

ПРИАМУРЬЕ И ПРИМОРЬЕ

Т.А. Фокина, Н.С. Коваленко, М.И. Рудик, Д.А. Сафонов

Сахалинский филиал ГС РАН, г. Южно-Сахалинск, *fokina@seismo.sakhalin.ru*

Непрерывная регистрация землетрясений на территории Приамурья и Приморья осуществлялась в 2003 г. восемью сейсмическими аналоговыми станциями региональной сети (рис. 1).

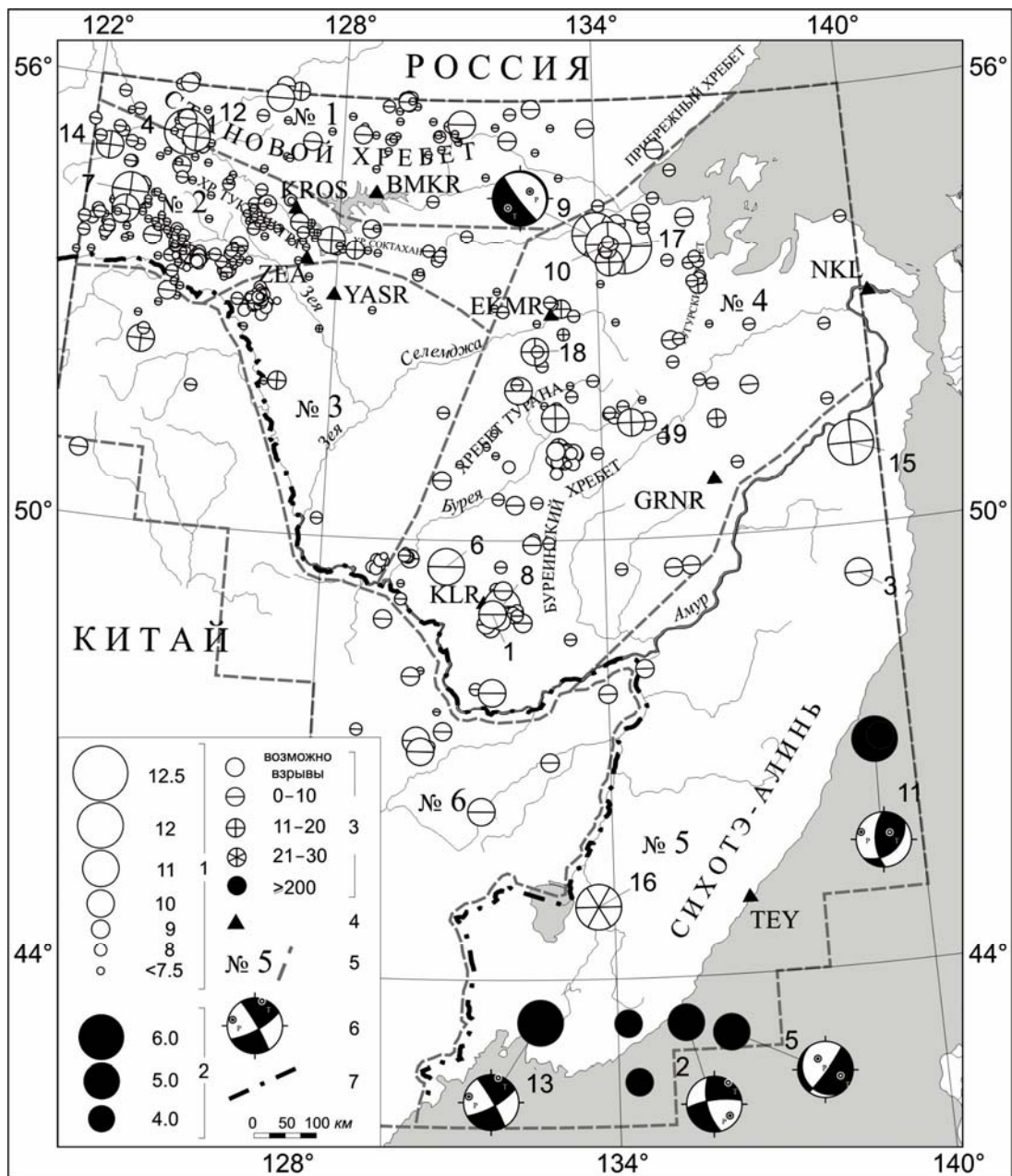


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Приамурья и Приморья в 2003 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – магнитуда $MPVA$; 3 – глубина h гипоцентра, км; 4 – сейсмическая станция; 5 – номер и граница условного района; 6 – стереограмма механизма очага, нижняя полусфера; зачернена область волн сжатия; 7 – государственная граница.

В сводной обработке использованы также данные сейсмических сетей Сахалина [1], Курильских островов [2] и бюллетени Прибайкалья, Якутии, ОМЭ ОИФЗ РАН [3], JMA, NEIC, ISC [4]. Методика обработки данных [5–11], схема деления региона на сейсмоактивные районы и параметры сейсмической аппаратуры, по сравнению с таковыми в 2002 г. [12], не изменились.

В региональный каталог [13] включены основные параметры 675 сейсмических событий: 472 коровых землетрясений ($h \leq 30$ км), семи глубокофокусных землетрясений с $h=338-500$ км и 196 событий, идентифицируемых как «возможно, взрыв». Для шести землетрясений имеются макросейсмические данные. Для четырех глубокофокусных землетрясений (2, 5, 11, 13 на рис. 1) определены механизмы очагов [14]. Наибольшее число землетрясений (рис. 2) зарегистрировано в апреле и июле ($N=56$ и 57 соответственно), наименьшее – в осенние месяцы: $N=24, 27, 26$ в сентябре, октябре и ноябре соответственно.

Анализ сейсмического режима Приамурья и Приморья ощутимо затруднен «засорением» каталога [13] промышленными взрывами, часто не отличимыми на сейсмограммах от местных землетрясений [15]. На территории региона можно уверенно выделить четыре площадки, на которых регулярно производятся взрывные работы (рис. 1), их координаты:
 1 – $\varphi=53.6 \pm 0.2^\circ N$, $\lambda=124.7 \pm 0.2^\circ E$;
 2 – $\varphi=53.2 \pm 0.2^\circ N$, $\lambda=126.3 \pm 0.2^\circ$;
 3 – $\varphi=51.0 \pm 0.2^\circ N$, $\lambda=133.0 \pm 0.2^\circ E$;
 4 – $\varphi=49.5 \pm 0.2^\circ N$, $\lambda=129.1 \pm 0.2^\circ E$.
 Производятся взрывы и в других местах, но они не столь регулярны, и потому распознаются еще труднее. В 2003 г. наибольшее число взрывов было зарегистрировано в марте ($N=26$) и апреле ($N=27$) (рис. 3).

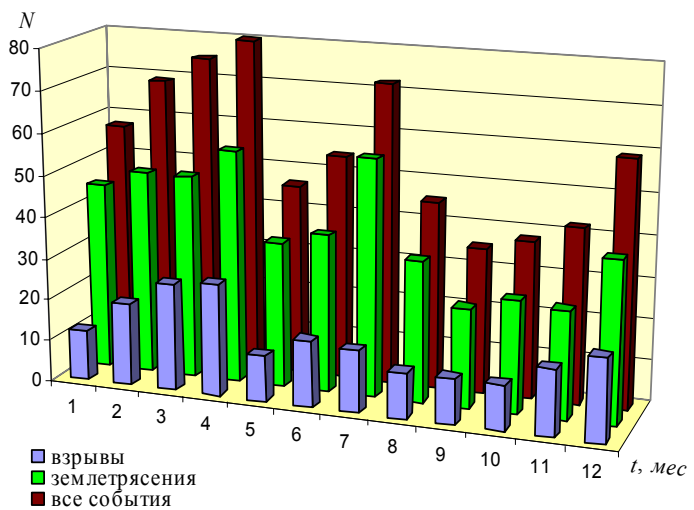


Рис. 2. Распределение сейсмических событий Приамурья и Приморья по месяцам 2003 г.

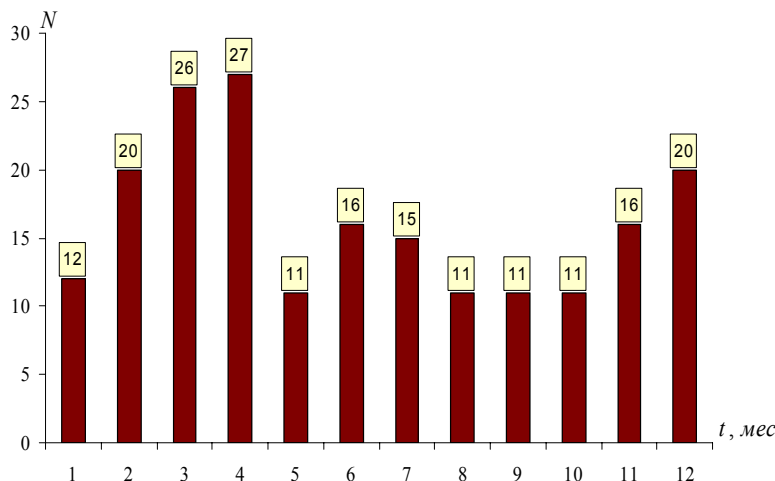


Рис. 3. Распределение взрывов в Приамурье и Приморье по месяцам 2003 г.

На рис. 4 представлено распределение взрывов и тектонических землетрясений по часам суток. Диаграмма, построенная для всех сейсмических событий (рис. 4 а), демонстрирует ярко выраженный пик, приходящийся на 12^h–13^h местного времени. Этот пик еще более выражен на диаграмме событий, идентифицированных нами как «возможно, взрыв» (рис. 4 б): 51% событий зарегистрированы с 12^h до 14^h местного времени, 36% – с 14^h до 16^h. Распределение в течение суток тектонических землетрясений (рис. 4 в) гораздо более

равномерное, хотя преобладание событий, происходящих в дневное время суток, несомненно, что свидетельствует о том, что выявлены не все взрывы.

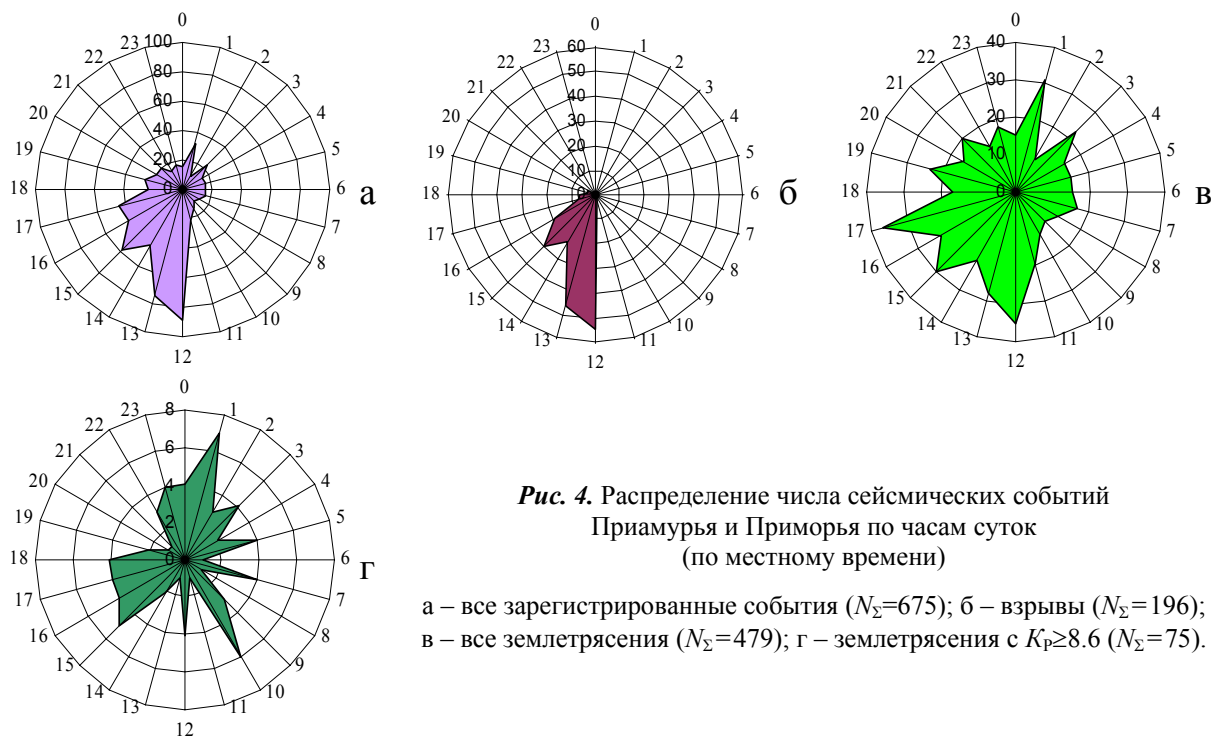


Рис. 4. Распределение числа сейсмических событий Приамурья и Приморья по часам суток (по местному времени)

а – все зарегистрированные события ($N_{\Sigma}=675$); б – взрывы ($N_{\Sigma}=196$); в – все землетрясения ($N_{\Sigma}=479$); г – землетрясения с $K_p \geq 8.6$ ($N_{\Sigma}=75$).

В процессе обработки сейсмограмм взрывов на территории Приамурья и Приморья выявлено, что их энергетический класс K_p , как правило, ≤ 8.5 . На рис. 4 г приведено распределение по суточному времени землетрясений с $K_p \geq 8.6$, и эта диаграмма уже не демонстрирует преобладания дневных событий, что позволяет утверждать, что землетрясения с $K_p \geq 8.6$ с большой долей вероятности являются тектоническими.

На рис. 5 приведены диаграммы распределения числа взрывов и землетрясений по дням недели. Наибольшее число взрывов (рис. 5 а) отмечено по вторникам, наименьшее – по воскресеньям; землетрясения распределены по дням недели практически равномерно (рис. 5 б).

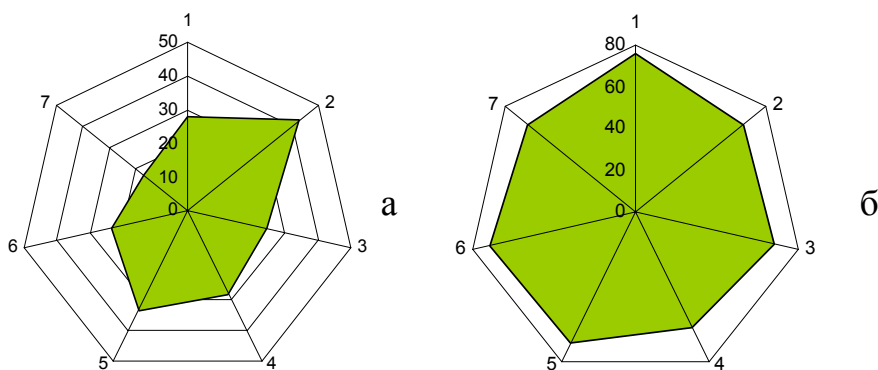


Рис. 5. Распределение числа сейсмических событий Приамурья и Приморья – взрывов (а) и землетрясений (б) – по дням недели

В табл. 1 приведено распределение коровых землетрясений по энергетическому классу K_p , а глубокофокусных – по магнитуде $MPVA$, а также суммарная сейсмическая энергия по районам региона. Суммарная сейсмическая энергия событий, идентифицированных как «возможно, взрыв», составила $\Sigma E_{\text{взр}} = 0.018 \cdot 10^{12}$ Дж, что в 141 раз меньше энергии коровых землетрясений региона, в таблицу она не включена.

В целом число коровых землетрясений по региону увеличилось, по сравнению с таковым в 2002 г. [12], незначительно. Наибольшее число ($N=223$) землетрясений зарегистрировано в Янкан-Тукурингра-Джагдинском районе (№ 2), наименьшее ($N=4$) – в Сихотэ-

Алинском районе (№ 5). Максимальная сейсмическая энергия (65% сейсмической энергии региона) выделилась в очагах землетрясений Турано-Буреинского района (№ 4), минимальная (1%) – в очагах Зейско-Селемджинского района (№ 3). На рис. 6 представлено распределение числа и суммарной сейсмической энергии коровых землетрясений по районам Приамурья и Приморья в 2003 г.

Таблица 1. Распределение числа коровых землетрясений по K_p , глубокофокусных – по $MPVA$, и суммарная сейсмическая энергия ΣE по районам в 2003 г.

$h \leq 30 \text{ км}$										
№	Районы	K_p							N_Σ	$\Sigma E, 10^{12} \text{ Дж}$
		≤ 6	7	8	9	10	11	12		
1	Становой	5	34	24	9	3		1	76	0.1637
2	Янкан-Тукурингра-Джагдинский	36	102	70	12	3			223	0.0513
3	Зейско-Селемджинский	1	12	14	1				28	0.0026
4	Турано-Буреинский		16	75	18	7	1	3	120	1.6928
5	Сихотэ-Алинский			1		1		2	4	0.6543
6	Приграничный		5	9	4	3			21	0.0175
	Всего	42	169	193	44	17	1	6	472	2.5822

$h > 300 \text{ км}$						
№	Район	$MPVA$			N_Σ	$\Sigma E, 10^{12} \text{ Дж}$
		4	5	6		
5	Сихотэ-Алинский	3	2	2	7	3243.76

Примечание. При составлении таблицы величина всех землетрясений приводилась к магнитуде MS путем пересчета из классов K_p для коровых землетрясений и из магнитуд $MPVA$ – для глубокофокусных, по следующим соотношениям: $MS = (K_p - 4)/1.8$; $MS = 1.77 MPVA - 5.2$ ($h=70-390 \text{ км}$); $MS = 1.85 MPVA - 4.9$ ($h>390 \text{ км}$).

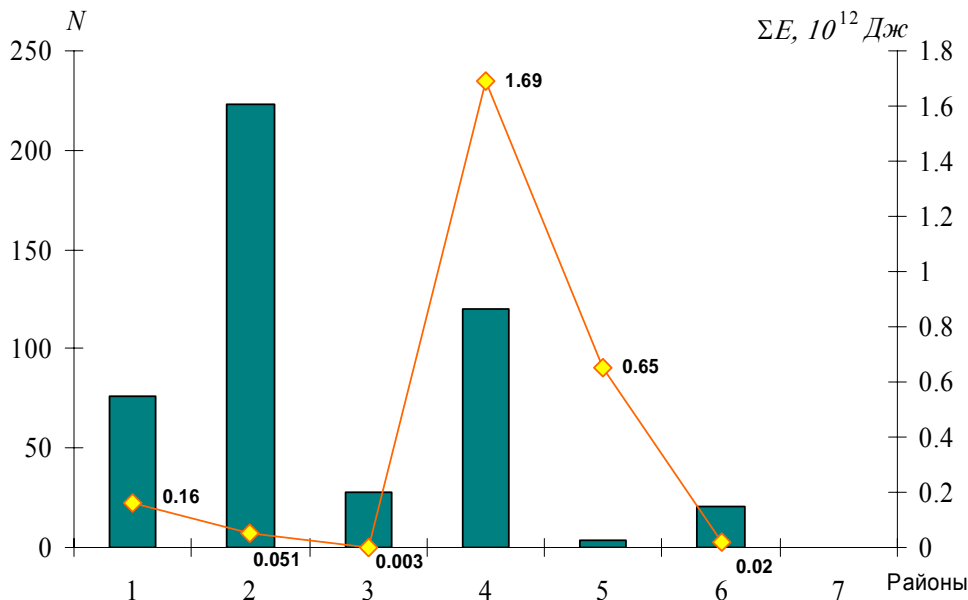


Рис. 6. Распределение числа и суммарной сейсмической энергии коровых землетрясений по районам Приамурья и Приморья в 2003 г.

Число глубокофокусных землетрясений увеличилось, по сравнению с [12], в 1.4 раза, но их магнитуда $MPVA$ не превышала 6.4. Суммарная сейсмическая энергия глубокофокусных землетрясений региона составила $\Sigma E = 3.2 \cdot 10^{15} \text{ Дж}$, что в 3.7 раза меньше соответствующей энергии, выделившейся в очагах глубоких землетрясений в 2002 г. [12].

В Становом районе (№ 1) в 2003 г. зарегистрировано 76 коровых землетрясений, что в 1.5 раза больше, чем в 2002 г. [12]. Суммарная сейсмическая энергия составила $\Sigma E = 0.16 \cdot 10^{12} \text{ Дж}$

(табл. 1). Наиболее активными оставались западная и центральная части района. Западнее г. Тынды зарегистрировано землетрясение (4) 12 мая в $01^{\text{h}}31^{\text{m}}$ с $K_p=10.1$ и $h=13\pm 3$ км. Оно явилось форшоком самого сильного ($K_p=11.6$, $MLH=4.5$) землетрясения (12), произошедшего 30 июля в $04^{\text{h}}30^{\text{m}}$ на глубине $h=12\pm 2$ км. В г. Тынды ($\Delta=37$ км) землетрясение ощущалось с интенсивностью сотрясений $I=2-3$ балла. Вслед за основным толчком в конце июля и в августе последовало шесть афтершоков с $K_p=6.5-9.2$. В непосредственной близости от северной мелководной части Зейского водохранилища землетрясений не зарегистрировано. К сожалению, для восточной прибрежной части района представительный класс землетрясений $K_{p \text{ min}}=8.0$, поскольку существующая сеть не позволяет осуществлять сводную обработку более слабых землетрясений этой части района.

В **Янкан-Тукурингра-Джагдинском районе (№ 2)** зарегистрировано 223 коровых землетрясения, что в 1.2 раза больше, чем в 2002 г. [12], суммарная сейсмическая энергия (табл. 1, рис. 6) увеличилась незначительно, энергетический класс 97% землетрясений не превышал $K_p=8.5$. Самое сильное ($K_p=10.5$) землетрясение (7) произошло в западной части района 1 июня в $18^{\text{h}}23^{\text{m}}$ на глубине $h=20$ км [13]. Умеренной сейсмической активностью характеризуется южная часть Зейского водохранилища. Здесь землетрясения с $K_p\leq 9.7$ концентрируются в районе хр. Тукурингра к западу от водохранилища, и в районе хр. Соктахан – к востоку от него. На юге и юго-западе района регистрируются промышленные взрывы.

Зейско-Селемджинский район (№ 3), как и в 2002 г. [12], оставался самым спокойным в регионе: было зарегистрировано 28 коровых землетрясений, что в 1.8 раза меньше, чем в [12]. Суммарная сейсмическая энергия (табл. 1, рис. 6) не изменилась, максимальный энергетический класс составил $K_p=8.8$ для землетрясения 12 марта в $15^{\text{h}}28^{\text{m}}$ [13]. На территории района также регистрируются промышленные взрывы.

В **Турано-Буреинском районе (№ 4)** сейсмическая активность возросла: хотя было зарегистрировано 120 коровых землетрясений, что в 1.2 раза меньше, чем в [12], но суммарная сейсмическая энергия составила $\Sigma E=1.69\cdot 10^{12}$ Дж (табл. 1) прежде всего за счет землетрясений (9, 10, 17) с $K_p\geq 12$, которые произошли в северной части района, на территории Буреинского хребта. Первый толчок с $K_p=11.9$ был зарегистрирован 15 июля в $23^{\text{h}}42^{\text{m}}$ на глубине $h=26\pm 8$ км. Очаг этого землетрясения находился под воздействием растягивающих напряжений. Одна из возможных плоскостей разрыва имела юго-восточное простирание и крутое падение на юго-запад, вторая плоскость имела северо-западное простирание с пологим падением на северо-восток. Подвижка в очаге носила характер поддвига. Второе землетрясение произошло 18 июля в $14^{\text{h}}03^{\text{m}}$ на глубине $h=16\pm 1$ км с $MLH=4.4$, $K_p=12.3$; третье – 16 октября в $21^{\text{h}}19^{\text{m}}$ на глубине $h=19\pm 1$ км с $MLH=4.4$, $K_p=12.5$ [13]. Для определения механизмов очагов этих землетрясений данных оказалось недостаточно. Макросейсмические данные также отсутствуют, вероятно, по причине малонаселенности территории.

Вблизи пос. Кульдур отмечено два ощутимых землетрясения (1, 8), зарегистрированные 6 января в $19^{\text{h}}40^{\text{m}}$ ($h=8$ км, $K_p=10.4$) и 14 июня в $14^{\text{h}}10^{\text{m}}$ ($h=7$ км, с $K_p=10.5$). Они оба вызвали в Кульдуре сотрясения с интенсивностью $I=3$ балла. Необходимо отметить, что окрестности Кульдура являются местом проведения промышленных взрывов, что осложняет идентификацию сейсмических событий.

В **Сихотэ-Алинском районе (№ 5)** сейсмическая активность значительно повысилась, по сравнению с [12]. Здесь локализованы 11 землетрясений, из которых четыре коровых и семь глубокофокусных. Необходимо отметить, что в 2003 г. территория этого района была слабо оснащена сейсмическими станциями и поэтому представительный класс землетрясений $K_{\text{min}}=8.5$. Суммарная сейсмическая энергия коровых землетрясений составила $\Sigma E=0.65\cdot 10^{12}$ Дж (табл. 1), что в 149 раз выше таковой в 2002 г. Суммарная сейсмическая энергия глубокофокусных землетрясений составила $\Sigma E=3243.76\cdot 10^{12}$ Дж, что в 8.5 раза превысило показатель в 2002 г. [12].

Первое из сильных коровых землетрясений (15) произошло 21 сентября в $05^{\text{h}}04^{\text{m}}$ на глубине $h=12\pm 4$ км с $K_p=12.0$. Эпицентр находился в районе хр. Хоми, в 28 км южнее пос. Циммермановка, где землетрясение ощущалось с интенсивностью $I=3$ балла. Второе землетрясение (16) произошло в густонаселенном районе, восточнее оз. Ханка 7 октября в $15^{\text{h}}27^{\text{m}}$

на глубине $h=30\pm 5$ км с $MLH=4.4$, $K_p=12.1$. В близлежащих к эпицентру поселках (Марьяновка ($\Delta=22$ км), Хвищанка (22 км), Горный (30 км), Самарка (249 км)) землетрясение вызвало сотрясения до 4 баллов. Редкое событие – коровое землетрясение (3) с $K_p=10.0$ – зарегистрировано 20 марта в 02^h50^m в северной части хр. Сихотэ-Алинь.

Эпицентры глубокофокусных землетрясений находились в своих традиционных местах: на юге Приморья, в южной части Татарского пролива и в Японском море. Одно из них (2) произошло в шельфовой зоне, восточнее бухты Евстафия 5 марта в 19^h11^m на глубине $h=360\pm 16$ км с $MPVA=4.9$. Очаг землетрясения находился под воздействием близгоризонтального напряжения растяжения, ориентированного в северо-восточном направлении. Одна из возможных плоскостей разрыва имела юго-восточное простирание с падением на юго-запад; вторая – субширотное простирание с падением на север. Обе нодальные плоскости имели крутое падение и характеризовались подвижкой типа сдвиг.

Второе землетрясение (5) произошло 14 мая в 03^h34^m на глубине $h=338\pm 18$ км с $MPVA=5.3$, $MSHA=5.7$ в Японском море, чуть восточнее предыдущего землетрясения. Его очаг реализовался под воздействием преобладающего напряжения растяжения и более крутого напряжения сжатия. Одна из возможных плоскостей разрыва имела северо-восточное простирание и крутое падение на юго-восток; вторая – юго-восточное простирание и довольно пологое падение на юго-запад. Подвижка в очаге носила характер поддвига [14].

Самое сильное ($MPVA=6.4$, $MSHA=6.6$) глубокофокусное землетрясение (11) произошло 27 июля в 06^h25^m на глубине $h=476\pm 8$ км с эпицентром в шельфовой зоне Татарского пролива, восточнее пос. Единка. Оно ощущалось на юге Сахалина с интенсивностью сотрясений $I=2$ балла. Очаг данного землетрясения реализовался под воздействием преобладающего напряжения сжатия и более крутого напряжения растяжения. Одна из возможных плоскостей разрыва имела северо-восточное простирание с падением на юго-восток, вторая – субмеридиональное простирание и крутое падение на запад; подвижка носила характер взброса [14].

Землетрясение (13) произошло 31 августа в 23^h08^m на глубине $h=490\pm 18$ км с $MPVA=6.4$ в районе г. Владивосток. Подвижка в его очаге типа сдвиг по обеим нодальным плоскостям крутого залегания [14].

В Приграничном районе (№ 6) из-за недостатка данных невозможно реально оценить сейсмическую обстановку. В 2003 г. в районе зарегистрировано 21 коровое землетрясение с $K_p\leq 9.7$ и ни одного глубокофокусного [13]. Общий уровень сейсмической активности района, по сравнению с таким в 2002 г. [12], снизился. Суммарная сейсмическая энергия коровых землетрясений составила $\Sigma E=0.017\cdot 10^{12}$ Дж.

Л и т е р а т у р а

1. Фокина Т.А., Паршина И.А., Рудик М.И., Сафонов Д.А. Сахалин. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
2. Фокина Т.А., Рудик М.И., Сафонов Д.А. Курило-Охотский регион. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
3. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2003 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2003–2004.
4. Bulletin of the International Seismological Centre for 2003. – Berkshire: ISC, 2005–2006.
5. Поплавская Л.Н., Бобков А.О., Кузнецова В.Н., Нагорных Т.В., Рудик М.И. Принципы формирования и состав алгоритмического обеспечения регионального центра обработки сейсмологических наблюдений (на примере Дальнего Востока) // Сейсмологические наблюдения на Дальнем Востоке СССР. (Методические работы ЕССН). – М.: Наука, 1989. – С. 32–51.
6. Оскорбин Л.С., Бобков А.О. Сейсмический режим сейсмогенных зон юга Дальнего Востока // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Т. VI. (Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона). – Южно-Сахалинск: ИМГиГ, 1997. – С. 179–197.
7. Шолохова А.А., Оскорбин Л.С., Рудик М.И. Землетрясения Приамурья и Приморья // Землетрясения в СССР в 1985 году. – М.: Наука, 1987. – С. 135–139.

8. Аптекман Ж.Я., Желанкина Т.С., Кейлис-Борок В.И., Писаренко В.Ф., Поплавская Л.Н., Рудик М.И., Соловьёв С.Л. Массовое определение механизмов очагов землетрясений на ЭВМ // Теория и анализ сейсмологических наблюдений (Вычислительная сейсмология. Вып. 12). – М.: Наука, 1979. – С. 45–58.
9. Поплавская Л.Н., Нагорных Т.В., Рудик М.И. Методика и первые результаты массовых определений механизмов очагов коровых землетрясений Дальнего Востока // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. – М.: ГС РАН, 2001. – С. 95–99.
10. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. (Труды ИФЗ АН СССР; № 9(176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
11. Балакина Л.М., Введенская А.В., Голубева Н.В., Мишарина Л.А., Широкова Е.И. Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясений. – М.: Наука, 1972. – 192 с.
12. Фокина Т.А., Коваленко Н.С., Рудик М.И., Сафонов Д.А. Приамурье и Приморье // Землетрясения Северной Евразии, 2002 г. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 196–199.
13. Коваленко Н.С. (отв. сост.), Величко Л.Ф., Крючкова О.В. Каталог землетрясений Приамурья и Приморья за 2003 год. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
14. Коваленко Н.С., Поплавская Л.Н. (отв. сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Приамурья и Приморья за 2003 год. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
15. Годзиковская А.А. Местные взрывы и землетрясения. – М.: Личный архив, 1995. – 100 с.