

УДК 550.348.098.64 (571.15)

СЕЙСМИЧНОСТЬ АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА в 2020 году**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. Дан анализ сейсмичности Алтае-Саянского региона в 2020 году. Стационарная сейсмическая сеть в отчетный период состояла из 53 пунктов регистрации, проведены их модернизация и дооснащение регистрирующей аппаратуры. Также в регионе действовали четыре локальные временные сети. Одна из них была задействована в исследовании сейсмического процесса и накоплении данных для построения границы Мохо по методу приемных функций в Республике Алтай, три другие фиксировали техногенные сейсмические активизации в районах разработок полезных ископаемых в Кузбассе и Новосибирской области. В 2020 г. в регионе зарегистрировано 8438 землетрясений, 4655 из которых произошли в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая, описание сейсмичности которой приведено в данном обзоре отдельно. Суммарная сейсмическая энергия, выделенная в очагах землетрясений Алтае-Саянского региона в 2020 г., составила $1.02 \cdot 10^{12}$ Дж, что является рекордно низким значением за всю историю инструментальных наблюдений. Наклон линейной части графика повторяемости землетрясений за 2020 г. не претерпел существенных изменений по сравнению с таковым в предыдущем году. Самое сильное в 2020 г. землетрясение в регионе ($M_L=5.3$) произошло 22 октября в $13^{\text{h}}38^{\text{m}}$ на южном склоне хр. Восточный Саян.

Ключевые слова: Алтае-Саянский регион, Чуйско-Курайская зона, землетрясение, сеть сейсмических станций, техногенная сейсмичность, механизм очага.

Для цитирования: Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Подкорытова В.Г. Сейсмичность Алтае-Саянского региона в 2020 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – С. 127–134. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.11> EDN: GERVJY

Введение. Алтае-Саянский филиал (АСФ) ФИЦ ЕГС РАН ответственен за сейсмический мониторинг территории в границах: $\varphi=46\text{--}60^\circ\text{N}$, $\lambda=76\text{--}100^\circ\text{E}$. При этом западный предел долготы составляет 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, а также Алтайского края и Кузбасса, и частично – территории Иркутской, Новосибирской, Омской и Томской областей, Красноярского края, Республики Бурятия, фрагменты соседних стран – Казахстана, Китая и Монголии.

Большинство землетрясений фиксируется в пределах Алтае-Саянской горной области, представляющей собой сложную ячеистую структуру из горных хребтов и разделяющих их впадин [1]. При этом в прилегающих к Алтае-Саянской горной области с северо-запада структурах Западно-Сибирской платформы также происходит значительное количество землетрясений.

Задача настоящей работы – представить анализ сейсмической обстановки региона за 2020 г., а также дать описание обеспечивающих сейсмологические данные стационарной и временных сетей станций, их оснащения и возможностей.

Сеть стационарных сейсмических станций. В 2020 г. сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН насчитывала 53 пункта регистрации (Прил. 1). В рамках обмена доступны также волновые формы с четырех станций Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН (рис. 1).

Произошел ряд изменений в конфигурации и оснащении сети по сравнению с предыдущим отчетным периодом. В 2020 г. осуществлена модернизация регистраторов на станциях «Еланда» (ELDR), «Железногорск» (GZL) и «Железногорск-2» (GZLN). На станции «Новосибирск-2» (NVSII) добавлен комплекс регистрации – датчик СМЕ-6211 с регистратором NDAS-RT. Кроме того, на ряде станций сети актуализированы уровни чувствительности аппаратных комплексов (Прил. 1). В 2020 г. эта сеть обеспечивала представительную регистрацию на уровне $M_{L\text{min}}=1.5$ в центральной части Алтае-Саянского региона, включающей самые густонаселенные территории: восточную часть Новосибирской области, Кузбасс, Республики Алтай, Хакасия и большую часть Республики Тува, центральную и южную части Красноярского края, западную часть Республики Бурятия. На территориях с повышенной плотностью сейсмостанций (юго-восток Новосибирской области, центральная и южная части Кузбасса, более половины территории Республики Алтай и ряд других) землетрясения регистрируются с более низкими представительными магнитудами

$ML_{\min}=1$. На периферии зоны ответственности составления каталога, включающей прилегающие к границам России участки Казахстана, Китая и Монголии, а также в Томской области, уровень представительности регистрируемых без пропусков землетрясений повышается; тем не менее, почти на всей территории каталога АСФ ФИЦ ЕГС РАН не могут быть пропущены землетрясения с $ML_{\min}=3$ и выше (рис. 1).

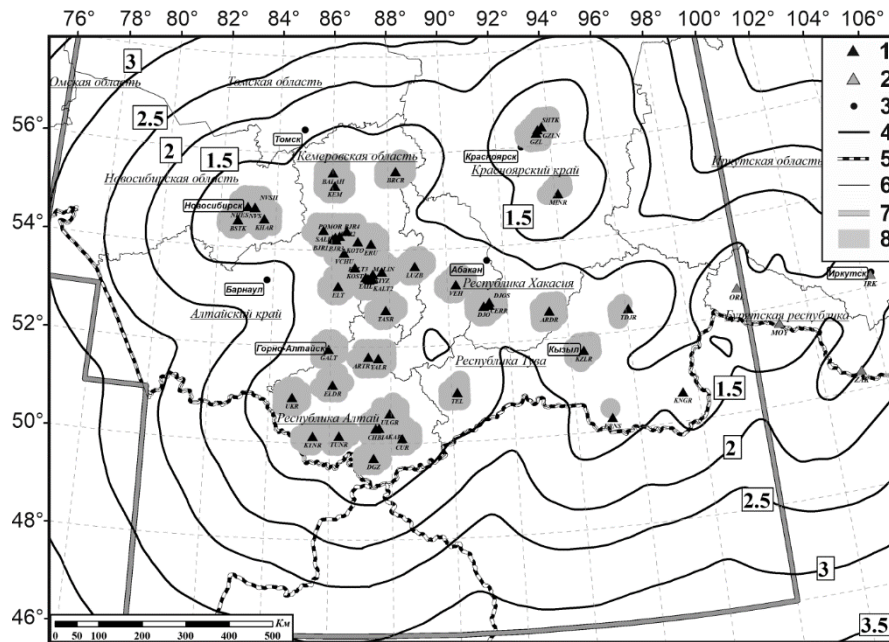


Рис. 1. Карта изолиний энергетической представительности $ML_{\min}$ регистрации землетрясений Алтае-Саянской региональной сетью станций в 2020 г.

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 2020 г. на территории Алтае-Саянской горной области функционировали четыре локальные временные сети. Три из них были нацелены на исследование техногенных сейсмических активизаций, приуроченных к разработкам твердых полезных ископаемых: в районе угледобывающих разрезов «Бачатский» и «Краснобродский» (Кузбасс), а также в Новосибирской области в районе угледобывающего разреза «Колыванский». Продолжены традиционные наблюдения в Республике Алтай, охватывающие Чуйско-Курайскую зону и смежные тектонические структуры.

В рамках экспериментальных работ по выделению обменных волн, преломленных на глубинных границах подошвы земной коры, методом функции приемника [2] выставлен профиль из девяти широкополосных сейсмических станций (рис. 2). С юга на север две станции расположены в Чуйской впадине, одна – в Курайской, одна – в Айгулакском хребте. Далее профиль продолжен вдоль реки Чулышман и Телецкого озера до северных границ Республики Алтай. Кроме того, для выполнения поставленных задач пригодны данные со стационарных станций, оборудованных широкополосной аппаратурой: «Ельцовка» (ELT), «Артыбаш» (ARTR) и «Чаган-Узун» (CUR) (Прил. 1). В результате работ пополнен ряд данных обменных волн от крупных удаленных землетрясений.

В дополнение к прямому назначению, станции широкополосного профиля функционировали и как часть локальной сети в районах Горного Алтая (Прил. 2). В первую очередь это эпицентральная область Чуйского землетрясения 27.09.2003 г. в $11^{\text{h}}33^{\text{m}}$ с $M_s=7.3$, где продолжается афтершоковый процесс [3], а также смежные структуры. В 2020 г. сеть насчитывала десять короткопериодных станций и функционировала в период с 17 июня по 5 октября (как и станции широкополосного профиля). Район работ сети (№ 1 на рис. 2) примерно совпадает с территорией Алтайского сейсмологического полигона – уплотненной части станций региональной сети в пределах координат: $\varphi=49.0\text{--}51.0^\circ\text{N}$, $\lambda=87.0\text{--}89.0^\circ\text{E}$. Наблюдения сетями временных станций здесь проводятся ежегодно, начиная с 2002 года. В 2020 г. станции были расположены в районе

Айгулакского, Курайского, Южно-Чуйского и Северо-Чуйского хребтов, Чаган-Узунского блока. Две станции выставлены в среднем течении р. Катунь, еще одна станция вынесена в восточную часть полигона, в район хребта Чихачева (рис. 2).

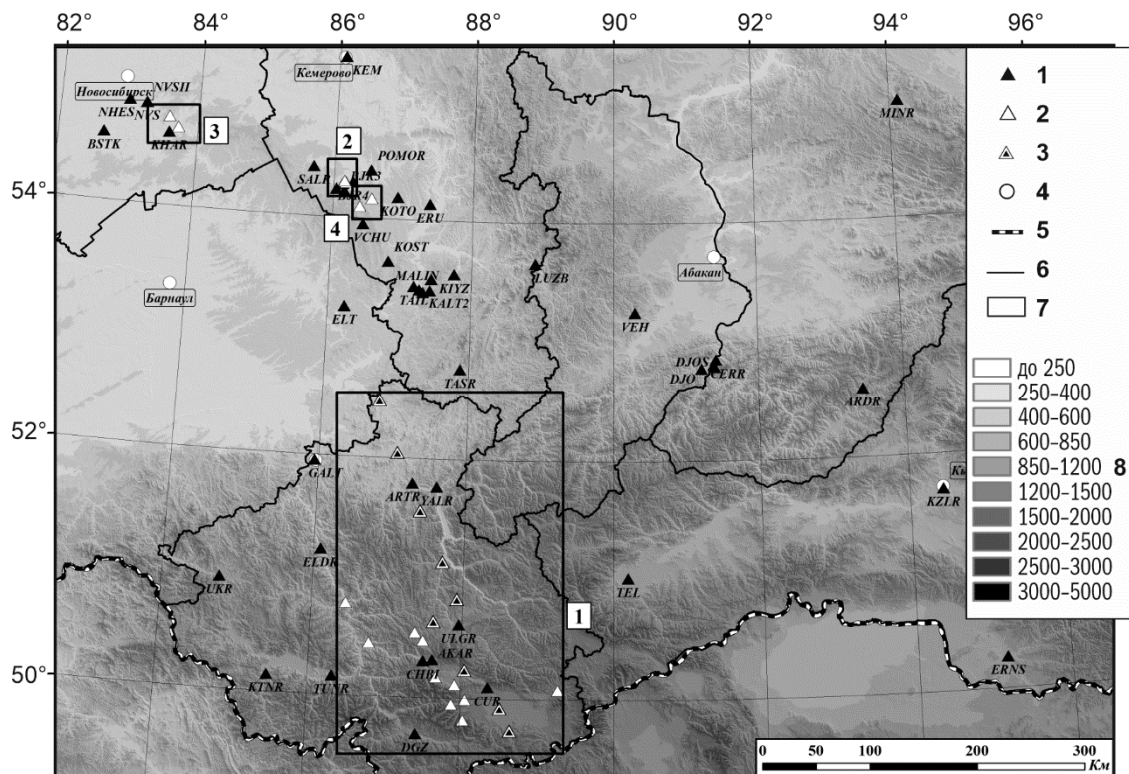


Рис. 2. Локальные сети временных станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в Алтай-Саянском регионе в 2020 г.

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 «Колыванский», Новосибирская область; 4 – в районе разреза «Краснобродский», Кемеровская область); 8 – высоты рельефа h_y , м.

С помощью локальной сети временных станций в Кузбассе в районе разреза «Бачатский» (Прил. 3) продолжено исследование сейсмической активизации, сопутствующей Бачатскому землетрясению 18.06.2013 г. в 23^h02^m с $ML=6.1$, крупнейшему в мире при добыче твердых полезных ископаемых [4]. В течение 2020 г. данная сеть состояла из двух комплексов регистрации (№ 2 на рис. 2).

Третья временная сеть (№ 3 на рис. 2) в 2020 г. функционировала в Новосибирской области, в районе угледобывающего разреза «Колыванский», ведущего разработку Горловского угольного бассейна. С 2013 г. в этом районе фиксировались землетрясения с $1 \leq ML \leq 3$; с 2019 г. периодически стали происходить события с энергетическим уровнем, превышающим $ML=4$ [5]. 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. 4) 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. 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.

Начиная с февраля 2018 г. в районе угледобывающего разреза «Краснобродский» (Кузбасс) для исследования техногенной активизации с энергетическим уровнем до $ML=4$ действует локальная сеть (№ 4 на рис. 2, Прил. 5). В 2020 г. эта сеть состояла из двух пунктов регистрации.

Методика обработки сейсмологических данных, получаемых сетями сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН, в отчетный период не претерпела изменений и изложена в [6].

Каталоги землетрясений и механизмов очагов. Общее число землетрясений, включенных в каталог основных параметров землетрясений (Прил. 6) за 2020 г., составило $N_{\Sigma}=8438$ с диапазоном локальных магнитуд землетрясений в каталоге $-0.8 \leq ML \leq 5.3$.

Механизмы очагов в 2020 г. рассчитаны для пяти землетрясений с использованием пакета программ [7] (Прил. 7, рис. 5, 6).

Макросейсмические обследования в Алтае-Саянском регионе в 2020 г. проведены для трех землетрясений (Прил. 8). Интенсивность макросейсмических проявлений землетрясения 17 октября 2020 г. в 17^h21^m с $ML=4.9$ (Прил. 6, землетрясение № 13) в зоне техногенной активизации в районе угледобывающего разреза «Краснобродский» (Кузбасс) достигала $I=4$ балла по шкале MSK-64 [8] в пос. Краснобродский. При землетрясении на южном склоне хр. Восточный Саян 22 октября 2020 г. в 13^h38^m с $ML=5.3$ (Прил. 6, землетрясение № 14) жители села Орлик ощущали сотрясения с $I=3-4$ балла. Обследование землетрясения 15 ноября 2020 г. в 06^h18^m с $ML=4.5$ (Прил. 6, землетрясение № 16) на северном склоне хр. Восточный Саян показало максимальную интенсивность $I=2$ балла в населенных пунктах Зима и Саянск (Прил. 8).

В табл. 1 приведены распределение количества землетрясений по магнитуде ML (с шагом $0.5 ML$) и суммарная выделившаяся в 2020 г. сейсмическая энергия. Примечательно, что значение суммарной энергии за отчетный период ($\Sigma E=1.02 \cdot 10^{12}$ Дж) – рекордно низкое за весь период наблюдений, начиная с 1963 г. (рис. 3). Среднее значение логарифма выделившейся суммарной сейсмической энергии по Алтае-Саянскому региону за указанный период составляет $\lg(\Sigma E_{\text{год}}, \text{Дж})=13.5$

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по магнитудам ML и суммарная сейсмическая энергия ΣE в Алтае-Саянском регионе в 2020 г.

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}	$\Sigma E, \text{Дж}$
N	3	91	1154	1701	1388	1649	1440	625	219	97	46	20	4	1	–	8438	$1.02 \cdot 10^{12}$

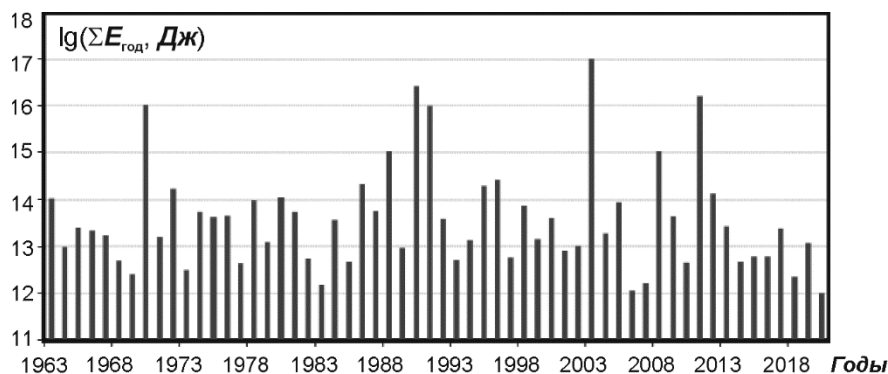


Рис. 3. Ежегодное выделение суммарной сейсмической энергии в Алтае-Саянском регионе за период 1963–2020 гг.

График повторяемости землетрясений по данным табл. 1 за 2020 г. приведен на рис. 4. Наклон его линейной части в диапазоне магнитуд $ML=2-4.5$ составил $b=0.75$; отмечается небольшое увеличение коэффициента b по сравнению с предыдущим отчетным периодом (2018–2019 гг.), когда он составил $b=0.73$. Представительная магнитуда каталога, судя по излому графика повторяемости, близка к $ML_{\min}=2.0$.

Анализ сейсмичности. Эпицентры всех 8438 землетрясений представлены на рис. 5. Главные сейсмоактивные зоны Алтае-Саянского региона в 2020 г. – это Чуйско-Курайская зона Горного Алтая, район границы Казахстана и Китая (Зайсанская впадина и территория к югу от нее), Алтай и Котловина Больших озер в Монголии, районы в Республике Тува: юго-западное обрамление Тувинской котловины, хр. ак. Обручева, район Бусийнгольской впадины, хр. Сангилен, техногенные активизации в Кузбассе (рис. 5). При этом не наблюдается доминирования одной сейсмоактивной территории в общей сейсмичности региона, какой была, к примеру, Чуйско-Курайская зона Горного Алтая в течение 10–15 лет после Чуйского землетрясения 2003 г. [3]. Вместо этого продолжается рост вклада в сейсмичность региона ряда сейсмоактивных структур Алтае-Саянского региона, расположенных на удалениях в сотни километров от эпицентральной зоны Чуйского землетрясения [9].

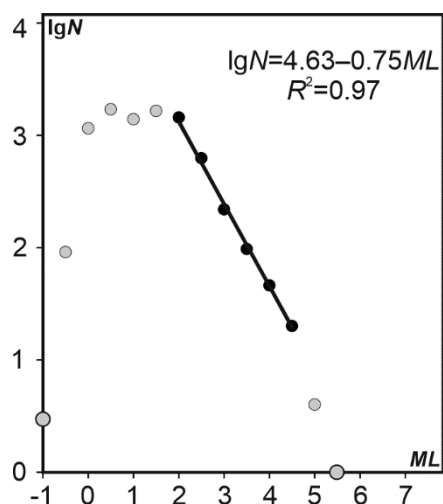


Рис. 4. График повторяемости землетрясений Алтае-Саянского региона в 2020 г.

Самое сильное в 2020 г. землетрясение в регионе (14 на рис. 5) с $ML=5.3$ произошло 22 октября в 13^h38^m на южном склоне хр. Восточный Саян. Второе по мощности ($ML=5.0$) землетрясение произошло 23 марта в 22^h47^m на территории Монголии, на стыке Монгольского Алтая и Котловины Больших озер (4 на рис. 5). Крупные сейсмические события ($ML \geq 4.6$) в 2020 г. происходили также в Республике Алтай (8 на рис. 5), в юго-западном обрамлении Тувинской котловины (6 на рис. 5), в Монголии на стыке хр. Хан-Хухэй и котловины Убсу-Нур (17 на рис. 5), в районе Бусийнгольской и Белинской впадин (10 и 7 на рис. 5), на южной оконечности хр. Сангилен (9 на рис. 5).

Наряду с этими землетрясениями, имеющими очевидно естественную природу, в районах активной добычи твердых полезных ископаемых (Кузбасс и Новосибирская область) фиксировалась техногенная сейсмичность. Продолжается афтершоковый процесс в эпицентральной зоне Бачатского землетрясения 18.06.2013 г. с $ML=6.1$ [4]. Техногенное землетрясение с $ML=4.9$ произошло 17 октября

в 17^h21^m в районе разреза «Краснобродский», расположенного в 15 км к юго-востоку от разреза «Бачатский» (13 на рис. 5). Техногенные землетрясения с энергетическим уровнем вплоть до $ML=4$ фиксируются и на юге Кемеровской области, в частности, в районе добычи угля совместно открытым (разрез «Калтанский») и подземным (шахта «Алардинская») способами, а также в районе железорудных месторождений в Горной Шории. В районе техногенной активизация в 50 км к юго-востоку от г. Новосибирска, в районе угледобывающего разреза «Колыванский» [5], также отмечена сейсмичность уровня $ML \geq 4$.

В Томской области 5 марта в 01^h00^m произошло землетрясение с $ML=4.1$. Его эпицентр зафиксирован в районе разработок нефтегазовых месторождений на удалении порядка 400 км к северо-западу от ближайшей станции региональной сети.

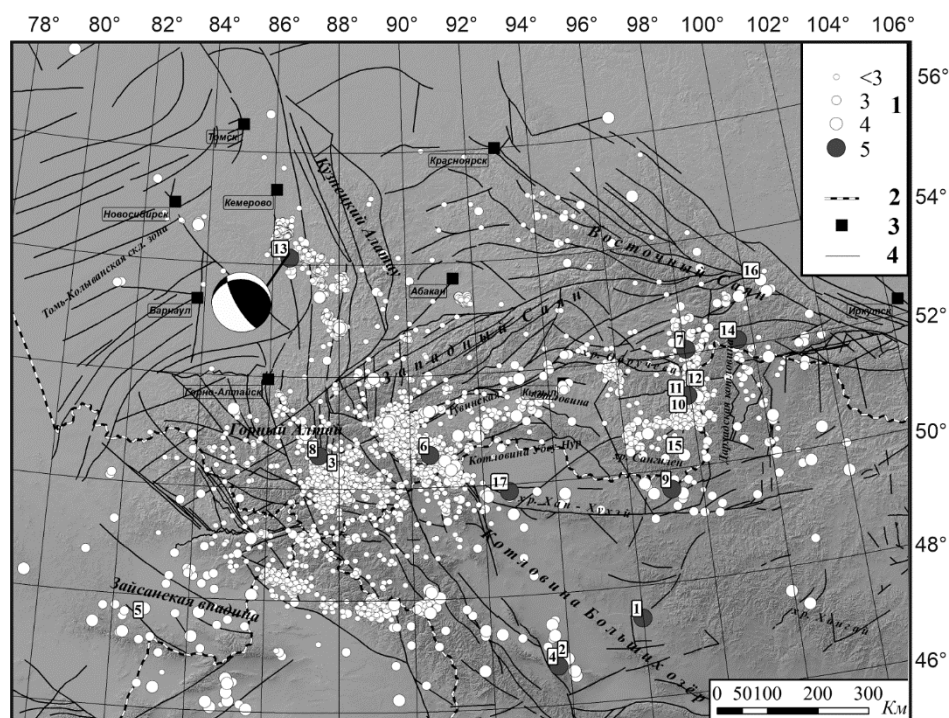


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений Алтае-Саянского региона в 2020 г.

1 – магнитуа ML ; 2 – государственная граница; 3 – город; 4 – неотектонический разлом по [10]. На карте показана диаграмма механизма очага землетрясения 17 октября с $ML=4.9$, 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. В Чуйско-Курайской зоне Республики Алтай, условно ограниченной координатами $\varphi=49.5\text{--}51^\circ\text{N}$, $\lambda=87\text{--}89.5^\circ\text{E}$, в 2020 г. зафиксировано 4655 землетрясений (рис. 6).

Сохраняется сейсмическая активность в районе очаговой зоны крупнейшего ($M_s=7.3$) за период инструментальных наблюдений в регионе Чуйского землетрясения 27 сентября 2003 г. [3]. При этом замечена тенденция к распространению сейсмического процесса в области, смежные с эпицентральной зоной Чуйского землетрясения, – в районы Курайского и Айгулакского хребтов. В Айгулакском хребте продолжается афтершоковый процесс после Айгулакского землетрясения 13 сентября 2019 г. с $ML=5.5$ [11]. Там и произошло крупнейшее в 2020 г. землетрясение 31 июля с $ML=4.7$ (8 на рис. 5, 6). Крупнейшее землетрясение в районе Курайского хребта (3 на рис. 5, 6) с $ML=4.5$ произошло 21 марта. Что касается непосредственно эпицентральной зоны Чуйского землетрясения 27 сентября 2003 г., землетрясений с $ML\geq 3.5$ в 2020 г. там не зафиксировано.

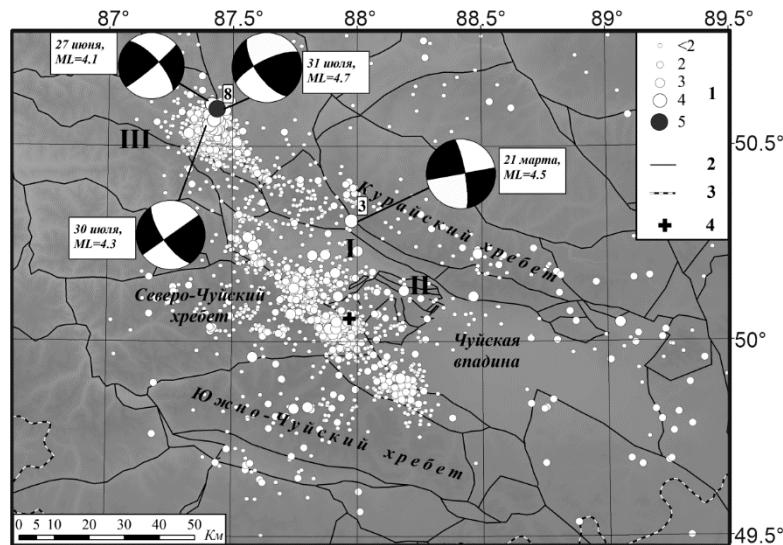


Рис. 6. Эпицентры землетрясений в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая в 2020 г.

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). Наклон графика, рассчитанный для его линейной части ($ML=1.5\text{--}4.5$), составил $b=0.87$.

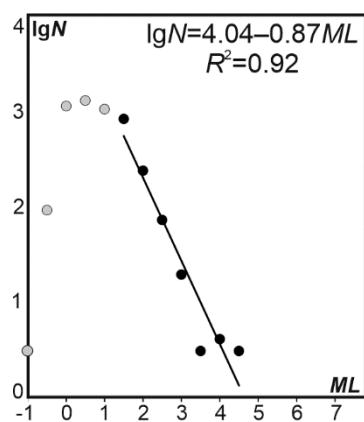


Рис. 7. График повторяемости землетрясений в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая в 2020 г.

Заключение. Уровень выделившейся на территории Алтае-Саянского региона в 2020 г. сейсмической энергии является рекордно низким за весь период наблюдений с 1963 года. Наиболее крупное землетрясение региона с $ML=5.3$ произошло 22 октября в 13^h38^m на южном склоне хр. Восточный Саян. Наблюдается прекращение доминирования Чуйско-Курайской зоны Горного Алтая в общей сейсмичности региона. Продолжается техногенная сейсмическая активность в районах добычи твердых полезных ископаемых в Кузбассе и в Новосибирской области на уровне ощутимых землетрясений с магнитудами вплоть до $ML=4.9$. В Томской области в районе разработок нефтегазовых месторождений зафиксировано землетрясение с $ML=4.1$.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках госзадания № 075-00682-24 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, А.И. Артемова, А.А. Еманов, А.Ф. Еманов, Р.А. Ершов, Н.А. Лукаш, О.А. Манушина, В.Г. Подкорытова, Л.А. Подлипская, С.Г. Пойгина, А.В. Фатеев, М.В. Фролов, А.О. Шаталова, С.С. Шевелёва, Е.В. Шевкунова.

Электронное приложение App06_Altai_Sayan_2020 (<http://www.gsras.ru/zse/app-27.html>): 1 – Стационарные сейсмические станции Алтае-Саянского региона в 2020 г. (код центра ASRS); 2 – Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая и станции широкополосного профиля (CF20, CH07, SHP02–SHP20) в 2020 г.; 3 – Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в районе разреза «Бачатский» Кемеровской области в 2020 г.; 4 – Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в районе разреза «Колыванский» Новосибирской области в 2020 г.; 5 – Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в районе разреза «Краснобродский» Кемеровской области в 2020 г.; 6 – Каталог землетрясений Алтая и Саян за 2020 г.; 7 – Каталог механизмов очагов землетрясений Алтае-Саянского региона за 2020 г.; 8 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Алтае-Саянского региона за 2020 г.; 9 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Алтае-Саянского региона за 2020 год.

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.А., Еманов А.Ф., Шевкунова Е.В., Фатеев А.В., Ребецкий Ю.Л. Объемная структура афтершоковой области Бачатского землетрясения (Кузбасс) и напряженное состояние недр под разрезом // Геология и геофизика. – 2023. – Т. 64, № 12. – С. 1742–1750.
5. 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>
6. 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.
7. 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.
8. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
9. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Гладышев Е.А. Эволюция сейсмичности Алтая после Чуйского землетрясения 2003 г. // Вулканология и сейсмология. – 2023. – № 6. – С. 26–40. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0203030623700347>
10. Трифонов 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 2020

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. An analysis of the seismicity of the Altai-Sayan region in 2020 is given. The stationary seismic network in the reporting period consisted of 53 registration points, work was carried out on the modernization and retrofitting of recording equipment. In addition to the stationary network, four local time networks functioned in

the region: one 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 recorded man-made seismic processes in the area of coal mining enterprises in Kuzbass and the Novosibirsk region. In 2020 8438 earthquakes have been registered in the region, 4655 of them occurred in the Chui-Kurai zone of the Altai Mountains, for which a separate overview of seismicity is presented. The total seismic energy released in the earthquake foci of the Altai-Sayan region in 2020 amounted to $2.19 \cdot 10^{12} J$, which is a record low value in the entire history of instrumental observations. The slope of the linear part of the earthquake recurrence graph for 2020 has not undergone significant changes compared to the previous reporting period. The strongest in 2020 earthquake in the region ($M_L=5.3$) occurred on October 22 at 13^h38^m on the southern slope of the Eastern Sayan ridge.

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

For citation: Emanov, A.F., Emanov, A.A., Fateev, A.V., Shevkunova, E.V., & Podkorytova, V.G. (2024). [Seismicity of the Altai and Sayan region in 2020]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020), 127–134. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.11> EDN: GERVJY

References

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 iskopayemykh. 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.A., Emanov, A.F., Shevkunova, E.V., Rebetskii, Iu.L., & Fateev, A.V. (2023). Volumetric Structure of the Bachat earthquake (Kuzbass) aftershock area and stress state of rock mass under open-pit mine. *Russian Geology and Geophysics*, 64(12), 1742–1750.
5. 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>
6. 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.).
7. 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.
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. Emanov, A.F., Emanov, A.A., Fateev, A.V., Shevkunova, E.V., & Gladyshev, E.A. (2023). The Evolution of Altai Seismicity Following the Chuya Earthquake of 2003. *Journal of Volcanology and Seismology*, 17(6), 460–473.
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.).