

А.Н. Бойчук, Л.Н. Поплавская, М.И. Рудик

Землетрясения Курило-Охотского региона

В 1977 г. определены гипоцентры для 549 курило-охотских землетрясений с $M \geq 4$ ($K \geq 9$), о 70 из них получены макросейсмические сведения. Распределение их показано на карте (рис. 1). Карта плотности курильских землетрясений, приведенных к $M = 4$ с помощью графика повторяемости [1], дана на рис. 2.

Анализ проявления сейсмической деятельности показывает, что это год со средним уровнем сейсмической активности. Причем в Северо-Итурупском и Хоккайдоском районах отмечалось относительно сейсмическое затишье, магнитуда землетрясений этих районов не превышала $M = 5 + 5,25$.

Сильнейшее неглубокофокусное землетрясение имело магнитуду $M = 6,2$

($M_{SH} = 6,3$), а сильнейшее глубокое — $M_{SH} = 6,9$. Распределение землетрясений по районам с указанием выделившейся энергии на различных глубинах приведено в табл. 1. Анализируя таблицу, видим, что 85% всех землетрясений произошло в слое $H = 0 \div 80$ км, очаги которых концентрировались в основном вблизи границы Мохоровичича. Существенно уменьшилось по сравнению с предыдущим годом [1] число неглубоких землетрясений (табл. 2). В observaх сейсмичности за 1974-1976 гг. отмечалось уменьшение общего количества энергии, высвобожденной землетрясениями с очагами в слое $H = 0 \div 80$ км; а в этом году суммарная энергия этих землетрясений уменьшилась по сравнению с 1974 г. на порядок. Напротив, количество высвобожденной упругой энергии в слое $H = 81 \div 300$ и $301 \div 600$ км на порядок увеличилось.

Для курило-охотских землетрясений с очагами в интервале глубин $H = 0 \div 80$ км был рассчитан график повторяемости

$$lg h = 6,81 - 1,12 M \pm 0,30, \quad (1)$$

где h — число землетрясений данной магнитуды M , изменяющейся от 4 до 6,2 с шагом $\Delta M = 0,25$. Коэффициенты уравнения (1) по своим значениям близки к соответствующим коэффициентам за 1971-1972 гг. [2, 3], когда наблюдалось увеличение числа слабых землетрясений перед серией сильных землетрясений 1973 г.

Рассмотрим более подробно сейсмическую деятельность в отдельных районах Курило-Охотского региона.

Парамуширский район представлен значительным числом землетрясений, очаги которых неравномерно распределялись в интервале глубин от 0 до 170 км (табл. 2; рис. 3, 4, № 1). Преобладающее количество было зарегистрировано на глубине $H = 40$ км.

В фокальном слое $H = 0 \div 80$ км для Парамуширского района, как и для всей Курильской эпицентральной зоны в целом, наблюдалось увеличение общего количества высвобожденной сейсмической энергии с увеличением глубины.

Сильнейшие землетрясения произошли вблизи южной оконечности о-ва Парамушир (12 мая в 21 ч 37 м с $M_{SH} = 5,8$ на глубине $H = 135$ км и 3 августа

Рис. 1. Карта эпицентров курило-охотских землетрясений с $K \geq 9$ ($M \geq 4$)

Магнитуда и энергетический класс: 1 — $M > 6,25$; 2 — $5,25 < M < 6,25$;

3 — $4,25 < M < 5,25$; 4 — $K < 11$; 5 — $K = 9$. Глубина очага: 6 — $0 < H \leq 30$ км;

7 — $30 < H \leq 60$ км; 8 — $60 < H \leq 90$ км; 9 — $H >$

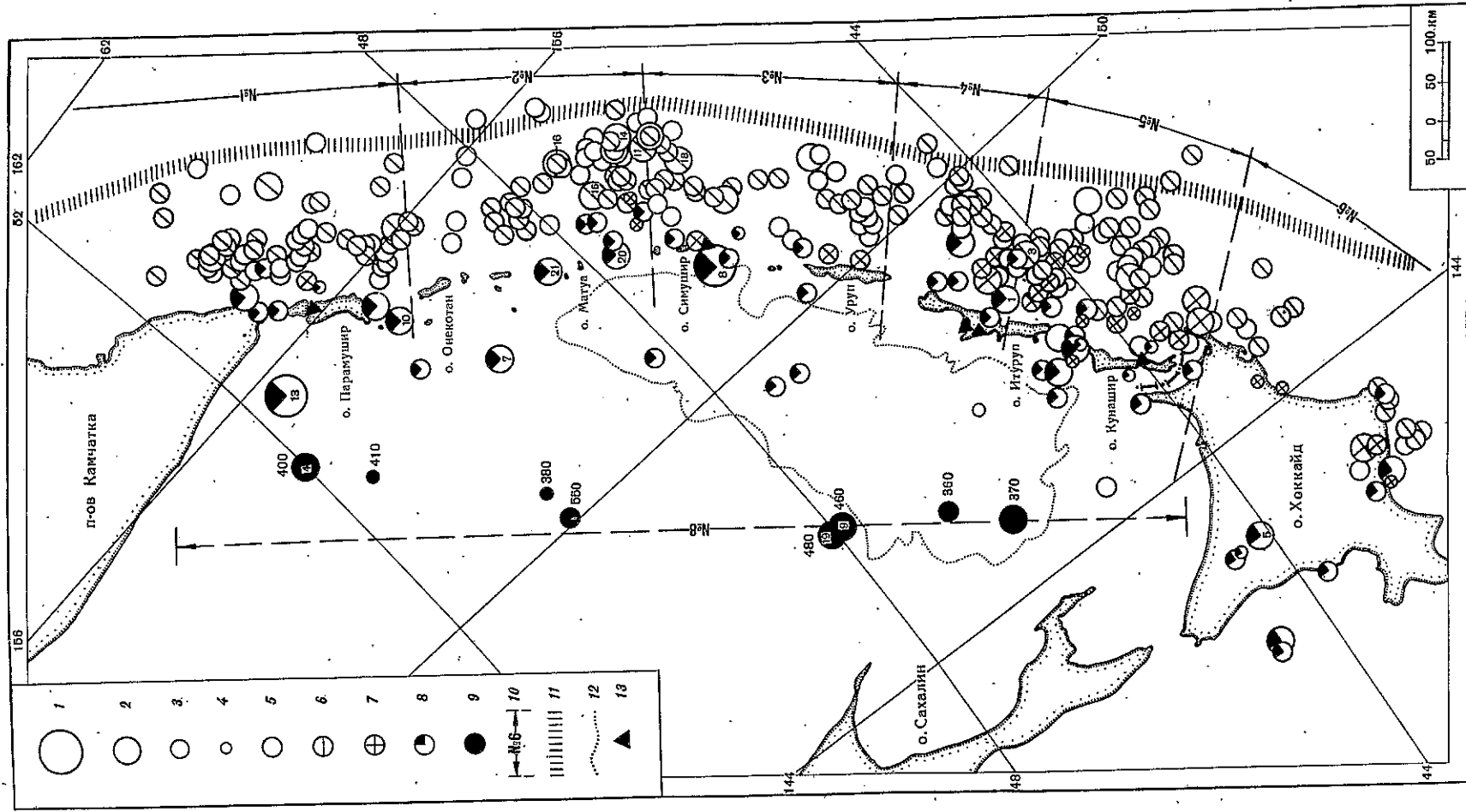
> 300 км; 10 — границы сейсмоактивных районов Курильских островов и

положение осевой части глубинных разрезов, изображенных на рис. 3, 4; 11 —

ось, глубоководного Курило-Камчатского желоба; 12 — контур глубоководной

Южно-Охотской котловины; 13 — сейсмическая станция. Землетрясения Япон-

ского моря находятся за пределами карты



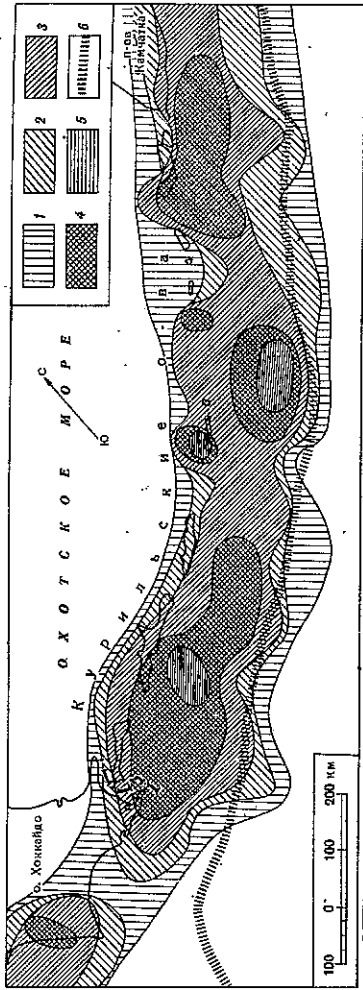


Рис. 2. Карта плотности курильских землетрясений, приведенных к уровню $M = 4$ с помощью графика повторяемости

1 - $N_M = 4 \leq 1$; 2 - $1,1 \leq N_M = 4 \leq 3$; 3 - $3,1 \leq N_M = 4 \leq 27$; 4 - $27,1 \leq N_M = 4 \leq 81$; 5 - ось глубоководного желоба

густа в 1,2 ч 05 м с $M_{SH}^{CKD} = 5,5$ и $H = 163$ км) в условиях близгоризонтального ориентированного напряжения сжатия и характеризовались вбрососдвиговыми дислокациями (здесь и далее см. каталог дополнительных параметров очагов землетрясений). Одна из возможных плоскостей разрыва в очаге землетрясения 1,2 мая имеет меридиональное простирание $70-80^\circ$ и круто падает к северо-востоку, вторая имеет меридиональное простирание и пологое падение на восток. Обе возможные плоскости разрыва в очаге землетрясения 3 августа крутые и ориентированы субмеридионально.

Уравнение графика повторяемости неглубоководных парамамурирских землетрясений имеет вид:

$$lg h = 6,73 - 1,22 M \quad (+0,03) \quad (2)$$

Как видно, оно мало отличается от соответствующего уравнения в [1].

Гистограмма распределения сейсмических событий во времени (см. рис. 1, № 1) иллюстрирует достаточно частое возникновение землетрясений в течение года, заметный спад сейсмической активности наблюдался лишь в июне и сентябре.

Онекотан-Матуанский район характеризуется повышенной сейсмической активностью, неравномерно распределенной в слое до глубин 170 км. Наибольшее число землетрясений наблюдается на глубинах $H = 30-40$ км (рис. 3, 4, № 2). В этом слое произошли три сильных землетрясения с магнитудой $M = 6,0$, из них 18 августа в 11 ч 59 м с $H = 38$ км и $M = 5,9$ и 16 октября в 01 ч 59 м с $H = 28$ км и $M = 6,0$ отмечены на западном склоне глубоководной впадины. Макросейсмический эффект землетрясения 18 августа на островах Матуа и Итуруп достигал 2 баллов, а землетрясение 16 октября на о-ве Матуа - 3 баллов. Следующее сильное землетрясение с $M = 6,0$ произошло 20 октября в 05 ч 40 м в 100 км восточнее о-ва Кетой на глубине 41 км. Макросейсмический эффект его на о-ве Матуа достигал 3 баллов.

Из землетрясений с промежуточной глубиной очага выделяются толчки 10 и 20 декабря с $M_{SH}^{CKD} = 6,2$, которые произошли в районе о-ва Кетой и пролива Крузенштерна на глубинах 120 и 159 км соответственно.

По количеству выделяющейся энергии в интервале глубин $H = 0-80$ км. Онекотан-Матуанский район был наиболее активным и среди других занимает первое место в регионе (табл. 2).

Для десяти онекотан-матуанских землетрясений удалось определить механизм очага. Из анализа каталога дополнительных параметров очагов землетрясений видно, что большинство очагов находилось в условиях близгоризонтально ориентированного напряжения сжатия, которое действует вкост простирания остров-

Таблица 1

Распределение землетрясений и количества высвобожденной энергии по глубинам (км)

Район	Число землетрясений			Количество высвобожденной энергии * $E \cdot 10^{-18}$, эрг.		
	9-80	81-300	301-600	0-80	81-300	301-600
Парамурирский	88	8	0	379	472	0
Онекотан-Матуанский	87	7	0	2218	1342	0
Симушир-Урупский	74	9	0	1524	5047	0
Северо-Итурупский	62	7	0	113	422	0
Кунашир-Шикотанский	121	21	0	537	89	0
о-в Хоккайдо	31	9	0	112	330	0
Японское море	1	3	4	12	169	21295
Охотское море	2	7	8			

* Расчет высвобожденной энергии упругой деформации ведется по формуле $I_g E = 11,8 \cdot 1,5 M$, причем для глубин $H \leq 80$ км использовалась магнитуда M_{SH}^{CKD} , а для $H > 80$ км M_{SH} .

Таблица 2

Распределение землетрясений и макросейсмического эффекта в зависимости от глубины очага

№ района	H, км	Число землетрясений	Число опутанных толчков	Максимальный балл	№ района	H, км	Число землетрясений	Число опутанных толчков	Максимальный балл
1	1-30	26	6	4	5	1-30	23	2	3,5
	31-80	62	1	3		31-80	98	29	4
	81-170	8	3	3		81-210	21	5	3
2	1-30	38	4	3	6	1-30	6	-	-
	31-80	50	1	3-4		31-80	25	7	3
	81-170	7	2	2		81-210	9	1	II*
3	1-30	22	1	2	7	1-30	1	-	-
	31-80	52	1	2		31-80	-	-	-
	81-170	9	1	2		220-570	7	1	II*
4	1-30	53	3	2	8	1-30	2	-	-
	31-80	7	1	2		210-550	15	2	3,5
	81-190	7	1	2					

* Балльность приводится по японской шкале.

ных структур, а промежуточные напряжения при этом имеют параллельное направление простирания.

Ход сейсмического процесса во времени был неравномерным (рис. 5, № 2), периоды "затишья" сменялись всплесками сейсмической активности. Особо активным в течение года был октябрь.

В Симушир-Урупском районе в течение года зарегистрировано 82 землетрясения, гипоцентры которых были расположены очень неравномерно в фокальном слое до глубин 170 км.

Максимальная магнитуда $M = 6,2$ отмечена для землетрясения 27 ноября в 8 ч 36 м на глубине $H = 42$ км. Этот толчок произошел вблизи границы с Онекотан-Матуанским районом и, по-видимому, генетически связан с группой сильных землетрясений соседнего района. Макросейсмическое проявление его на о-ве Матуа оценивается в 3-4 балла.

Механизм очага землетрясения 27 ноября аналогичен механизму сильных онекотан-матуанских землетрясений (№ 1, 1, 15 на карте эпицентров). Одна из возможных плоскостей разрыва имеет азимутальное простирание $60-70^\circ$ и круто падает в сторону океана, вторая плоскость имеет близгоризонтальное простирание

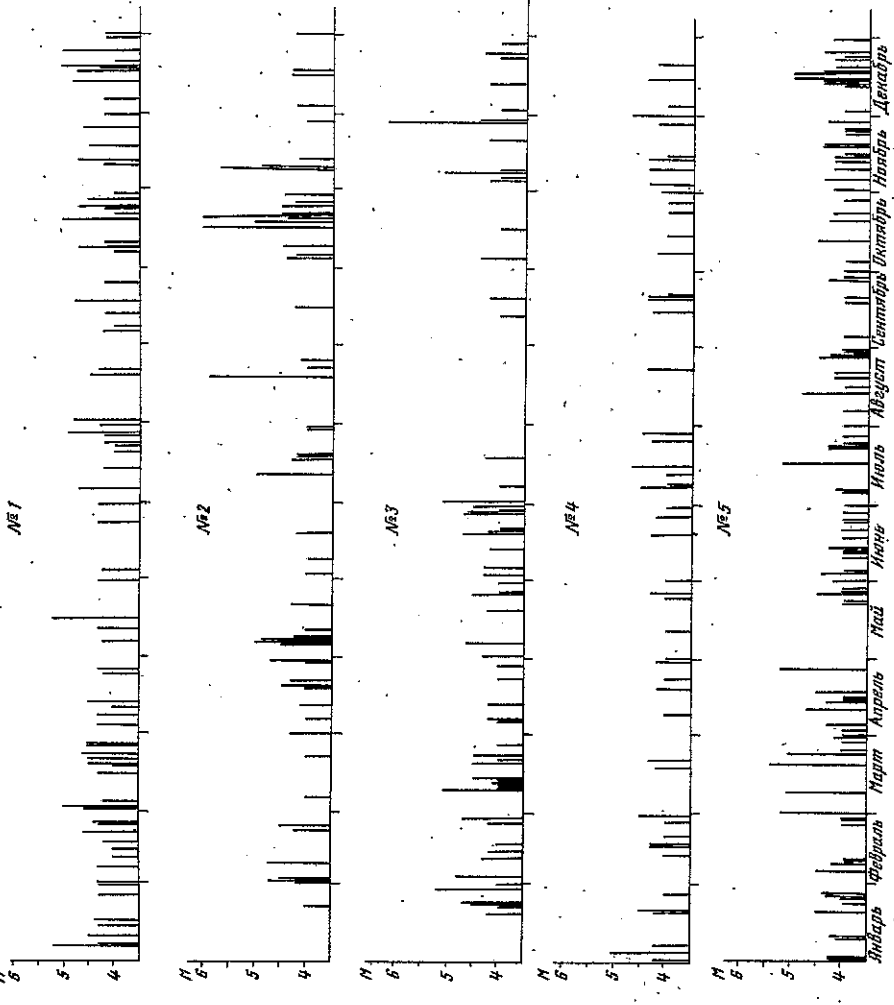


Рис. 5. Графики хода сейсмического процесса по времени для районов 1-5, выделенных на рис. 1.

Ход сейсмического процесса во времени (рис. 5, № 13) в течение года не-
 равномерный. Практически асейсмичным был период с июля по октябрь. В нояб-
 ре активность в районе значительно увеличилась и в последний месяц снова
 уменьшилась.

В Северо-Итурупском районе после январских событий 1976 г.,
 когда произошло сильное землетрясение с $M = 7,2$, высокая сейсмическая ак-
 тивность к концу года спала и в течение 1977 г. продолжала оставаться низ-
 кой. Подавляющее число мелкофокусных землетрясений района произошло на глу-
 бине $H = 40$ км, их магнитуда не превышала $M = 5$.

Значительное количество энергии выделилось при землетрясениях на глубинах
 $H > 80$ км. Землетрясение 13 февраля в 84 км с $H = 110$ км имело макси-
 мальную для района магнитуду $M_{CKD} = 5,8$ и на о-ве Шикотан окупалось силой
 в 2 балла.

График повторяемости северо-итурупских землетрясений хорошо описывается
 уравнением

$$lg h = 9,04 - 1,8 M (\pm 0,11), \quad (3)$$

где магнитуда M изменялась от 4,25 до 5,00 с шагом $\Delta M = 0,25$. Высокие
 значения коэффициентов уравнения (3) свидетельствуют о низкой в 1977 г. ак-
 тивности этого района.

Имеющиеся данные о знаках первых смещений P -волн позволили определить
 параметры механизма очага лишь для одного землетрясения 26 июня в 0 ч 10 м.

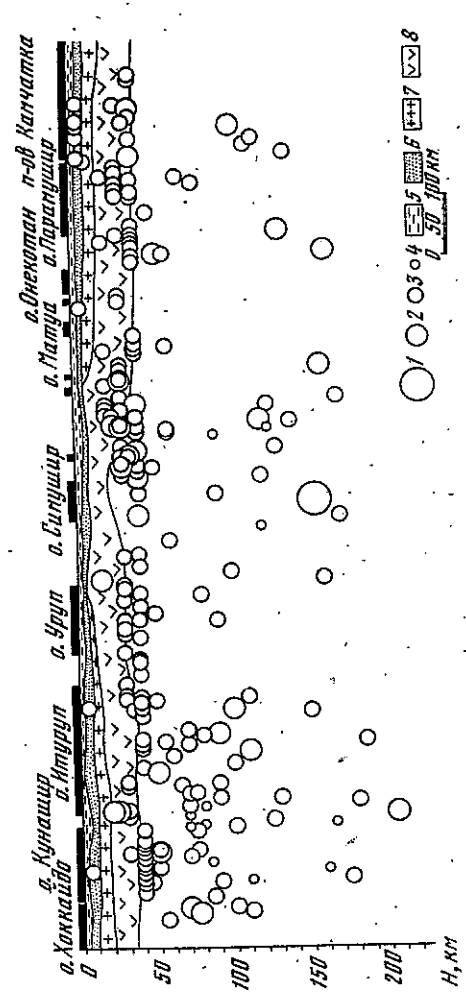
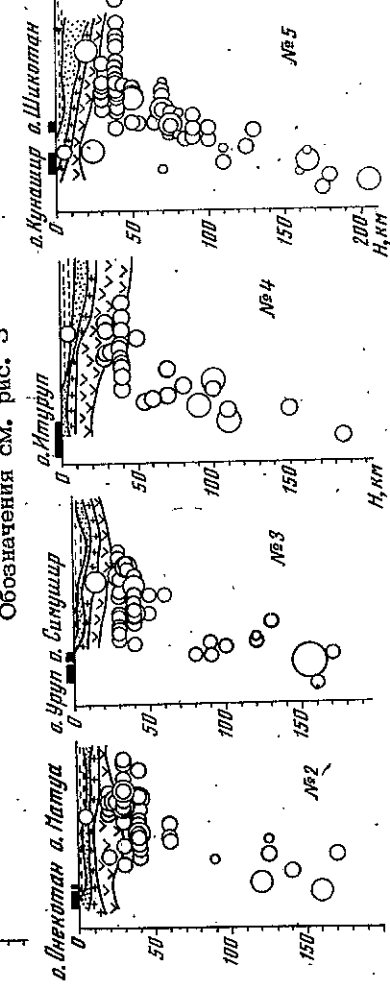


Рис. 3. Проекция гипоцентров курильских землетря-
 сений на вертикальную плоскость, проходящую вдоль
 Курило-Камчатской дуги на расстоянии 130 км от
 побережья

1-4 соответствуют обозначениям рис. 1; 5 - вода; 6 -
 осадки (средняя скорость P -волн менее $3,5$ км/с); 7 -
 "гранитный" слой (скорость P -волн $5,2-6,4$ км/с); 8 -
 "базальтовый" слой (скорость P -волн $6,4-7,0$ км/с)

Рис. 4. Поперечные вертикальные проекции очагов
 курильских землетрясений для районов 1-5, выде-
 ленных на рис. 1



Обозначения см. рис. 3

рание и пологое падение на северо-восток. Очаг характеризуется взрососдви-
 говой подвижкой, ось главного напряжения сжати ориентирована вкrest прости-
 рания структур под углом $32-40^\circ$ к горизонту. Почти горизонтально
 ориентировано промежуточное напряжение, а напряжение растяжения сос-
 тавляет с горизонтом угол $45-55^\circ$ и направлено под небольшим уг-
 лом к островам.

Высокая активность слоя промежуточных глубин обусловлена сильным зем-
 летрясением 19 июня в 11 ч 17 м с $M_{CKD} = 6,6$. Его гипоцентр находился
 на глубине 155 км у западного побережья Симушира. В очаге землетрясения
 (см. каталог дополнительных параметров) имела место сбрососдвиговая дисло-
 кация. При этом для двух возможных плоскостей разрыва меридионального и
 субширотного напряжения преобладала сбросовая компонента подвижки.

График повторяемости, рассчитанный для землетрясений данного района с
 $M = 4,25-5,25$, имеет коэффициенты $a = 6,89$ и $b = 1,30$.

Оно, как и большинство курильских землетрясений, произошло в условиях действия близгоризонтального напряжения сжатия, направленного под углом к островным структурам. Сейсмические толчки в течение года происходили редко, с большими периодами "затишья".

Землетрясения в Кунашир-Шикотанском районе в течение года возникли чаще, чем в других сейсмоактивных районах Курило-Охотского региона. Однако их магнитуда для мелководных толчков не превышала $M = 5,6$, а для землетрясений с промежуточной глубиной очага $M_{SH}^{CKD} = 5,0$.

Имеются данные о макросейсмическом проявлении 36 землетрясений, которые равномерно распределены в фокальной зоне до глубины 210 км. Исключение составляет диапазон глубин 130-160 км, где не отмечено ни одного толчка.

График повторяемости для Кунашир-Шикотанского района описывается уравнением

$$lg h = 6,90 - 1,28 M \quad (\pm 0,18) \quad (4)$$

(магнитуда M изменяется от 4 до 5,5 с шагом $\Delta M = 0,25$). Близость коэффициентов уравнений (1) и (4) характерна для среднего уровня сейсмической активности.

Поле напряжений Кунашир-Шикотанского района в 1977 г. не претерпело существенных изменений по сравнению с 1976 г. Очаги землетрясений района характеризуются взбросоцивиловыми подвижками. При этом ось главного напряжения сжатия почти горизонтальна и ориентирована для подавляющего числа землетрясений перпендикулярно к простиранию островных структур. Промежуточное напряжение имеет направление, близкое к горизонту, и направлено под небольшим углом к островной дуге. Ход сейсмического процесса во времени (см. рис. 5) достаточно равномерный, лишь май был почти асейсмичным.

Остров Хоккайдо, расположенный на пересечении Курильской и Японской островных дуг, в этом году является самым спокойным сейсмоактивным районом (см. табл. 2). Землетрясения в пространии и во времени распределены крайне неравномерно. Наиболее сейсмически активной была юго-восточная часть о-ва Хоккайдо, где активность были охвачены слои до 115 км глубины. Максимальная наблюдаемая магнитуда $M = 5,3$. Более глубокие толчки происходили в фокальной зоне $H = 170 \pm 250$ км и были приурочены к западной части острова и его шельфу.

Землетрясение 7 мая в 4 ч 48 м на глубине $H = 210$ км явилось сильнейшим толчком в районе. Его магнитуда, определенная по S -волне, равна $M_{SH}^{CKD} = 5,7$.

Для района о-ва Хоккайдо, так же как и для Курильской зоны, можно отметить повышенную активность глубоких слоев по сравнению с активностью слоев на $H < 80$ км. Для района Хоккайдо определен механизм очага четырех землетрясений с гипоцентрами до глубин $H = 85$ км. Очаги этих землетрясений характеризуются взбросоцивиловой подвижкой, при этом ось главного напряжения сжатия ориентирована в близширотном направлении и имеет небольшой угол с горизонтом. Одна из найденных возможных плоскостей разрыва имеет азимут простирания 30° и круто падает к юго-востоку, вторая из возможных плоскостей разрыва имеет простирание для двух землетрясений широтное, а для остальных - северо-западно-юго-восточное.

В течение года в Японском море возникли в основном глубоководные землетрясения. Отмечен лишь один толчок с гипоцентром в пределах земной коры. Два слабых землетрясения на глубинах $H = 220$ и 250 км и $M_{SH}^{CKD} = 5,5$ зарегистрированы вблизи западного побережья о-ва Хоккайдо.

Особый интерес представляет группа сильных глубоководных ($H = 500 \pm 550$ км) землетрясений с эпицентрами в Японском море, южнее г. Владивостока, эпицентры которых не показаны на рис. 1. Землетрясение 9 марта в 14 ч 27 м с $H = 550$ км и $M_{SH}^{CKD} = 6,9$ было сильнейшим глубоководным

землетрясением года (см. каталог дополнительных параметров очагов землетрясений). Для очага этого землетрясения характерна взбросоцивиловая подвижка вдоль плоскостей разрыва, одна из которых ориентирована субмеридионально и почти перпендикулярна к дневной поверхности, а вторая имеет субширотное простирание и пологое падение на северо-восток. По данным Японского метеорологического агентства, землетрясение 9 марта ощущалось на о-ве Хоккайдо силой до 1,1 баллов по японской шкале балльности. Поле упругих напряжений в очаге землетрясения 9 марта было аналогично прослеженному в очагах землетрясений 1976-1977 гг., происшедших в этой гипоцентральной области.

В Охотском море произошло 17 землетрясений с очагами в земной коре. Эпицентры глубоких землетрясений с $H = 200 \pm 300$ км образовали полосу, параллельную шельфу Большой Курильской гряды на всем ее протяжении. Вдоль линии, проходящей через центральную часть Охотского моря от о-ва Хоккайдо до о-ва Камчатка, расположились эпицентры самых глубоких землетрясений этого района.

Сильнейшее из охотоморских землетрясений с $M_{SH}^{CKD} = 6,7$ зарегистрировано 21 сентября в 21 ч 01 м на глубине $H = 220$ км. Макросейсмический эффект на о-ве Парамушир достигал 3-4 баллов. По данным о механизме очага землетрясение 21 сентября произошло в условиях близгоризонтального напряжения растяжения, ориентированного вдоль простирания островных структур. Одна из возможных плоскостей разрыва в очаге имела меридиональное простирание и крутое падение под материковый склон Камчатского полуострова, вторая - субширотное простирание и пологое падение на юго-запад.

Для охотоморских землетрясений, происшедших в самых глубоких фокальной зоны до $H = 550$ км, по данным каталога дополнительных параметров очагов землетрясений общим является то обстоятельство, что оси главных напряжений сжатия и растяжения составляют почти равные углы с горизонтом и по обоим возможным плоскостям разрывов в очагах этих землетрясений преобладают сдвиговые подвижки.

Таким образом, анализ сейсмотектонической обстановки в очагах курило-охотских землетрясений, а также землетрясений о-ва Хоккайдо и Японского моря показывает, что вся описываемая сейсмоактивная область находилась под преимущественным воздействием горизонтально или близгоризонтально ориентированного напряжения сжатия и более крутого напряжения растяжения. Характерными для большинства очагов были взбросоцивиловые дислокации.

На фоне общего для всего Курило-Охотского региона значительного понижения сейсмической активности выделяется Северо-Итурупский район, в котором глубина этого сейсмического "затишья" в 1977 г. была наибольшей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойчук А.Н., Поплавский Л.Н., Рудик М.И. Землетрясения Курил. - В кн.: Землетрясения СССР в 1976 году. М.: Наука, 1980, с. 68-77.
2. Поплавская Л.Н., Бойчук А.Н., Хантаева Т.Н. Землетрясения Курильских островов и Охотского моря. - В кн.: Землетрясения СССР в 1971 году. М.: Наука, 1975, с. 214-232.
3. Поплавская Л.Н., Бойчук А.Н., Рудик М.И. Землетрясения Курильских островов и Охотского моря. - В кн.: Землетрясения СССР в 1972 году. М.: Наука, 1976, с. 153-174.