионе в 1980 г., необходимо отметить следующие основные ее черты.

1. Наибольшая активность отмечается восточнее Южных Курильских островов в Сямушир-Урульском, Северо-Итурульском и Кунашир-Ижикотанском районах на глубинах $H = 30 \div 50$ км.
2. Во всех районах Курило-Охотского региона наблюдалась значительная активность на глубинах $H > 80$ км.
3. В очагах курило-охотских землетрясений преобладали взрососдвиговые дислокации, обусловленные действием близгоризонтальных напряжений сжатия и более крутых напряжений растяжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сейсмологический бюллетень Дальнего Востока, 1980. Новоалександровск: СахКНИИ, 1982, вып. 1—4, с. 450.
2. Сторога Е.В., Кравец Г.Д., Поплавская Л.Н. и др. Программа и некоторые результаты определения эпицентров курило-охотских землетрясений на ЭВМ "Мякск-22". — В кн.: Алгоритмы интерпретации геофизических данных. Владивосток, 1976, с. 5—14. (Тр. СахКНИИ ДВНЦ АН СССР; Вып. 44).
3. Архангельский В.Т., Введенская Н.А., Гайский В.Н. и др. Рукководство по производству и обработке наблюдений на сейсмических станциях СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1954, ч. 2, с. 22—24.

88