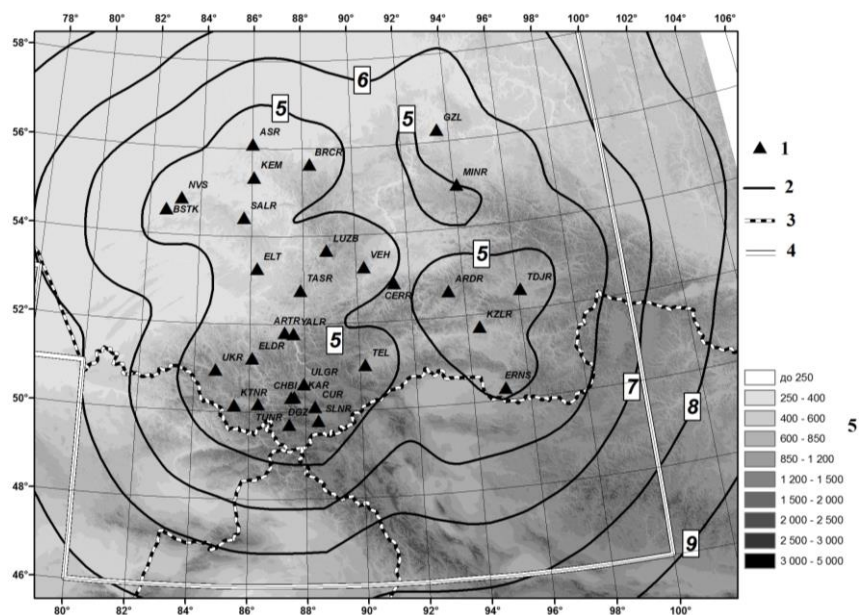


## АЛТАЙ И САЯНЫ

А.Ф. Еманов<sup>1,2</sup>, Е.В. Лескова<sup>1,2</sup>, А.Г. Филина<sup>1</sup>, А.А. Еманов<sup>1,2</sup>,А.В. Фатеев<sup>1,2</sup>, А.В. Дураченко<sup>1</sup><sup>1</sup>Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН, Новосибирск, [emanov@gs.nsc.ru](mailto:emanov@gs.nsc.ru)<sup>2</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН им. А.А. Трофимука, Новосибирск

В 2008 г. сейсмическую сеть региона составляли 30 станций (рис. 1), данные о которых даны в Приложении к наст. сб. [1] на CD. Число станций, по сравнению с таковым в 2007 г. [2], уменьшилось на две, т.к. 31.12.2007 г. была закрыта сейсмическая станция «Ташанта» (ТНТ) и приостановлена работа станции «Джойская Сосновка» (ДСН). Однако их отсутствие в 2008 г. лишь незначительно изменило изолинии энергетической представительности землетрясений  $K_{\min}$  (рис. 1) и погрешности локации эпицентров землетрясений с  $K_p=9$  (рис. 2) в Алтае-Саянском регионе, по сравнению с таковыми в 2007 г. [3]. Согласно рис. 1, для центральной части региона представительными являются землетрясения с  $K_{\min}=5$ , однако на всей территории в пределах границ ответственности и составления каталога не могут быть пропущены землетрясения, начиная с восьмого энергетического класса, т.е.  $K_{\min}=8$ .



**Рис. 1.** Карта энергетической представительности  $K_{\min}$  землетрясений Алтае-Саянского региона в 2008 г. 1 – сейсмическая станция; 2 – изолиния  $K_{\min}$ ; 3 – государственная граница; 4 – граница каталога АСФ ГС СО РАН; 5 – высоты рельефа  $h_y$ , м.

Погрешность  $\delta$  локации землетрясений для большей части региона менее 10 км (рис. 2). Наибольшая точность достигается в центре Алтайского сейсмологического полигона, уплотненного станциями части региональной сети в пределах координат  $\varphi=49-52^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=84-90.5^\circ\text{E}$  [4]. Для территории полигона представлена отдельная карта погрешности локации сейсмических событий (рис. 3), поскольку на общей для всего региона карте (рис. 2) приведены несколько заниженные значения точности в районе полигона в силу привлечения в расчеты удаленных станций, вносящих при обработке дополнительную ошибку в вычисления. Расчеты показали, что в центральной части полигона погрешность  $\delta$  локации эпицентров землетрясений не превышает  $\delta=2$  км (рис. 3).

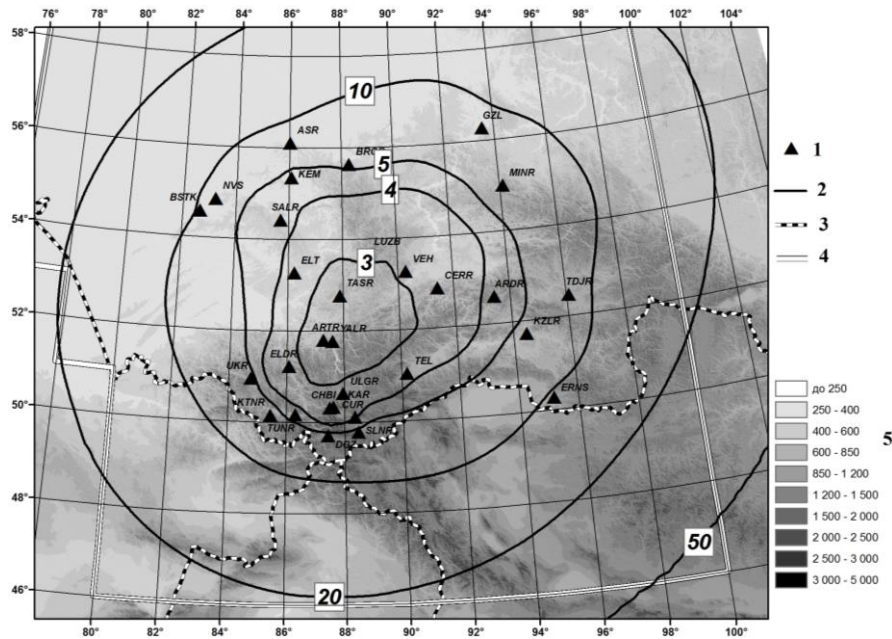


Рис. 2. Карта погрешности в локации эпицентров землетрясений с  $K_p=9$  в 2008 г. в регионе

1 – сейсмическая станция; 2 – изолиния погрешности  $\delta_K$ , км; 3 – государственная граница; 4 – граница каталога АСФ ГС СО РАН; 5 – высоты рельефа  $h_y$ , м.

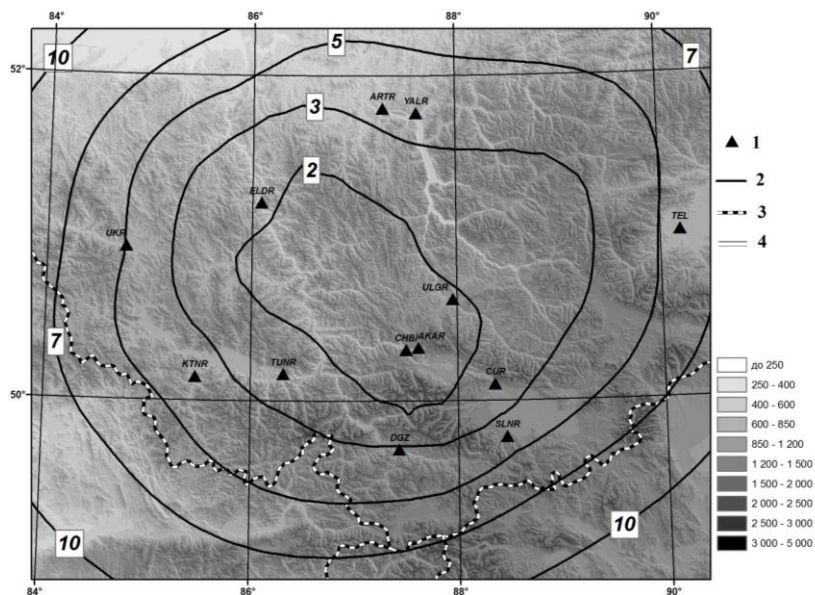


Рис. 3. Карта погрешности в локации эпицентров землетрясений с  $K_p=9$  для локального ( $\varphi=49-52^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=84-90.5^\circ\text{E}$ ) Алтайского сейсмологического полигона в 2008 г.

Условные обозначения см. на рис. 2.

Кроме стационарной сети в период с 17 августа по 17 октября 2008 г. в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения 27.09.2003 г. с  $M_S=7.3$  [5] действовала сеть из 19 временных цифровых сейсмических станций. За два месяца наблюдений по данным этой сети получены параметры гипоцентров 3900 землетрясений с  $-0.8 \leq K_p \leq 8.4$ , более сильные ( $K_p \geq 0.5$ ) из которых опубликованы в [6]. Анализ данных, полученных в ходе двухмесячного эксперимента, проведенного в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения и в районе будущего водохранилища Чибитской ГЭС, изложен в [7].

Обработка землетрясений, зарегистрированных сетью стационарных станций региона, велась, как и ранее [3], с применением однослойной региональной модели земной коры с заданной средней глубиной очагов 15 км. Общее число землетрясений с  $K_p \geq 4.0$  в 2008 г., вклю-

ченных в каталог [8], составило  $N_{\Sigma}=1837$ . События, зарегистрированные и обработанные с привлечением данных временной сети, имеют уточненные значения координат и снабжены соответствующим признаком в отдельной графе каталога [8]. В табл. 1 приведено распределение землетрясений по энергетическим классам  $K_p$ . Суммарная сейсмическая энергия, высвобожденная в очагах землетрясений в 2008 г., достигла величины  $\Sigma E=1.08 \cdot 10^{15}$  Дж.

**Таблица 1.** Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_p$  и суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  в регионе Алтай и Саяны в 2008 г.

$K_p$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	$N_{\Sigma}$	$\Sigma E, \text{ Дж}$
$N$	232	183	647	501	169	56	22	16	7	2	1	1	1839	$1.08 \cdot 10^{15}$

График повторяемости землетрясений по данным табл. 1 приведен на рис. 4. Параметры графика повторяемости, рассчитанные для его линейной части ( $K_p=7-10$ ) имеют вид:

$$\lg N(K_p) = 5.874 - 0.455 \cdot K_p.$$

Наклон графика повторяемости землетрясений в 2008 г. составил по модулю  $\gamma=|0.46|$ , что ниже средней величины ( $\gamma=0.49$ ) этого показателя для региона.

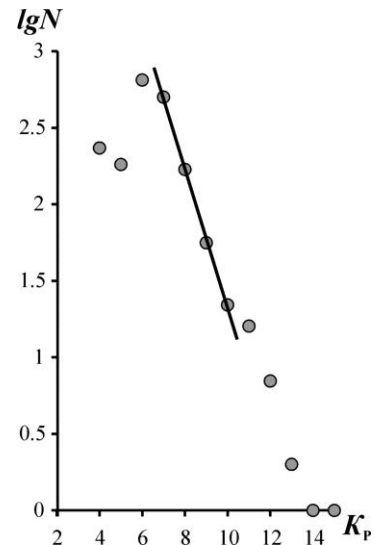
Карта эпицентров землетрясений, зарегистрированных в Алтае-Саянском регионе в 2008 г., приведена на рис. 5. Сейсмический процесс в 2008 г. характеризуется наличием нескольких весьма сильных ( $K_p > 12.6$ ) землетрясений (19 января в  $07^h32^m$  с  $K_p=13.1$ , 20 апреля в  $13^h14^m$  с  $K_p=12.9$ , 16 августа в  $04^h01^m$  и в  $04^h06^m$  с  $K_p=15.0$  и  $13.7$  соответственно), что определило высокое значение величины суммарной сейсмической энергии,  $\Sigma E=1.08 \cdot 10^{15}$  Дж. В 2007 г. [3] суммарная энергия землетрясений была ниже на три порядка ( $\Sigma E=1.14 \cdot 10^{12}$  Дж).

Самое сильное ( $K_p=15, M_w=5.7$ ) землетрясение (16) произошло 16 августа в  $04^h01^m$  на севере Белино-Бусингольской зоны, одной из наиболее сейсмически активных областей региона, соседствующей с Байкальской рифтовой зоной (рис. 5). По названию ближайших рек землетрясение было названо Белин-Бий-Хемским, которое ощущалось в Иркутской области, Республике Бурятия и Республике Тыва с интенсивностью  $I=2-5$  баллов [9]. Ему посвящена отдельная статья в наст. сб. [10].

Заметные ( $K_p \geq 10.6$ ) землетрясения наблюдались в 2008 г. по всей территории региона, но наибольшее их число (19 событий из 27) зафиксировано на востоке региона, в Белино-Бусингольской зоне (рис. 5). Четыре толчка (16, 17, 19, 24) из этой серии были ощутимы с интенсивностью до  $I=5$  баллов [9]. Следующая значительная группа землетрясений (14, 15, 25, 26) зафиксирована в пределах хр. Цаган-Шибету, в приграничной зоне Республики Тыва с Монголией. Многочисленная группа более слабых толчков возникла в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая. Таким образом, сейсмичность в 2008 г. традиционно концентрируется в эпицентральных областях произошедших ранее сильнейших землетрясений региона – Урэг-Нурского 15.05.1970 г. с  $M_S=6.9$  [11], Бусингольского 27.12.1991 г. с  $M_S=6.5$  [12] и Чуйского 27.09.2003 г. с  $M_w=7.3$  [5].

Рассмотрим эпицентральное поле в Белино-Бусингольской и Чуйско-Курайской зонах более детально (рис. 6).

В Белино-Бусингольской зоне можно выделить три группы землетрясений, разнесенных в пространстве (рис. 6 а). Северная группа относится к афтершоковой области Белин-Бий-Хемского землетрясения 16 августа и представляет собой активизацию, вытянутую в субмеридиональном направлении, с северо-запада от Белинской впадины. Две южные группы находятся: одна вдоль Бусингольской впадины, а вторая в Шихшидском нагорье вдоль тектонического нарушения, по которому происходило Бусингольское землетрясение 27.12.1991 г. и последующие пульсирующие активизации [13]. Землетрясения в выделенных областях происходили разновременно.



**Рис. 4.** График повторяемости землетрясений Алтае-Саянского региона в 2008 г.



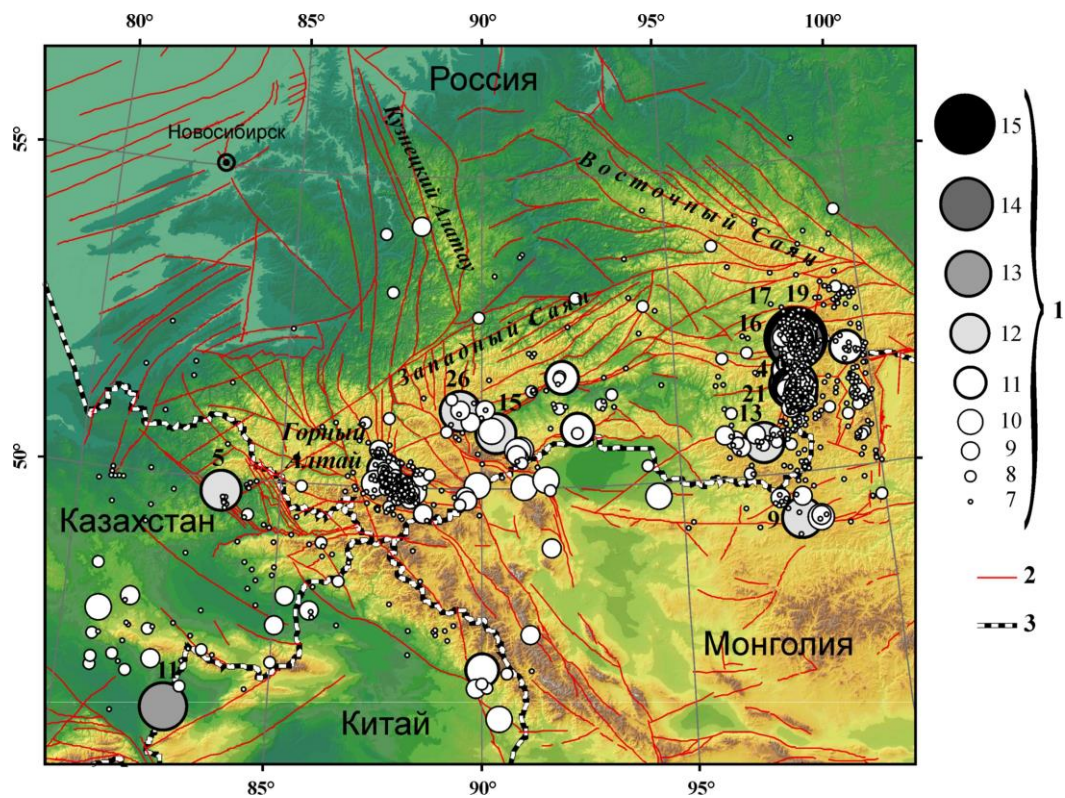


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений Алтае-Саянской горной области в 2008 г.

1 – энергетический класс; 2 – неотектонические разломы (по ГИН РАН (под ред. Ю.Г. Леонова)); 3 – государственная граница; пронумерованы землетрясения с  $K_p \geq 10.6$  по [8].

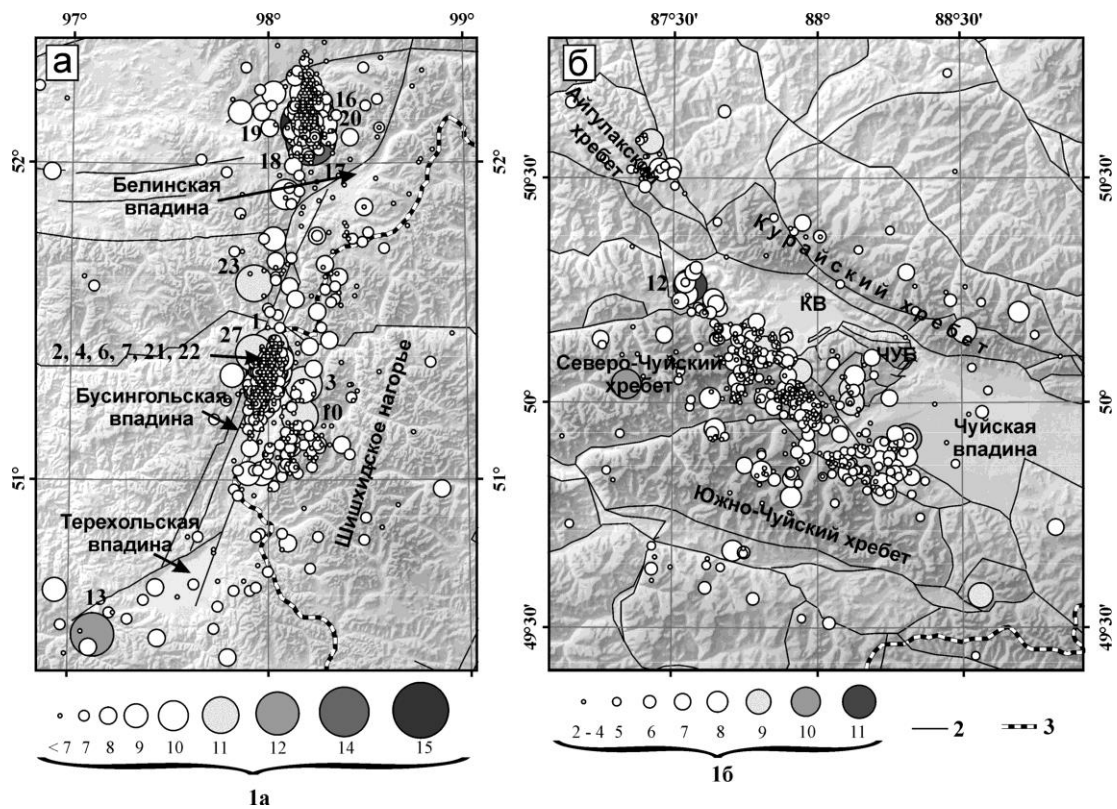


Рис. 6. Карта эпицентров землетрясений Белино-Бусингольской (а) и Чуйско-Курайской (б) зон в 2008 г.

Условные обозначения см. на рис. 5; пронумерованы землетрясения с  $K_p \geq 10.6$  по [8]; КВ – Курайская впадина, ЧУБ – Чаган-Узунский блок; разломы для Чуйско-Курайской зоны даны по [14].

В районе Чуйского землетрясения 27.09.2003 г. (рис. 6 б) продолжалась афтершоковая активность. Причем, помимо основной области распространения афтершоков вдоль северо-восточной границы Северо-Чуйского и Южно-Чуйского хребтов, сейсмичность регистрируется в 2008 г. также в Айгулакском и Курайском хребтах с энергетическими классами на уровне  $K_p=8-9$  и ниже. Для пролонгированного афтершокового процесса в Чуйско-Курайской очаговой зоне характерным является присутствие в 2008 г. наиболее крупных ( $K_p=10-11$ ) землетрясений на окончаниях афтершоковой области и заполнение ее центральной части событиями с малыми энергиями.

Сопоставление годовой суммарной сейсмической энергии в Чуйско-Курайской зоне с таковой для всей остальной части Алтае-Саянского региона позволяет отметить, что в течение 2003–2007 гг. сейсмическая энергия афтершоковой области либо превышала, либо была незначительно ниже суммарной сейсмической энергии всего региона. Однако в 2008 г. наоборот – уровень сейсмичности региона в целом значительно превышает сейсмичность афтершоковой области Чуйского землетрясения. Доминирование в сейсмическом режиме одной активизированной области над всем регионом закончилось.

В заключение можно отметить, что сейсмический процесс в 2008 г. характеризовался значительно более высоким уровнем выделившейся сейсмической энергии, превышающим таковой в 2007 г. на три порядка. Наиболее сильные землетрясения произошли на востоке региона, где зарегистрировано Белин-Бий-Хемское землетрясения 16 августа с  $K=15.0$ ,  $M_w=5.7$  – самое сильное событие года.

В Чуйско-Курайской зоне продолжился афтершоковый процесс Чуйского землетрясения 2003 г., но впервые данная область по уровню высвобожденной сейсмической энергии не доминирует над всем Алтае-Саянским регионом.

#### Л и т е р а т у р а

1. Еманов А.Ф., Лескова Е.В., Филина А.Г., Еманов А.А., Фатеев А.В., Дураченко А.В. Стационарные сейсмические станции Алтае-Саянского региона ( $n=30$ ) в 2008 г. (код сети ASRS). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
2. Еманов А.Ф., Лескова Е.В., Еманов А.А. Стационарные сейсмические станции Алтае-Саянского региона ( $n=32$ ) в 2007 г. (код сети ASRS) // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – На CD.
3. Еманов А.Ф., Лескова Е.В., Филина А.Г., Еманов А.А., Фатеев А.В., Дураченко А.В. Алтай и Саяны // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 154–159.
4. Еманов А.Ф., Колесников Ю.И., Селезнёв В.С., Еманов А.А., Филина А.Г., Фатеев А.В., Подкорытова В.Г., Болдырев М.А., Кабанник А.В., Корабельщиков Д.Г., Лескова Е.В., Янкайтис В.В., Ярыгина М.А. Алтайский сейсмологический полигон: начальный этап становления и первые результаты // Проблемы сейсмологии III тысячелетия: Материалы Международной геофизической конференции. – Новосибирск: СО РАН, 2003. – С. 138–144.
5. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Колесников Ю.И., Фатеев А.В., Филина А.Г. Чуйское землетрясение 27 сентября 2003 г. с  $M_s=7.3$ ,  $K_p=17$  (Горный Алтай) // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 326–343.
6. Подкорытова В.Г. (отв. сост.), Лескова Е.В., Манушина О.А., Подлипская Л.А., Данциг Л.Г., Шевкунова Е.В., Шевелёва С.С., Денисенко Г.А. Каталог землетрясений ( $N=149$ ) в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения 27.09.2003 г.,  $M_S=7.3$  (Алтай) ( $M \geq 0.5$ ) // Землетрясения России в 2008 году. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 202–204.
7. Еманов А.А., Лескова Е.В., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Колесников Ю.И., Сёмин А.Ю., Рубцова А.В., Демидова А.А. Детальные сейсмологические исследования эпицентральной зоны Чуйского землетрясения 27.09.2003 г.,  $M_S=7.3$  (Алтай) и района будущего водохранилища Чибитской ГЭС // Землетрясения России в 2008 году. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 97–100.
8. Филина А.Г., Подкорытова В.Г., Лескова Е.В. (отв. сост.), Денисенко Г.А., Кузнецова Н.В., Манушина О.А., Подлипская Л.А., Шевелёва С.С., Шевкунова Е.В. (сост.) Каталог землетрясений Алтая и Саян за 2008 г. ( $N=1837$ ). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
9. Филина А.Г., Гилёва Н.А., Радзиминович Я.Б. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений ( $N=6$ ) в населенных пунктах Алтае-Саянского региона и соседних территорий в 2008 г. (Приложение к наст. сб. на CD).

10. **Еманов А.Ф., Лескова Е.В., Еманов А.А., Радзиминович Я.Б., Гилёва Н.А., Артёмова А.И.** Белин-Бий-Хемское землетрясение 16 августа 2008 г. с  $K_p=15.0$ ,  $M_w=5.7$ . (См. раздел «Сильные и ощутимые землетрясения» в наст. сб.).
11. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Колесников Ю.И., Янкайтис В.В., Филина А.Г.** Урэг-Нурское землетрясение 15.05.1970 г. с  $M_s=7.3$  (Монгольский Алтай), афтершоковый процесс и особенности современной сейсмичности эпицентральной области // Геология и геофизика. – 2012. – **53**. – № 10. – С. 1417–1429.
12. **Филина А.Г.** Землетрясения Алтая и Саян // Землетрясения в СССР в 1991 году. – М.: ОИФЗ РАН, 1997. – С. 38–39.
13. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г., Лескова Е.В., Колесников Ю.И., Рудаков А.Д.** Общее и индивидуальное в развитии афтершоковых процессов крупнейших землетрясений Алтае-Саянской горной области // Физическая мезомеханика. – 2006. – **9**. – № 1. – С. 33–43.
14. **Новиков И.С., Еманов А.А., Лескова Е.В., Баталёв В.Ю., Рыбин А.К., Баталёва Е.А.** Система новейших разрывных нарушений Юго-Восточного Алтая: данные об их морфологии и кинематике // Геология и геофизика. – 2008. – **49**. – № 11. – С. 1139–1149.