

I.5. Алтай и Саяны

*А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, Е.В. Лескова,
В.Г. Подкорытова, А.А. Дураченко, Д.Г. Кор-
бельщиков, С.А. Чурашев, В.Н. Гончаров*

Сейсмическая сеть Алтае-Саянского региона состояла из 39 станций Алтае-Саянского филиала (АСФ) ГС СО РАН. Местоположение станций показано на рис. I.12, данные о станциях представлены в табл. I.11. Кроме того, 89 временных сейсмических станций и станций локальных групп (раздел III.2) привлекались для более детальной обработки в отдельных областях региона (эпицентральные области Чуйского землетрясения 2003 г., на юго-востоке Республики Горный Алтай и Тувинских землетрясений 2011–2012 гг. в центральной части Республики Тыва, локальные сети в Кузбассе и Новосибирской области).

В 2012 г. были открыты семь новых станций (см. табл. I.2): «Кунгуртук», ставшая самой восточной станцией Алтае-Саянской сети, «Алексеевка» и «Новосибирская ГЭС», которые в совокупности со станциями «Быстровка-2» и «Новосибирск» представляют собой локальную сеть для слежения за сейсмичностью в районе Новосибирской ГЭС, а также станции «Горно-Алтайск» в г. Горно-Алтайске, «Джой» в районе Саяно-Шушенской ГЭС, «Железнодорожск-2» и «Железнодорожск-3» в Красноярском крае.

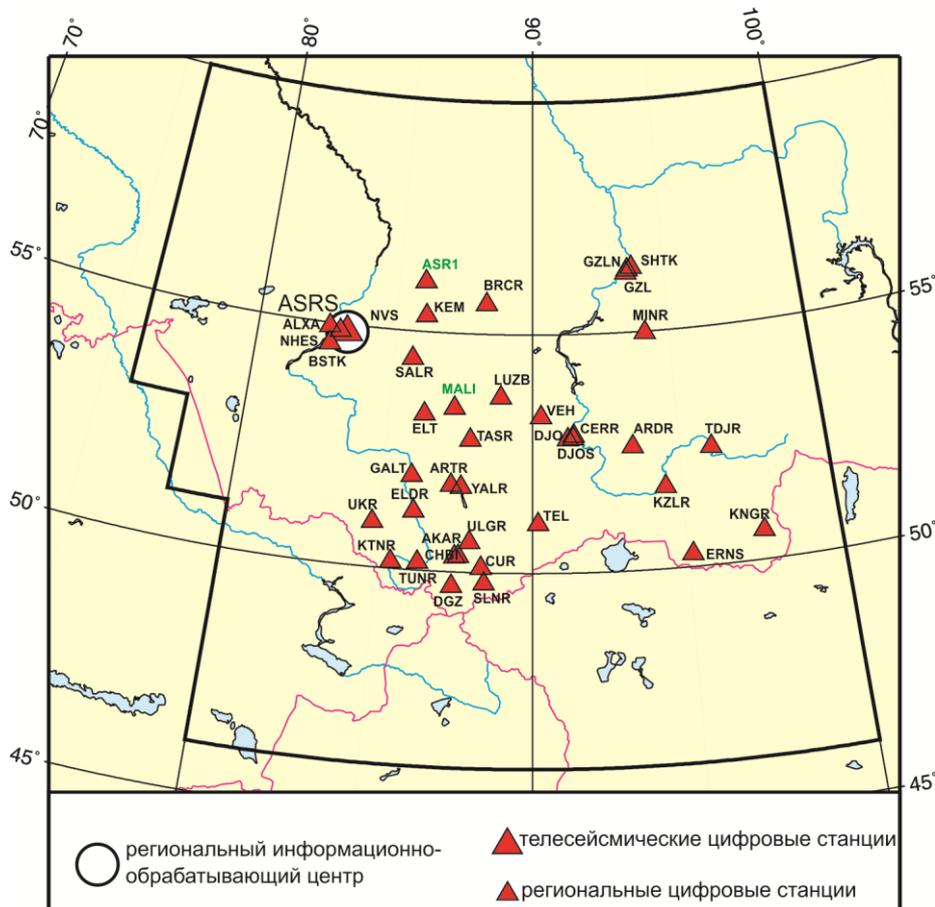


Рис. I.12. Стационарные сейсмические станции в Алтае-Саянском регионе в 2012 г.

*Черный шрифт – международные коды сети (центра) и станций,
зеленый шрифт – региональные коды станций*

Таблица I.11. Сведения о стационарных станциях АСФ ГС СО РАН (сеть ASRS)

| № | Сейсмическая станция | | | Дата открытия–закрытия (установки нового оборудования) | Координаты и высота над уровнем моря | | | Подпочва | Тип оборудования |
|----|----------------------|---------------|--------------|--|--------------------------------------|--------|------|------------------|--|
| | Название | Код | | | φ, °N | λ, °E | h, м | | |
| | | международный | региональный | | | | | | |
| 1 | Акташ* | AKAR | AKAR | 25.09.1985; 02.01.2001 | 50.325 | 87.621 | 1421 | Эффузивы | СМ-3КВ, ОСП+ Байкал-11; СМГ-3ESP |
| 2 | Алексеевка | ALXA | ALXA | 28.02.2012 | 54.930 | 82.587 | 133 | | СМГ-3ESPCD |
| 3 | Анжеро-Судженск-1 | – | ASR1 | 22.02.2011 | 56.068 | 85.991 | 262 | Осадочные породы | СМЕ-4011+ Байкал-11 |
| 4 | Арадан | ARDR | ARDR | 06.08.1992 (10.05.2012) | 52.580 | 93.428 | 958 | Гранит | СМ-3КВ+ Байкал-11; СМ-3КВ, СМГ-3Т+ Байкал-8.1 |
| 5 | Артыбаш | ARTR | ART | 26.07.1980 | 51.798 | 87.281 | 511 | Коренные породы | СМГ-3ESPCDE |
| 6 | Берчикуль | BRCR | BRCR | 23.09.1999 | 55.635 | 88.299 | 381 | Сланцы | СМ-3КВ+ Байкал-11 |
| 7 | Быстровка-2 | BSTK | BST | 10.04.2002 | 54.568 | 82.653 | 121 | Осадочные породы | СМГ-3ESPCD |
| 8 | Верх-База | VEN | VEN | 05.03.1967 | 53.255 | 90.299 | 550 | Гранит | СКМ, СКД+ Байкал-11 |
| 9 | Горно-Алтайск* | GALT | GATR | 27.08.2012 | 51.959 | 85.946 | 303 | | СМ-3КВ+ Байкал-11; СМГ-5Т |
| 10 | Джазатор | DGZ | DGZ | 20.08.2003 | 49.701 | 87.432 | 1606 | Гранит | СКМ+ Байкал-11 |
| 11 | Джой | DJO | DJO | 10.01.2012 | 52.782 | 91.218 | 553 | | СМ-3КВ+ Байкал-11, Ангара |
| 12 | Джойская Сосновка | DJOS | DJOS | 03.02.2011 | 52.795 | 91.398 | 569 | | СМ-3КВ+ Байкал-11 |
| 13 | Еланда (Эланда) | ELDR | ELDR | 27.08.1980– 01.12.1993; 04.10.2002 | 51.217 | 86.090 | 472 | Гранит | СМ-3КВ+ Байкал-11 |
| 14 | Ельцовка | ELT | ELT | 05.07.1962 | 53.261 | 86.239 | 235 | Эффузивы | СМ-3КВ+ Байкал-11 |
| 15 | Железногорск* | GZL | GZL | 29.08.2002 | 56.265 | 93.542 | 165 | Осадочные породы | СМ-3КВ+ Байкал-8; СМГ-5ТС |
| 16 | Железногорск-2* | GZLN | GZLN | 24.12.2012 | 56.383 | 93.767 | 212 | | СМ-3КВ+ Байкал-11; СМ-3КВ+ Байкал-8.1; СМГ-5ТС |
| 17 | Железногорск-3* | SHTK | SHTK | 21.12.2012 | 56.333 | 93.605 | 150 | | СМ-3КВ+ Байкал-8.1; СМГ-5ТС |
| 18 | Кайтанак | KTNR | KTNK | 18.05.2001 | 50.145 | 85.465 | 1031 | Осадочные породы | СМ-3КВ+ Байкал-11 |

| № | Сейсмическая станция | | | Дата открытия–закрытия (установки нового оборудования) | Координаты и высота над уровнем моря | | | Подпочва | Тип оборудования |
|----|----------------------|---------------|--------------|--|--------------------------------------|--------|------|------------------|---|
| | Название | Код | | | φ, °N | λ, °E | h, м | | |
| | | международный | региональный | | | | | | |
| 19 | Кемерово | KEM | KEM | 19.05.2005 | 55.343 | 86.089 | 133 | Осадочные породы | СМ-3КВ, СКД+ Байкал-8 |
| 20 | Кунгуртуг | KNGR | KNGR | 04.03.2012 | 50.604 | 97.517 | 1314 | Коренные породы | СМГ-6ТД |
| 21 | Кызыл* | KZLR | KZL | 15.03.2001 | 51.705 | 94.453 | 654 | Щебень | СМ-3КВ+ Байкал-11; СМГ-5ТС |
| 22 | Лужба | LUZB | LUZB | 01.12.2006 | 53.661 | 88.900 | 489 | Осадочные породы | СМ-3КВ, СКМ+ Байкал-11 |
| 23 | Малиновка* | – | MALI | 01.11.2010 | 53.421 | 87.276 | 233 | Осадки | СМГ-5ТДЕ |
| 24 | Мина | MINR | MINR | 29.07.1985 | 54.978 | 94.127 | 544 | Осадочные породы | СКМ+ Байкал-11 |
| 25 | Новосибирск | NVS | NVS | 10.11.1965 | 54.841 | 83.234 | 168 | Кварцитовая жила | СМ-3КВ, СКД+ Байкал-11; СМГ-3ЕСРСД; СМГ-6ТД |
| 26 | Новосибирская ГЭС | NHES | NHES | 28.02.2012 | 54.855 | 82.985 | 121 | Осадочные породы | СМГ-3ЕСРСД |
| 27 | Салаир | SALR | SAL | 02.03.2005 | 54.417 | 85.703 | 250 | | СМ-3КВ, СКД+ Байкал-11 |
| 28 | Солонешенская* | SLNR | SLN | 18.10.2003 | 49.777 | 88.467 | 2057 | Осадочные породы | СМ-3КВ, ОСП+ Байкал-11 |
| 29 | Таштагол | TASR | TASR | 01.09.1988 | 52.762 | 87.880 | 529 | Осадочные породы | СМ-3КВ+ Байкал-11 |
| 30 | Тоджа | TDJR | TDJR | 25.07.1980–31.12.1994; 01.03.2001 | 52.453 | 96.093 | 1000 | Коренные породы | СКМ+ Байкал-11 |
| 31 | Тээли | TEL | TEL | 01.10.1971 | 51.024 | 90.195 | 992 | Эффузивы | СКМ, СКД+ Байкал-11 |
| 32 | Тюнгур | TUNR | TUNR | 01.10.1980–01.11.1993; 01.08.1998 | 50.163 | 86.317 | 864 | Гранит | СКМ+ Байкал-11 |
| 33 | Улаган | ULGR | ULGR | 28.07.2002 | 50.623 | 87.961 | 1239 | Коренные породы | СМ-3КВ+ Байкал-11 |
| 34 | Усть-Кан | UKR | UKR | 02.09.1963 | 50.940 | 84.769 | 1057 | Эффузивы | СКМ, СКД+ Байкал-11 |
| 35 | Чаган-Узун* | CUR | CUR | 19.12.1963–31.05.1985; 13.02.2002 | 50.101 | 88.358 | 1740 | Коренные породы | СМ-3КВ, ОСП+ Байкал-11 |
| 36 | Черемушки | CERR | CERR | 05.09.1990 | 52.856 | 91.416 | 390 | Сланцы | СКМ, СМ-3КВ+ Байкал-11 |
| 37 | Чибит* | CHBI | CHB | 03.10.2003 | 50.313 | 87.503 | 1164 | Сланцы | СМ-3КВ, ОСП+ Байкал-11 |
| 38 | Эрзин | ERNS | ERNS | 03.06.1964 | 50.265 | 95.161 | 1110 | Коренные породы | СМГ-3Т+ PS6-24 |
| 39 | Яйлю | YALR | YALR | 19.07.2002 | 51.769 | 87.611 | 451 | Коренные породы | СМ-3КВ+ Байкал-11 |

* – на станциях установлены приборы сильных движений.

В 2012 г. произошло частичное переоснащение трех сейсмостанций сети (см. табл. I.4) – короткопериодная аппаратура была заменена на широкополосную фирмы Guralp: на сейсмостанциях «Артыбаш» и «Быстровка-2» были установлены приборы CMG-3ESPCD, на «Эрзин» – CMG-3T. В рамках развития сети сильных движений на станциях «Горно-Алтайск», «Железногорск» и «Кызыл» установлены акселерометры CMG-5T(C).

Помимо аппаратурного переоснащения сети, претерпела существенные изменения и обработка данных, став полностью автоматизированной с получением каталога практически в режиме, близком к реальному времени. Для сбора данных и автоматической обработки используется система seiscomp3 [Weber et al., 2007; Hanka et al., 2010]. Практически вся сейсмическая сеть АСФ ГС СО РАН передает непрерывную информацию в режиме, близком к реальному времени, с задержками не больше, чем необходимо для формирования пакетов seedlink, для чего используются технологии ADSL, GPRS, 3G и синхронной спутниковой связи. Определение энергетических характеристик и положения эпицентра рассчитывались с помощью программы LocSat [Bratt, Bache, 1988] в рамках глобальной скоростной модели IASPEI91 [Kennet, 1991]. Энергия событий представлена в локальных магнитудах ML [New manual..., 2002].

Особенностью автоматизированной обработки является переход энергетической оценки событий на магнитудную основу с использованием локальных магнитуд по объемным волнам типа ML в двух вариантах: MLh (по горизонтальным составляющим) и MLv (по вертикальной составляющей). Данная шкала хорошо увязывается с мировыми оценками, но пока недостаточно изучена ее привязка к использовавшимся в регионе ранее оценкам энергетического класса K_p . В качестве предварительной корреляционной связи K_p и ML была использована следующая зависимость [Филина, 2013]:

$$K_p = 1.55 \cdot (MLh, MLv) + 3.15.$$

Автоматизация обработки, получение полных данных в режиме, близком к реальному времени, привели к многократному увеличению числа обработанных событий в регионе – более 46 тыс. сейсмических событий в 2012 г., большая часть из которых (около 40 тыс.) представляют собой афтершоки Тувинских землетрясений 27.12.2011 г. и 26.02.2012 г. по данным обработки временной сети сейсмических станций в эпицентральной области (раздел III.2.1).

Помимо афтершоков Тувинских землетрясений, в 2012 г. в регионе зарегистрировано 6612 сейсмических событий в энергетическом диапазоне $-0.6 \leq ML \leq 6.8$, из них землетрясений – 2476, промышленных взрывов – 4136 (табл. I.12).

Таблица I.12. Количество сейсмических событий в зависимости от их магнитуды и типа

| ML | 7.0 | 6.0 | 5.0 | 4.5 | 4.0 | 3.5 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 1.0 | 0.5 | 0 | -0.5 | Всего |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|------|-------|
| Землетрясения | 1 | 2 | 2 | 9 | 26 | 59 | 151 | 292 | 402 | 386 | 524 | 504 | 111 | 7 | 2476 |
| Взрывы | 0 | 0 | 0 | 1 | 15 | 47 | 358 | 1765 | 1714 | 226 | 10 | 0 | 0 | 0 | 4136 |
| Общее | 1 | 2 | 2 | 10 | 41 | 106 | 509 | 2057 | 2116 | 612 | 534 | 504 | 111 | 7 | 6612 |

Каталог землетрясений Алтае-Саянского региона за 2012 г. (раздел IV.4 и раздел IV на CD-ROM) представлен 465 землетрясениями (в том числе 402 афтершока Тувинских землетрясений) и 43 промышленными взрывами с $M \geq 3.0$ ($ML \geq 3.5$). На основе каталога землетрясений построена карта эпицентров землетрясений (рис. I.13). Для двух землетрясений в разделе VI помещены решения механизмов очагов.

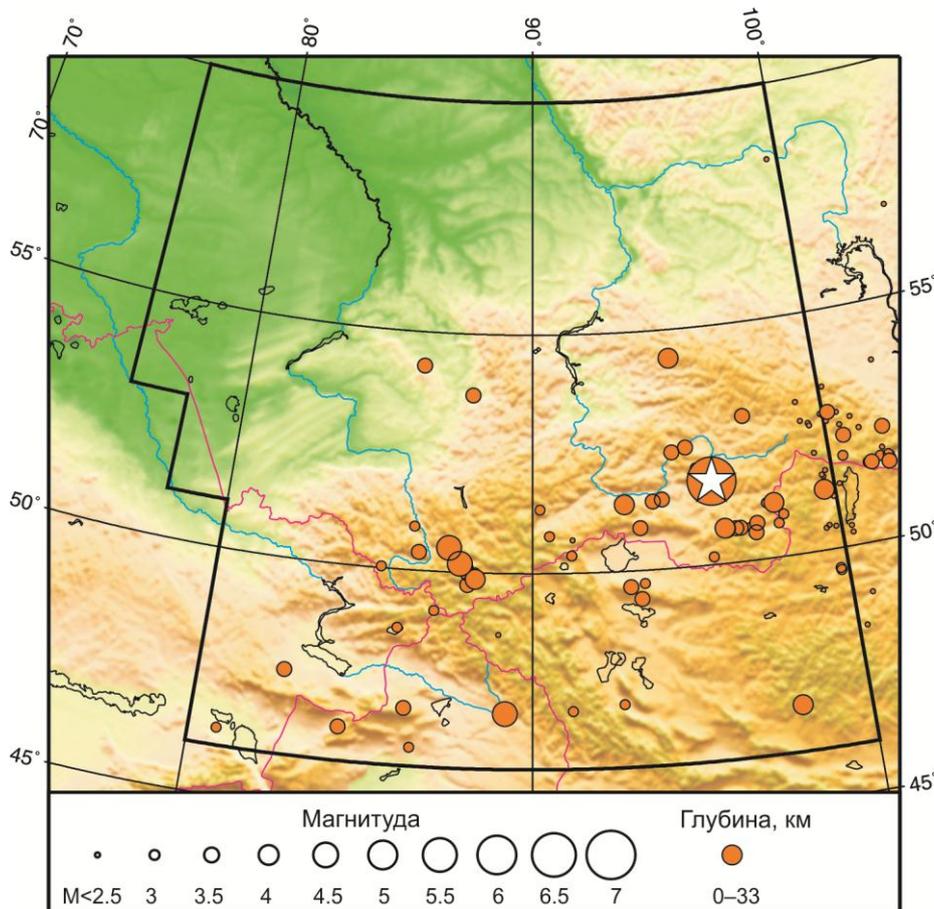


Рис. 1.13. Карта эпицентров землетрясений в Алтае-Саянском регионе в 2012 г.
Звездочкой показано самое сильное землетрясение в регионе

26 февраля в 06^h17^m в Республике Тыва зарегистрировано самое сильное землетрясение 2012 г. на территории Алтае-Саянского региона с $M(MS^1, ML)=6.8$. Оно произошло спустя два месяца после Тувинского-I землетрясения (27.12.2011 г., $M=6.6$ [Еманов А.Ф., Еманов А.А. и др., 2012, 2013]), а его очаг находился на южном окончании афтершоковой области, сформировавшейся после Тувинского-I землетрясения. Это землетрясение, получившее название «Тувинское-II», изменило как энергетические, так и пространственные характеристики общего афтершокового процесса для данной пары крупнейших землетрясений Тувы.

По данным совместного обследования АСФ ГС СО РАН и БФ ГС СО РАН, землетрясение ощущалось на значительной территории Сибири и в сопредельных государствах (Казахстан, Монголия, Китай). Интенсивность сотрясений составила: Сарыг-Сеп – 7–8 баллов; Кызыл, Тоора-Хем, Туран – 6 баллов; Усть-Элегест, Эрзин – 5–6 баллов; Арадан, Хову-Аксы – 5 баллов; Саяногорск – 4–5 баллов; Абакан, Иркутск, Нижнеудинск, Черемушки – 4 балла; Братск, Красноярск, Улан-Удэ, Саянск – 3 балла; Новокузнецк – 2–3 балла; Новосибирск, Томск, Междуреченск – 2 балла [Еманов А.Ф., Еманов А.А. и др., 2013].

На момент Тувинского-II землетрясения в эпицентральной области была выставлена сеть из шести временных станций для регистрации афтершоков Тувинского-I землетрясения, и, таким образом, получены несравнимо более детальные данные

¹ Инструментальное значение MS получено по телесеismicким данным (ред.), совпало с ML по региональным данным.

о сейсмическом процессе на стадии подготовки сильного землетрясения и последующем афтершоковом процессе. Результаты исследования в эпицентральной зоне данного события представлены в разделе III.2.1.

В 2012 г. в регионе зарегистрировано еще два сравнительно сильных землетрясения: с $M(MS^2)=4.6$ ($ML=6.1$) 30 июля в 22^h30^m в эпицентральной области Чуйского землетрясения 2003 г. (раздел III.2.2) и с $M(MS^2)=4.0$ ($ML=6.1$) 3 октября в 22^h23^m в отрогах хребта Хангай на территории Монголии.

Неординарное для региона сейсмическое событие с $M=3.6$ ($M_C=3.7$, $ML=4.3$) произошло 9 февраля в 13^h24^m на Бачатском угольном разрезе в Кузбассе. Данное событие вызвало ощутимые колебания в большинстве городов Кемеровской области, а природа этого события стала предметом расследования властей и сотрудников МЧС. Специальные сейсмологические исследования в районе карьера были проведены и Алтай-Саянским филиалом ГС СО РАН, результаты которых представлены в разделе III.2.3.

На рис. I.14 показана гистограмма выделившейся сейсмической энергии в Алтай-Саянском регионе в 2008–2012 гг. (по данным регионального каталога Алтай-Саянского филиала ГС СО РАН). В целом сейсмическая активность Алтай-Саянского региона в 2012 г. превысила показатели 2011 г. [Еманов А.Ф., Лескова и др., 2013] и стала самой высокой за последние девять лет после Чуйского землетрясения 2003 года.

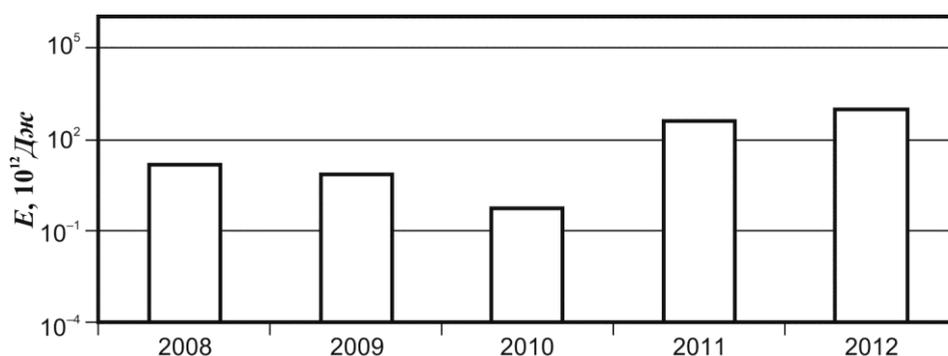


Рис. I.14. Распределение сейсмической энергии, выделившейся в Алтай-Саянском регионе в 2008–2012 гг.

² Инструментальное значение MS получено по телесеismicким данным (ред.).