

## АЛТАЙ И САЯНЫ

А.Ф. Еманов<sup>1,2</sup>, А.А. Еманов<sup>1,3</sup>, Е.В. Лескова<sup>1,3</sup>, А.Г. Филина<sup>1</sup>, А.В. Фатеев<sup>1,3</sup><sup>1</sup>Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск, [emanov@gs.nsc.ru](mailto:emanov@gs.nsc.ru)<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск<sup>3</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск

**Сеть стационарных станций.** В 2011 г. сейсмическую сеть региона составляли 32 станции, сведения о которых даны в Приложении к наст. сб. [1] на CD. В 2011 г. произошли небольшие изменения в конфигурации сети ASRS: в феврале 2011 г. в рамках создания сети сейсмологического мониторинга района Саяно-Шушенской ГЭС в Республике Хакасия была вновь открыта приостановленная 31.12.2007 г. [2, 3] сейсмическая станция «Джойская Сосновка», а станция «Анжеро-Судженск» перенесена на новое место в нескольких сотнях метров (430 м) от предыдущего [4] расположения (табл. 1).

**Таблица 1.** Параметры новой в 2011 г. станции Алтае-Саянской региональной сети «Джойская Сосновка» с 03.02.2011 г. и «Анжеро-Судженск-1» с 22.02.2011 г.

Название станции	Код		Координаты			Тип АЦП	Тип сейсмометра
	межд.	рег.	φ°, N	λ°, E	h <sub>y</sub> , м		
Джойская Сосновка	DJOS	DJOS	52.794	91.399	580	Байкал-11	СМ-3КВ
Анжеро-Судженск-1	ASR1	ASR1	56.068	85.991	262	Байкал-11	СМ-3-КВ, СМЕ-4011

В 2011 г. начато глобальное переоснащение сейсмических станций сети. Так, на станции «Акташ» вместо короткопериодной аппаратуры был установлен широкополосный прибор CMG-3ESPCD фирмы Guralp, на станции «Новосибирск», в дополнение к имеющейся аппаратуре, установлен также CMG-3ESPCD и акселерометр CMG-6T [1].

Региональная сеть стационарных сейсмических станций [1] обеспечила в 2011 г. представительство на уровне  $K_{\min}=5$  в центральной части региона в пределах Российской Федерации, включая территории Республик Горный Алтай, Хакасия и большей части Тувы, а также Кемеровской области, центральной и южной частей Красноярского края и небольшого района на юго-востоке Новосибирской области (рис. 1). В то же время, на всей территории в пределах границ ответственности составления каталога с включением частей территории трех государств – Казахстана, Китая и Монголии, не могут быть пропущены землетрясения, начиная с восьмого энергетического класса, т.е.  $K_{\min}=8$  (рис. 1).

**Сети временных станций.** Кроме стационарной сети, в регионе действовали семь локальных временных сетей цифровых станций: в Алтайском крае, Западном Саяне, Горном Алтае, а также в Новосибирской, Томской и Кемеровской областях (рис. 2).

Первая локальная сеть из 20 станций [5] функционировала в период со 2 июня по 3 сентября 2011 г. [6] в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая в эпицентральной области Чуйского землетрясения 27.09.2003 г. с  $K_p=17.1$ ,  $MS=7.3$  [7]. Сеть располагалась (№ 7 на рис. 2) внутри Алтайского сейсмологического полигона – уплотненной станциями части региональной сети в пределах координат  $\varphi=49.0-52.0^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=84.0-90.5^\circ\text{E}$ . Наблюдения с сетями временных станций здесь проводятся ежегодно, начиная с 2002 г., и являются уже традиционными. В 2011 г., подобно наблюдениям в 2010 г. [6, 8], временные станции были распределены вдоль зоны основных проявлений афтершоковой активизации в предыдущие годы: это границы Чуйской впадины с Южно-Чуйским хребтом и Курайской впадины с Северо-Чуйским хребтом, а также Чаган-Узунский блок и юго-восточное окончание Айгулакского хребта [7].

Вторая сеть из 9 временных станций [9], начавшая работу 9 сентября 2010 г., продолжала регистрацию слабых землетрясений в районе г. Камень-на-Оби Алтайского края и в 2011 г., вплоть до 5 мая 2011 г. [8, 10] (№ 4 на рис. 2).

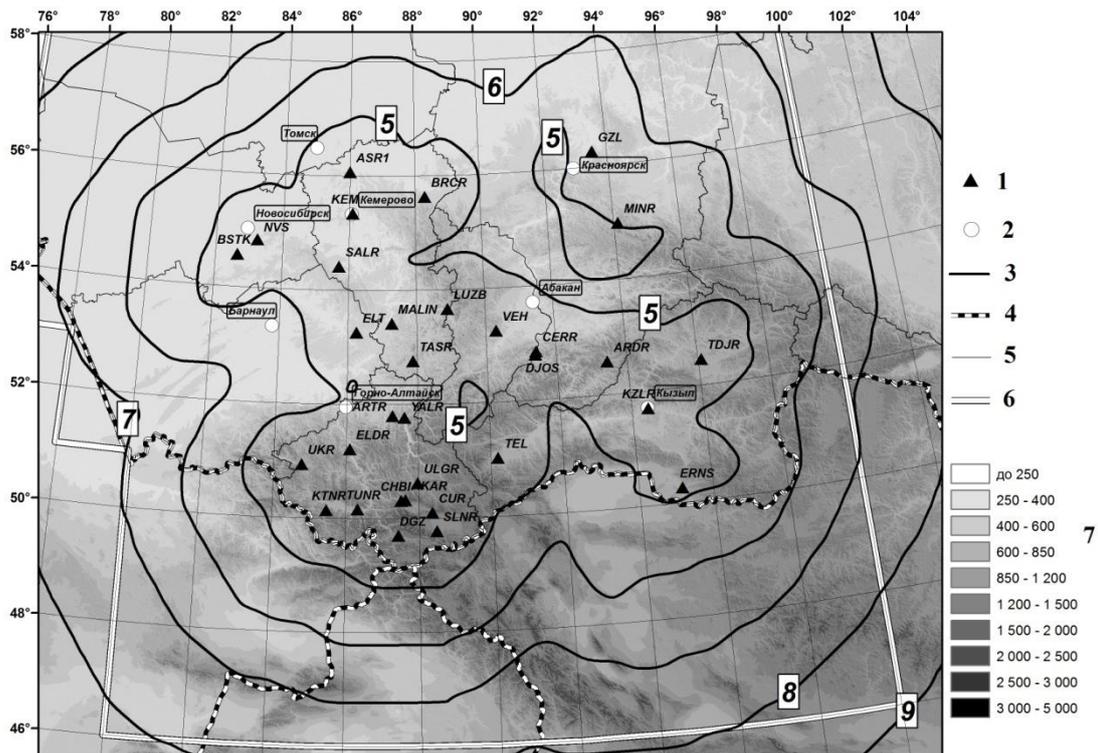


Рис. 1. Карта энергетической представительности  $K_{\min}$  Алтае-Саянской региональной сети в 2011 г.

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

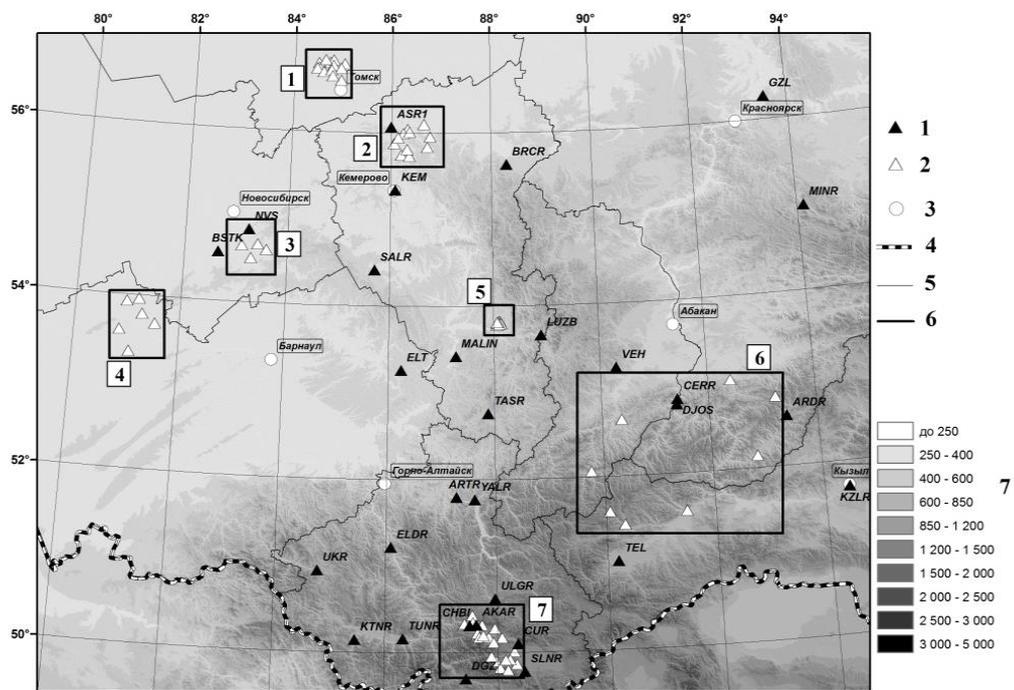


Рис. 2. Стационарная сеть и локальные сети временных станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в Алтае-Саянском регионе в 2011 г.

1 – стационарная сейсмическая станция; 2 – временная сейсмическая станция; 3 – города (столицы административных субъектов РФ); 4 – государственная граница; 5 – административные границы; 6 – область проведения работ с временными станциями (1 – в районе г. Северска Томской области, 2 – г. Анжеро-Судженска Кемеровской области, 3 – г. Новосибирска, 4 – г. Камень-на-Оби Алтайского края, 5 – шахты «Распадская» Кемеровской области, 6 – в эпицентральной области Саянского землетрясения, 7 – в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая); 7 – высоты рельефа  $h_y$ , м.

Еще одна группа станций [11] была выставлена на ранее исследовавшемся объекте в Кемеровской области – в районе шахты «Распадская» [8, 12] (№ 5 на рис. 2). В течение всего года 10 станций вели регистрацию техногенной сейсмичности. В целом мониторинг сейсмичности в течение более двух лет показал, что сейсмический процесс в районе шахты устойчив во времени.

Другие три группы станций вели практически одновременную регистрацию в Новосибирской, Томской и Кемеровской областях: на территории Томской области (в районе г. Северска) локальная сеть из 13 сейсмических станций работала с 13 сентября по 23 ноября 2011 г. [13] (№ 1 на рис. 2); в районе г. Анжеро-Судженска (Кемеровская область) сеть состояла из 11 станций, период работы – с 22 сентября по 8 декабря 2011 г. [14] (№ 2 на рис. 2); а также четыре временные станции в окрестностях г. Новосибирска – с 23 сентября по 15 ноября 2011 г. [15] (№ 3 на рис. 2).

Седьмая сеть из 8 временных станций [16] была выставлена в Западном Саяне на период 17 февраля–13 апреля для регистрации афтершоков Саянского землетрясения, произошедшего 10 февраля 2011 г. [17] (№ 6 на рис. 2).

**Погрешность локации землетрясений ( $\delta$ )** для большей части региона – менее 10 км (рис. 3), при этом наибольшая точность достигается в центре Алтайского сейсмологического полигона. В центральной части полигона погрешность  $\delta$  локации эпицентров землетрясений менее 3 км [18].

В центре локальных сетей временных станций погрешность определения положения землетрясений достигает сотен метров.

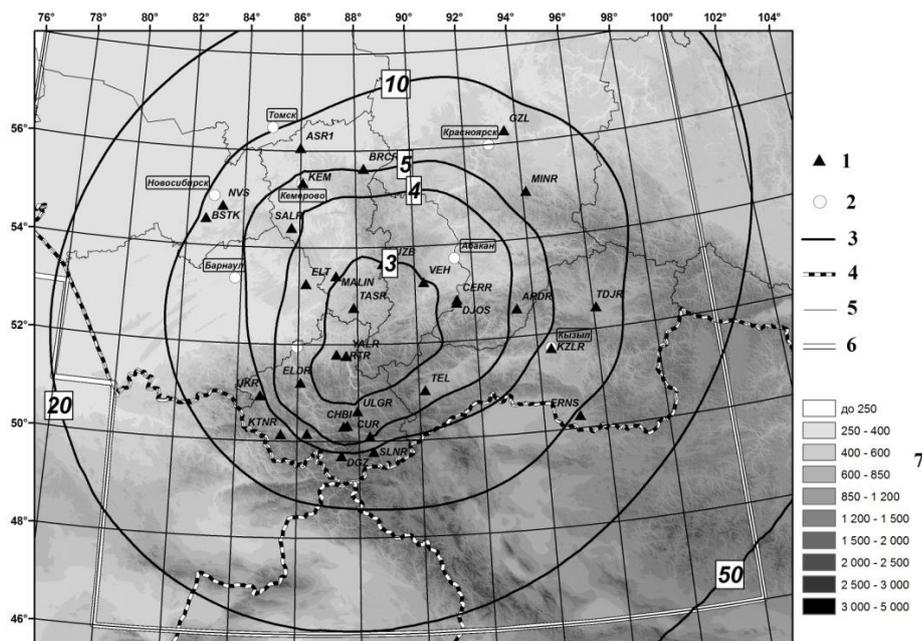


Рис. 3. Погрешность локализации эпицентров в Алтае-Саянском регионе в 2010 г. (на примере землетрясений с  $K_p=9$ )

1 – стационарная сейсмическая станция; 2 – города (столицы административных субъектов РФ); 3 – изолиния погрешности  $\delta$ , км; 4 – государственная граница; 5 – административные границы; 6 – граница каталога АСФ ГС СО 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 ручной обработки, введенной в практику в начале 2000-х годов, к более современной, полностью автоматизированной, реализованной в комплексе программ SeisComp3 [19, 20].

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 разреженную региональную сеть станций, гипоцентральные решения рассчитываются в рамках двухслойной региональной скоростной модели, средней для Алтае-

Саянского региона, с постоянными скоростями  $v_p=6.1 \text{ км/с}$ ,  $v_s=3.5 \text{ км/с}$  в земной коре и  $v_p=8.1 \text{ км/с}$ ,  $v_s=4.6 \text{ км/с}$  в мантии [21], с заданной средней глубиной очагов  $h=15 \text{ км}$  [22].

Многофункциональная система программ SeisComp3 [19, 20] 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. Положения эпицентра определяется с помощью программы LocSat [23] в рамках глобальной скоростной модели IASPEI91 [24]. Энергия событий оценивается локальными магнитудами  $ML$ , для более сильных событий ( $ML > 3$ ) по станциям региональной сети и данным мировых сетей определяются и другие типы магнитуд –  $mb$  (по объемным волнам),  $mB$  (широкополосная по объемным волнам),  $Ms$  (по поверхностным волнам) [25].

Переход от FUNSNЕW к SeisComp3 произошел после сильного Тувинского-I землетрясения 27 декабря 2011 г.,  $ML=6.7$  в связи с резким увеличением объема исходного сейсмологического материала (афтершоковый процесс) 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 данных. 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 ЦОД и удаленных архивов на станциях на основе rsync [26].

Преимущества SeisComp3 перед FUNSNЕW очевидны: возможность автоматической обработки, высокая скорость обработки, возможности оценки качества рассчитываемых параметров сейсмических событий и многое другое. Тем не менее, в 2011 г. большая часть региональных сейсмических событий обработана все еще с использованием программы FUNSNЕW. В каталоге землетрясений в данном ежегоднике [27] параметры гипоцентров, рассчитанные в FUNSNЕW, отмечены в графе «Обработка», остальные обработаны в SeisComp3.

При одновременной обработке двумя программами предпочтение отдавалось SeisComp3. Значения энергетических классов  $K_p$  получены в FUNSNЕW, локальных магнитуд  $ML$  – в SeisComp3. В графе «Обработка» также отмечены землетрясения, параметры которых рассчитаны с привлечением данных станций временных сетей [27].

#### Корреляционная зависимость $ML(K_p)$ .

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

$$K_p = 2.5 + 1.7 ML. \quad (1)$$

Учитывая известную формулу корреляционной зависимости  $MS(K_p)$  [28]:

$$K_p = 4 + 1.8 MS, \quad (2)$$

можно видеть разницу между магнитудами  $MS$  и  $ML$  примерно в одну единицу.

Необходимо отметить, что данная зависимость получена только по землетрясениям за 2011 г. Специальных исследований по оценке точности определения энергетических характеристик не проводилось, доверительные интервалы не рассчитаны. Таким образом, формула (1) в дальнейшем будет уточняться. Тем не менее, для анализа сейсмичности в данной статье применяется полученная зависимость (1).

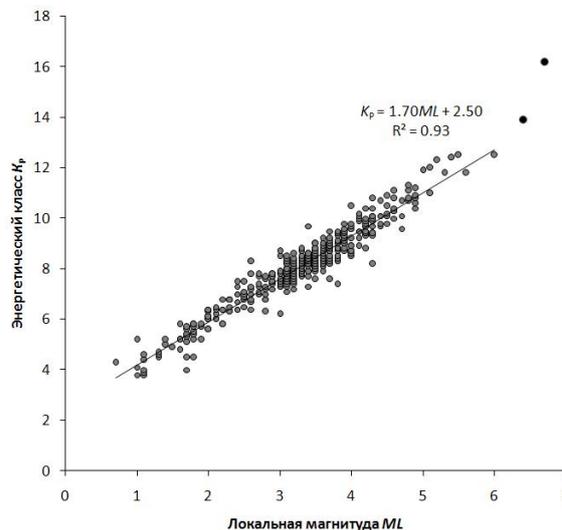


Рис. 4. Корреляционная связь между энергетическим классом  $K_p$  и локальной магнитудой  $ML$

**Каталог землетрясений, суммарная сейсмическая энергия, график повторяемости.**

Общее число землетрясений, включенных в каталог [27] в 2011 г., составило  $N_{\Sigma}=8088$ . Диапазон энергетических классов (в том числе и вычисленных по формуле (1)) в каталоге равен  $K_p=0.6-16.2$ , локальных магнитуд –  $-1.1 \leq ML \leq 6.7$ . Большую часть каталога составляют данные наблюдений временными станциями в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая ( $N=6654$ ), а также 558 афтершоков сильных землетрясений и семь «возможных землетрясений» [27].

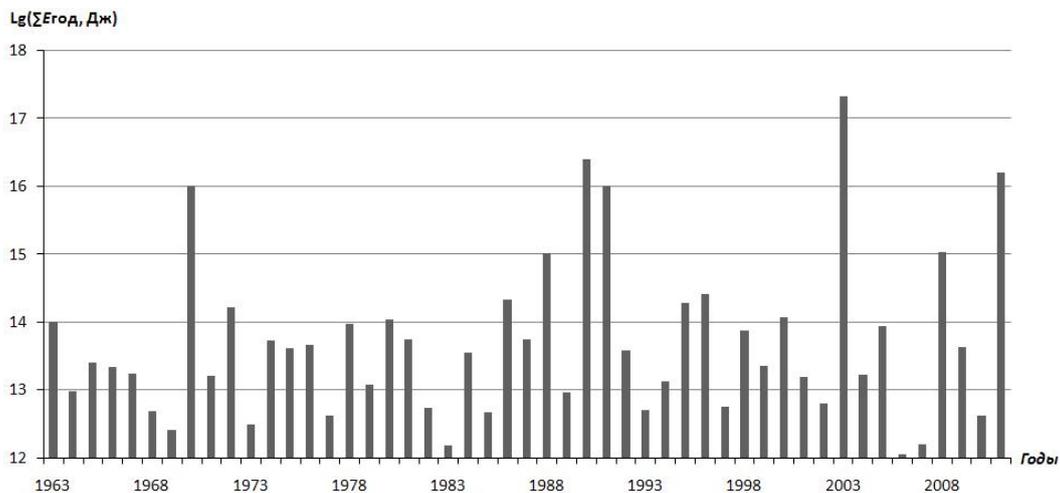
Макросейсмические данные [29] имеются в общей сложности для 10-ти землетрясений. Максимальный макросейсмический эффект в регионе наблюдался от Тувинского-I землетрясения с  $ML=6.7$ , зарегистрированного 27 декабря 15<sup>h</sup>21<sup>m</sup> с координатами  $\varphi=51.825^\circ$ ,  $\lambda=95.927^\circ$  при глубине  $h=17$  км, силой  $I=7-8$  баллов по MSK-64 в населенных пунктах Бурен-Хем, Кундустуг, Сарыг-Сеп, Суг-Бажи Республики Тува [30].

В табл. 2 приведено распределение землетрясений по энергетическим классам  $K_p$  и суммарная сейсмическая энергия как для всех зарегистрированных событий ( $N$ ), так и для каталога, очищенного от афтершоков ( $N$  без афтершоков). Суммарная сейсмическая энергия, высвобожденная в очагах землетрясений в 2011 г., равна  $\Sigma E=1.59 \cdot 10^{16}$  Дж, что значительно превышает те же показатели последних восьми лет после сильнейшего Чуйского землетрясения 2003 г. [7].

**Таблица 2.** Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_p$  и суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  в регионе Алтай и Саяны в 2011 г.

$K_p$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	$N_{\Sigma}$	$\Sigma E, Дж$
$N$	873	3143	1199	1082	380	491	485	274	94	43	15	9	1	1	8090	$1.59 \cdot 10^{16}$
$N$ без афтершоков	873	3143	1198	1072	341	347	317	155	51	22	4	7	1	1	7532	$1.59 \cdot 10^{16}$

В целом, судя по графику суммарной годовой выделившейся энергии за весь период инструментальных наблюдений с 1963 г. (рис. 5), 2011 г. можно считать годом повышенного уровня сейсмической активности региона, сравнимой только с годами, когда произошли сильнейшие землетрясения: 1970, 1990, 1991 и 2003 гг. [31].



**Рис. 5.** Диаграмма суммарной годовой выделившейся энергии в Алтае-Саянском регионе за период 1963–2011 гг.

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

Параметры графика повторяемости, рассчитанные для его линейной части ( $K_p=7-11$ ), имеют вид:

$$\lg N(K_p) = 5.85 - 0.464 K_p. \tag{3}$$

Наклон графика повторяемости землетрясений в 2011 г. составил по модулю  $\gamma=|0.46|$ , что также выше величины этого показателя в последние годы, но несколько ниже средней его величины ( $\gamma=0.49$ ) для региона.

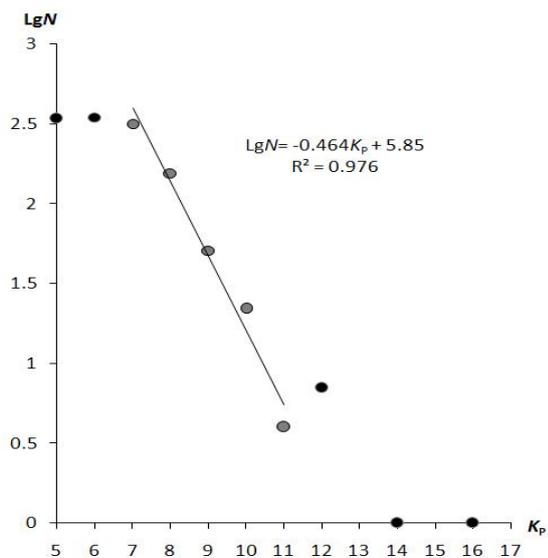


Рис. 6. График повторяемости землетрясений Алтае-Саянского региона в 2011 г.

Тайга, вдоль которого протянулся Каа-Хемский разлом [32–34]. Землетрясение получило название «Тувинское-I», поскольку спустя два месяца (26 февраля 2012 г.) в этой же области произошло сравнимое по магнитуде землетрясение с  $ML=6.8$ , получившее название «Тувинское-II». Так как оба этих землетрясения непременно должны рассматриваться вместе, специальная статья о них будет опубликована в ежегоднике «Землетрясения Северной Евразии, 2012 год».

**Анализ сейсмичности.** Карта эпицентров всех 8088 землетрясений представлена на рис. 7.

Как видим, наибольшая плотность эпицентров наблюдается на востоке региона – в Белино-Бусингольской зоне и хребте Академика Обручева, где и произошло сильнейшее землетрясение с  $K_p=16.2$  (рис. 7).

Большое количество землетрясений зарегистрировано в Чуйско-Курайской зоне (рис. 7) – в основном, это результат обработки временной сети в этой области [8].

Максимальное землетрясение с  $K_p=16.2$  ( $ML=6.7$ ), внесшее основной вклад в суммарную годовую выделяющуюся сейсмическую энергию в регионе в 2011 г., зарегистрировано 27 декабря в  $15^h21^m$  на территории Республики Тува со следующими координатами:  $\varphi=51.825^\circ N$ ,  $\lambda=95.927^\circ E$  [27], попадающими в хребет Академика Обручева в центральной части Восточно-Тувинского нагорья (№ 10 на рис. 7, рис. 8).

Его эпицентр находился в районе хребта Час-

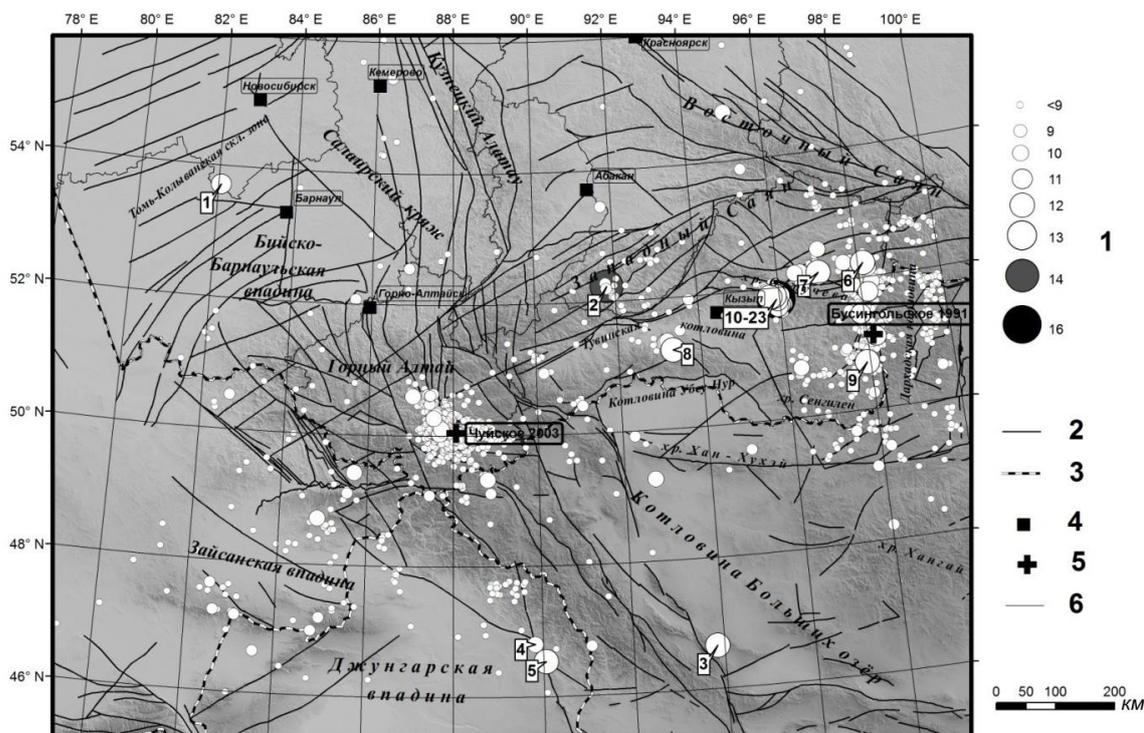


Рис. 7. Карта эпицентров землетрясений Алтае-Саянского региона в 2011 г.

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 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  $K_p=17.1$ ,  $MS=7.3$  и Бусингольского 27.12.1991 г. с  $K_p=16.2$ ,  $M=6.5$  землетрясений; 6 – административные границы; пронумерованы землетрясения с  $K_p \geq 10.6$ .

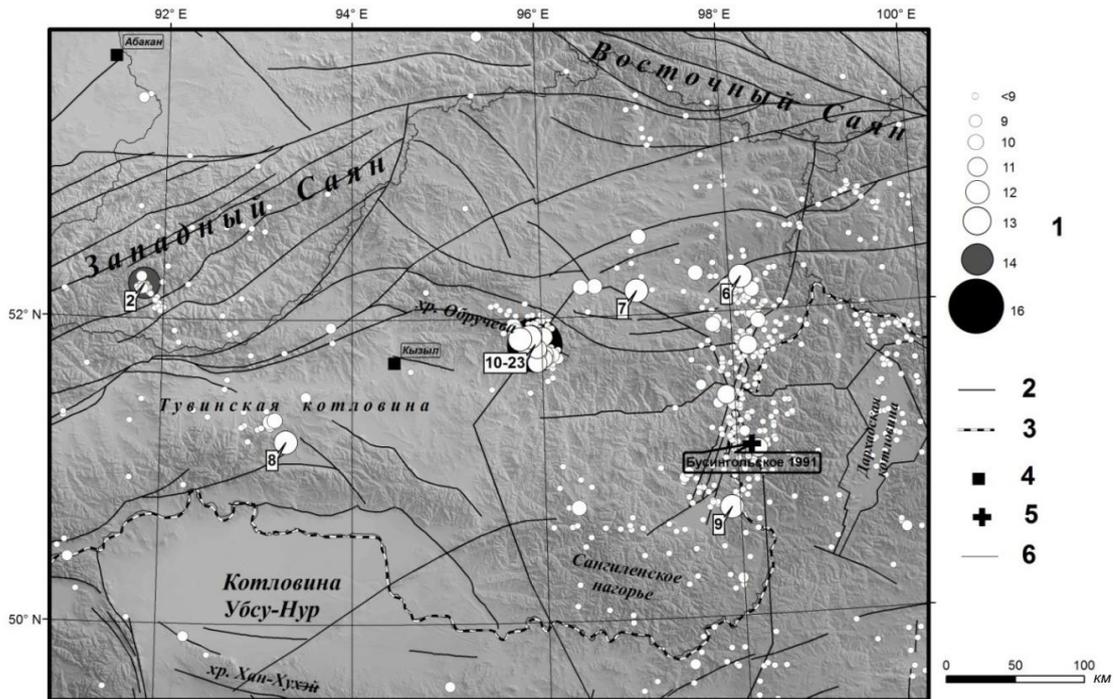


Рис. 8. Эпицентры землетрясений на востоке региона в 2011 г.

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – неотектонический разлом; 3 – государственная граница; 4 – города; 5 – инструментальный эпицентр Бусингольского землетрясения 27.12.1991 г. с  $K_p=16.2$ ,  $M=6.5$ ; 6 – административные границы РФ.

Тувинское-I землетрясение сопровождалось большим числом афтершоков, сильнейшие из которых имели энергетический класс около  $K_p=12$  [27]: 28 декабря в  $00^h40^m$  ( $K_p=11.8$ ) и в  $04^h23^m$  ( $K_p=12.3$ ). За последние пять дней уходящего 2011 г. в эпицентральной области Тувинского-I землетрясения зарегистрировано 495 афтершоков в диапазоне энергий  $5.1 \leq K_p \leq 12.3$ . Все они отмечены в каталоге ежегодника [27].

Несомненно, это одно из сильнейших землетрясений Алтае-Саянского региона за весь период наблюдений. За инструментальный период на территории Республики Тувы произошло только одно близкое по энергии (Бусингольское 27.12.1991 г. с  $K_p=16.2$ ,  $M=6.5$  [35, 36]) землетрясение, вызвавшее пульсирующую сейсмическую активизацию, продолжающуюся до настоящего времени [31].

Тувинское-I землетрясение, имеющее механизм очага – почти чистый сдвиг [37], приурочено к зоне Каа-Хемского глубинного разлома, который, имея в западной части почти субширотное простирание, в восточной части меняет ориентировку на субмеридиональную [38]. Эпицентр рассматриваемого землетрясения приурочен к участку смены простирания разлома [32].

Афтершоки Тувинского-I землетрясения сформировали линейно вытянутую зону вдоль Каа-Хемского разлома, преимущественно к югу от эпицентра, практически перпендикулярную простиранию хребта Академика Обручева. Через два месяца на южном окончании произошло Тувинское-II землетрясение, и последующий афтершоковый процесс получил развитие главным образом по двум разломам, ограничивающим блок хребта Ыдык [33, 34]. По геологическим данным этот блок выдвигается в северном направлении продолжительное время, что также отражается и в столообразном смещении русла реки Каа-Хем (Енисей) [39].

На востоке Тувы ( $\varphi=50-53^\circ N$ ,  $\lambda=97-99^\circ E$ ) (рис. 8) в 2011 г. зафиксированы еще три сейсмических события с энергетическим классом около 12: 15 августа в  $10^h02^m$  ( $K_p=12.0$ ), 30 августа ( $K_p=11.9$ ) и 5 ноября ( $K_p=12.4$ ) (№ 6, 7 и 9 в каталоге [27] и на рис. 7, 8). Землетрясения 15 августа и 5 ноября произошли на северном и южном окончаниях Белино-Бусингольской зоны рифтовых впадин соответственно, между которыми более слабые толчки расположены равномерно вдоль всей зоны. Эпицентр землетрясения 5 ноября соответствует востоку Терехольской впадины, а событие 15 августа – эпицентральной зоне Белин-Бий-Хемского землетрясения 2008 г. [40] в хребте Кут-Тайга, с северо-запада ограничивающего Белинскую впадину. Землетрясение 30 августа произошло с востока от Тоджинской впадины

и, в целом, свидетельствует о высоком общем уровне напряженного состояния северо-восточной части Тувы.

Сильное землетрясение зафиксировано в Саянском хребте в центральной части горной системы Западный Саян (№ 2 в каталоге [27] и на рис. 7, 8) 10 февраля в 05<sup>h</sup>30<sup>m</sup> с  $K_p=13.9$ ,  $ML=6.4$  координатами:  $\varphi=52.227^\circ N$ ,  $\lambda=91.794^\circ E$  [27]. Этому землетрясению, получившему название – «Саянское» [41], посвящена отдельная статья в данном ежегоднике [42].

Для Саянского землетрясения выполнено макросейсмическое обследование [29], а также проведена регистрация афтершоков временной сетью станций [16] в течение двух месяцев: с 17 февраля по 13 апреля (№ 6 на рис. 2).

Интересным фактом является еще одно относительно сильное ( $K_p=10.7$ ,  $ML=4.7$ ) землетрясение в районе г. Камень-на-Оби Алтайского края 1 января в 22<sup>h</sup>15<sup>m</sup> с координатами:  $\varphi=53.707^\circ N$ ,  $\lambda=82.064^\circ E$  [27], зарегистрированное временной сетью сейсмических станций, направленной на изучение слабой сейсмичности [9, 10]. Эпицентр землетрясения располагался в 50 км от г. Камень-на-Оби – области, известной проявлением сильных землетрясений в 1964–1965 гг. с  $M=4.8-5.5$ , которые некоторые ученые связывают с наполнением Новосибирского водохранилища [43, 44]. Для этого события наблюдалось вялое первое вступление волн как на близких станциях локальной сети, так и на далеких региональных, что не позволило с приемлемой точностью определить глубину землетрясения. Оценочное значение глубины колеблется в пределах 5–10 км [10].

В пределах очаговой зоны крупнейшего ( $K_p=17.1$ ,  $MS=7.3$ ) за период инструментальных наблюдений Чуйского землетрясения 27.09.2003 г. в Горном Алтае с  $\varphi=50.196^\circ N$ ,  $\lambda=87.716^\circ E$  [7] зарегистрировано большое количество землетрясений [27] (рис. 9), в первую очередь временной сетью [5, 6], самые сильные из которых имели энергетический класс  $K_p \geq 10$ : 4 января в 16<sup>h</sup>02<sup>m</sup> с  $K_p=9.8$ , 18 февраля в 21<sup>h</sup>07<sup>m</sup> с  $K_p=10.1$ , 19 июля в 23<sup>h</sup>55<sup>m</sup> с  $K_p=10.5$  и 5 декабря в 17<sup>h</sup>43<sup>m</sup> с  $K_p=10.3$ .

Большая часть толчков с  $K_p=9-10$  сосредоточена в Северо-Чуйском и Айгулакском хребтах (рис. 9). Отдельные события отмечаются в Курайском хребте, который не был вовлечен в афтершоковый процесс, но был сейсмически активным до Чуйского землетрясения 2003 г.

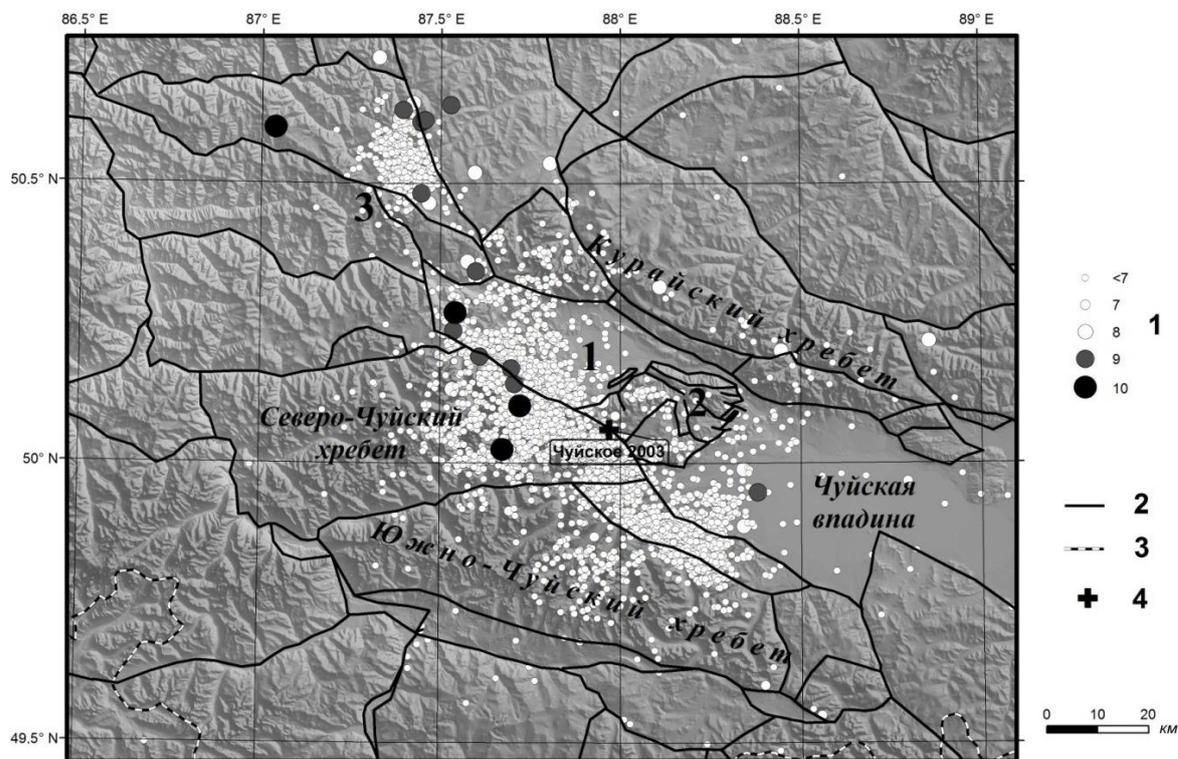


Рис. 9. Эпицентры землетрясений в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая в 2011 г.

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – неотектонический разлом; 3 – государственная граница; 4 – инструментальный эпицентр Чуйского землетрясения 27.09.2003 г. с  $K_p=17.1$ ,  $MS=7.3$ . Цифрами на карте обозначены: 1 – Курайская впадина, 2 – Чаган-Узунский блок, 3 – Айгулакский хребет.

В целом сейсмическая активность в Чуйско-Курайской зоне в 2011 г. осталась на постафтершоковом уровне 2006–2009 гг. На рис. 10 представлена диаграмма суммарной годовой энергии за период 1963–2011 гг., выделившейся в Чуйско-Курайской зоне, ограниченной координатами  $\varphi=49.5-51.0^{\circ}\text{N}$ ,  $\lambda=87.0-89.5^{\circ}\text{E}$ , за исключением района Шапшальского хребта с координатами  $\varphi=50.4-51.0^{\circ}\text{N}$ ,  $\lambda=89.0-89.5^{\circ}\text{E}$ . Из рисунка видно, что данный показатель в 2011 г., равный  $\lg(\Sigma E_{2011}) \approx 10.9$ , несколько выше среднего фонового уровня сейсмической энергии, составляющего в этой зоне  $\lg(\Sigma E_{\text{Год}}) \approx 9.7-10$ .

В то же время, значение величины суммарной годовой выделившейся сейсмической энергии землетрясений в Чуйско-Курайской зоне равна  $\Sigma E = 8.3 \cdot 10^{10}$  Дж, что на пять порядков ниже, чем по региону в целом, таким образом, ослабление сейсмического процесса в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения продолжается относительно активности восточных областей региона.

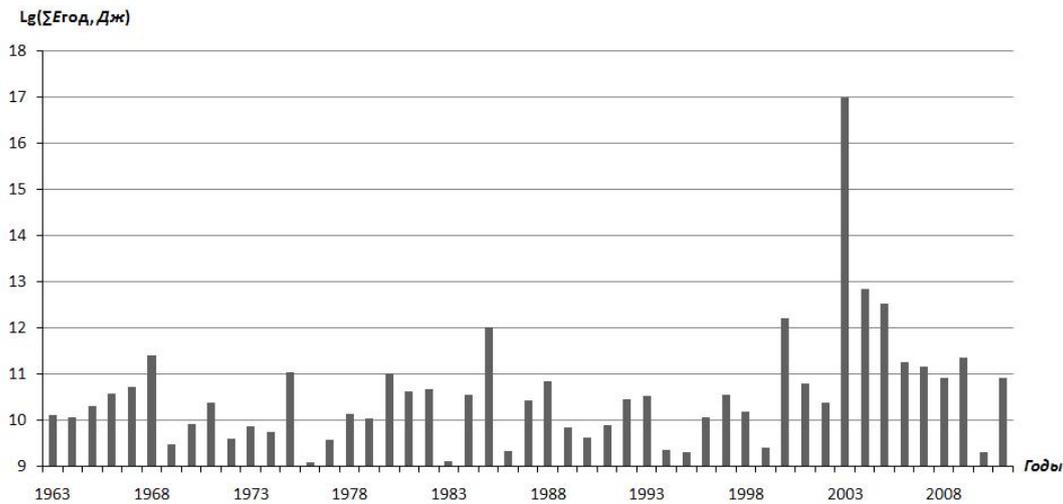


Рис. 10. Диаграмма суммарной годовой выделившейся энергии в Чуйско-Курайской зоне за период 1963–2011 гг.

Для землетрясений, зарегистрированных в Чуйско-Курайской зоне за период работы временной сети (2 июня – 3 сентября), построены графики повторяемости как в энергетических классах  $K_p$  (в том числе и рассчитанных из  $ML$  по (1)), так и в локальных магнитудах  $ML$  (рис. 11).

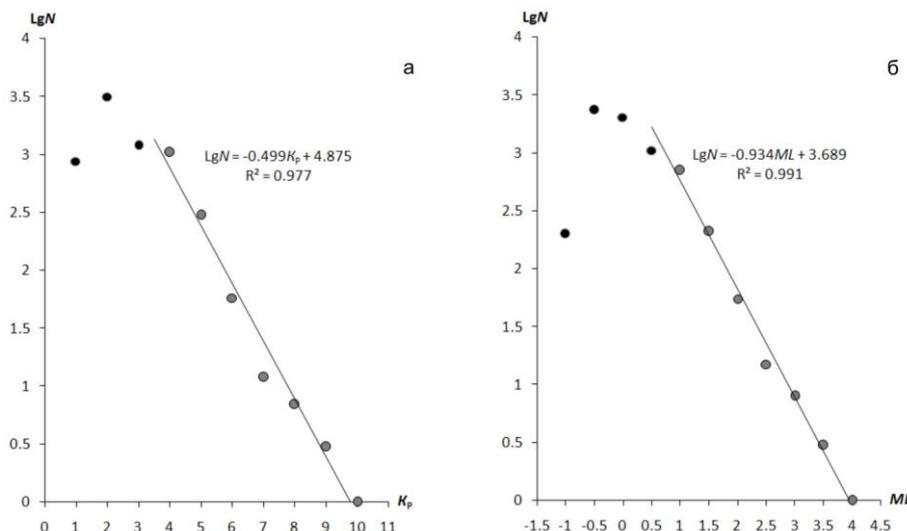


Рис. 11. Графики повторяемости землетрясений в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая в 2011 г. в энергетических классах  $K_p$  и локальных магнитудах  $ML$

Параметры графиков повторяемости, рассчитанные для их линейных частей ( $K_p=4-10$ ,  $ML=1-4$ ), имеют вид:

$$\lg N(K_p) = 4.875 - 0.499 K_p \quad (4)$$

$$\lg N(ML) = 3.689 - 0.934 ML. \quad (5)$$

Заметим, что наклон графика повторяемости землетрясений по  $K_p$  составил по модулю  $\gamma=|0.5|$ , что выше величины годового показателя для региона ( $\gamma=0.46$ ) (3) и близко к его средней величине за многолетний период наблюдений ( $\gamma=0.49$ ).

**В заключение** можно отметить, что основные черты сейсмичности в 2011 г. в Алтае-Саянском регионе определило Тувинское-I землетрясение, произошедшее в конце года и породившее большое количество относительно сильных афтершоков с  $K_p=11-12$ .

В то же время, фиксируется высокая активность структур Восточной Тувы. Сейсмически активен район Белин-Бусингольской системы рифтовых впадин и северо-восточная часть Тувы.

Одно из сильнейших землетрясений произошло в Саянском хребте горной системы Западного Саяна.

В Чуйско-Курайской зоне сейсмическая активность осталась на постафтершоковом уровне 2006–2009 гг. с максимальными толчками около  $K_p=9-10$ , сосредоточенными главным образом в Северо-Чуйском и Айгулакском хребтах. Наблюдается пространственное размывание узкой, линейной афтершоковой области с активизацией смежных с афтершоковой областью геологических структур.

#### 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. (сост.). Стационарные сейсмические станции Алтае-Саянского региона в 2011 г. (код сети ASRS) // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
2. 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.
3. 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) // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – (На CD).
4. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Корабельщиков Д.Г., Чурашев С.А. (сост.). Стационарные сейсмические станции Алтае-Саянского региона в 2010 г. (код сети ASRS) ( $n=31$ ) // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016 – (На CD).
5. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В., Корабельщиков Д.Г., Серезников Н.А., Ворона У.Ю. (сост.). Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
6. 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.
7. 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.
8. Еманов А.Ф., Лескова Е.В., Еманов А.А., Филина А.Г., Фатеев А.В. Алтай и Саяны // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 159–166.
9. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Ворона У.Ю., Полянский П.О., Серезников Н.А. (сост.). Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в районе г. Камень-на-Оби Алтайского края в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
10. Еманов А.Ф., Ворона У.И., Смоглюк А.С., Еманов А.А., Лескова Е.В. Микросейсмичность г. Камень-на-Оби, Алтайский край // Землетрясения в России в 2010 году. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 96–99.

11. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Ворона У.Ю., Серезников Н.А. (сост.).** Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в районе шахты «Распадская» Кемеровской области в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
12. **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.
13. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Ворона У.Ю. (сост.).** Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в районе г. Северск Томской области в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
14. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Серезников Н.А. (сост.).** Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в районе г. Анжеро-Судженск Кемеровской области в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
15. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Серезников Н.А. (сост.).** Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в районе г. Новосибирска в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
16. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В., Федин К.В. (сост.).** Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в эпицентральной области Саянского землетрясения (10 февраля 2011 г.,  $M_L=6.4$ ) в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
17. **Еманов А.Ф., Лескова Е.В., Еманов А.А., Подкорытова В.Г., Шевкунова Е.В., Цыбизов Л.В.** Саянское землетрясение 10.02.2011 г. с  $M=5.1$  // Землетрясения России в 2011 году. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 94–97.
18. **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.
19. **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.
20. **Hanka W., Saul J., Weber B., Becker J., Harjadi P., Fauzi, GITEWS Seismology Group.** Real-time earthquake monitoring for tsunamis warning in the Indian Ocean and beyond // Natural Hazards and Earth System Science, 2010. – 10. – P. 2611–2622.
21. **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.
22. **Цибульчик И.Д.** О глубинах очагов землетрясений Алтае-Саянской области // Геология и геофизика. – 1966. – № 5. – С. 170–173.
23. **Bratt S.R., Bache T.C.** Locating events with a space network of regional arrays // Bulletin of the Seismological Society of America, 1988. – 78. – N2. – P. 780–798.
24. **Kennett B.L.N. (Editor).** IASPEI 1991 Seismological Tables // Research School of Earth Sciences, Australian National University, 1991. – 167 p.
25. **Bormann P.** Magnitude of seismic events // New manual of seismological observatory practice (NMSOP). IASPEI / Ed. by P. Bormann. – Potsdam, Germany: GeoForschungsZentrum, 2002. – N 3. – P. 16–49.
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. **Филина А.Г., Лескова Е.В. (отв. сост.), Артёмов 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 в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
28. **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.

29. **Филина А.Г., Рубцова А.В. (отв. сост.), Подкорытова В.Г., Шевкунова Е.В., Денисенко Г.А., Левина В.И. (сост.).** Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Алтае-Саянского региона в 2011г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
30. **Филина А.Г., Пойгина С.Г. (сост.).** Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Алтае-Саянского региона за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
31. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Колесников Ю.И.** Геодинамические и техногенные процессы в сейсмичности Алтае-Саянской горной области // Современная геодинамика массива горных пород верхней части литосферы: истоки, параметры, воздействие на объекты недропользования / Под ред. Н.В. Опарина– Раздел II. – Новосибирск: СО РАН, 2008. – С. 176–266.
32. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Селезнёв В.С., Филина А.Г.** Тувинское землетрясение 27.12.2011 г.,  $ML=6.7$  и его афтершоки // Вестник Отделения наук о Земле РАН: Электрон. науч.-информ. журнал, 2012. – 4. – № NZNZ2002.
33. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Селезнёв 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.
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. **Филина А.Г. (отв. сост.), Пугачёва В.Н., Манушина О.А., Э.А., Ибрагимова Г.Г. (сост.).** Региональные каталоги: Алтай и Саяны // Землетрясения в СССР в 1991 году. – М.: ОИФЗ РАН, 1997. – С. 138–142.
36. **Филина А.Г.** Землетрясения Алтая и Саян // Землетрясения в СССР в 1991 году. – М.: ОИФЗ РАН, 1997. – С. 38–39.
37. **Лескова Е.В. (отв. сост.).** Каталог механизмов очагов землетрясений Алтае-Саянского региона за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
38. **Парфеевец А.В., Саньков В.А.** Напряженное состояние земной коры и геодинамика юго-западной части Байкальской рифтовой зоны // Новосибирск: «ГЕО», 2006. – 151 с.
39. **Аржанников С.Г.** Основные активные разломы, кинематика и сильные палеоземлетрясения восточной части Алтае-Саянской горной области // Напряженно-деформированное состояние и сейсмичность литосферы. – Новосибирск: СО РАН, Филиал «Гео», 2003. – С. 241–244.
40. **Еманов А.Ф., Лескова Е.В., Еманов А.А., Радзиминович Я.Б., Гилёва Н.А., Артёмов А.И.** Белин-Бий-Хемское землетрясение 16 августа 2008 г. с  $K_p=15.0$ ,  $M_w=5.7$ ,  $I_0=7$  (Республика Тыва) // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 378–385.
41. **Еманов А.Ф., Лескова Е.В., Еманов А.А., Подкорытова В.Г., Шевкунова Е.В., Цыбизов Л.В.** Саянское землетрясение 10.02.2011 г. с  $M=5.1$  // Землетрясения России в 2011 году. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 94–97.
42. **Еманов А.Ф., Лескова Е.В., Еманов А.А., Подкорытова В.Г., Шевкунова Е.В.** Саянское землетрясение 10 февраля 2011 г. с  $K_p=13.9$ ,  $ML=6.4$ ,  $I_0=7$  и особенности сейсмического режима Западного Саяна // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 323–331.
43. **Жалковский Н.Д., Мучная В.И.** Некоторые результаты макросейсмических исследований сильных землетрясений Алтае-Саянской области // Сейсмичность Алтае-Саянской области. – Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1975. – С. 28–41.
44. **Шебалин Н.В.** Сильные землетрясения. Избранные труды. – М.: Академия горных наук, 1997. – 542 с.