

## САХАЛИН

Т.А. Фокина, Л.Н. Поплавская, И.А. Паршина, М.И. Рудик, Д.А. Сафонов

Сахалинский филиал ГС РАН, г. Южно-Сахалинск, [fokina@seismo.sakhalin.ru](mailto:fokina@seismo.sakhalin.ru)

Параметры землетрясений региона, включающего территорию о. Сахалин с шельфом и восточную часть Приамурья, определены на основе материалов наблюдений, полученных на четырех стационарных сейсмических станциях Сахалина: «Южно-Сахалинск» (YSS), «Тымовское» (TYV), «Углегорск» (UGL) и «Оха» (OKH) (рис. 1). На юге острова работала локальная сеть из восьми полевых станций Японского производства: две – Datamark и шесть – DAT (табл. 1). В обработке использовались данные сейсмических сетей Приамурья и Приморья [1], Курильских островов [2], бюллетени MOS [3], JMA, ISC [4]. Методы обработки данных [5–10], схема деления региона на отдельные сейсмоактивные районы и параметры аппаратуры сейсмических станций, по сравнению с таковыми в 2002 г. [11], не изменились.

**Таблица 1.** Сведения о временных цифровых станциях Datamark (DM) и DAT на юге Сахалина в 2003 г.

| № | Станция     |     |     | Координаты         |                    |        | Период наблюдений |
|---|-------------|-----|-----|--------------------|--------------------|--------|-------------------|
|   | Название    | Код | Тип | $\varphi^\circ, N$ | $\lambda^\circ, E$ | $h, м$ |                   |
| 1 | Белые скалы | BSK | DM  | 46°50.368′         | 142°19.105′        | 50     | 6/VI – 5/XI       |
| 2 | Успенское   | USP | DM  | 46°52.706′         | 142°36.203′        | 170    | 6/VI – 13/XI      |
| 3 | Загорское   | ZGR | DAT | 47°18.1766′        | 142°29.5786′       | 120    | 5/VI – 13/XI      |
| 4 | Ожидаево    | OJD | DAT | 47°01.7163′        | 142°23.9311′       | 230    | 13/I – 29/XII     |
| 5 | Корсаков    | KRS | DAT | 46°36.5794′        | 142°48.0659′       | 100    | 22/I – 24/XII     |
| 6 | Лесное      | LSN | DAT | 46°57.4797′        | 143°01.8682′       | 30     | 22/V – 29/X       |
| 7 | Калинино    | KLN | DAT | 46°50.8780′        | 142°00.6260′       | 20     | 20/V – 30/X       |
| 8 | Мальково    | MLK | DAT | 46°46.1692′        | 143°21.2681′       | 0      | 4/VII – 24/XII    |

В региональный каталог Сахалина за 2003 г. [12] включены параметры 193 землетрясений: 179 – мелкофокусных ( $h \leq 32$  км) и 14 – глубокофокусных ( $h \geq 320$  км); по 18 землетрясениям имеются макросейсмические сведения. Для десяти землетрясений, из которых восемь коровых и два глубоких, определены механизмы очагов [13].

Коровая сейсмическая активность Сахалина была в 2003 г. по числу землетрясений в 1.2 раза ниже, чем в 2002 г. [11], однако суммарная сейсмическая энергия составила  $\Sigma E = 4.886 \cdot 10^{12}$  Дж (табл. 2), что в 3.3 раза превысило соответствующий уровень энергии в 2002 г. Энергетические классы двух наиболее сильных коровых землетрясений (2, 10) на рис. 1, зарегистрированных 8 февраля в 17<sup>h</sup>36<sup>m</sup> и 21 июля в 02<sup>h</sup>17<sup>m</sup>, составили  $K_C = 12.0$  и 10.3 соответственно, тогда как в 2002 г. максимальный энергетический класс не превышал  $K_C = 9.6$ .

Глубокофокусная сейсмическая активность, напротив, снизилась как по числу зарегистрированных землетрясений с  $MSH = 4.0-6.0$  ( $N_\Sigma = 14$  вместо  $N_\Sigma = 21$ ), так и по величине суммарной сейсмической энергии ( $\Sigma E = 4.077 \cdot 10^{12}$  Дж вместо  $\Sigma E = 15.356 \cdot 10^{12}$  Дж), что в 1.5 и 3.8 раза соответственно меньше, чем в 2002 г. [11].

18 землетрясений ощущались в населенных пунктах о. Сахалин и о. Хоккайдо с интенсивностью сотрясений от 2 до 6–7 баллов (табл. 3). Наибольшее число ощутимых землетрясений ( $N = 11$ ), а также наибольшая интенсивность сотрясений ( $I_{\max} = 6-7$  баллов) отмечены в Западно-Сахалинском районе (№ 4).

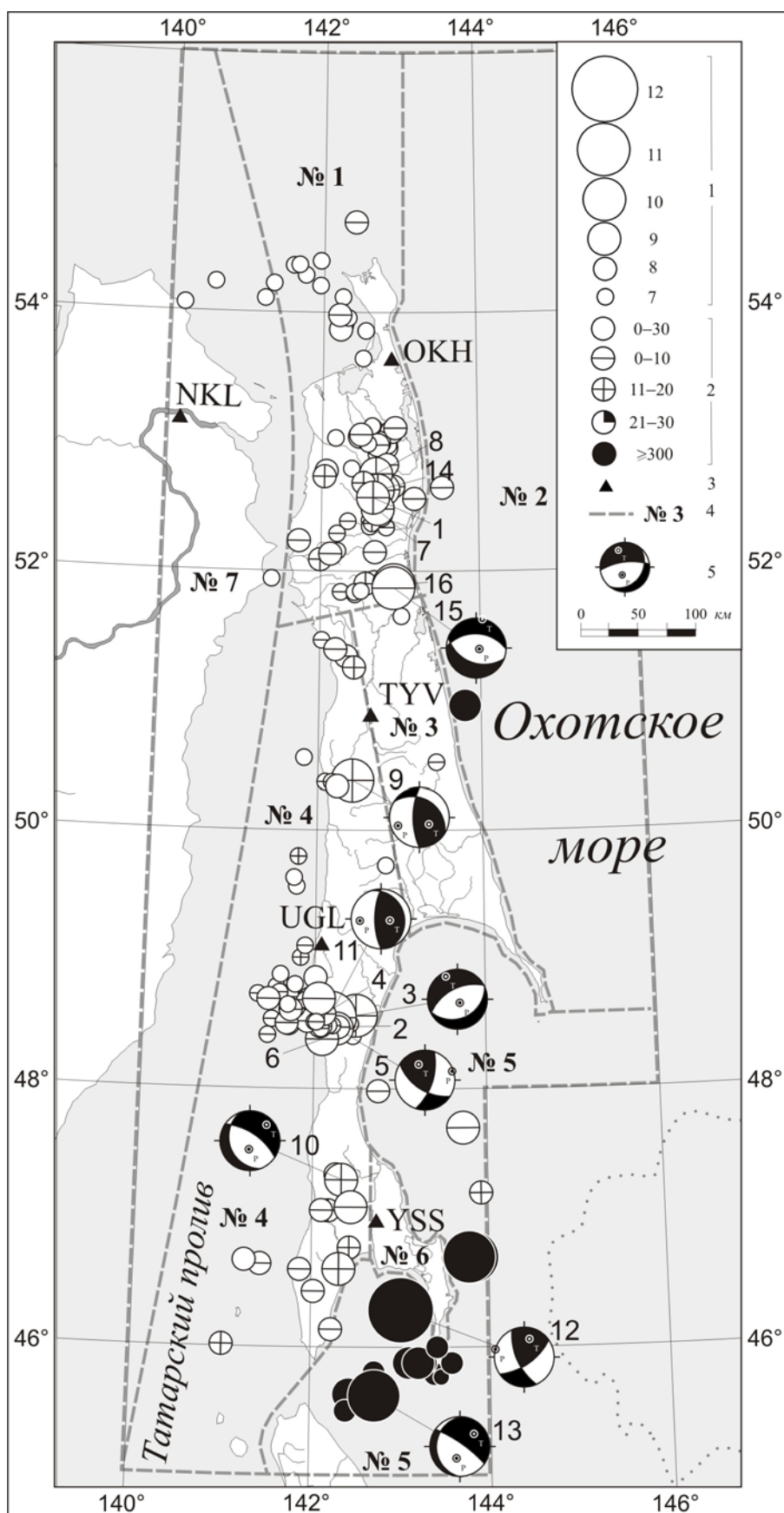


Рис. 1. Карта эпицентров и механизмов очагов землетрясений Сахалина в 2003 г.

1 – энергетический класс  $K_C$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – сейсмическая станция; 4 – граница и номер района, 5 – диаграмма механизма очага в проекции на нижнюю полусферу, зачернены области сжатия.

**Таблица 2.** Распределение коровых землетрясений Сахалина по энергетическому классу  $K_C$ , глубокофокусных – по магнитуде  $MSH$  и суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  по районам

| $h \leq 32 \text{ км}$ |                                 |          |    |    |    |    |    |    |            |                                     |
|------------------------|---------------------------------|----------|----|----|----|----|----|----|------------|-------------------------------------|
| №                      | Районы                          | $K_C$    |    |    |    |    |    |    | $N_\Sigma$ | $\Sigma E,$<br>$10^{12} \text{ Дж}$ |
|                        |                                 | $\leq 6$ | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |            |                                     |
| 1                      | Северный                        | 17       | 31 | 27 | 5  | 2  |    |    | 82         | 0.917                               |
| 2                      | Охотоморский шельф              |          |    | 2  |    |    |    |    | 2          | 0.097                               |
| 3                      | Восточно-Сахалинский            |          | 2  |    |    |    |    |    | 2          | 0.003                               |
| 4                      | Западно-Сахалинский             | 18       | 32 | 26 | 7  | 2  |    | 1  | 86         | 3.820                               |
| 5                      | Юго-Восточный                   |          |    | 2  | 1  |    |    |    | 3          | 0.046                               |
| 6                      | Восточная часть Южного Сахалина |          |    |    |    |    |    |    |            | 0                                   |
| 7                      | Хабаровский приграничный        | 2        | 2  |    |    |    |    |    | 4          | 0.003                               |
|                        | Всего                           | 37       | 67 | 57 | 13 | 4  |    | 1  | 179        | 4.886                               |

| $h \geq 320 \text{ км}$ |               |       |  |     |  |            |                                     |  |  |  |
|-------------------------|---------------|-------|--|-----|--|------------|-------------------------------------|--|--|--|
| №                       | Районы        | $MSH$ |  |     |  | $N_\Sigma$ | $\Sigma E,$<br>$10^{12} \text{ Дж}$ |  |  |  |
|                         |               | 4.0   |  | 5.0 |  |            |                                     |  |  |  |
| 5                       | Юго-Восточный | 7     |  | 7   |  | 14         | 4.077                               |  |  |  |

Примечание. Энергия оценивалась по формуле Гуттенберга–Рихтера:  $\lg E = 11.8 + 1.5 MLH$  [14], для чего величина всех землетрясений приводилась к магнитуде  $MLH$  путем пересчета из классов  $K_C$  для землетрясений с глубиной  $h \leq 80 \text{ км}$  и из магнитуд  $MSH$  с  $h \geq 81 \text{ км}$  по следующим соотношениям:  $MLH = (K_C - 1.2)/2$ ;  $MLH = (MSH - 1.71)/0.75$ .

**Таблица 3.** Распределение числа ощутимых землетрясений, максимальной величины класса  $K_C$  или магнитуды  $MSH$ , максимальной интенсивности сотрясений  $I_{\max}$  по районам Сахалина

| № | Район                           | Число ощутимых землетрясений | $K_{C\max}$<br>( $MSH_{\max}$ ) | $I_{\max}$ ,<br>балл |
|---|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| 1 | Северный                        | 5                            | 10.3                            | 4–5                  |
| 2 | Охотоморский шельф              | 1                            | 8.0                             | 2                    |
| 3 | Восточно-Сахалинский            | 0                            | 7.1                             |                      |
| 4 | Западно-Сахалинский             | 11                           | 12.0                            | 6–7                  |
| 5 | Юго-Восточный                   | 1                            | (5.5)                           | 2                    |
| 6 | Восточная часть Южного Сахалина | 0                            |                                 |                      |
| 7 | Хабаровский приграничный        | 0                            | 7.2                             |                      |
|   | Всего                           | 18                           |                                 |                      |

На рис. 2 представлено распределение мелкофокусных землетрясений Сахалина по часам суток. Диаграмма, построенная для всех сейсмических событий (рис. 2 а), демонстрирует выраженный пик в 12<sup>h</sup>–13<sup>h</sup> местного времени, на который пришлось 25 событий (14% общего числа). Их эпицентры находились в Северном (№ 1) и Западно-Сахалинском (№ 4) районах. На диаграмме, построенной для событий с  $K_C \geq 6.9$  (рис. 2 б), распределение более равномерное, следовательно, эти землетрясения, с большой долей вероятности, являются тектоническими.

В Северном районе (№ 1) наблюдалось некоторое повышение сейсмической активности: зарегистрировано 82 коровых землетрясения, что в 1.2 раза больше, чем в 2002 г. [11], суммарная сейсмическая энергия (табл. 2) возросла в 2.7 раза.

Самое сильное ( $K_C = 10.3$ ) землетрясение (17) произошло в районе 18 декабря в 16<sup>h</sup>37<sup>m</sup> на глубине  $h = 9 \pm 2 \text{ км}$ . Интенсивность вызванных им сотрясений составила 4–5 баллов в пос. Ноглики ( $\Delta = 15 \text{ км}$ ), 2–3 балла – в пос. Горячие Ключи (22 км) и Даги (31 км), 2 балла – в пос. Арги-Паги (59 км) и Иркир (71 км). Очаг этого землетрясения находился под преимущественным воздействием растягивающих напряжений, ориентированных субмеридионально, и более крутых субширотных напряжений сжатия [13]. Одна из нодальных плоскостей имела

западное простирание и сравнительно крутое падение на север, вторая – юго-восточное простирание с падением на юго-запад. Сейсмодислокация в очаге – сброс.

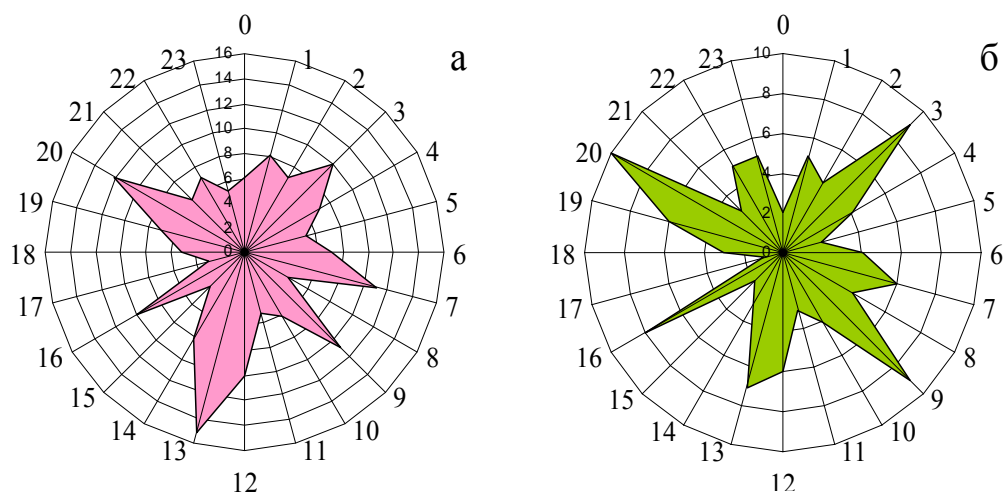


Рис. 2. Распределение числа сейсмических событий Сахалина с  $h \leq 32$  км по часам суток (время местное)

а – все зарегистрированные события ( $N=179$ ); б – события с  $K_C \geq 6.9$  ( $N=115$ ).

Второе по величине энергии землетрясение (18) явилось, по-видимому, афтершоком первого: оно произошло практически в том же месте 19 декабря в 05<sup>h</sup>09<sup>m</sup>, т.е. через 12.5<sup>h</sup> после первого, его макросейсмический эффект составил 4 балла в пос. Ноглики (16 км) и Даги (28 км).

Еще три землетрясения, зарегистрированные 16 марта в 02<sup>h</sup>17<sup>m</sup> с  $K_C=7.9$ , 21 августа в 02<sup>h</sup>57<sup>m</sup> с  $K_C=8.0$  и 29 августа в 12<sup>h</sup>34<sup>m</sup> с  $K_C=7.8$ , ощущались в пос. Сабо с интенсивностью сотрясений в 3–4, 2–3 и 3 балла соответственно.

**Охотоморский шельф (№ 2)** представлен двумя землетрясениями равной энергии с  $K_C=8.0$ , зарегистрированных 3 апреля в 02<sup>h</sup>23<sup>m</sup> и 4 июня в 18<sup>h</sup>40<sup>m</sup>, макросейсмический эффект отмечен для первого из них [12].

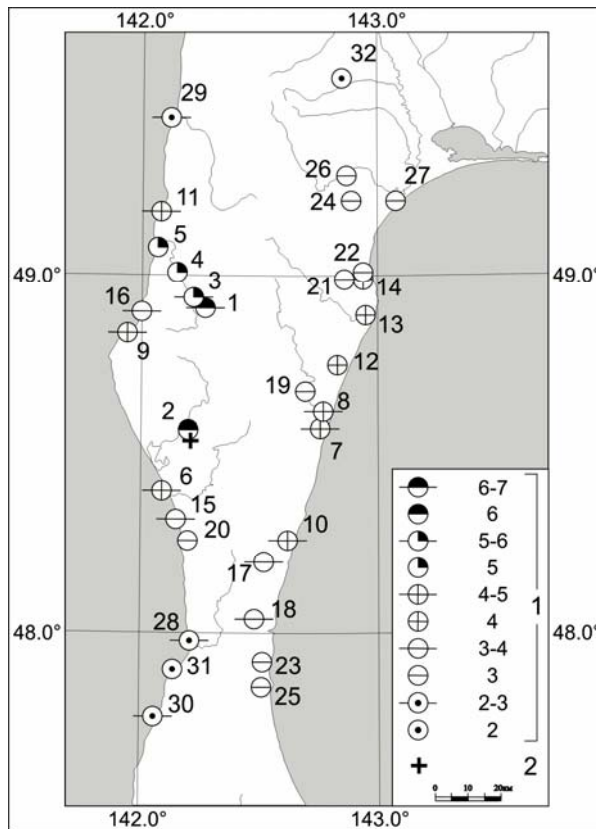
В **Восточно-Сахалинском районе (№ 3)** также зарегистрировано два землетрясения с  $K_C=7.1$  и  $K_C=6.9$  без макросейсмического эффекта, локализованные 13 января в 06<sup>h</sup>40<sup>m</sup> и 6 июня в 11<sup>h</sup>18<sup>m</sup> [12].

В **Западно-Сахалинском районе (№ 4)**, на территории которого в 2000 г. произошло Углегорско-Айнское землетрясение с  $MLH=7.0$  [15], а в 2001 г. – Такойский рой [16] с главным толчком с  $MLH_{max}=5.2$ , было зарегистрировано 86 коровых землетрясений, что в 1.5 раза меньше, чем в 2002 г. [11]. Однако суммарная сейсмическая энергия (табл. 2) в пять раз превысила таковую в 2002 г., поскольку 8 февраля в 17<sup>h</sup>36<sup>m</sup> на глубине  $h=9 \pm 1$  км произошло землетрясение (2) с  $K_C=12.0$ ,  $MLH=5.1$ , эпицентр которого лишь в 12 км южнее Углегорско-Айнского землетрясения. Максимальная интенсивность сотрясений достигала 6–7 баллов. Макросейсмические данные об этом землетрясении представлены в табл. 4, макросейсмическая схема – на рис. 3. Всего же в районе ощутимых оказалось 11 землетрясений (табл. 3).

Для землетрясений (2, 3, 9–13) определены механизмы очагов [13]. В очагах землетрясений (2, 10), произошедших 8 февраля в 17<sup>h</sup>36<sup>m</sup> и 21 июля в 02<sup>h</sup>17<sup>m</sup>, наблюдались взбросовые подвижки под действием близгоризонтального напряжения сжатия, которое обусловило подвижку типа взброс по крутым плоскостям разрыва и надвиг – по пологим плоскостям. Очаги землетрясений (3) и (11) за 13 февраля в 01<sup>h</sup>13<sup>m</sup> и 1 августа в 22<sup>h</sup>08<sup>m</sup> находились под воздействием близгоризонтальных напряжений растяжения и более крутых напряжений сжатия, что определило подвижку типа сброс по крутой плоскости разрыва и подвиг – по пологим плоскостям. Очаг землетрясения (13), локализованного 1 сентября в 09<sup>h</sup>23<sup>m</sup>, находился под преимущественным воздействием сжимающих напряжений, для которых характерный тип подвижки взброс по крутой плоскости и пологий надвиг – по пологой.

**Таблица 4.** Макросейсмические данные о землетрясении 8 февраля 2003 г. в 17<sup>h</sup>36<sup>m</sup> с  $K_C=12.0, MLH=5.1$

| №  | Пункт                              | Δ,<br>км | №  | Пункт                              | Δ,<br>км |
|----|------------------------------------|----------|----|------------------------------------|----------|
|    | <u>7–6 баллов</u>                  |          |    | <u>3–4 балла</u>                   |          |
| 1  | пос. Медвежье                      | 34       | 15 | пос. Парусное                      | 33       |
|    | <u>6 баллов</u>                    |          | 16 | пос. Поречье,<br>Углегорского р-на | 40       |
| 2  | пос. Айнское                       | 8        | 17 | пос. Пугачево                      | 47       |
|    | <u>5–6 баллов</u>                  |          | 18 | ж/д станция Тихая                  | 64       |
| 3  | пос. Краснополье                   | 38       |    | <u>3 балла</u>                     |          |
|    | <u>5 баллов</u>                    |          | 19 | пос. Туманово                      | 30       |
| 4  | пос. Никольское                    | 47       | 20 | пос. Белинское                     | 38       |
| 5  | г. Углегорск                       | 56       | 21 | пос. Вахрушев                      | 60       |
|    | <u>4–5 баллов</u>                  |          | 22 | пос. Гастелло                      | 65       |
| 6  | пос. Красногорск                   | 27       | 23 | пос. Арсентьевка                   | 79       |
| 7  | пос. Поречье,<br>Макаровского р-на | 34       | 24 | пос. Тихменево                     | 80       |
| 8  | г. Макаров,                        | 35       | 25 | пос. Взморье                       | 85       |
| 9  | пос. Орлово,                       | 37       | 26 | пос. Леонидово                     | 86       |
| 10 | пос. Восточный,                    | 44       | 27 | г. Поронайск                       | 88       |
| 11 | г. Шахтерск,                       | 66       |    | <u>2–3 балла</u>                   |          |
|    | <u>4 балла</u>                     |          | 28 | пос. Ильинский                     | 69       |
| 12 | пос. Горное                        | 42       | 29 | пос. Лесогорск                     | 94       |
| 13 | пос. Новое                         | 57       | 30 | г. Томари                          | 94       |
| 14 | пос. Лермонтовка                   | 64       |    | <u>2 балла</u>                     |          |
|    |                                    |          | 31 | пос. Пензенское                    | 79       |
|    |                                    |          | 32 | пос. Буюклы                        | 113      |



**Рис. 3.** Карта пунктов-баллов для землетрясения 8 февраля 2003 г. в 17<sup>h</sup>36<sup>m</sup> с  $K_C=12.0, MLH=5.1$

1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64; 2 – инструментальный эпицентр.

Глубокофокусные землетрясения на территории района в 2003 г. не отмечены.

**Юго-Восточный район (№ 5)** представлен тремя коровыми и 14 глубокофокусными землетрясениями, суммарная сейсмическая энергия первых (табл. 2) в 1.5 раза меньше таковой в 2002 г., вторых – в 3.8 раза. Глубокофокусные землетрясения зарегистрированы в интервале глубины  $h=320-380$  км, из них (12), произошедшее 26 сентября в  $04^{\text{h}}44^{\text{m}}$  на глубине  $h=350\pm 26$  км с  $MSH=5.5$ , ощущалось на о. Хоккайдо с интенсивностью сотрясений в  $I=1-2$  балла [12].

Для глубокофокусных землетрясений (14) и (15) определены механизмы очагов [13]. Первое произошло 26 сентября в  $04^{\text{h}}44^{\text{m}}$  на глубине  $h=350\pm 26$  км с  $MSH=5.5$ , второе – 10 ноября  $02^{\text{h}}32^{\text{m}}$  на глубине  $h=320\pm 21$  км с  $MSH=5.0$  [12]. Система напряжений, действовавшая в очаге землетрясения (14), характеризуется близгоризонтальным сжатием, ориентированным субширотной, и северо-восточным субмеридиональным растяжением. В результате действия такой системы напряжений произошла сдвиговая подвижка с небольшой взбросовой компонентой. Очаг (15) реализовался под воздействием преобладающего напряжения растяжения и более крутого напряжения сжатия, что определило подвижку типа поддвиг.

В **Восточной части Южного Сахалина (№ 6)** в 2003 г. не было зарегистрировано ни одного землетрясения.

В **Хабаровском приграничном районе (№ 7)** зарегистрировано четыре коровых землетрясения, произошедшие 12 января в  $09^{\text{h}}53^{\text{m}}$  с  $K_C=7.0$ , 20 февраля в  $07^{\text{h}}19^{\text{m}}$  с  $K_C=6.0$ , 15 марта в  $02^{\text{h}}50^{\text{m}}$  с  $K_C=6.5$  и 1 июня в  $11^{\text{h}}01^{\text{m}}$  с  $K_C=7.2$  [12]. Максимальный энергетический класс составил  $K_C=7.2$ , суммарная сейсмическая энергия (табл. 2) в 43 раза меньше таковой в 2002 г. [11].

#### Л и т е р а т у р а

1. **Фокина Т.А., Коваленко Н.С., Рудик М.И., Сафонов Д.А.** Приамурье и Приморье. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
2. **Фокина Т.А., Брагина Г.И., 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. **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.
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. **Волкова Л. Ф., Поплавская Л.Н., Соловьёва О.Н.** Шкалы MPVA, MSNA для определения магнитуд близких глубокофокусных землетрясений Дальнего Востока // Сейсмологические наблюдения на Дальнем Востоке СССР (Методические работы ЕССН). – М.: Наука, 1989. – С. 81–85.
11. **Фокина Т.А., Паршина И.А., Рудик М.И., Сафонов Д.А.** Сахалин // Землетрясения Северной Евразии, 2002 г. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 200–206.

- 
12. **Паршина И.А. (отв. сост.), Малашенко Ю.А.** Каталог землетрясений Сахалина за 2003 год. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
  13. **Паршина И.А., Поплавская Л.Н., Нагорных Т.В. (отв. сост.)**. Каталог механизмов очагов землетрясений Сахалина за 2003 год. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
  14. **Гутенберг Б., Рихтер К.Ф.** Магнитуда, интенсивность, энергия и ускорение как параметры землетрясений (II) // Слабые землетрясения. – М.: ИЛ, 1961. – С. 72–119.
  15. **Поплавская Л.Н., Нагорных Т.В., Фокина Т.А., Поплавский А.А., Пермикин Ю.Ю., Стрельцов М.И., Ким Чун Ун, Сафонов Д.А., Мельников О.Я., Зудик М.И., Оскорбин Л.С.** Углегорско-Айнское землетрясение 4 августа 2000 года,  $MLH=7.0$ ,  $I_0=8-9$  (Сахалин) // Землетрясения Северной Евразии в 2000 году. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 265–284.
  16. **Поплавская Л.Н., Фокина Т.А., Сафонов Д.А., Нагорных Т.В., Ким Чун Ун, Сен Рак Се, Урбан Н.А.** Такойское землетрясение 1 сентября 2001 года с  $M=5.2$ ,  $I_0=7$  (Сахалин) // Землетрясения Северной Евразии в 2001 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 331–344.