

АЛТАЙ И САЯНЫ

А.Ф. Еманов^{1,2}, А.А. Еманов^{1,3}, А.В. Фатеев^{1,3}, В.Г. Подкорытова¹, Е.В. Шевкунова¹

¹Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН», г. Новосибирск, asf@gs.sbras.ru

²Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, press@nsu.ru

³Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, ipgg@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Представлен обзор сейсмичности Алтае-Саянского региона за 2012 год. Стационарную сейсмическую сеть составляли 40 станций. В течение года по региону работало пять временных цифровых сетей, всего 68 станций. Общее число включенных в каталог землетрясений составило 7635. Суммарная сейсмическая энергия, высвобожденная в очагах землетрясений, равна $1.78 \cdot 10^{16}$ Дж. Основные черты сейсмичности в 2012 г. определили Тувинское-II землетрясение 26 февраля с $ML=6.8$ и землетрясение в Республике Алтай 30 июля с $ML=6.1$. Дана краткая характеристика сейсмичности Чуйско-Курайской зоны Горного Алтая.

Abstract. The review of Altai-Sayan region seismicity in 2012 is presented. The permanent seismic network consisted of 40 stations. During the year there were 5 temporary digital networks in the region, 68 stations in total. The total number of earthquakes included in the catalogue was 7635. The total seismic energy released from earthquake foci, is equal to $1.78 \cdot 10^{16}$ J. The main features of seismicity in 2012 determined Tuvinian-II earthquake on February 26 with $ML=6.8$ and earthquake in the Republic of Altai on July 30 with $ML=6.1$. A brief description of seismicity of the Chui-Kuray zone of the Altai Mountains is given.

Сеть стационарных станций. В 2012 г. сейсмическую сеть региона составляли 40 станций, данные о которых даны в Приложении к наст. ежегоднику на CD [1]. В 2012 г. удалось существенно увеличить количество сейсмических станций сети ASRS (добавлено восемь станций). В феврале 2012 г. в рамках создания сети сейсмологического мониторинга района Новосибирской ГЭС в Новосибирской области были открыты новые сейсмические станции «Алексеевка» (ALXA) и «Новосибирская ГЭС» (NHES). Добавлена станция «Джой» (DJO) в сеть сейсмологического мониторинга района Саяно-Шушенской ГЭС. Добавлены станции «Железногорск-2» (GZLN) и «Железногорск-3» (SHTK) в Красноярском крае. Сейсмическая станция «Горно-Алтайск» (GALT) установлена в одноименном административном центре Республики Алтай, «Кунгуртуг» (KNGR) – в Республике Тува, временная сейсмическая станция «Харино» (KHAR) – в Новосибирской области и включена в стационарную сеть (табл. 1).

Таблица 1. Основные параметры открытых в 2012 г. станций Алтае-Саянской региональной сети

Название станции	Код		Координаты			Тип АЦП	Тип сейсмометра
	межд.	рег.	φ°, N	λ°, E	$h_y, м$		
Алексеевка	ALXA	ALXA	54.930	82.587	133	CMG-3ESPCD	CMG-3ESP
Горно-Алтайск	GALT	GALT	51.959	85.946	303	Байкал-11	CM-3KB, CMG-5T
Джой	DJO	DJO	52.782	91.218	553	Байкал-11	CM-3KB
Железногорск-2	GZLN	GZLN	56.383	93.767	212	Байкал-8.1	CM-3KB, CMG-5T
Железногорск-3	SHTK	SHTK	56.333	93.605	150	Байкал-8.1	CM-3KB, CMG-5T
Кунгуртуг	KNGR	KNGR	50.604	97.517	1314	CMG-6TD	CMG-6T
Новосибирская ГЭС	NHES	NHES	54.855	82.985	121	CMG-3ESPCD	CMG-3ESP
Харино	KHAR	KHAR	54.613	83.590	130	CMG-3ESPCDE	CMG-3ESP

Помимо установки новых сейсмических станций продолжена модернизация действующих станций сети. Так, на станциях «Артыбаш» и «Быстровка» вместо короткопериодной аппаратуры были установлены широкополосные приборы CMG-3ESPCDE и CMG-3ESPCD фирмы Guralp соответственно; на станциях «Арадан», «Железногорск» и «Кызыл» в дополнение к имеющейся аппаратуре установлены датчики сильных движений CMG-5T фирмы Guralp [1].

Региональная сеть стационарных сейсмических станций [1] обеспечила в 2012 г. представительность на уровне $K_{\min}=5$ (примерно соответствует $ML=1.5$) в центральной части региона в пределах Российской Федерации, включая практически всю территорию республик Горный Алтай и Хакасия, большую часть Республики Тува и Кемеровской области, центральной и южной частей Красноярского края и восточную, наиболее населенную, часть Новосибирской области (рис. 1). В то же время, на всей территории в пределах границ ответственности составления каталога (зона 6 на рис. 1) с включением частей территории трех государств – Казахстана, Китая и Монголии – не могут быть пропущены землетрясения, начиная с восьмого энергетического класса, т.е. $K_{\min}=8$, что приблизительно соответствует $ML=3.2$ (рис. 1).

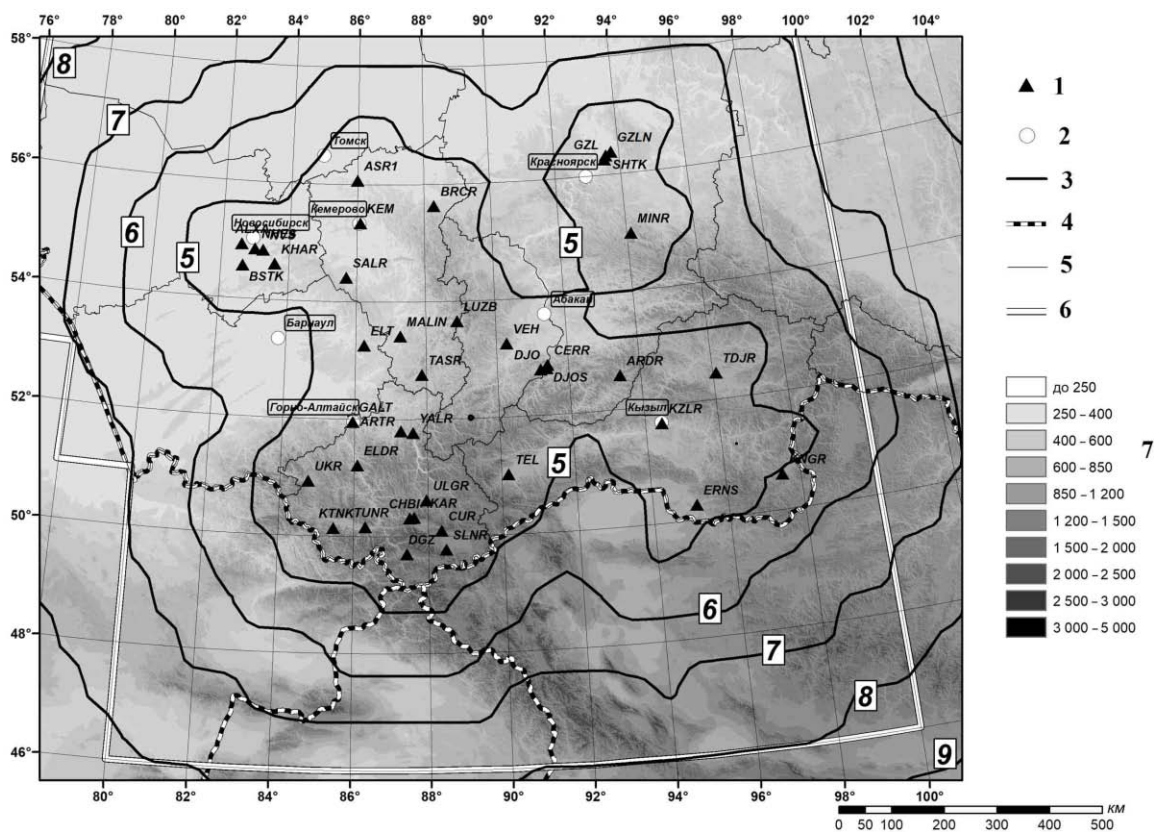


Рис. 1. Карта энергетической представительности K_{\min} Алтае-Саянской региональной сети в 2012 г.

1 – стационарная сейсмическая станция; 2 – крупные города (столицы административных субъектов РФ); 3 – изолиния K_{\min} ; 4 – государственная граница; 5 – границы административных субъектов; 6 – зона ответственности АСФ ФИЦ ЕГС РАН; 7 – высоты рельефа h_y , м.

Сети временных станций. Кроме стационарной сети в регионе действовали пять локальных временных сетей цифровых станций: две в Республике Тува, одна – в Республике Алтай, а также две сети – в Кемеровской области, в районах шахты «Распадская» и разреза «Бачатский» (рис. 2).

Первая сеть из шести временных станций [2] (№ 1 на рис. 2) была выставлена в Республике Тува на период 9 февраля – 15 марта для регистрации афтершоков первого Тувинского землетрясения с $ML=6.7$ [3], произошедшего 27 декабря 2011 г. Следует отметить, что второе Тувинское землетрясение с $ML=6.8$ [4] произошло 26 февраля 2012 г., т.е. в указанный период работы временной сети, и было ею зафиксировано.

Вторая локальная сеть (№ 2 на рис. 2) из 22 станций [5] функционировала в период с 4 августа по 20 октября 2012 г. в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая, в эпицентральной области Чуйского землетрясения 27.09.2003 г. с $K_p=17.1$, $MS=7.3$ [6]. Эта сеть располагалась внутри Алтайского сейсмологического полигона – уплотненной части станций региональной сети в пределах координат $\varphi=49.0-52.0^\circ N$, $\lambda=84.0-90.5^\circ E$. Наблюдения с сетями временных станций здесь проводятся ежегодно, начиная с 2002 г. В 2012 г. большая часть временных

станций была сконцентрирована непосредственно в Курайской впадине для регистрации слабых событий. Четыре станции были выставлены в труднодоступных районах Айгулакского хребта для детального изучения сейсмической зоны, проявившей себя в 2012 г. в связи с землетрясением 30 июля в $22^{\text{h}}30^{\text{m}}$ с $ML=6.1$, $\varphi=50.50^{\circ}\text{N}$, $\lambda=87.31^{\circ}\text{E}$ [4]. Традиционно внимание было уделено зонам основных проявлений афтершоковой активизации в предыдущие годы, а именно: границам Чуйской впадины с Южно-Чуйским хребтом и Курайской впадины с Северо-Чуйским хребтом, а также Чаган-Узунскому блоку [7].

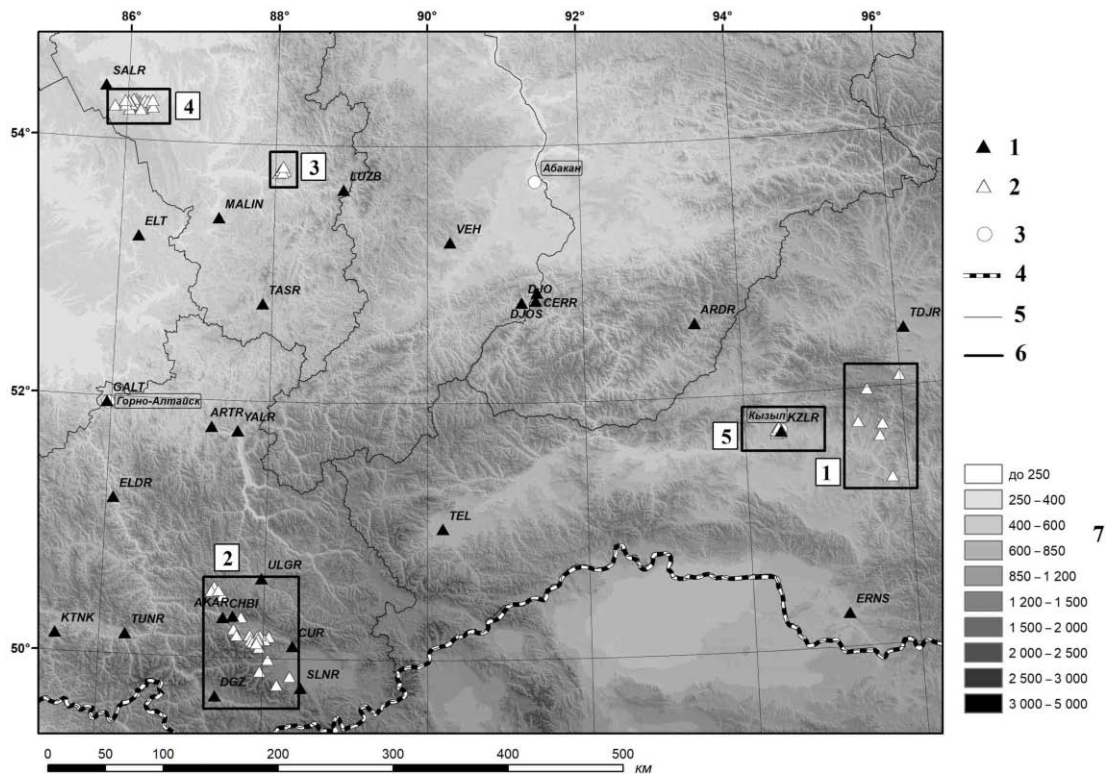


Рис. 2. Локальные сети временных станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в Алтае-Саянском регионе в 2012 г.

1 – стационарная сейсмическая станция; 2 – временная сейсмическая станция; 3 – города (столицы административных субъектов РФ); 4 – государственная граница; 5 – административные границы; 6 – места проведения работ с временными станциями (1 – в Республике Тува; 2 – в Республике Алтай; 3 – в районе шахты «Распадская», Кемеровская область; 4 – в районе разреза «Бачатский», Кемеровская область; 5 – в г. Кызыл, Республика Тува); 7 – высоты рельефа h_y , м.

Третья группа станций [8] была выставлена на ранее исследовавшемся объекте в Кемеровской области – в районе шахты «Распадская» [9] (№ 3 на рис. 2). С января по март 2012 г. шесть станций вели регистрацию техногенной сейсмичности. В целом, мониторинг сейсмичности в течение более двух лет показал, что сейсмический процесс в районе шахты устойчив во времени.

Четвертая группа из 23 станций (№ 4 на рис. 2) была выставлена в Кемеровской области в районе разреза «Бачатский» [10] для наблюдения за сейсмическим режимом и выявления природы сейсмического события 9 февраля в $13^{\text{h}}24^{\text{m}}$ с $ML=4.4$, $\varphi=54.30^{\circ}\text{N}$, $\lambda=86.15^{\circ}\text{E}$, $h=3$ км [4, 11, 12]. Период ее работы составил около двух с половиной месяцев, с 1 марта по 15 мая 2012 г.

Пятая группа из 11 станций (№ 5 на рис. 2) была выставлена в г. Кызыл в рамках работ по сейсмическому микрорайонированию городской территории и проработала с 20 ноября по 18 декабря 2012 г. [13].

Погрешность локации землетрясений (δ) для большей части региона – менее 10 км (рис. 3), при этом наибольшая точность достигается в центре Алтайского сейсмологического полигона, где она по-прежнему [14] менее 2 км. В центре же локальных сетей временных станций погрешность определения положения землетрясений достигает лишь сотен метров.

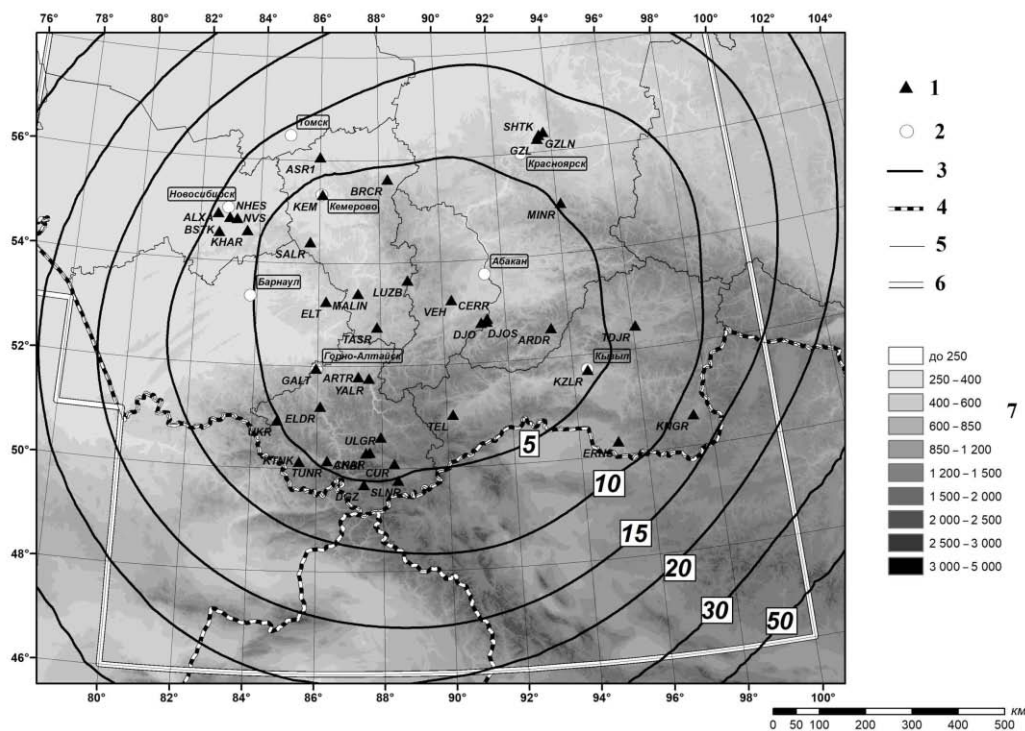


Рис. 3. Погрешность локализации эпицентров в Алтае-Саянском регионе в 2012 г. (на примере землетрясений с $K_p=9$)

1 – стационарная сейсмическая станция; 2 – города (столицы административных субъектов РФ); 3 – изолиния погрешности δ , км; 4 – государственная граница; 5 – административные границы; 6 – граница каталога АСФ ФИЦ ЕГС РАН; 7 – высоты рельефа h_y , м.

Обработка сейсмических данных. В конце 2011 г. методика обработки сейсмологических данных в РИОЦ АСФ ФИЦ ЕГС РАН полностью изменилась: произошел переход от стандартной полуручной обработки, введенной в практику в начале 2000-х годов, к более современной, полностью автоматизированной, реализованной в комплексе программ SeisComp3 [15, 16]. В 2012 г. вся обработка велась уже по новой методике.

Программа FUNSNEW, в которой реализована стандартная методика обработки региональных событий, была разработана и внедрена в практику в АСФ ФИЦ ЕГС РАН в начале 2000-х годов в совокупности с переходом от аналоговой к цифровой регистрации. Обработка ориентирована на редкую региональную сеть станций. Гипоцентральные решения рассчитываются в рамках двухслойной региональной скоростной модели, средней для Алтае-Саянского региона, с постоянными скоростями $v_p=6.1$ км/с, $v_s=3.5$ км/с в земной коре и $v_p=8.1$ км/с, $v_s=4.6$ км/с – в мантии [17], с заданной средней глубиной очагов $h=15$ км [18].

Многофункциональная система программ SeisComp3 [15, 16] позволяет определять весь основной комплекс параметров сейсмических событий как в автоматическом, так и в ручном режимах: локализация гипоцентра, оценка энергетических характеристик, построение механизмов очагов и спектров и т.д. Определение положения эпицентра рассчитывается с помощью программы LocSat [19] в рамках глобальной скоростной модели IASPEI-91 [20]. Энергия событий оценивается локальными магнитудами ML , а для более сильных событий, с $ML>3$, в публикуемом каталоге [4] добавлены другие типы магнитуд по данным мировых сетей из бюллетеней ISC [21], MOS [22], GCMT [23], такие как $MPSP_{MOS}$, m_b_{ISC} , m_b_{NEIC} – по объемным волнам, MS_{MOS} , MS_{ISC} , MS_{NEIC} – по поверхностным волнам, а также моментная магнитуда Mw_{MOS} , Mw_{GCMT} , Mw_{NEIC} – по методу Канамори [24].

Переход от FUNSNEW к SeisComp3 произошел после сильного Тувинского-I землетрясения 27 декабря 2011 г. с $ML=6.7$ в связи с резким увеличением объема исходного сейсмологического материала из-за афтершокового процесса [25] и необходимостью срочных своевременных уведомлений о сильных повторных толчках. До этого момента SeisComp3 работала на сервере организации в тестовом режиме.

Для реализации процедуры автоматической обработки сейсмологических данных в системе SeisComp3 силами АСФ ФИЦ ЕГС РАН была разработана надстройка SENSYDA, позволяющая оперировать поступающими объемами информации, структурировать ее и минимизировать потери и сбои. В рамках этого программного проекта создан единый архив для хранения в формате miniSEED, а также собственная база учета данных, система докачки и синхронизации архива в центре обработки данных (ЦОД) и удаленных архивов на станциях на основе программного обеспечения RSYNC [26].

Корреляционная зависимость $ML(K_p)$.

С переходом на новую систему обработки появилась существенная проблема: расчет энергетических параметров сейсмических событий в FUNSNEW проводился в энергетических классах K_p , а в SeisComp3 – в локальных магнитудах ML . Таким образом, для преемственности данных возникла необходимость получить корреляционную зависимость $ML(K_p)$. Зависимость (1) построена по выборке из 386 событий, для которых определены и K_p , и ML , в диапазоне энергий $3.8 \leq K_p \leq 12.5$, $0.7 \leq ML \leq 6.0$ (рис. 4):

$$K_p = 1.70 \cdot ML + 2.50. \quad (1)$$

Из рис. 4 следует, что формула (1) не может быть применима к сейсмическим событиям с $ML \geq 6.0$. Для таких событий при переходе от магнитуды к энергетическому классу использовалась известная формула корреляционной зависимости $M(K_p)$ [27]:

$$K_p = 1.8 \cdot M + 4.0. \quad (2)$$

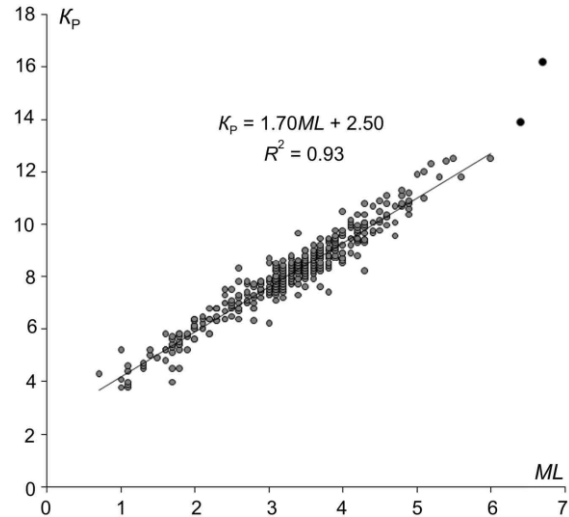


Рис. 4. Корреляционная связь между энергетическим классом K_p и локальной магнитудой ML

Каталог землетрясений, суммарная сейсмическая энергия, график повторяемости.

Общее число землетрясений, включенных в каталог [4] в 2012 г., составило $N_{\Sigma} = 7685$. Диапазон локальных магнитуд ΔML в каталоге равен $\Delta ML = 1.2 - 6.8$. Более 90% каталога составляют землетрясения, зафиксированные на востоке региона, в Республике Тува. Преимущественно это афтершоки Тувинского-1 и Тувинского-2 землетрясений.

Макросейсмические данные в 2012 г. имеются для Тувинского-II землетрясения с $ML = 6.8$, зарегистрированного 26 февраля в $06^h 17^m$ с координатами $\varphi = 51.734^\circ$, $\lambda = 95.974^\circ$. Максимальный макросейсмический эффект от него интенсивностью $I = 7 - 8$ баллов [22, 28] по шкале MSK-64 [29] наблюдался в населенном пункте Сарыг-Сеп ($\Delta = 40$ км) Республики Тува.

По данным международных агентств [21, 23] в регионе зафиксировано еще семь ощутимых землетрясений с интенсивностью макросейсмических проявлений $I = II - V$ по шкале ММ [30], произошедшие 26 февраля в $06^h 52^m$ с $ML = 4.7$, в $11^h 07^m$ с $ML = 5.5$, в $11^h 59^m$ с $ML = 6.0$, в $13^h 06^m$ с $ML = 5.1$; 14 мая в $16^h 24^m$ с $ML = 5.0$; 6 июня в $14^h 04^m$ с $ML = 6.1$; 30 июля в $22^h 30^m$ с $ML = 6.1$ [4]. Шесть из них являются афтершоками Тувинского-II землетрясения. (Прим. ред.)

В табл. 2 приведено распределение землетрясений по магнитуде ML и суммарная сейсмическая энергия. Суммарная сейсмическая энергия, высвобожденная в очагах землетрясений в 2012 г., равна $\Sigma E = 1.78 \cdot 10^{16}$ Дж. Это немного выше показателя за 2011 г., равного $\Sigma E = 1.59 \cdot 10^{16}$ Дж [31], и значительно превышает те же показатели за 2004–2010 гг. (рис. 5), после сильнейшего Чуйского землетрясения 2003 г. [6].

Таблица 2. Распределение числа землетрясений по магнитудам ML и суммарная сейсмическая энергия ΣE в регионе Алтай и Саяны в 2012 г.

ML	<2	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	N_{Σ}	$\Sigma E, Дж$
N	7	2510	3033	1347	479	198	72	26	8	4	0	1	7685	$1.78 \cdot 10^{16}$

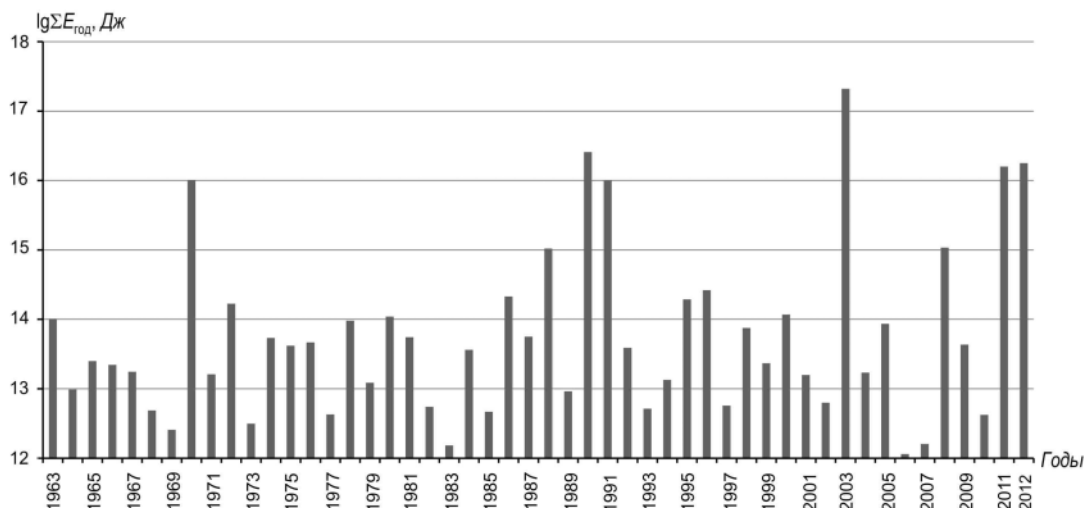


Рис. 5. Ежегодное распределение суммарной выделившейся энергии в Алтае-Саянском регионе за период 1963–2012 гг.

В целом, судя по графику суммарной годовой выделившейся энергии с 1963 г. (рис. 5), можно сказать, что 2012 г., как и 2011 г., можно считать годом повышенного уровня сейсмической активности региона.

График повторяемости землетрясений по данным табл. 2 приведен на рис. 6.

Параметры графика повторяемости, рассчитанные для его линейной части ($ML = 2.5-7$), имеют вид:

$$\lg N(ML) = 5.48 - 0.80 \cdot ML. \quad (3)$$

В 2012 г. для 10 землетрясений с использованием пакета программ [32] рассчитаны механизмы очагов [33].

Анализ сейсмичности. Карта эпицентров всех 7685 землетрясений представлена на рис. 7.

Наибольшая плотность эпицентров наблюдается на востоке региона, в Республике Тува. В первую очередь это хр. Академика Обручева, где произошли Тувинское-I (27 декабря 2011 г, $ML = 6.7$) и Тувинское-II (26 февраля 2012 г, $ML = 6.8$) землетрясения, сопровождаемые мощным афтершоковым процессом. Тувинским землетрясениям посвящена отдельная статья в настоящем ежегоднике [25]. Также по уровню сейсмической активности обращают на себя внимание Белино-Бусингольская зона и горное обрамление Дархадской котловины (рис. 7).

Основной вклад в суммарную годовую выделившуюся сейсмическую энергию в регионе в 2012 г. внесло Тувинское-II землетрясение (7) с $ML = 6.8$, зарегистрированное 26 февраля в 06^h17^m на территории Республики Тува [4] в хр. Академика Обручева в центральной части Восточно-Тувинского нагорья (7 на рис. 7). Его эпицентр находился в районе хр. Час-Тайга и приурочен к зоне Каахемского глубинного разлома [34, 35, 36]. Тувинское-II землетрясение (7) вместе с предшествующим ему Тувинским-I землетрясением 27 января 2011 г. явилось одним из наиболее примечательных событий за весь период инструментальных наблюдений в Алтае-Саянском регионе, начиная с 1963 г. Землетрясение сопровождалось большим числом афтершоков, сильнейшие из которых, как отмечено выше, имели магнитуду около $ML = 6$: 26 февраля в 11^h59^m ($ML = 6.0$) и 6 июня в 14^h04^m ($ML = 6.1$) [4].

Землетрясение ощущалось на территории региона с интенсивностью от 2-х до 7–8 баллов [28]. Для главного толчка Тувинского-II землетрясения и двух его афтершоков определены механизмы очагов (рис. 7) [33], подвижки в которых соответствуют движениям основных геологических структур района [35].

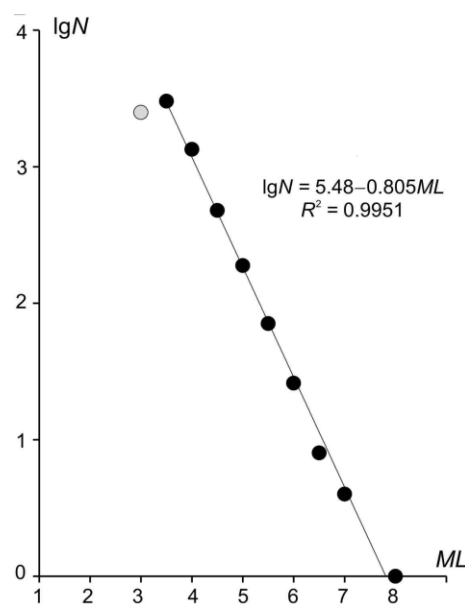


Рис. 6. График повторяемости землетрясений Алтае-Саянского региона в 2012 г.

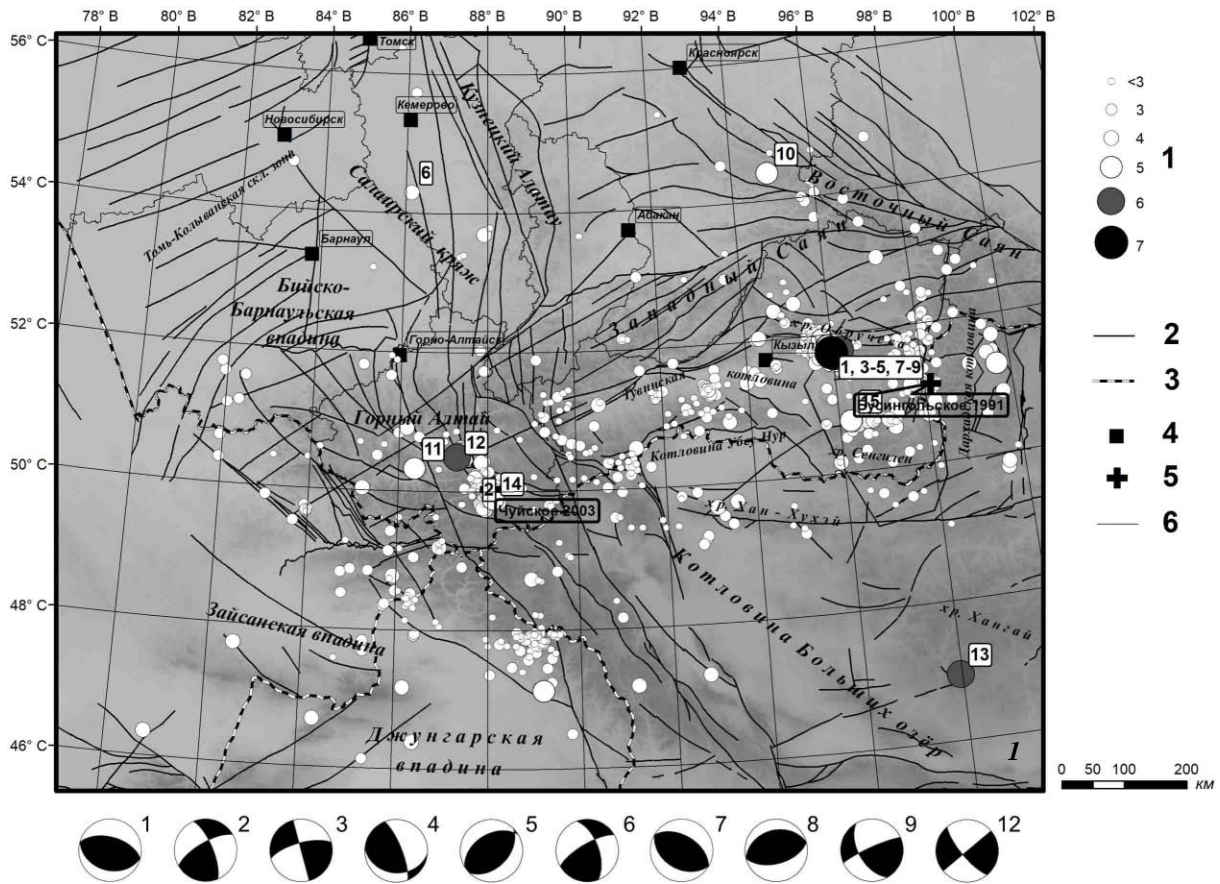


Рис. 7. Карта эпицентров землетрясений Алтае-Саянского региона в 2012 г.

1 – магнитуда M_L ; 2 – неотектонический разлом (по ГИН РАН, под ред. Ю.Г. Леонова); 3 – государственная граница; 4 – город; 5 – инструментальный эпицентр Чуйского 27.09.2003 г. с $K_p=17.1$, $M_S=7.3$ [6] и Бусингольского 27.12.1991 г. с $K_p=16.2$, $M=6.5$ [37] землетрясений; 6 – административные границы. Цифры на карте и у диаграмм механизмов очагов из [33] соответствуют номерам землетрясения в каталоге [4].

Следующее по уровню выделившейся энергии ($M_L=6.1$) в 2012 г. землетрясение (13) произошло 3 октября в 22^h23^m на территории Монголии [4], в районе хр. Хангай (рис. 7). На востоке Алтае-Саянского региона заслуживает внимания землетрясение (10), случившееся 16 апреля в 02^h18^m на северо-западном окончании хр. Восточный Саян, в 220 км на юго-восток от г. Красноярск. Его магнитуда составила $M_L=4.9$. К северу от хр. Сенгилен, в районе хр. Хорумнуг-Тайга, примыкающего к Тере-Хольской котловине, 10 ноября в 09^h24^m произошло землетрясение (15) с $M_L=4.6$. Кроме того, несколько сильных ($M_L<5$) землетрясений зафиксированы в горном обрамлении Дархадской котловины [4].

Неординарное для региона сейсмическое событие (6) произошло в Кузбассе на Бачатском угольном разрезе 9 февраля в 13^h24^m с $M_L=4.4$ (рис. 7). Специальные сейсмологические исследования этого землетрясения были проведены в районе карьера Алтае-Саянским филиалом ФИЦ ЕГС РАН [11, 12]. За период работы временной сети станций (1 марта–15 мая 2012 г.) было зафиксировано 50 землетрясений, 38 из которых – непосредственно в районе Бачатского угольного разреза [12]. Для Бачатского землетрясения 2012 г. был получен механизм очага. Механизм очага определен как сдвига-взброс, со значительной взбросовой составляющей [33].

Сейсмичность Чуйско-Курайской зоны. Во многом благодаря работе временной сети станций в летний период [5] в Республике Алтай в 2012 г. зарегистрировано 10293 землетрясения с $M_L=-1.8-6.1$ (рис. 8) [38]. В первую очередь сейсмическую активность проявила очаговая зона крупнейшего ($K_p=17.1$, $M_S=7.3$) за период инструментальных наблюдений в регионе Чуйского землетрясения 27.09.2003 г. в Горном Алтае с $\varphi=50.196^\circ N$, $\lambda=87.716^\circ E$ [6]. Крупнейшее из зафиксированных в 2012 г. в Чуйско-Курайской зоне землетрясений (14) произошло 20 октября в 22^h46^m в 11 км к юго-западу от с. Бельтир (рис. 7), его магнитуда составила $M_L=5.1$. Отдельные сейсмические события ($M_L<4$) отмечаются в Курайском и Южно-

Чуйском хребтах [4] – зонах, которые не были вовлечены непосредственно в афтершоковый процесс Чуйского землетрясения 2003 г., но демонстрирующих сейсмическую активность на протяжении всего периода инструментальных наблюдений (рис. 8).

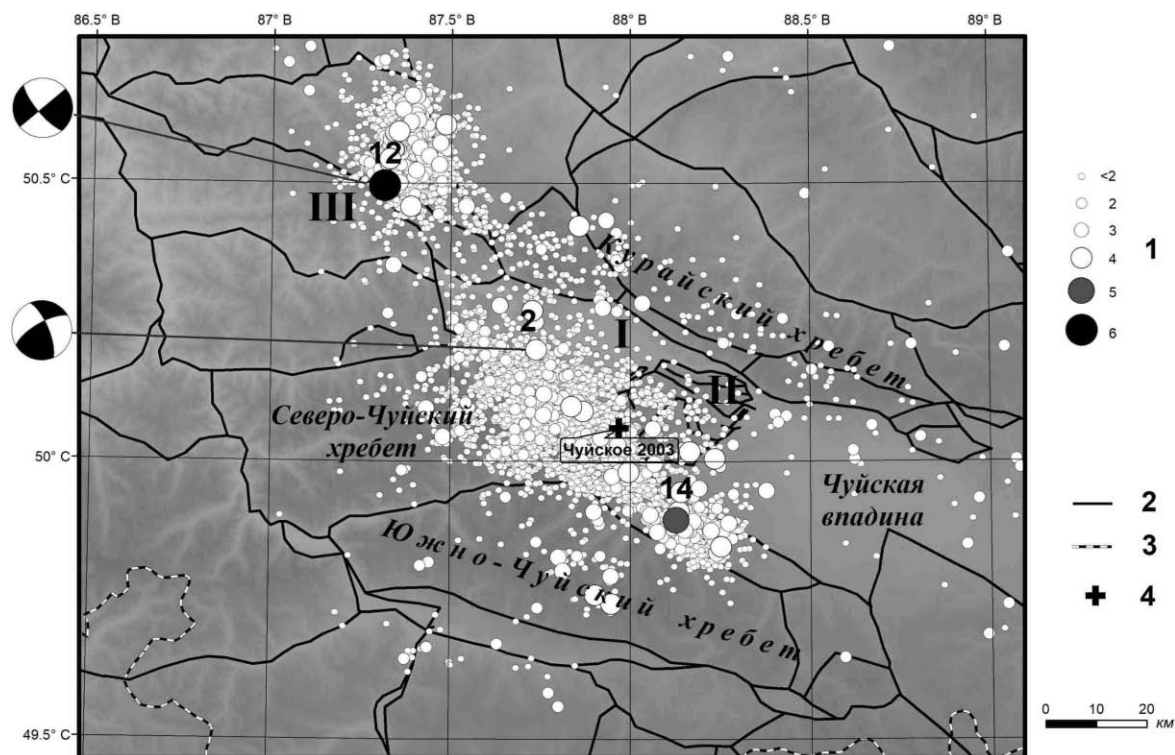


Рис. 8. Эпицентры землетрясений в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая в 2012 г.

1 – магнитуда ML ; 2 – неотектонический разлом; 3 – государственная граница; 4 – инструментальный эпицентр Чуйского землетрясения 27.09.2003 г. с $K_p=17.1$, $MS=7.3$. Цифры на карте соответствуют номерам землетрясений в каталоге [4]. Римскими цифрами на карте обозначены: I – Курайская впадина, II – Чаган-Узунский блок, III – Айгулакский хребет.

Отдельно стоит выделить резко усилившуюся активизацию в районе Айгулакского хребта. (рис. 8). В первую очередь она проявилась землетрясением (12) с $ML=6.1$, которое было зафиксировано 30 июля в 22^h30^m. Это событие стало самым мощным в Республике Алтай после Чуйского землетрясения и двух сильнейших его афтершоков ($MS=6.5$ и 6.7) 2003 г. [6]. Очаг землетрясения находился северо-западнее основной области распространения афтершоков Чуйского землетрясения, в Айгулакском хребте (рис. 8). Эта зона и ранее представляла особый научный интерес, поскольку Айгулакский хребет не был охвачен афтершоковым процессом, а начиная с 2007 г., в этой области наблюдалась ярко выраженная роевая сейсмичность. Подобная роевая сейсмичность отмечалась здесь до Чуйского землетрясения на протяжении всего периода инструментальных наблюдений и полностью исчезла непосредственно после него, вплоть до 2007 г. [7].

Сейсмическое событие сопровождалось афтершоками, самые сильные из них имели магнитуду $ML=4.1$ (8 октября в 16^h09^m) и $ML=3.69$ (23 августа в 19^h01^m). За период 30 июля – 31 декабря 2012 г. стационарной сетью Алтае-Саянского региона и станциями Алтайского сейсмологического полигона в афтершоковой области землетрясения (12) размерами приблизительно 25×25 км, которую можно условно ограничить координатами $\varphi=50.4-50.8^\circ N$, $\lambda=87.0-87.6^\circ E$, было зарегистрировано 2504 землетрясения в диапазоне магнитуд $-1.0 \leq ML \leq 4.1$ [4]. Механизм очага толчка 30 июля (12), как и при Чуйском землетрясении 2003 г., – чистый сдвиг (рис. 7) [33].

На рис. 9 представлена диаграмма суммарной годовой энергии за период 1963–2012 г., выделившейся в Чуйско-Курайской зоне (рис. 8), ограниченной координатами $\varphi=49.5-51.0^\circ N$, $\lambda=87.0-89.0^\circ E$.

Как видно, сейсмическая активность в Чуйско-Курайской зоне в 2012 г. на два порядка превысила аналогичный показатель в 2011 г. [31] и достигла уровня энергии 2004–2005 гг. Значение величины суммарной годовой сейсмической энергии землетрясений, выделившейся

в Чуйско-Курайской зоне, равно $\Sigma E = 7.6 \cdot 10^{12}$ Дж, что на четыре порядка ниже, чем по региону в целом ($\Sigma E = 1.8 \cdot 10^{16}$ Дж). Следовательно, ослабление сейсмического процесса в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения продолжается на фоне возросшей активности восточных областей региона.

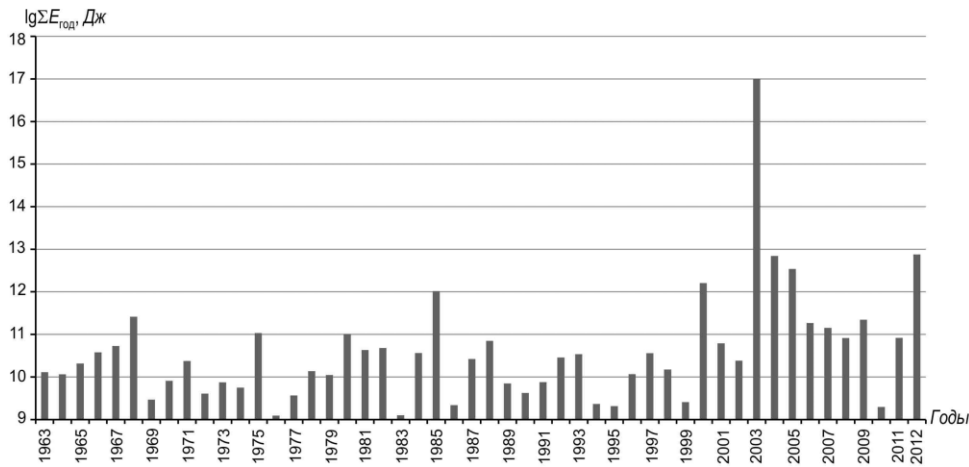


Рис. 9. Диаграмма суммарной годовой выделившейся энергии в Чуйско-Курайской зоне за период 1963–2012 гг.

Для землетрясений, зарегистрированных в Чуйско-Курайской зоне, построен график повторяемости (рис. 10).

Параметры графика повторяемости, рассчитанные для его линейной части ($ML = 1-4$), имеют вид:

$$\lg N(ML) = 3.78 - 0.74 \cdot ML \quad (4)$$

Также на территории Горного Алтая заслуживает быть отмеченным землетрясение (11) с $ML = 4.6$ (рис. 7). Оно произошло 29 июня в 22^h56^m в Усть-Коксинском районе Республики Алтай. Расположение эпицентра – Теректинский хребет, в 50 км восточнее с. Усть-Кокса и столько же южнее с. Онгудай.

В заключение можно отметить, что основные черты сейсмичности в 2012 г. в Алтае-Саянском регионе определило Тувинское-II землетрясение, произошедшее в пределах афтершоковой области Тувинского-I землетрясения и давшее новый импульс афтершоковому процессу с событиями вплоть до $ML = 6$. Таким образом, сейсмическая активность восточных областей региона не снизилась по сравнению с таковой в 2011 г.

В Чуйско-Курайской зоне сейсмическая активность возросла до уровня в 2004–2005 гг. с магнитудами землетрясений до $ML = 5$. Резко усилилась активизация в Айгулакском хребте, выразившаяся в событии с $ML = 6.0$, сопровождающемся мощным афтершоковым процессом.

В Кемеровской области в районе угледобывающего разреза «Бачатский» произошло техногенное землетрясение с $ML = 4.4$.

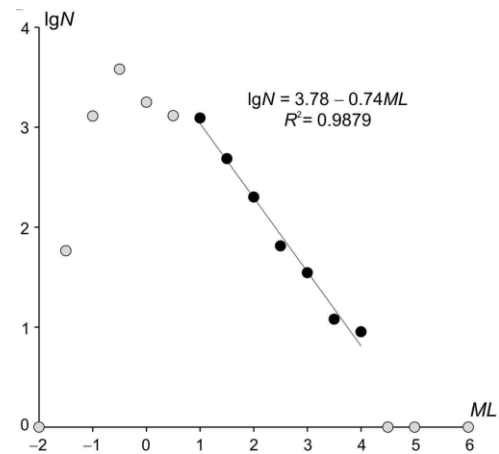


Рис. 10. График повторяемости землетрясений в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая в 2012 г.

Л и т е р а т у р а

1. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Чурашев С.А., Манушин С.Н., Корабельщиков Д.Г., Фатеев А.В. (сост.). Стационарные сейсмические станции Алтае-Саянского региона в 2012 г. (код сети ASRS) // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD-ROM.

2. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. (сост.).** Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в Республике Тува в 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
3. **Филина А.Г., Лескова Е.В. (отв. сост.), Артёмова А.И., Ворона У.Ю., Денисенко Г.А., Еманов А.А., Манушина О.А., Подкорытова В.Г., Подлипская Л.А., Шаталова А.О., Шевелёва С.С., Шевкунова Е.В. (сост.).** Каталог землетрясений Алтая и Саян за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
4. **Подкорытова В.Г., Подлипская Л.А. (отв. сост.), Артёмова А.И., Ворона У.Ю., Денисенко Г.А., Еманов А.А., Манушина О.А., Лескова Е.В., Шаталова А.О., Шевелёва С.С., Шевкунова Е.В., Кузнецова Н.В. (сост.).** Каталог землетрясений Алтая и Саян в 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
5. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В. (сост.).** Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая в 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
6. **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 $K_p=17.1$, $MS=7.3$ (Горный Алтай) // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 326–343.
7. **Еманов А.А., Лескова Е.В., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Колесников Ю.А.** Наблюдения с временными сетями: Эпицентральная область Чуйского землетрясения 27.09.2003. Наблюдения 2010–2011 гг. // Землетрясения в России в 2012 году. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 99–103.
8. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. (сост.).** Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в районе шахты "Распадская" Кемеровской области в 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
9. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В., Селезнёв В.С., Манушина О.А., Смоглюк А.С., Шевкунова Е.В.** Техногенная сейсмичность шахты «Распадская» // Землетрясения в России в 2010 году. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 90–95.
10. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. (сост.).** Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в районе разреза "Бачатский" Кемеровской области в 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
11. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Подкорытова В.Г.** Техногенная сейсмичность разрезов Кузбасса (Бачатское землетрясение 18 июня 2013 г.) // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 2. – С. 41–46. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21949110>
12. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В.** Техногенное Бачатское землетрясение 18.06.2013 г. ($M_L=6.1$) в Кузбассе – сильнейшее в мире при добыче твердых полезных ископаемых // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2016. – 43. – № 4. – С. 34–60.
13. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. (сост.).** Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в г. Кызыл, Республика Тува в 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
14. **Еманов А.Ф., Лескова Е.В., Филина А.Г., Еманов А.А., Фатеев А.В., Подкорытова В.Г., Манушина О.А., Рубцова А.В.** Алтай и Саяны // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 154–167.
15. **Weber B., Becker J., Hanka W., Heinloo A., Hoffmann M., Kraft T., Pahlke D., Reinhardt J., Thoms H.** SeisComP3 – automatic and interactive real time data processing // Geophysical Research Abstracts In EGU General Assembly (Vienna, Austria). – 2007. – 9. – P. 09219.
16. **Hanka W., Saul J., Weber B., Becker J., Harjadi P., Fauzi, GITEWS Seismology Group.** Real-time earthquake monitoring for tsunami warning in the Indian Ocean and beyond // Natural Hazards and Earth System Science/ – 2010. – 10. – P. 2611–2622.
17. **Жалковский Н.Д., Цибульчик Г.М., Цибульчик И.Д.** Годографы сейсмических волн и мощность земной коры Алтае-Саянской складчатой области по данным регистрации промышленных взрывов и местных землетрясений // Геология и геофизика – 1965. – № 1. – С. 173–179.
18. **Цибульчик И.Д.** О глубинах очагов землетрясений Алтае-Саянской области // Геология и геофизика. – 1966. – № 5. – С. 170–173.
19. **Bratt S.R., Bache T.C.** Locating events with a space network of regional arrays // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1988. – 78. – P. 780–798.

20. **Kennett B.L.N. (Ed.)**. IASPEI 1991 Seismological Tables // Research School of Earth Sciences, Australian National University. – 1991. – 167 p.
21. **International Seismological Centre**, Thatcham, Berkshire, United Kingdom, 2015 [Сайт]. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
22. **Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2012 год** [Электронный ресурс] / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2012–2013. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2012
23. **United States Geological Survey (USGS)** [Сайт]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>
24. **Hanks T.C., Kanamori H.** A Moment Magnitude Scale // J. Geophys. Res. – 1979. – **84**. – N 135. – P. 2348–2350.
25. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Подкорытова В.Г., Гилёва Н.А., Массальский О.К.** Афтершоки Тувинского-I землетрясения 27 декабря 2012 г. с $ML=6.7$ и Тувинского-II – 26 февраля 2012 г. с $ML=6.8$ (Республика Тува) // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 302–312.
26. **Еманов А.А., Корабельщиков Д.Г., Дзюбарова Ю.О., Дураченко А.В.** Развитие программно-аппаратного комплекса автоматизированного сбора, хранения и обработки сейсмологических данных сети станций Алтае-Саянского региона: ретроспектива, анализ и перспективы // 50 лет сейсмологического мониторинга Сибири: тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием (г. Новосибирск, 21–25 октября 2013 г.). – Новосибирск, 2013. – С. 41–44.
27. **Раутиан Т.Г.** Затухание сейсмических волн и энергия землетрясений // Труды Института сейсмологии и сейсмостойкого строительства АН Таджикской ССР, т. 7. – Душанбе, 1960. – С. 41–96.
28. **Подкорытова В.Г. (отв. сост.), Лескова Е.В., Филина А.Г., Подлипская Л.А. (сост.)**. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Алтае-Саянского региона в 2012г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
29. **Медведев С.В.** Международная шкала сейсмической интенсивности // Сейсмическое районирование СССР. – М.: Наука, 1968. – С. 151–162.
30. **Wood H.O. and Neumann Frank** (1931). Modified Mercalli Intensity Scale of 1931: Seismological Society of America Bulletin. – 1931. – **21**. – № 4. – P. 277–283.
31. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Филина А.Г., Фатеев А.В.** Алтай и Саяны // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017 – С. 132–143.
32. **Reasenber P.A. and Oppenheimer D.** FPFIT, FPLOT, and FPPAGE: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions // U.S. Geol. Surv. – 1985. – Open-File Rep. 85–739. – 109 p.
33. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Куприш О.В., Фатеев А.В., Левина В.И. (сост.)**. Каталог механизмов очагов землетрясений Алтае-Саянского региона за 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
34. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Подкорытова В.Г., Радзиминович Я.Б., Гилёва Н.А., Масальский О.К., Лебедев В.И.** Тувинские землетрясения 27.12.2011 г. с $M=6.6$ и 26.02.2012 г. с $M=6.7$ // Землетрясения России в 2011 году. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 88–93.
35. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Селезнев В.С., Фатеев А.В.** Тувинские землетрясения 27.12.2011 г., $ML=6.7$ и 26.02.2012 г., $ML=6.8$ и их афтершоки // Доклады РАН. – 2014. – **456**. – № 2. – С. 223–226.
36. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Подкорытова В.Г., Фатеев А.В.** Афтершоковая область Тувинских землетрясений 27.12.2011 г. с $M=6.6$ и 26.02.2012 г. с $M=6.8$ // Землетрясения России в 2012 году. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 94–98.
37. **Филина А.Г.** Землетрясения Алтая и Саян // Землетрясения в СССР в 1991 году. – М.: ОИФЗ РАН, 1997. – С. 38–39.
38. **Фонды Алтае-Саянского филиала ФИЦ ЕГС РАН.** Новосибирск, 2013. – 153 с.