

УДК 550.348.098.64 (571.15)

СЕЙСМИЧНОСТЬ АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА в 2018–2019 гг.**А.Ф. Еманов¹, А.А. Еманов^{1,2}, А.В. Фатеев^{1,2}, Е.В. Шевкунова¹, В.Г. Подкорытова¹**¹Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск, asf@gs.sbras.ru²Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, ipgg@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Рассмотрена сейсмичность Алтае-Саянского региона в 2018–2019 гг. Стационарная сейсмическая сеть в отчетный период состояла из 55 станций. Продолжались работы по модернизации регистрирующей аппаратуры и дооснащению станций датчиками сильных движений. Дополнительно к стационарной сети в регионе функционировали пять локальных временных сетей: одна исследовала сейсмический процесс и накапливала данные для построения границы Мохо по методу приемных функций в Республике Алтай, четыре другие были ориентированы на исследование техногенной сейсмичности в районе угледобывающих предприятий Кемеровской и Новосибирской областей. В течение отчетного периода в регионе зарегистрировано 15405 землетрясений, 52 % из них произошли в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая, для которой отдельно дана краткая характеристика сейсмичности. Суммарная сейсмическая энергия, выделенная в очагах землетрясений, составила $2.19 \cdot 10^{12}$ Дж в 2018 г. и $1.17 \cdot 10^{13}$ Дж в 2019 году. Наклон линейной части графика повторяемости землетрясений за 2018–2019 гг. не претерпел существенных изменений по сравнению с предыдущими периодами. Крупнейшее землетрясение на территории Алтае-Саянского региона в отчетный период ($M_L=6.2$) произошло 1 февраля 2019 г. в $21^{\circ}54^m$ на территории Китая в 70 км к югу от оз. Зайсан.

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

Для цитирования: Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Подкорытова В.Г. Сейсмичность Алтае-Саянского региона в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 133–142. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.11> EDN: YMSKSE

Введение. Алтае-Саянский филиал (АСФ) ФИЦ ЕГС РАН проводит сейсмический мониторинг территории, лежащей в пределах координат $\varphi=46-60^{\circ}N$, $\lambda=76-100^{\circ}E$. Западный предел долготы варьирует от 76° до 80° 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 входит часть территорий Иркутской, Новосибирской, Омской и Томской областей, Красноярского края, Республики Бурятия, а также фрагменты сопредельных государств: Казахстана, Китая и Монголии.

Основная сейсмичность 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 2018–2019 гг. сеть цифровых сейсмических станций Алтае-Саянского региона состояла из 55 пунктов (Прил. 1). В сравнении с сетью в 2016–2017 гг., в рамках развития сети в Кузбассе открыты три новые станции на угледобывающем разрезе «Калтанский» в 40 км к югу от г. Новокузнецка. В рамках обмена данными были доступны сейсмограммы с четырех станций Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН (рис. 1).

В 2018–2019 гг. полностью модернизировано оборудование, а также установлены датчики сильных движений на станциях «Тээли» (TEL) и «Тюнгур» (TUNR). Произведена замена регистраторов на более современные на станциях «Берчикуль» (BRCR), «Верх-База» (VEN), «Кунгуртут» (KNGR), «Таштагол» (TASR), «Тоджа» (TDJR), «Улаган» (ULGR), «Усть-Кан» (UKR). Кроме того, на десяти 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 2018–2019 гг. (Прил. 1). В центральной части региона в пределах Российской Федерации обеспечивалась представительность на уровне $M_{L\min}=1.5$. В эту зону входят практически полностью

Кемеровская область, Республика Алтай, Республика Хакасия, а также большая часть Республики Тува, центральная и южная части Красноярского края, западная часть Республики Бурятия 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 $ML_{min}=1$. Практически на всей территории в пределах границ зоны ответственности составления каталога, включающей части территорий Казахстана, Китая и Монголии, не могут быть пропущены землетрясения с $ML_{min}=3$ и выше (рис. 1).

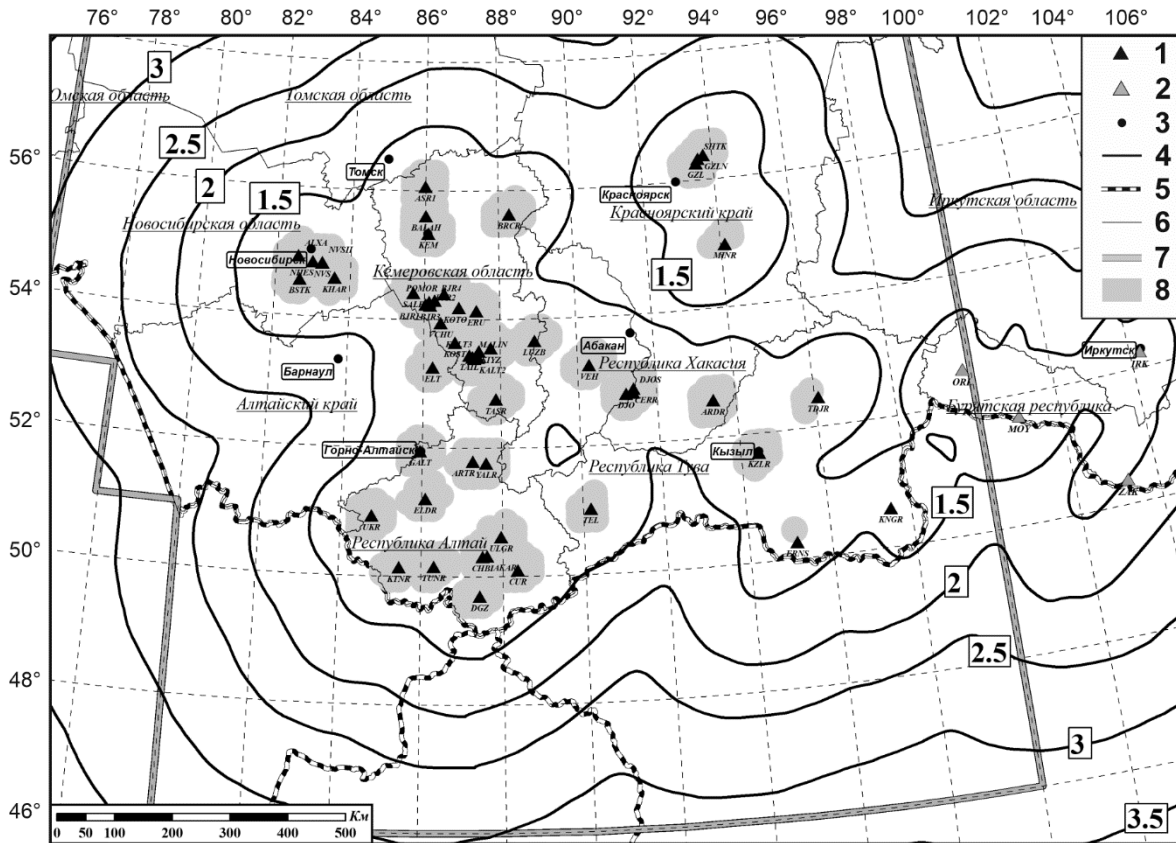


Рис. 1. Карта изолиний энергетической представительности ML_{min} регистрации землетрясений Алтае-Саянской региональной сетью станций в 2018–2019 гг.

1 – стационарная сейсмическая станция АСФ ФИЦ ЕГС РАН; 2 – стационарная сейсмическая станция БФ ФИЦ ЕГС РАН; 3 – крупные города (столицы административных субъектов РФ); 4 – изолиния ML_{min} ; 5 – государственная граница; 6 – границы административных субъектов; 7 – зона ответственности АСФ ФИЦ ЕГС РАН; 8 – участки с энергетической представительностью $ML_{min}=1$.

Сети временных сейсмических станций. В 2018–2019 гг. в Алтае-Саянском регионе функционировали пять локальных временных сетей. Четыре из них были выставлены для наблюдения за техногенными сейсмическими активизациями, приуроченными к разработкам твердых полезных ископаемых: в Кемеровской области в районе угледобывающих разрезов «Бачатский», «Краснобродский» и «Калтанский», а также 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 27.09.2003 г. в 11^h33^m с $M_s=7.3$, где продолжается афтершоковый процесс [3], в 2018 г. состояла из девяти короткопериодных станций и трех широкополосных и функционировала в период с 22 июня по 30 сентября (Прил. 2). С небольшими конфигурационными изменениями эта локальная сеть действовала и в 2019 году. Период работы длился с 5 июня по

5 октября. Район работ сети (№ 1 на рис. 2) примерно совпадает с территорией Алтайского сейсмологического полигона – уплотненной части станций региональной сети в пределах координат: $\varphi=49.0-51.0^{\circ}\text{N}$, $\lambda=87.0-89.0^{\circ}\text{E}$. 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. Одна станция выставлена в среднем течении р. Катунь. Еще одна станция вынесена к востоку от Чуйско-Курайской зоны, в район хребта Чихачева (рис. 2).

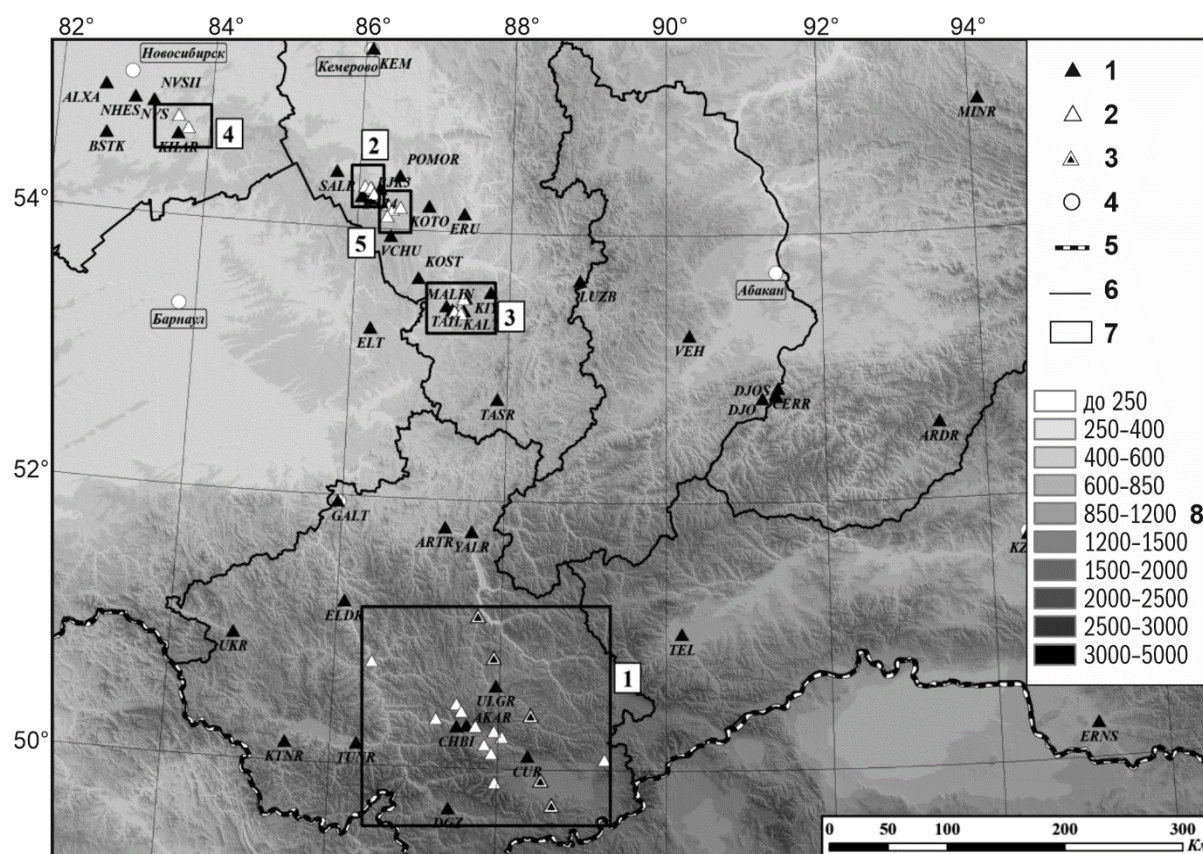


Рис. 2. Локальные сети временных станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в Алтае-Саянском регионе в 2018–2019 гг.

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 «Кольванский», Новосибирская область; 5 – в районе разреза «Краснобродский», Кемеровская область); 8 – высоты рельефа h_y , м.

В отчетный период продолжены начатые в 2015 г. экспериментальные работы с широкополосными временными сейсмическими станциями по выделению обменных волн землетрясений [2]. В дополнение к своему прямому назначению, станции широкополосного профиля функционировали и как часть локальной сети в Чуйско-Курайской зоне (Прил. 2). Восстановлены фрагменты южной части профиля, по три станции в 2018 и 2019 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 18.06.2013 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 2018–2019 гг. она состояла из четырех комплексов регистрации (№ 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), автономные комплексы состояли из регистраторов Байкал-8.1 и сейсмометров СК-1П. Эта сеть в количестве пяти пунктов регистрации продолжила работу до октября 2018 г. (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 2023 г. обе эти станции продолжают функционировать. Пункты наблюдения снабжены устройствами, позволяющими прямую передачу данных непосредственно в центр обработки. Комплексы состоят из регистраторов Байкал-8.1 и сейсмометров Geospace SeisMonitor с собственной частотой 1 Гц.

В феврале 2018 г. для исследования техногенной активизации с энергетическим уровнем до $ML=4$ в районе угледобывающего разреза «Краснобродский» (Кузбасс) выставлена сеть из четырех пунктов регистрации (№ 5 на рис. 2, Прил. 6). Две станции этой сети проработали до 2019 г., еще две – до 2022 года.

Методика обработки сейсмологических данных, получаемых сетями сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН, в отчетный период не претерпела изменений и изложена в [7].

Каталог землетрясений. Общее число землетрясений, включенных в каталог (Прил. 7) в 2018–2019 гг., составило $N_{\Sigma}=15405$. Из них в 2018 г. зафиксировано 6504, а в 2019 г. – 8901 землетрясение. Диапазон локальных магнитуд землетрясений в каталоге составил $0.8 \leq ML \leq 6.2$.

Макросейсмические обследования в Алтае-Саянском регионе в 2018–2019 гг. проведены для трех землетрясений (Прил. 9). Два из них приурочены к зоне техногенной активизации при добыче антрацита в Новосибирской области [6].

Интенсивность макросейсмических проявлений землетрясения 9 января 2018 г. в 11^h01^m с $ML=4.3$ достигала $I=5$ баллов по шкале MSK-64 [8] в районе Колыванского угольного разреза. При землетрясении 29 октября 2019 г. в 01^h31^m с $ML=4.4$ сотрясения с $I=4$ балла ощущали жители сел Харино, Усть-чем и Елбаши. Обследование землетрясения в районе Айгулакского хребта (Горный Алтай) 13 сентября 2019 г. в 04^h08^m с $ML=5.5$ (Прил. 7, землетрясение № 25) показало максимальную интенсивность $I=5$ баллов в селах Чибит, Шебалино, Акташ.

В табл. 1 приведены распределение землетрясений по магнитуде ML и суммарная выделенная сейсмическая энергия для 2018 и 2019 гг. Следует отметить, что в течение отчетного периода значения суммарной энергии остаются пониженными в сравнении со средним значением по Алтае-Саянскому региону за период с 1963 г., которое составляет порядка $\Sigma E=2.9 \cdot 10^{15}$ Дж (табл. 1). В 2019 г., в основном за счет землетрясения на границе Казахстана и Китая (Прил. 7, землетрясение № 19), а также активизации сейсмичности в районе Айгулакского хребта, суммарная сейсмическая энергия ($\Sigma E=1.17 \cdot 10^{13}$ Дж) увеличилась (рис. 3).

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по магнитудам ML и суммарная сейсмическая энергия ΣE в Алтае-Саянском регионе в 2018 и 2019 гг.

ML	-1	-0.5	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	N_{Σ}	ΣE , Дж
2018 г.	–	49	365	1340	1821	1229	836	519	202	84	35	13	10	1	–	6504	$2.19 \cdot 10^{12}$
2019 г.	1	115	1293	1554	1668	1802	1343	732	239	88	31	25	8	1	1	8901	$1.17 \cdot 10^{13}$

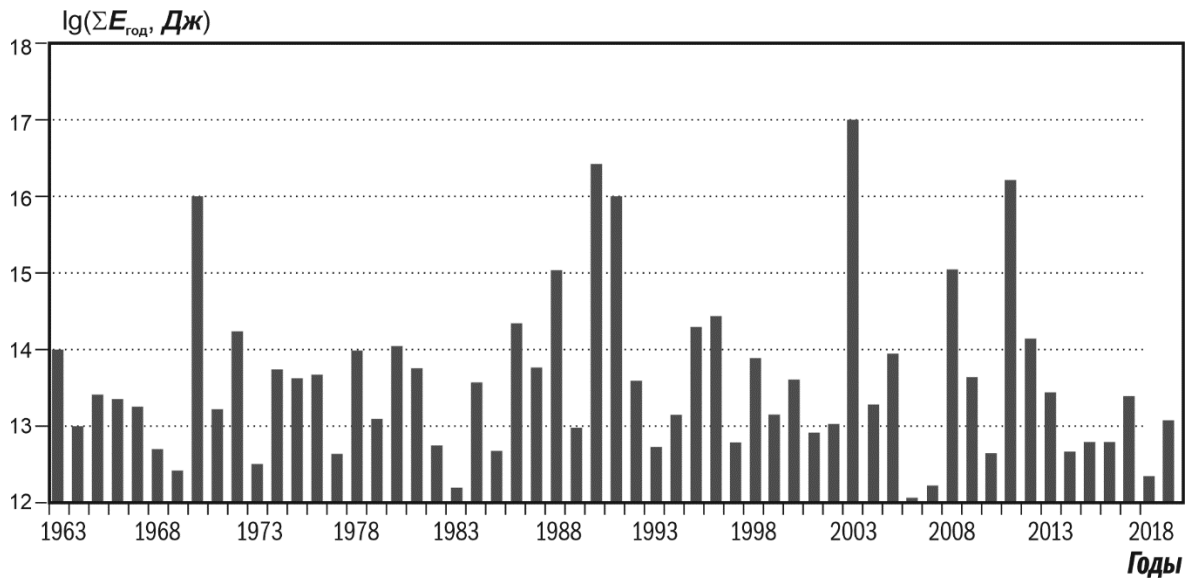


Рис. 3. Ежегодное выделение суммарной сейсмической энергии в Алтае-Саянском регионе за период 1963–2019 гг.

График повторяемости землетрясений по данным табл. 1 за 2018–2019 гг. приведен на рис. 4. Наклон его линейной части ($ML=2.5-5$) по сравнению с предыдущим отчетным периодом (2016–2017 гг.) не изменился и составил $b=0.73$.

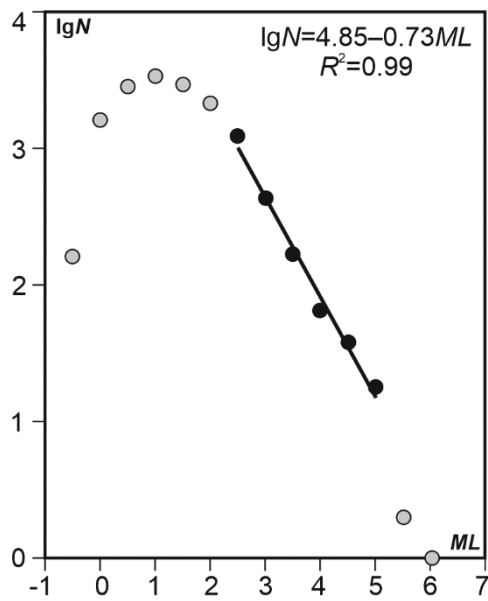


Рис. 4. График повторяемости землетрясений Алтае-Саянского региона в 2018–2019 гг.

Механизмы очагов. В 2018–2019 гг. для девяти землетрясений с использованием пакета программ [9] рассчитаны механизмы очагов (Прил. 8, рис. 5, 6).

Анализ сейсмичности. Карта эпицентров всех 15405 землетрясений представлена на рис. 5. В Алтае-Саянском регионе главные сейсмоактивные зоны расположены в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая, в районе границы Казахстана и Китая (Зайсанская впадина и территория к югу от нее), а также в Республике Тува: юго-западное обрамление Тувинской котловины, хр. ак. Обручева, район Бусийнгольской впадины (рис. 5). В целом наблюдается постепенное прекращение доминирования Чуйско-Курайской зоны Горного Алтая в общей сейсмичности региона, возникшего 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 (19 на рис. 5) с $ML=6.2$ произошло 1 февраля 2019 г. в $21^{\text{h}}54^{\text{m}}$ в районе хр. Харбагатай на территории Китая, в 70 км к югу от оз. Зайсан. В 120 км к юго-востоку от этого землетрясения, в районе оз. Алаколь на территории Казахстана, 21 мая 2018 г. в $13^{\text{h}}07^{\text{m}}$ случилось и второе по мощности ($ML=5.6$) землетрясение (7 на рис. 5). Также крупные сейсмические события с $ML \geq 4.6$ в 2018–2019 гг. происходили в Республике Алтай, в районе хр. ак. Обручева на территории Республики Тыва, в юго-западном обрамлении Тувинской котловины, в районе Бусийнгольской впадины, на территории Монголии в Котловине Больших озер и в районе хр. Хангай. Необходимо также отметить землетрясение с $ML=4.9$ (16 на рис. 5), произошедшее 12 декабря 2018 г. в $16^{\text{h}}15^{\text{m}}$ в 150 км от северных отрогов Кузнецкого Алатау в Красноярском крае.

Наряду с этими землетрясениями, имеющими очевидно естественную природу, в горнодобывающих районах Кемеровской и Новосибирской областей регистрировалась техногенная сейсмичность. В эпицентральной зоне Бачатского землетрясения 18.06.2013 г. в $23^{\text{h}}02^{\text{m}}$ с $ML=6.1$ [4] в 2018–2019 гг. продолжается афтершоковый процесс. В районе разреза «Краснобродский», расположенного в 15 км к юго-востоку от разреза «Бачатский», фиксируются землетрясения до $ML=4$. Также продолжается техногенная сейсмическая активизация на юге Кемеровской области в районе добычи угля совместно открытым (разрез «Калтанский») и подземным (шахта «Алардинская») способами [5]. В других районах Кузбасса также отмечались очаги техногенной сейсмичности. Техногенная активизация в Новосибирской области, в 50 км к юго-востоку от г. Новосибирска, в районе угледобывающего разреза «Кольванский» [6], вышла на уровень землетрясений с $ML \geq 4$, которые в отчетный период привели к ощутимым сотрясениям (Прил. 9).

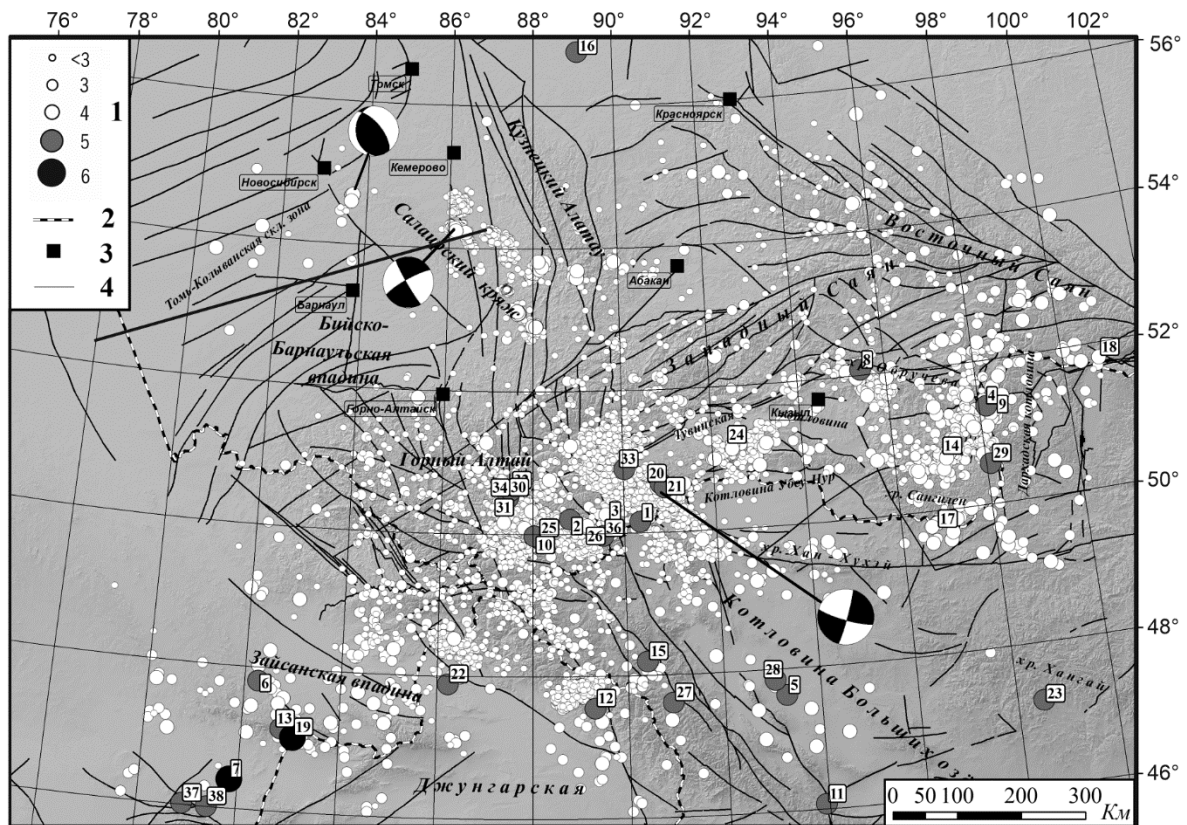


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений Алтае-Саянского региона в 2018–2019 гг.

1 – магнитуда ML ; 2 – государственная граница; 3 – город; 4 – неотектонический разлом по [10]. На карте показаны диаграммы механизмов очагов землетрясений, зачернена область сжатия. Цифры на карте, а также далее в тексте в круглых скобках соответствуют номерам землетрясений в каталоге (Прил. 7).

Сейсмичность Чуйско-Курайской зоны. Из 15405 землетрясений, зафиксированных в 2018–2019 гг. в Алтае-Саянском регионе (Прил. 7), 7993 землетрясения (52 %) произошли в Чуйско-Курайской зоне Республики Алтай (рис. 6).

Сейсмическая активность в очаговой зоне крупнейшего ($M_s=7.3$) за период инструментальных наблюдений в регионе Чуйского землетрясения 27 сентября 2003 г. [3] сохранялась и в отчетный период. Вместе с тем усиливается тенденция к распространению сейсмического процесса в области, смежные с эпицентральной зоной Чуйского землетрясения, – в районы Курайского и, особенно, Айгулакского хребтов. В Айгулакском хребте (30 на рис. 5, 6) 13 сентября 2019 г. в $04^{\text{h}}08^{\text{m}}$ произошло сильнейшее ($ML=5.5$) за отчетный период Айгулакское землетрясение [11], вызвавшее ощутимые сотрясения в населенных пунктах Республики Алтай (Прил. 9). Крупнейшие землетрясения непосредственно эпицентральной зоны Чуйского землетрясения 27 сентября 2003 г. произошли в районе сочленения Чаган-Узунского блока с Северо-Чуйским хребтом

(10 и 25 на рис. 5, 6) 11 ноября 2018 г. с магнитудой $ML=4.8$ и 14 июня 2019 г. с магнитудой $ML=4.9$ соответственно. Крупнейшее землетрясение в районе Курайского хребта (2 на рис. 5, 6) с $ML=4.9$ произошло 5 февраля 2018 года.

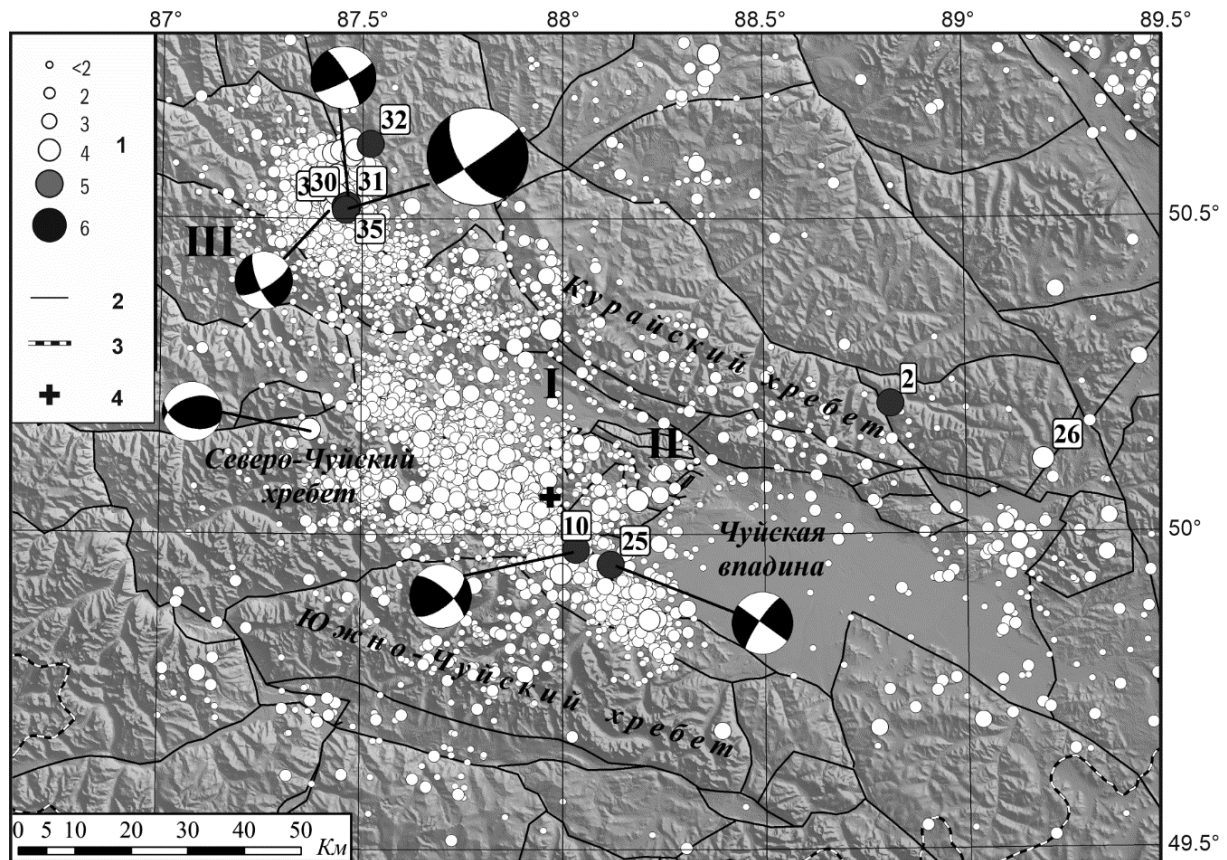


Рис. 6. Эпицентры землетрясений в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая в 2018–2019 гг.

1 – магнитуда ML ; 2 – неотектонический разлом по [12]; 3 – государственная граница; 4 – инструментальный эпицентр Чуйского землетрясения 27.09.2003 г. с $M_s=7.3$ [3]. Римскими цифрами на карте обозначены: I – Курайская впадина, II – Чаган-Узунский блок, III – Айгулакский хребет. На карте показаны диаграммы механизмов очагов землетрясений, зачернена область сжатия. Цифры на карте, а также далее в тексте в круглых скобках соответствуют номерам землетрясений в каталоге (Прил. 7).

Для землетрясений, зарегистрированных в Чуйско-Курайской зоне, построен график повторяемости (рис. 7). Параметры графика, рассчитанные для его линейной части ($ML=1.5-4.0$), имеют вид:

$$\lg N = 4.6 - 0.97 \cdot ML. \quad (2)$$

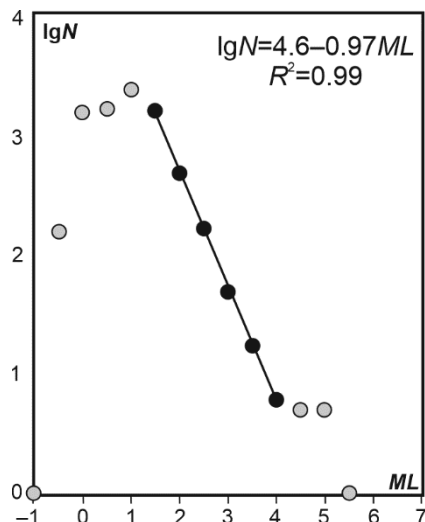


Рис. 7. График повторяемости землетрясений в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая в 2018–2019 гг.

Заключение. Общий уровень выделившейся сейсмической энергии в Алтае-Саянском регионе в 2018–2019 гг. сохраняется пониженным относительно среднего за весь период наблюдений с 1963 года. Наиболее крупное землетрясение на территории региона с $ML=6.2$ произошло 1 февраля 2019 г. в 21^h54^m на территории Китая в 70 км к югу от оз. Зайсан. Наблюдается постепенное прекращение доминирования Чуйско-Курайской зоны Горного Алтая в общей сейсмичности региона. Необходимо отметить рост техногенной сейсмической активности в районах добычи твердых полезных ископаемых в Кузбассе и в Новосибирской области, а также в ряде случаев выход сейсмического процесса на уровень ощутимых землетрясений с магнитудами порядка $ML=4-4.5$.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках темы НИР АААА-А20-120060890030-9 госзадания № 75-01271-23 ФИЦ ЕГС РАН с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой 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.М. Бахтиярова, 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_2018–2019 (<http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>): 1 – Стационарные сейсмические станции Алтае-Саянского региона в 2018–2019 гг. (код сети ASRS); 2 – Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая и станции широкополосного профиля (СНР02–СНР07) в 2018–2019 гг.; 3 – Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в районе разреза «Бачатский» Кемеровской области в 2018–2019 гг.; 4 – Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в районе разреза «Калтанский» Кемеровской области в 2018 г.; 5 – Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в районе разреза «Колыванский» Новосибирской области в 2018–2019 гг.; 6 – Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в районе разреза «Краснобродский» Кемеровской области в 2018–2019 гг.; 7 – Каталог землетрясений Алтая и Саян в 2018–2019 гг.; 8 – Каталог механизмов очагов землетрясений Алтае-Саянского региона за 2018–2019 гг.; 9 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Алтае-Саянского региона в 2018–2019 гг.; 10 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Алтае-Саянского региона в 2018–2019 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: <https://doi.org/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 Сайлюгем–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., Фатеев А.В. Устойчивые структуры афтершоков Чуйского землетрясения 2003 г. // Геология и геофизика. – 2022. – Т. 63, № 1. – С. 87–101.
4. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. Бачатское техногенное землетрясение 18 июня 2013 г. с $M_L=6.1$, $I_0=7$ (Кузбасс) // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 1. – С. 48–61. DOI: <https://doi.org/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: <https://doi.org/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: <https://doi.org/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. Reasenberг P.A., Oppenheimer D. FPFIT, FPPLLOT, and FPPAGE: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions // US. Geological Survey, Open-File Report. – 1985. – P. 85–739.
10. Трифионов В.Г. Неотектоника Евразии. (Тр. ГИН РАН; Вып. 514). – М.: Научный мир, 1999. – 242 с.
11. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Гладышев Е.А., Антонов И.А. Айгулакское землетрясение 13.09.2019 г. с $M=4.7$ и его афтершоки в структуре сейсмичности Чуйско-Курайской зоны Горного Алтая // Землетрясения России в 2019 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 117–122.

12. 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 2018–2019

A.F. Emanov¹, A.A. Emanov^{1,2}, A.V. Fateev^{1,2}, E.V. Shevkunova¹, V.G. Podkorytova¹

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

Abstract. The seismicity of the Altai-Sayan region in 2018–2019 is considered. The stationary seismic network within the reporting period consisted of 55 stations. Upgrading the recording equipment and retrofitting the stations with strong motion sensors was continued. In addition to the stationary network, five local 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 four were focused on the study of technogenic seismicity in the area of coal minings of the Kemerovo and Novosibirsk regions. During the reporting period, 15405 earthquakes were registered in the region, 52 % 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 $2.19 \cdot 10^{12}$ J in 2018 and $1.17 \cdot 10^{13}$ J in 2019. The slope of the linear part of the earthquake recurrence chart for 2018–2019 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 ($M_L=6.2$) occurred on February 1, 2019 at 21^h54^m in China, 70 km south of the Zaisan lake.

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

For citation: Emanov, A.F., Emanov, A.A., Fateev, A.V., Shevkunova, E.V., & Podkorytova, V.G. (2023). [Seismicity of the Altai and Sayan region in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 133–142. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.11> EDN: YMSKSE

R e f e r e n c e s

1. 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: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.2.02>
2. Emanov, A.A., Emanov, A.F., Fateev, A.V., & Leskova, E.V. (2017). [Moho depth estimation from receiver function of Sailugem–Yeltsovka 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.).
3. Emanov, A.F., Emanov, A.A., & Fateev, A.V. (2022). Stable structures of the 2003 Chuya earthquake aftershocks. *Russian Geology and Geophysics*, 63(1), 87–101.
4. 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: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.1.05>
5. 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: <https://doi.org/10.3103/S0747923918040035>
6. 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: <https://doi.org/10.15372/FPVGN2021080132>
7. 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.).

-
8. 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.).
 9. 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.
 10. Trifonov, V.G. (1999). *Neotektonika Evrazii* [Neotectonics of Eurasia]. Moscow, Russia: Nauchnyi mir Publ., 242 p. (In Russ.).
 11. Emanov, A.F., Emanov, A.A., Fateev, A.V., Shevkunova, E.V., Gladyshev, E.A., & Antonov, I.A. (2021). [The Aigulak earthquake of September 13, 2019 with $M=4.7$ and its aftershocks in the structure of seismicity of the Chui-Kurai zone of Gorny Altai]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2019 godu* [Earthquakes in Russia, 2019] (pp. 117–122). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
 12. Novikov, I.S., Emanov, A.A., Leskova, E.V., Batalev, V.Yu., 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.).