

## СЕЙСМИЧНОСТЬ АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА в 2016–2017 гг.

А.Ф. Еманов<sup>1</sup>, А.А. Еманов<sup>1,2</sup>, А.В. Фатеев<sup>1,2</sup>, Е.В. Шевкунова<sup>1</sup>, В.Г. Подкорытова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск, asf@gs.sbras.ru

<sup>2</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, ipgg@ipgg.sbras.ru

**Аннотация.** В работе рассмотрены характерные особенности сейсмичности Алтае-Саянского региона в 2016–2017 гг. Стационарная сейсмическая сеть в отчетный период состояла из 52 станций. Продолжались работы по модернизации регистрирующей аппаратуры и дооснащению станций датчиками сильных движений. Дополнительно к стационарной сети в регионе функционировали четыре локальные временные сети. Одна исследовала сейсмический процесс и накапливала данные для построения границы Мохо по методу приемных функций в Республике Алтай, три другие были ориентированы на исследование техногенной сейсмичности в районе угледобывающих предприятий Кемеровской и Новосибирской областей. В течение отчетного периода в регионе зарегистрировано 11424 землетрясения, 58 % из них произошли в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая, для которой отдельно дана краткая характеристика сейсмичности. Суммарная сейсмическая энергия, выделенная в очагах землетрясений, составила  $6.14 \cdot 10^{12}$  Дж в 2016 г. и  $2.38 \cdot 10^{13}$  Дж в 2017 году. Наклон линейной части графика повторяемости землетрясений за 2016–2017 гг. не претерпел существенных изменений по сравнению с предыдущими периодами. Крупнейшее землетрясение на территории Алтае-Саянского региона в отчетный период ( $M_L=6.39$ ) произошло 4 апреля 2017 г. в  $15^{\text{h}}07^{\text{m}}$  в Республике Казахстан, в районе Зайсанской впадины.

**Ключевые слова:** Алтае-Саянский регион, Чуйско-Курайская зона, землетрясение, сейсмическая станция, техногенная сейсмичность.

**DOI:** 10.35540/1818-6254.2022.25.11 **EDN:** SYTVMB

**Для цитирования:** Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Подкорытова В.Г. Сейсмичность Алтае-Саянского региона в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 129–136. DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.11. EDN: SYTVMB

**Введение.** Алтае-Саянский филиал (АСФ) ФИЦ ЕГС РАН проводит сейсмический мониторинг территории, лежащей в пределах координат  $\varphi=46\text{--}60^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=76\text{--}100^\circ\text{E}$ . Западный предел долготы варьирует от  $76^\circ$  до  $80^\circ$  на разных широтах; точные контуры зоны ответственности АСФ ФИЦ ЕГС РАН представлены на рис. 1. Она включает в себя полностью территории Республик Алтай, Тува и Хакасия, Алтайского края, Кемеровской области. Также в зону ответственности АСФ ФИЦ ЕГС РАН входят фрагменты территорий Иркутской, Новосибирской, Омской и Томской областей, Красноярского края, Республики Бурятия, а также фрагменты сопредельных государств: Казахстана, Китая и Монголии.

Основная сейсмичность, регистрируемая на данной территории, сосредоточена в пределах Алтае-Саянской горной области, представляющей собой систему горных хребтов и разделяющих их впадин с ячеистой структурой [1]. Кроме того, землетрясения, как природные, так и техногенные, фиксируются в прилегающих к Алтае-Саянской горной области с северо-запада структурах Западно-Сибирской платформы.

**Сеть стационарных сейсмических станций.** В 2016–2017 гг. сеть цифровых сейсмических станций Алтае-Саянского региона состояла из 52 пунктов (Прил. 1). В сравнении с сетью в 2015 г., прекратила свою работу станция «Солонешенская» (SLNR) в Республике Алтай. В феврале 2016 г. в рамках развития сети в Кемеровской области при поддержке местного угледобывающего предприятия открыта новая станция «Котино» (KOTO) в 50 км к северу от г. Новокузнецка.

В рамках модернизации оборудования в 2016–2017 гг. произведена замена регистраторов на более современные на станциях «Джазатор» (DGZ), «Еланда» (ELDR), «Яйло» (YALR). Установлены датчики сильных движений Guralp CMG-5T на станциях «Быстровка» (BSTK), «Еланда» и «Яйло». Кроме того, на 15 станциях сети произведена корректировка уровней чувствительности велосиметров и акселерометров (Прил. 1).

На рис. 1 представлена карта изолиний энергетической представительности регистрации землетрясений Алтае-Саянской региональной сетью стационарных сейсмических станций

в 2016–2017 гг. (Прил. 1). По сравнению с 2015 г. уровень представительности не претерпел существенных изменений. В центральной части региона в пределах Российской Федерации обеспечивалась представительность на уровне  $ML_{\min}=1.5$ . В эту зону входят практически полностью Кемеровская область, Республика Алтай, Республика Хакасия, а также большая часть Республики Тува, центральная и южная части Красноярского края и восточная, наиболее населенная, часть Новосибирской области. Территории с повышенным количеством сейсмостанций (юго-восток Новосибирской области, центральная и южная части Кузбасса, более половины территории Республики Алтай и ряд других) характеризуются энергетической представительностью на уровне  $ML_{\min}=1$ . В то же время на всей территории в пределах границ зоны ответственности составления каталога, включающей части территорий Казахстана, Китая и Монголии, не могут быть пропущены землетрясения с  $ML_{\min}=3.5$  и выше (рис. 1).

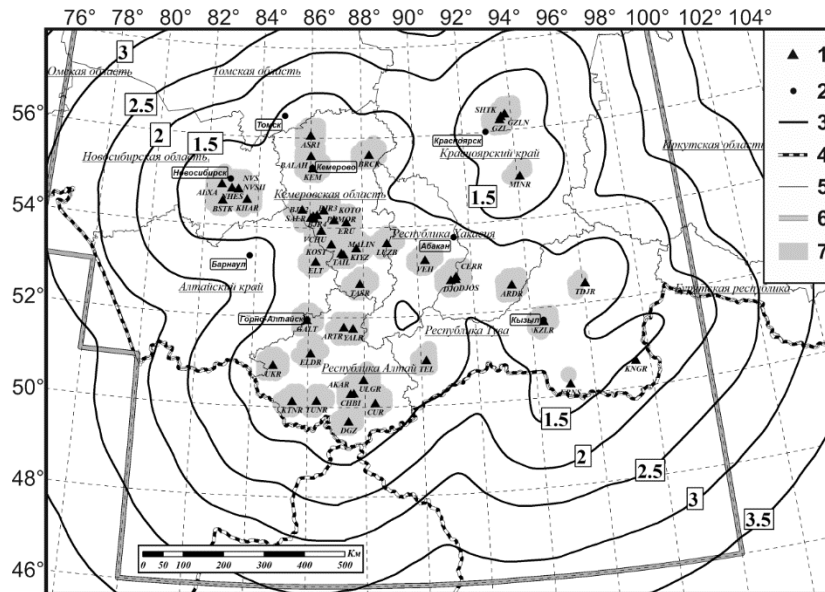


Рис. 1. Карта изолиний энергетической представительности  $ML_{\min}$  регистрации землетрясений Алтае-Саянской региональной сетью станций в 2016–2017 гг.

1 – стационарная сейсмическая станция; 2 – крупные города (столицы административных субъектов РФ); 3 – изолиния  $ML_{\min}$ ; 4 – государственная граница; 5 – границы административных субъектов; 6 – зона ответственности АСФ ФИЦ ЕГС РАН; 7 – участки с энергетической представительностью  $ML_{\min}=1$ .

**Сети временных сейсмических станций.** В 2016–2017 гг. в Алтае-Саянском регионе функционировали четыре локальные временные сети. Три из них были выставлены для наблюдения за техногенными сейсмическими активизациями, приуроченными к разработкам твердых полезных ископаемых: в Кемеровской области в районе угледобывающих разрезов «Бачатский» и «Калтанский» и в Новосибирской области в районе угледобывающего разреза «Колыванский». Были продолжены наблюдения в Чуйско-Курайской зоне Республики Алтай. Кроме того, в рамках продолжения экспериментальных работ по выделению обменных волн землетрясений от глубинных границ подошвы земной коры методом функции приемника [2] выставлялся профиль из широкополосных сейсмических станций (рис. 2).

Локальная сеть в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая, в эпицентральной области Чуйского землетрясения 27 сентября 2003 г. в  $11^{\text{h}}33^{\text{m}}$  с  $K_p=17.1$ ,  $M_s=7.3$  [3] и прилегающих районах (Прил. 2) в 2016 г. состояла из восьми короткопериодных станций и трех станций широкополосного профиля и функционировала в период с 16 августа по 12 октября. С небольшими конфигурационными и количественными изменениями (девять короткопериодных станций и три станции широкополосного профиля) эта локальная сеть действовала и в 2017 году. Период работы длился с 27 июня по 22 августа. Район работ сети (№ 1 на рис. 2) расположен внутри Алтайского сейсмологического полигона – уплотненной части станций региональной сети в пределах координат:  $\varphi=49.0\text{--}51.0^{\circ}\text{N}$ ,  $\lambda=87.0\text{--}89.0^{\circ}\text{E}$ . Наблюдения сетями временных станций здесь проводятся ежегодно, начиная с 2002 года. Станции сети расположены в районе Айгулакского, Курайского, Южно-Чуйского и Северо-Чуйского хребтов, Чаган-Узунского блока. Еще одна станция вынесена к востоку от Чуйско-Курайской зоны, в район хребта Чихачева (рис. 2).

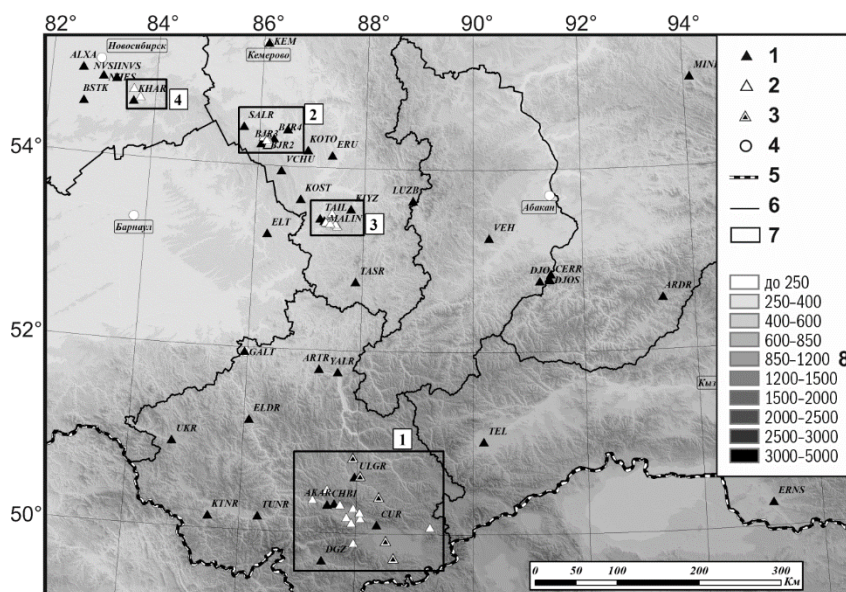


Рис. 2. Локальные сети временных станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в Алтае-Саянском регионе в 2016–2017 гг.

1 – стационарная сейсмическая станция; 2 – временная сейсмическая станция; 3 – станция широкополосного профиля; 4 – города (столицы административных субъектов РФ); 5 – государственная граница; 6 – административные границы; 7 – места проведения работ с временными станциями (1 – в Республике Алтай; 2 – в районе разреза «Бачатский», Кемеровская область; 3 – в районе разреза «Калтанский», Кемеровская область; 4 – в районе разреза «Колыванский», Новосибирская область); 8 – высоты рельефа  $h_y$ , м.

В дополнение к сети в Чуйско-Курайской зоне продолжены начатые в 2015 г. экспериментальные работы с широкополосными временными сейсмическими станциями, оснащенными регистраторами Байкал-8.1 и сейсмографами Guralp CMG-6T (Прил. 2). Восстановлены фрагменты южной части профиля, по три станции в 2016 и 2017 гг. Также привлекались данные со стационарных станций, оборудованных широкополосной аппаратурой – Ельцовка (ELT), Артыбаш (ARTR) и Чаган-Узун (CUR) (Прил. 1). В результате пополнен ряд данных обменных волн крупных удаленных землетрясений.

Продолжила свою работу сеть временных станций в Кемеровской области в районе разреза «Бачатский» (Прил. 3). Целью работы являлось исследование сейсмической активизации, сопутствующей Бачатскому землетрясению 18 июня 2013 г. в  $23^{\text{h}}02^{\text{m}}$  с  $ML=6.1$ , которое является крупнейшим в мире техногенным землетрясением при добыче твердых полезных ископаемых [4]. В течение 2016–2017 гг. она состояла из четырех комплексов регистрации, менявших свою дислокацию в зависимости от времени года (№ 2 на рис. 2).

В октябре 2016 г. региональная сеть АСФ ФИЦ ЕГС РАН начала фиксировать сейсмическую активизацию в южной части Кемеровской области, характеризующуюся землетрясениями с  $2.5 \leq ML \leq 4$  в районе Калтанского угледобывающего разреза [5]. Для повышения представительности регистрации в районе активизации и исследования процесса на уровне малых энергий была выставлена временная сеть (№ 3 на рис. 2). Она функционировала с 30 ноября 2016 г. и далее в течение всего 2017 г., автономные комплексы состояли из регистраторов Байкал АС-75 и сейсмометров СК-1П. Количество пунктов регистрации менялось в течение 2016–2017 гг. от пяти до восьми (Прил. 4).

Четвертая временная сеть (№ 4 на рис. 2) была выставлена в Новосибирской области, в районе угледобывающего разреза «Колыванский», ведущего разработку Горловского угольного бассейна. Начиная с 2013 г. в этом районе региональной сетью фиксировались землетрясения с  $1 \leq ML \leq 3$  [6]. В непосредственной близости от разработок, в 7 км к югу от разреза «Колыванский», расположена стационарная сейсмическая станция «Харино» (KHAR) (Прил. 1). Дополнительно 27 сентября 2017 г. были выставлены две временные сейсмические станции (Прил. 5), в 8 км к северо-западу и в 8 км к востоку от разреза, что позволило на качественно новом уровне проводить мониторинг техногенной сейсмичности, возникшей при добыче твердых полезных ископаемых. По состоянию на 2021 г. обе эти станции продолжают функционировать. Пункты наблюдения снабжены устройствами, позволяющими прямую передачу данных непосредственно в центр обработки. Комплексы состоят из регистраторов Байкал АС-75 и сейсмометров Geospace SeisMonitor с собственной частотой 1 Гц.

**Методика обработки сейсмологических данных**, получаемых сетями сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН, изложена в [7]. При составлении обзора за отчетный период была обнаружена и исправлена неточность в определении суммарной сейсмической энергии; подверглись корректировке значения энергии за 2012 и 2013 гг. Суть изменений заключается в распространении корреляционной зависимости, изложенной в [7], на весь энергетический диапазон зарегистрированных землетрясений.

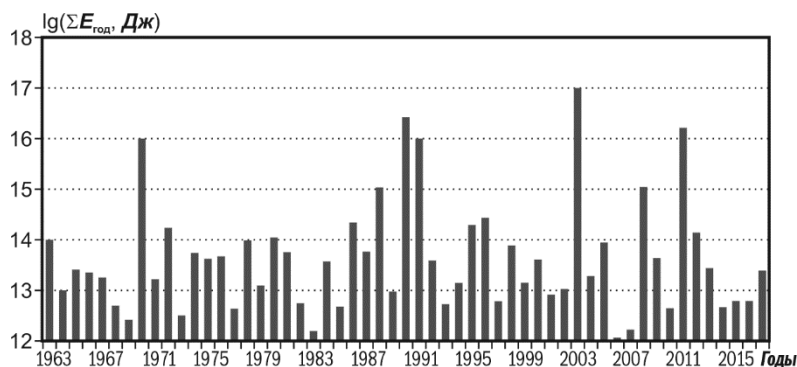
**Каталог землетрясений.** Общее число землетрясений, включенных в каталог (Прил. 6) в 2016–2017 гг., составило  $N_{\Sigma}=11424$ . Из них в 2016 г. зафиксировано 5241, а в 2017 г. – 6183 землетрясения. Диапазон локальных магнитуд в каталоге составил  $1.31 \leq ML \leq 6.39$ .

Макросейсмических обследований в Алтае-Саянском регионе в 2016–2017 гг. не проводилось. По данным Сейсмологического бюллетеня и бюллетеня USGS (Прил. 8), в 2016–2017 гг. интенсивность макросейсмических проявлений достигала  $I=5-6$  баллов по шкале MSK-64 [8]. Данная интенсивность зафиксирована в г. Зайсане Республики Казахстан (Прил. 8) и вызвана землетрясением 4 апреля 2017 г. в  $15^{\text{h}}07^{\text{m}}$  с  $ML=6.39$  в районе Зайсанской впадины (Прил. 1, землетрясение № 26).

В табл. 1 для 2016 и 2017 гг. приведены распределение землетрясений по магнитуде  $ML$  и суммарная выделившаяся сейсмическая энергия. В сравнении со средним значением по Алтае-Саянскому региону за период с 1963 г., которое составляет порядка  $\Sigma E=3.4 \cdot 10^{15}$  Дж, следует отметить, что в 2016 г. значение суммарной энергии ( $\Sigma E=6.14 \cdot 10^{12}$  Дж) оставалось пониженным, приблизительно на том же уровне, что и в 2014–2015 гг. (рис. 3). В то же время в 2017 г., в основном за счет упомянутого в предыдущем абзаце землетрясения в районе Зайсанской впадины (Прил. 1, землетрясение № 26), суммарная сейсмическая энергия ( $\Sigma E=2.38 \cdot 10^{13}$  Дж) увеличилась.

**Таблица 1.** Распределение числа землетрясений по магнитудам  $ML$  и суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  в Алтае-Саянском регионе в 2016 и 2017 гг.

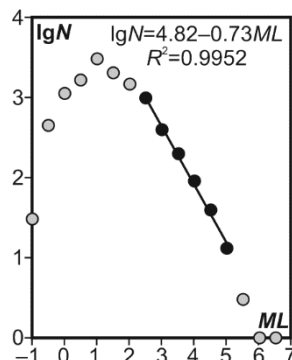
$ML$	-1.5	-1	-0.5	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	$N_{\Sigma}$	$\Sigma E, \text{ Дж}$
2016 г.	2	27	253	502	578	1295	902	726	508	237	123	53	22	9	3	1	–	5241	$6.14 \cdot 10^{12}$
2017 г.	–	3	191	612	1065	1716	1105	731	473	154	74	37	17	4	–	–	1	6183	$2.38 \cdot 10^{13}$



**Рис. 3.** Ежегодное выделение суммарной сейсмической энергии в Алтае-Саянском регионе за период 1963–2017 гг.

График повторяемости землетрясений по данным табл. 1 за 2016–2017 гг. приведен на рис. 4. Его линейная часть ( $ML=2.5-5$ ) аппроксимирована уравнением:

$$\lg N = 4.82 - 0.73 \cdot ML. \tag{1}$$



**Рис. 4.** График повторяемости землетрясений Алтае-Саянского региона в 2016–2017 гг.

При общем уровне роста графика в связи с переходом на двухлетний период вместо годового, наклон его линейной части (0.73) по сравнению с 2015 г. (0.74) практически не изменился.

**Механизмы очагов.** В 2016–2017 гг. для двух землетрясений с использованием пакета программ [9] рассчитаны механизмы очагов (Прил. 7, рис. 5, 6).

**Анализ сейсмичности.** Карта эпицентров всех 11424 землетрясений представлена на рис. 5. В Алтае-Саянском регионе главные сейс-



моактивные зоны расположены в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая, а также в Республике Тува: юго-западное обрамление Тувинской котловины, хр. ак. Обручева, районе Бусийнгольской впадины (рис. 5). В целом наблюдается постепенное прекращение доминирования Чуйско-Курайской зоны Горного Алтая в общей сейсмичности региона, возникшее после Чуйского землетрясения 2003 г. [3]. Соответственно, продолжается рост сейсмической активности ряда структур Алтае-Саянского региона, расположенных на удалениях в сотни километров от эпицентральной зоны Чуйского землетрясения.

Самое сильное землетрясение в регионе (26 на рис. 5) с  $ML=6.39$  произошло 4 апреля 2017 г. в 15<sup>h</sup>07<sup>m</sup> в Казахстане, в районе Зайсанской впадины. Кроме того, на востоке Казахстана случилось еще одно мощное ( $ML=5.67$ ) землетрясение (5 на рис. 5). Землетрясения с  $ML \geq 5.5$  в 2016–2017 гг. происходили также в Республике Тыва в районе хр. ак. Обручева, в эпицентральной зоне Тувинских землетрясений 2011 и 2012 гг. (10,  $ML=5.54$ ) и в Котловине Больших озер на территории Монголии (15,  $ML=5.77$ ).

Шесть землетрясений с  $ML \geq 4.5$  произошли в районе Бусийнгольской впадины, в эпицентральной зоне Бусийнгольского землетрясения 27 декабря 1991 г.,  $M=6.5$  (2, 3, 14, 22, 30, 32 на рис. 5). В Томь-Колыванской складчатой зоне, в 100 км к северо-западу от г. Барнаула и в 80 км к юго-востоку от г. Камня-на-Оби 12 марта 2017 г. произошло землетрясение с  $ML=4.57$  (23). Землетрясение с  $ML=4.68$  (11) в северной части Кузнецкого Алатау, в 150 км к востоку от г. Кемерово, произошедшее 3 июля 2016 г., стало одним из сильнейших землетрясений Кузбасса за всю историю наблюдений.

Наряду с этими землетрясениями, имеющими очевидно естественную природу своего происхождения, в горнодобывающих районах Кемеровской и Новосибирской областей регистрировалась техногенная сейсмичность. В эпицентральной зоне Бачатского землетрясения 18 июня 2013 г. в 23<sup>h</sup>02<sup>m</sup> с  $ML=6.1$  [4] в 2016–2017 гг. помимо сейсмичности малых энергий зафиксировано пять землетрясений в диапазоне магнитуд  $2.5 \leq ML \leq 3$ . В районе разреза «Краснобродский», расположенного в 15 км к юго-востоку от разреза «Бачатский», 9 ноября 2016 г. произошло землетрясение с  $ML=3.82$  (диаграмму механизма очага см. на рис. 5).

С октября 2016 г. на юге Кемеровской области фиксируется техногенная сейсмическая активизация, возникшая в районе добычи угля совместно открытым (разрез «Калтанский») и подземным (шахта «Алардинская») способами [5]. Сейсмичность при разрезе характеризуется событиями в диапазоне магнитуд  $2.5 \leq ML \leq 4$ . Эпицентры землетрясений приурочены главным образом к отвалам горной породы, к зоне наибольшего градиента вертикальных напряжений. Сейсмичность, пространственно приуроченная к шахте «Алардинская», имеет значительно меньшие энергетические характеристики, как правило  $0 \leq ML \leq 1.5$ , редко  $ML=2$ . Глубины гипоцентров в районе шахты не превышают 3 км, в районе отвалов как правило значение в 3 км тоже является максимальным, лишь единичные события фиксировались на глубинах до 5 км [5].

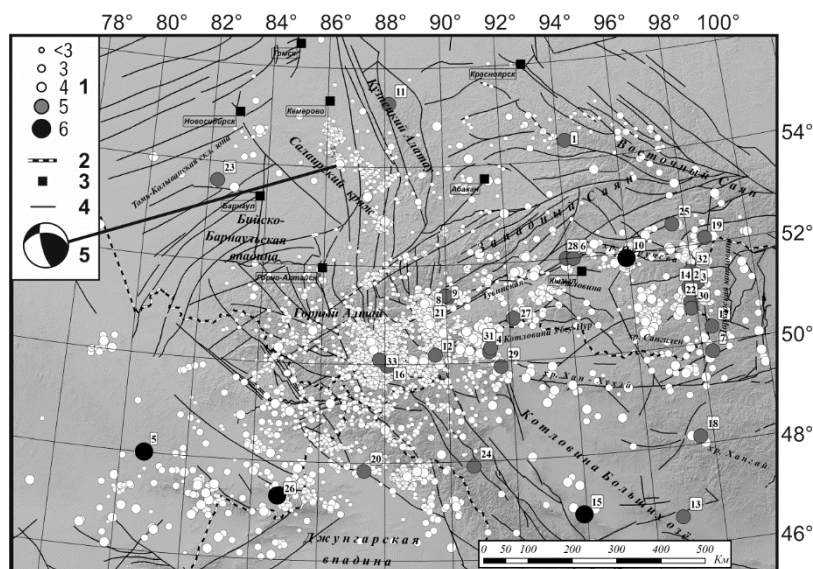


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений Алтае-Саянского региона в 2016–2017 гг.

1 – магнитуда  $ML$ ; 2 – государственная граница; 3 – город; 4 – неотектонический разлом по [10]; 5 – диаграмма механизма землетрясения 9 ноября 2016 г. в 12<sup>h</sup>56<sup>m</sup>, зачернена область сжатия. Цифры на карте, а также далее в тексте в круглых скобках соответствуют номерам землетрясений в каталоге (Прил. 6).

Кроме того, в Новосибирской области, в 50 км к юго-востоку от г. Новосибирска, в районе угледобывающего разреза «Колыванский» с 2013 г. фиксируется техногенная сейсмическая активизация [6]. Повышение интенсивности разработки месторождения привело к землетрясению с  $ML=3.7$ , зафиксированному 15 сентября 2017 г. (рис. 5).

**Сейсмичность Чуйско-Курайской зоны.** Из 11424 сейсмических событий, зафиксированных в 2016–2017 гг. в Алтае-Саянском регионе (Прил. 1), 6672 (58 %) произошло в Чуйско-Курайской зоне Республики Алтай (рис. 6).

Сейсмическая активность в очаговой зоне крупнейшего ( $K_p=17.1$ ,  $M_s=7.3$ ) за период инструментальных наблюдений в регионе Чуйского землетрясения 27 сентября 2003 г. [3] сохранялась и в отчетный период. В отчетный период продолжается тенденция к распространению сейсмического процесса в области, смежные с эпицентральной зоной Чуйского землетрясения, – в районы Айгулакского и Курайского хребтов, где отмечен ряд землетрясений с  $ML \geq 3.5$  (рис. 6). Тем не менее два сильнейшие за год землетрясения в Чуйско-Курайской зоне 20 сентября 2016 г. с  $ML=5.42$  и 24 декабря 2017 г. с  $ML=4.68$  (соответственно 16 и 33 на рис. 6) произошли именно в очаговой зоне Чуйского землетрясения, в месте сочленения Чаган-Узунского блока с Северо-Чуйским хребтом (рис. 6).

Для землетрясений, зарегистрированных в Чуйско-Курайской зоне, построен график повторяемости (рис. 7). Параметры графика, рассчитанные для его линейной части ( $ML=1.0-3.5$ ), имеют вид:

$$\lg N = 4.3 - 0.84 \cdot ML. \quad (2)$$

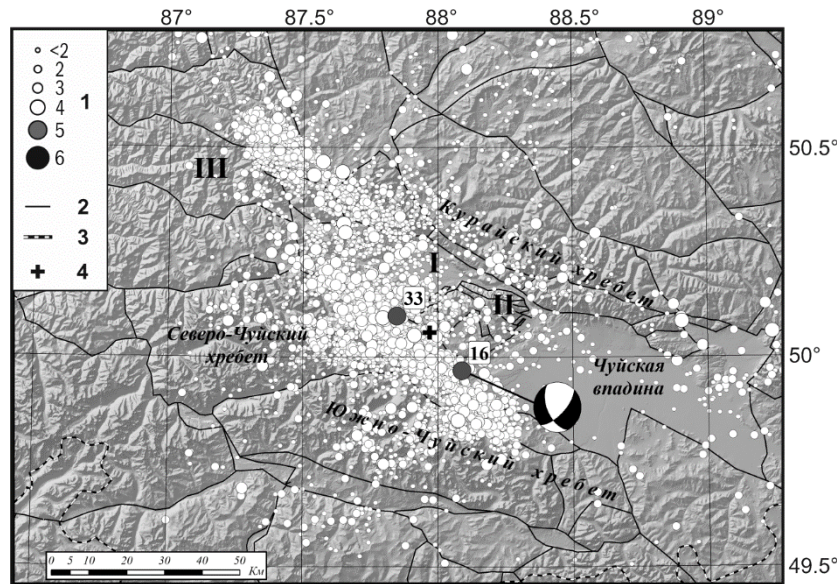


Рис. 6. Эпицентры землетрясений в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая в 2016–2017 гг.

1 – магнитуа  $ML$ ; 2 – неотектонический разлом по [11]; 3 – государственная граница; 4 – инструментальный эпицентр Чуйского землетрясения 27.09.2003 г. с  $K_p=17.1$ ,  $M_s=7.3$  [3]. Римскими цифрами на карте обозначены: I – Курайская впадина, II – Чаган-Узунский блок, III – Айгулакский хребет. Цифры на карте, а также далее в тексте в круглых скобках соответствуют номерам землетрясений в каталоге (Прил. 1).

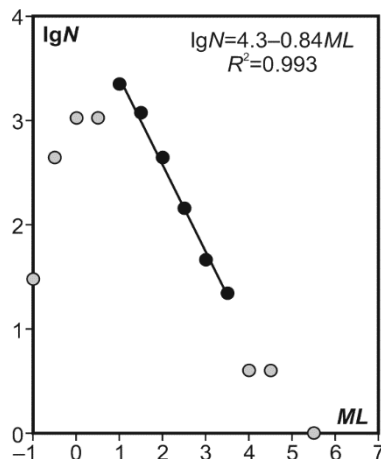


Рис. 7. График повторяемости землетрясений в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая в 2016–2017 гг.

**Заключение.** После трехлетнего спада сейсмической активности в Алтае-Саянском регионе (2014–2016 гг.,  $\Sigma E$  от  $4.6 \cdot 10^{12}$  Дж до  $6.1 \cdot 10^{12}$  Дж), в 2017 г. отмечено повышение значения суммарной выделившейся сейсмической энергии до  $\Sigma E = 2.38 \cdot 10^{13}$  Дж. Наиболее крупное землетрясение на территории контролируемого региона с  $ML=6.39$  произошло 4 апреля 2017 г. в 15<sup>h</sup>07<sup>m</sup> в Казахстане, в районе Зайсанской впадины. Наблюдается постепенное прекращение доминирования Чуйско-Курайской зоны Горного Алтая в общей сейсмичности региона и рост сейсмической активности других структур Алтае-

Саянского региона. Также следует отметить наличие техногенной сейсмической активности в районах добычи твердых полезных ископаемых.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках темы НИР АААА-А20-120060890030-9 госзадания № 075-00576-21 ФИЦ ЕГС РАН с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфраструктурный комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

В подготовке электронных приложений к данной статье принимали участие: В.В. Арапов, Г.А. Денисенко, А.А. Еманов, А.Ф. Еманов, Д.Г. Корабельщиков, Е.В. Лескова, Н.А. Лукаш, О.А. Манушина, В.Г. Подкорытова, Л.А. Подлипская, С.Г. Пойгина, А.В. Фатеев, А.О. Шаталова, С.С. Шевелёва, Е.В. Шевкунова.

**Электронное приложение** App06\_Altai\_Sayan\_2016–2017 (<http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>): 1 – Стационарные сейсмические станции Алтае-Саянского региона в 2016–2017 гг. (код сети ASRS); 2 – Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая и станции широкополосного профиля (СНР02–СНР06) в 2016–2017 гг.; 3 – Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в районе разреза «Бачатский» Кемеровской области в 2016–17 гг.; 4 – Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в районе разреза «Калтанский» Кемеровской области в 2016–2017 гг.; 5 – Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в районе разреза «Колыванский» Новосибирской области в 2017 г.; 6 – Каталог землетрясений Алтая и Саян за 2016–2017 гг.; 7 – Каталог механизмов очагов землетрясений Алтае-Саянского региона за 2016–2017 гг.; 8 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Алтае-Саянского региона в 2016–2017 гг.; 9 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Алтае-Саянского региона в 2016–2017 гг.

#### Л и т е р а т у р а

1. Еманов А.Ф. и др. Сейсмологические исследования на территории Алтае-Саянской горной области // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3., № 2. – С. 20–51. doi: 10.35540/2686-7907.2021.2.02
2. Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Лескова Е.В. Оценка глубины поверхности Мохо по данным МОВЗ профиля Сайлогем–Ельцовка // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология». – 2017. – Т. 2, № 3. – С. 121–126.
3. 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  $K_p=17.1$ ,  $M_s=7.3$  (Горный Алтай) // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 326–343.
4. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. Бачатское техногенное землетрясение 18 июня 2013 г. с  $ML=6.1$ ,  $I_0=7$  (Кузбасс) // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 1. – С. 48–61. doi: 10.35540/2686-7907.2020.1.05
5. Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Лескова Е.В. Одновременное воздействие открытых и подземных горных работ на недра и наведенная сейсмичность // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2017. – Т. 44, № 4. – С. 51–62. doi: 10.21455/VIS2017.4-3
6. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Гладышев Е.А. Техногенная сейсмическая активизация в районе Горловского угольного бассейна // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2021. – Т. 8, № 1. – С. 207–210. doi: 10.15372/FPVGN2021080132
7. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Подкорытова В.Г., Шевкунова Е.В. Алтай и Саяны // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 132–142.
8. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
9. Reasenber P.A., Oppenheimer D. FPFIT, FPLOT, and FPPAGE: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions // US. Geological Survey, Open-File Report – 1985. – P. 85–739.
10. Трифонов В.Г. Неотектоника Евразии. (Тр. ГИН РАН; Вып. 514). – М.: Научный мир, 1999. – 242 с.
11. Новиков И.С., Еманов А.А., Лескова Е.В., Баталев В.Ю., Рыбин А.К., Баталева Е.А. Система новейших разрывных нарушений Юго-Восточного Алтая: данные об их морфологии и кинематике // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49, № 11. – С. 1139–1149.

## SEISMICITY of the ALTAI and SAYAN region in 2016–2017

A.F. Emanov<sup>1</sup>, A.A. Emanov<sup>1,2</sup>, A.V. Fateev<sup>1,2</sup>, E.V. Shevkunova<sup>1</sup>, V.G. Podkorytova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Altai-Sayan Branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, asf@gs.sbras.ru  
<sup>2</sup>Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia, ipgg@ipgg.sbras.ru

**Abstract.** The characteristic features of the seismicity of the Altai-Sayan region in 2016–2017 are considered. The stationary seismic network within the reporting period consisted of 52 stations. Upgrading the recording equipment and retrofitting the stations with strong motion sensors was continued. In addition to the stationary network, four local time networks functioned in the region. One of them investigated the seismic process and accumulated data for constructing the Moho boundary using the method of receiving functions in the Altai Republic, the other three were focused on the study of technogenic seismicity in the area of coal minings of the Kemerovo and Novosibirsk regions. During the reporting period, 11424 earthquakes were registered in the region, 58 % of them occurred in the Chui-Kurai zone of the Altai Mountains, for which a brief description of seismicity is given separately. The total seismic energy released in earthquake foci was  $6.14 \cdot 10^{12}$  J in 2016 and  $2.38 \cdot 10^{13}$  J in 2017. The slope of the linear part of the earthquake recurrence chart for 2016–2017 has not undergone significant changes compared to previous reporting periods. The largest earthquake on the territory of the Altai-Sayan region for the reporting period ( $M_L=6.39$ ) occurred on April 4, 2017 at  $15^{\text{h}}07^{\text{m}}$  in the Zaisan Depression area of the Kazakhstan Republic.

**Keywords:** Altai-Sayan region, Chui-Kurai zone, earthquake, seismic station, technogenic seismicity.

**DOI:** 10.35540/1818-6254.2022.25.11. **EDN:** SYTVMB

**For citation:** Emanov, A.F., Emanov, A.A., Fateev, A.V., Shevkunova, E.V., & Podkorytova, V.G. (2022). [Seismicity of the Altai and Sayan region in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 129–136. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.11. EDN: SYTVMB

## References

- Emanov, A.F. et al. (2021). [Seismological studies on the territory of the Altai-Sayan mountain region]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(2), 20–51. (In Russ.). doi: 10.35540/2686-7907.2021.2.02
- Emanov, A.A., Emanov, A.F., Fateev, A.V., & Leskova, E.V. (2017). [Moho depth estimation from receiver function of Sailugem–Yeltsova profile]. In *Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii "Nedropol'zovanie. Gornoe delo. Napravleniia i tekhnologii poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh. Ekonomika. Geoekologiya"* (T. 2, № 3) [Proceedings of the International scientific conference "Subsoil use. Mining. Directions and technologies of prospecting, exploration and development of mineral deposits. Economics. Geoecology" (V. 2, № 3)] (pp. 121–126). Novosibirsk, Russia: SSUGT Publ. (In Russ.).
- Emanov, A.F., Emanov, A.A., Leskova, E.V., Kolesnikov, Yu.I., Fateev, A.V., & Filina, A.G. (2009). [Chui earthquake on September 27, 2003 with  $K_R=17.1$ ,  $M_S=7.3$  (Altai Mountains)]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2003 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia in 2003] (pp. 326–343). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Emanov, A.F., Emanov, A.A., & Fateev, A.V. (2020). [Bachat technogenic earthquake on June 18, 2013 with  $M_L=6.1$ ,  $I_0=7$  (Kuzbass)]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 2(1), 48–61. (In Russ.). doi: 10.35540/2686-7907.2020.1.05
- Emanov, A.A., Emanov, A.F., Fateev, A.V., & Leskova, E.V. (2018). Simultaneous Impact of Open-Pit and Underground Mining on the Subsurface and Induced Seismicity. *Seismic Instruments*, 54(4), 479–487. doi: 10.3103/S0747923918040035
- Emanov, A.F., Emanov, A.A., Fateev, A.V., Shevkunova, E.V., & Gladyshev, E.A. (2021). [Technogenic seismic activation in the Gorlovsky coal basin area]. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornykh nauk* [Mining sciences: fundamental and applied issues], 8(1), 207–210. (In Russ.). doi: 10.15372/FPVGN2021080132
- Emanov, A.F., Emanov, A.A., Fateev, A.V., Podkorytova, V.G., & Shevkunova, E.V. (2018). Altai-Sayan region. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 21 (2012), 132–142. (In Russ.).
- Medvedev, S.V., Shponhoyer, V., & Karnik, V. (1965). *Mezhdunarodnaya shkala seysmicheskoy intensivnosti MSK-64* [MSK-64 International seismic intensity scale]. Moscow, Russia: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p. (In Russ.).
- Reasenber, P.A., & Oppenheimer, D. (1985). FPFIT, FPLOT, and FPPAGE: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions. *U.S. Geological Survey, Open-File Report*, 85–739.
- Trifonov, V.G. (1999). *Neotektonika Evrazii* [Neotectonics of Eurasia]. Moscow, Russia: Nauchnyi mir Publ., 242 p. (In Russ.).
- Novikov, I.S., Emanov, A.A., Leskova, E.V., Batalev, V.Iu., Rybin, A.K., & Bataleva, E.A. (2008). [The system of neotectonic faults in Southeastern Altai: orientations and geometry of motion]. *Geologiya i Geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 49(11), 1139–1149. (In Russ.).