

УДК 550.348.098.64 (571.15)

СЕЙСМИЧНОСТЬ АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА в 2021 году

А.А. Еманов^{1,2}, А.Ф. Еманов¹, А.В. Фатеев^{1,2}, Е.В. Шевкунова¹, В.Г. Подкорытова¹

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

²Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Россия, ipgg@ipgg.sbras.ru

Аннотация. В работе рассмотрены особенности сейсмического режима Алтае-Саянского региона в 2021 г. Сейсмическая сеть региона в указанный период насчитывала 53 стационарные сейсмические станции; в течение года проводилась модернизация регистрирующей аппаратуры и регламентные работы. В 2021 г. на территории Алтае-Саянского региона дополнительно к стационарной функционировали четыре локальные сети и одна временная станция. Суммарная сейсмическая энергия, выделенная в очагах землетрясений Алтае-Саянского региона в 2021 г., составила $9.5 \cdot 10^{12}$ Дж, что немного ниже среднегодового значения за весь период инструментальных наблюдений. Наклон линейной части графика повторяемости землетрясений за 2021 г. практически не отличается от такового за 2020 г. и составляет $b=0.76$. Крупнейшее землетрясение региона в 2021 г. ($M_L=5.9$) произошло 6 сентября в 07^h47^m в центральной части хр. Восточный Саян, на территории Республики Тува. Максимальная интенсивность макросейсмических проявлений от землетрясений в регионе достигала $I=5$ баллов по шкале MSK-64. Отдельно дано описание сейсмичности Чуйско-Курайской зоны Горного Алтая.

Ключевые слова: Алтае-Саянский регион, сейсмический режим, землетрясение, сеть сейсмических станций, техногенная сейсмичность, механизм очага.

Для цитирования: Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Подкорытова В.Г. Сейсмичность Алтае-Саянского региона в 2021 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – С. 129–137. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.11> EDN: LGIDKF

Введение. Алтае-Саянский филиал (АСФ) ФИЦ ЕГС РАН осуществляет сейсмический мониторинг территории в пределах: $\varphi=46-60^\circ\text{N}$, $\lambda=76-100^\circ\text{E}$. При этом западная граница долготы составляет от 76° до 80° на разных широтах; точные контуры зоны ответственности АСФ ФИЦ ЕГС РАН представлены на рис. 1. Регион включает в себя территории республик Алтай, Тува и Хакасия, Алтайского края и Кузбасса (полностью), Иркутской, Новосибирской, Омской и Томской областей, Красноярского края, Республики Бурятия (частично), а также фрагменты соседних государств – Казахстана, Китая и Монголии.

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

Данная работа решает задачу анализа сейсмической обстановки региона в 2021 г. Кроме того, дается описание стационарной и временных сетей станций, предоставляющих сейсмологические данные, их оснащения и возможностей.

Сеть стационарных сейсмических станций. В 2021 г. сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН состояла из 53 пунктов регистрации [Приложение 1]. В рамках обмена до-ступны также волновые формы с четырех станций Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН (рис. 1).

В сравнении с ситуацией в 2020 г., проведены следующие изменения в конфигурации и приборном оснащении региональной сети. В феврале 2021 г. открыта новая станция «Николаевка» (NIKOL) в Кемеровской области вместо находившейся в том же районе станции «Тайлеп» (TAIP), закрытой в декабре 2020 г. В рамках модернизации аппаратного обеспечения заменены устаревшие регистраторы на современные на станциях «Верх-Чумыш» (VCHU), «Ерунаковская» (ERU) и «Кайтанак» (KTNR). На станции «Быстровка» (BSTK) сейсмометр CM-3KB заменен на скважинный прибор CME-6111. На станции «Кунгуртут» (KNGR) в дополнение к имеющемуся оборудованию установлен широкополосный датчик с регистратором CMG-6TD. Полная замена устаревшего регистрирующего комплекса на оборудование фирм Guralp и Nanometrics проведена на станции «Тоджа» (TDJR). Кроме того, на ряде станций сети («Ельцовка», «Котино», «Новосибирск», «Таштагол», «Тюнгур», «Улаган», «Усть-Кан», «Чаган-Узун», «Чибит») проверены и актуализированы уровни чувствительности датчиков и регистраторов [Приложение 1].

В 2021 г. стационарная сеть обеспечивала представительную регистрацию на уровне $ML_{\min}=1.5$ 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).

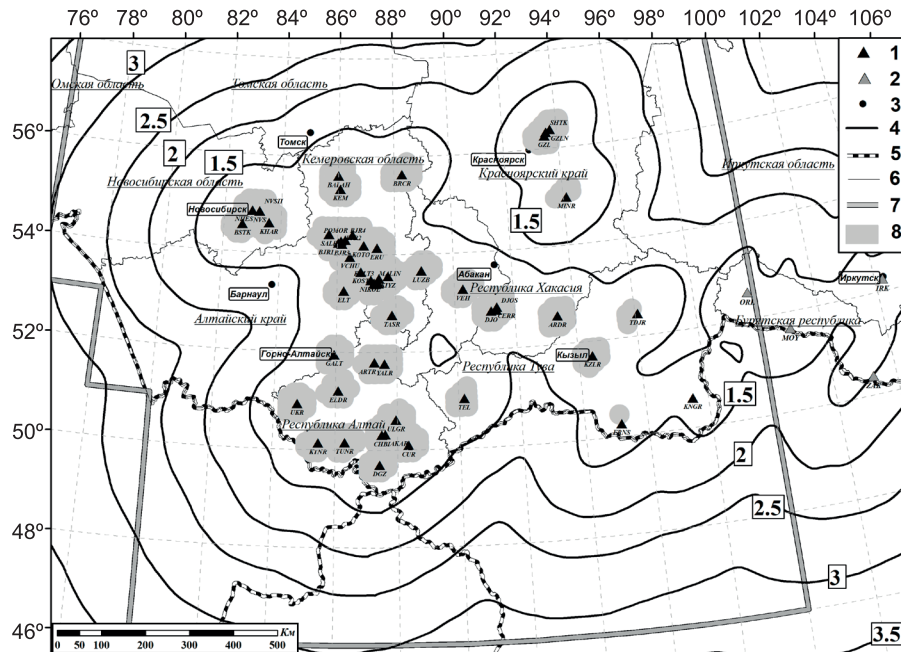


Рис. 1. Карта изолиний энергетической представительности ML_{\min} регистрации землетрясений Алтае-Саянской региональной сетью станций в 2021 г.

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 $ML_{\min}=1$.

Локальные временные сети. В 2021 г. на территории Алтае-Саянской горной области функционировали три локальные временные сети. Продолжены традиционные наблюдения в Республике Алтай, охватывающие Чуйско-Курайскую зону и смежные тектонические структуры. Еще две сети были нацелены на исследование техногенных сейсмических активизаций, приуроченных к разработкам твердых полезных ископаемых в районе угледобывающих разрезов «Бачатский» (Кузбасс) и «Колыванский» (Новосибирская область). Кроме того, одна временная станция была установлена в г. Камне-на-Оби (рис. 2).

В 2021 г. в продолжение работ по выделению обменных волн, преломленных на глубинных границах подошвы земной коры, методом функции приемника [2] восстановлена часть профиля в размере девяти широкополосных сейсмических станций (рис. 2). Начиная с юга, две станции расположены в Чуйской впадине, одна – в Курайской, одна – на северных отрогах Курайского хребта. Далее профиль продолжен вдоль реки Чулышман и Телецкого озера почти до Алтайского края. Для решения поставленных задач пригодны также данные со стационарных станций, оборудованных широкополосной аппаратурой: «Ельцовка» (ELT), «Артыбаш» (ARTR) и «Чаган-Узун» (CUR) [Приложение 1]. В результате проведенных работ пополнен ряд данных обменных волн от крупных удаленных землетрясений.

Кроме своего прямого назначения, станции широкополосного профиля являлись частью локальной сети в районах Горного Алтая [Приложение 2]. 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], и смежные с ней структуры. В 2021 г. сеть насчитывала одиннадцать короткопериодных станций и вместе с широкополосным профилем функционировала более трех месяцев, с 25 июня по 6 октября. Район расположения станций 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 г. В 2021 г. станции были расположены в районе Айгулакского, Южно-Чуйского и Северо-Чуйского хребтов, Чаган-Узунского блока. Две станции выставлены в среднем течении р. Катунь, еще одна станция расположена в восточной части полигона, в районе хребта Чихачева (рис. 2).

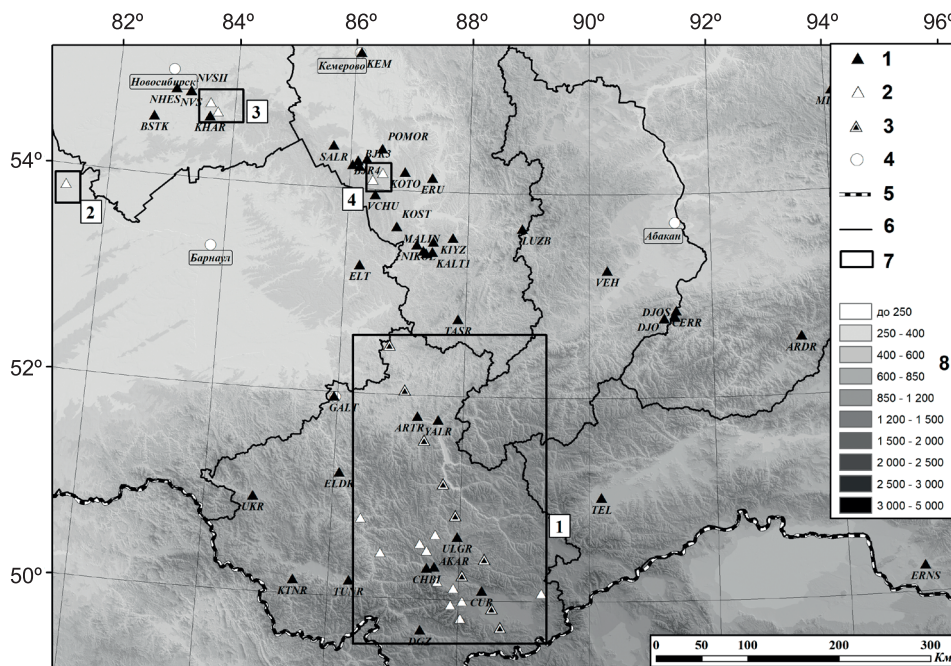


Рис. 2. Локальные сети временных станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в Алтае-Саянском регионе в 2021 г.

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 г. Камень-на-Оби, Новосибирская область; 3 – в районе разреза «Колыванский», Новосибирская область; 4 – в районе разреза «Краснобродский», Кузбасс); 8 – высоты рельефа h_r , м.

27 января 2021 г. начала работу временная станция в г. Камень-на-Оби Новосибирской области (в районе № 2 на рис. 2) [Приложение 3]. В данном районе периодически происходят крупные землетрясения, ощутимые в том числе в г. Новосибирске, находящемся на расстоянии порядка 170 км от него. Крупнейшее из них произошло 15.02.1965 г. и имело энергетический класс $K_p=13.5$ [4]. Таким образом, было восстановлено наблюдение за сейсмичностью данного района на уровне малых энергий, начало которому было положено в 2010 г. [5].

Третья временная сеть (№ 3 на рис. 2) в 2021 г. функционировала в Новосибирской области, в районе угледобывающего разреза «Колыванский», ведущего разработку Горловского угольного бассейна. С 2019 г. в данном районе периодически стали происходить события с $ML \geq 4$ [6]. В непосредственной близости от разработок, в 7 км к югу от разреза «Колыванский», расположена стационарная сейсмическая станция «Харино» (KHAR) [Приложение 1]. Дополнительно 27 сентября 2017 г. начали работу еще две временные сейсмические станции, в 8 км к северо-западу и в 8 км к востоку от разреза, что позволило на качественно новом уровне проводить мониторинг техногенной сейсмичности, сопровождающей добычу твердых полезных ископаемых [Приложение 4].

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, [Приложение 5]). В 2021 г. сеть включала в себя два пункта регистрации.

Методика обработки сейсмологических данных, получаемых сетями сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН, в 2021 г. не претерпела изменений и в целом изложена в [7]. Что касается методики расчета суммарной сейсмической энергии, в период с 1963 по 2011 гг. использовался энергетический класс K_p . В связи с переходом на новую систему обработки в 2012 г., получена корреляционная зависимость ML (K_p):

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

и начиная с 2012 г. она используется для расчета суммарной сейсмической энергии [7].

Каталоги землетрясений и механизмов очагов. Общее число землетрясений, включенных в каталог основных параметров землетрясений [Приложение 6] за 2021 г., составило $N_\Sigma = 933$ с диапазоном локальных магнитуд землетрясений в каталоге $2.5 \leq ML \leq 5.9$.

Механизмы очагов в 2021 г. рассчитаны для четырех землетрясений с использованием пакета программ [8] ([Приложение 7], рис. 5).

Макросейсмические обследования в Алтае-Саянском регионе в 2021 г. проведены для девяти землетрясений [Приложение 8]. Максимальная интенсивность макросейсмических проявлений (до $I=5$ баллов по шкале MSK-64 [9]) фиксировалась в г. Новокузнецке от землетрясения 12 августа 2021 г. в 20^h41^m с $ML=5.6$ ([Приложение 6], землетрясение № 10), эпицентр которого приурочен к группе угледобывающих разрезов в Кемеровской области, крупнейшим из которых является разрез «Талдинский». Также 5 баллов достигали сотрясения в ряде населенных пунктов от землетрясения 6 сентября 2021 г. в 07^h47^m с $ML=5.9$ ([Приложение 6], землетрясение № 13), произошедшего в центральной части хр. Восточный Саян. Зафиксированная интенсивность сотрясений от остальных сейсмических событий Алтае-Саянского региона в 2021 г. не превысила $I=4$ балла [Приложение 8].

В табл. 1 приведены распределение количества землетрясений по магнитуде ML (начиная с $ML=2.5$, с шагом $0.5 ML$) и суммарная выделенная в 2021 г. сейсмическая энергия ($\Sigma E = 9.5 \cdot 10^{12}$ Дж). Указанное значение суммарной энергии характерно для последних 7–8 лет наблюдений. Значение логарифма суммарной сейсмической энергии, выделенной в Алтае-Саянском регионе за 2021 г., составляет $\lg(\Sigma E_{\text{год}}, \text{Дж}) = 12.98$, что немного ниже среднегодового значения за весь период инструментальных наблюдений (1963–2021 гг.) – $\lg(\Sigma E_{\text{год}}, \text{Дж}) = 13.55$ (рис. 3).

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по магнитудам ML и суммарная сейсмическая энергия ΣE в Алтае-Саянском регионе в 2021 г.

ML	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	N_Σ	$\Sigma E, \text{Дж}$
N	423	308	123	47	20	7	3	2	933	$9.5 \cdot 10^{12}$

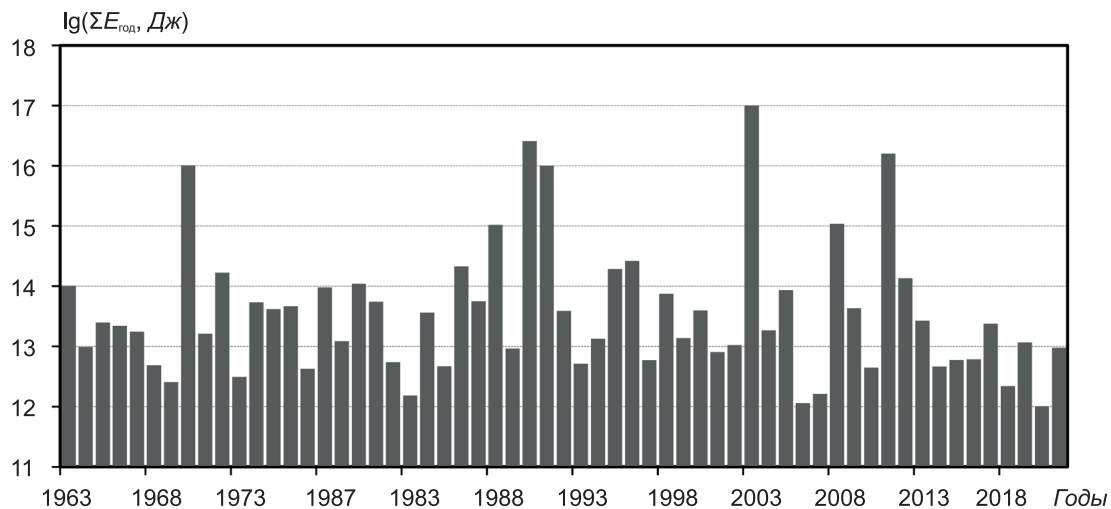


Рис. 3. Ежегодное выделение суммарной сейсмической энергии в Алтае-Саянском регионе за период 1963–2021 гг.

График повторяемости землетрясений по данным табл. 1 за 2021 г. приведен на рис. 4. Наклон его линейной части (диапазон магнитуд $ML=3-6$) составил $b=0.76$, что практически не отличается от такового за предыдущий год (2020), когда коэффициент b равнялся 0.75.

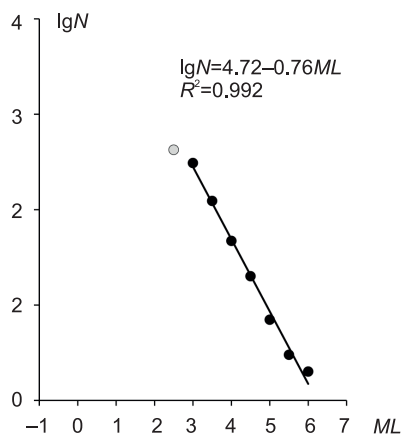


Рис. 4. График повторяемости землетрясений Алтае-Саянского региона в 2021 г.

Анализ сейсмичности. Эпицентры 933 землетрясений в диапазоне $2.5 \leq ML \leq 5.9$, зафиксированных в 2021 г. в Алтае-Саянском регионе, представлены на рис. 5. Пространственное распределение сейсмичности, по сравнению с таковым в 2020 г., не претерпело серьезных изменений. По-прежнему основные зоны сосредоточения сейсмической активности – это Республика Тува и Алтайская горная система. Среди наиболее сейсмоактивных в 2021 г. структур следует отметить следующие: Чуйско-Курайская зона Горного Алтая, Зайсанская впадина, Монгольский Алтай и Котловина Больших озер, хр. Хангай, юго-западное обрамление Тувинской котловины, хр. ак. Обручева, район Бусийнгольской впадины и Дархадской котловины, хр. Сангилен, хр. Восточный Саян, техногенные активизации в Кемеровской и Новосибирской областях (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]. Напротив,

наблюдается эффект повышения сейсмической активности ряда ранее малоактивных структур в разных направлениях от его эпицентра, расположенных на удалениях в сотни километров от эпицентральной зоны Чуйского землетрясения [10].

Сильнейшее для Алтае-Саянского региона в 2021 г. землетрясение (13 на рис. 5) с $ML=5.9$ произошло 6 сентября в 07^h47^m в центральной части хр. Восточный Саян, на стыке границ трех административных субъектов: Республики Тува, Республики Бурятия и Красноярского края. Сопоставимое по выделившейся энергии ($ML=5.8$) землетрясение было зафиксировано приблизительно в 100 км от вышеописанного 21 февраля в 01^h37^m на территории Республики Тува, в районе Тоджинской котловины (2 на рис. 5). Почти там же, буквально в нескольких километрах, также 21 февраля, спустя почти две минуты произошло еще одно крупное землетрясение с $ML=5.4$ (3 на рис. 5). Еще одна подобная серия из двух близкорасположенных сильных землетрясений с интервалом в 34 минуты произошла 5 сентября: в 07^h10^m с $ML=5.2$ и в 07^h44^m с $ML=5.0$. Локация эпицентров этих сейсмических событий приурочена к Шапшальскому хребту в западной части Республики Тува (11 и 12 на рис. 5). Третье по силе в 2021 г. землетрясение ($ML=5.6$) также произошло в Республике Тува, на южных отрогах хр. Западный Саян, в 25 км к северо-западу от г. Чадана.

На территории Монголии, в Котловине Больших озер, 24 декабря в 00^h49^m зафиксировано землетрясение с $ML=5.2$ (25 на рис. 5). Кроме того, крупные сейсмические события ($ML \geq 4.6$) в 2021 г. происходили в Республике Алтай в районе Айгулакского хребта, а также на стыке Катунского и Северо-Чуйского хребтов, в 20 км северо-восточнее горы Белухи (соответственно 5 и 7 на рис. 5); в юго-западном обрамлении Тувинской котловины (24 на рис. 5); в Монголии в районе хр. Хангай (1 и 22 на рис. 5); в районе Бусийнгольской впадины (19 и 23 на рис. 5); в районе Белинской впадины (6 на рис. 5).

Особняком стоит землетрясение, произошедшее 4 ноября в 20^h46^m в юго-западной части Новосибирской области (21 на рис. 5). Зафиксирована магнитуда $ML=4.9$, это рекордное значение за все время инструментальных наблюдений на территории Западно-Сибирской платформы. Эпицентр его находится в 270 км к западу от г. Новосибирска и в 70 км к востоку от оз. Чаны.

Все описанные выше землетрясения, очевидно, имеют тектоническую природу. Кроме того, на протяжении 2021 г. в районах активной добычи твердых полезных ископаемых (Кемеровская и Новосибирская области) фиксировалась техногенная сейсмическая активность [11]. Крупнейшее из зафиксированных техногенных землетрясений произошло 12 августа в 20^h41^m с $ML=5.6$ на территории Кузбасса, в районе угледобывающего разреза «Талдинский» (10 на рис. 5). Примечательно, что это землетрясение, второе в истории Кузбасса по мощности среди техногенных после Бачатского землетрясения 18.06.2013 г. с $ML=6.1$, в отличие от него не сопровождалось ни афтершоковым процессом, ни сколько-нибудь заметным изменением сейсмического режима, характерного для этого района (фоновый уровень магнитуд $ML=2-2.5$). Техногенные землетрясения с энергетическим уровнем вплоть до $ML=4.4$ фиксировались и вблизи других угледобывающих (шахта «Распадская», разрезы «Бачатский», «Калтанский», «Краснобродский») и железорудных (пп. Каз, Шерегеш, Таштагол) месторождений Кемеровской области. В 50 км к юго-востоку от г. Новосибирска, в районе угледобывающего разреза «Колыванский» [6], в 2021 г. также фиксировались техногенные землетрясения вплоть до $ML=4.2$ (рис. 5).

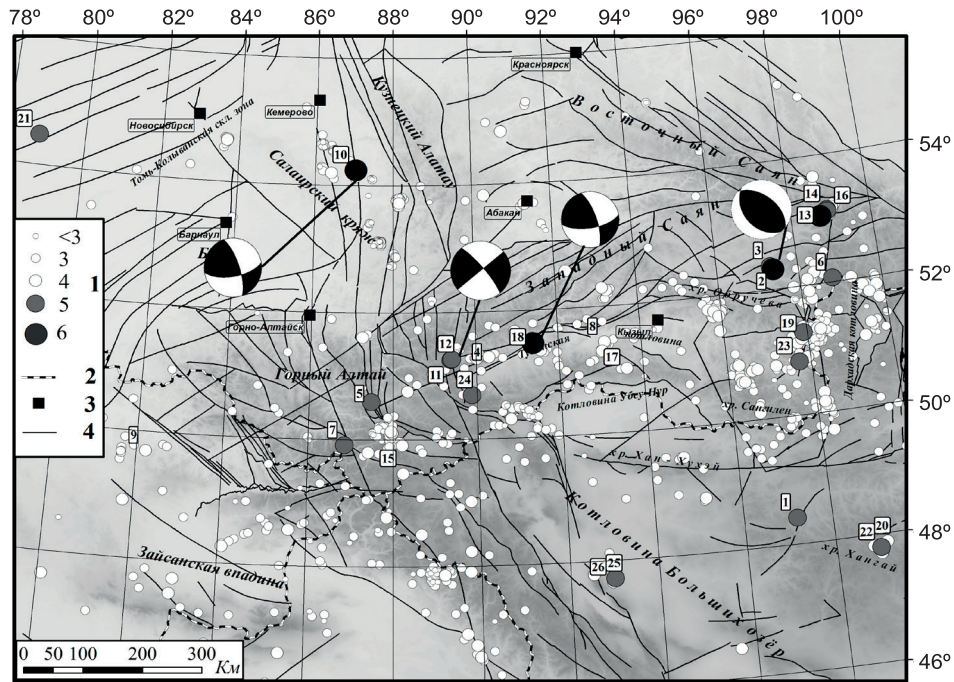


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений Алтае-Саянского региона в 2021 г.

1 – магнитуда M_L ; 2 – государственная граница; 3 – город; 4 – неотектонический разлом по [12]. 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 [Приложение 7].

Сейсмичность Чуйско-Курайской зоны. В Чуйско-Курайской зоне Республики Алтай, условно ограниченной координатами $\varphi=49.5-51^\circ N$, $\lambda=87-89.5^\circ E$, в диапазоне магнитуд свыше $M_L=2.5$ в 2021 г. зафиксировано 72 землетрясения (рис. 6).

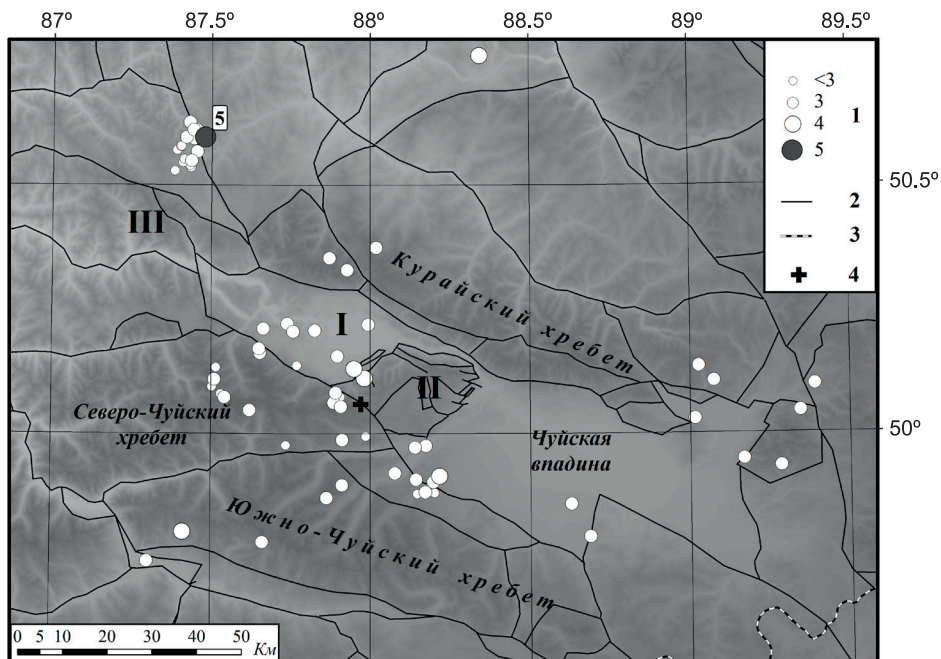


Рис. 6. Эпицентры землетрясений в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая в 2021 г.

1 – магнитуда M_L ; 2 – неотектонический разлом по [14]; 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. Арабские цифры на карте, а также далее в тексте в круглых скобках соответствуют номерам землетрясений в каталоге [Приложение 6].

Продолжается тенденция к распространению сейсмического процесса в области, смежные с эпицентральной зоной Чуйского землетрясения 2003 г. [3], – в первую очередь это районы Курайского, Южно-Чуйского и Айгулакского хребтов. Сейсмическая активность в районе очаговой зоны крупнейшего ($M_s=7.3$) за период инструментальных наблюдений в регионе Чуйского землетрясения 27 сентября 2003 г. [3] сохраняется, но уже не имеет доминирующего характера. Продолжается афтершоковый процесс после Айгулакского землетрясения 13 сентября 2019 г. с $ML=5.5$ [13]. Именно в районе Айгулакского хребта 18 марта в 01^h10^m произошло крупнейшее в 2021 г. землетрясение с $ML=4.6$ (5 на рис. 5, 6).

Заключение. В 2021 г. сейсмичность Алтае-Саянского региона фиксировалась на среднем уровне по количеству выделившейся сейсмической энергии. Максимальное по магнитуде ($ML=5.9$) землетрясение региона произошло 6 сентября в 07^h47^m в центральной части хр. Восточный Саян. Продолжается снижение удельного веса Чуйско-Курайской зоны Горного Алтая в общей сейсмичности региона; большинство крупнейших землетрясений в 2021 г. зафиксировано в различных областях Республики Тува. Наблюдается техногенная сейсмическая активность, сопровождающая добычу твердых полезных ископаемых в Кузбассе и в Новосибирской области; в районе Талдинского разреза Кемеровской области произошло второе по силе за всю историю Алтае-Саянского региона техногенное землетрясение с $ML=5.6$. Рекордное за все время инструментальных наблюдений на территории Западно-Сибирской платформы землетрясение ($ML=4.9$) произошло в Новосибирской области в 270 км к западу от г. Новосибирска.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25) и 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, Г.М. Бахтиярова, А.А. Еманов, А.Ф. Еманов, Р.А. Ершов, Д.Г. Корабельщиков, Н.А. Лукаш, О.А. Манушина, В.Г. Подкорытова, Л.А. Подлипская, С.Г. Пойгина, П.О. Полянский, А.В. Фатеев, М.В. Фролов, А.О. Шаталова, С.С. Шевелёва, Е.В. Шевкунова.

Электронное приложение App06_Altai_Sayan_2021 (<http://www.gsras.ru/zse/app-28.html>): 1 – Стационарные сейсмические станции Алтае-Саянского региона в 2021 г. (код центра ASGSR); 2 – Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая и станции широкополосного профиля (СН07, СНР02–СНР20) в 2021 г.; 3 – Временная сейсмическая станция АСФ ФИЦ ЕГС РАН в г. Камень-на-Оби Новосибирской области в 2021 г.; 4 – Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в районе разреза «Колыванский» Новосибирской области в 2021 г.; 5 – Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в районе разреза «Краснобродский» Кемеровской области в 2021 г.; 6 – Каталог землетрясений Алтая и Саян в 2021 г.; 7 – Каталог механизмов очагов землетрясений Алтае-Саянского региона за 2021 г.; 8 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Алтае-Саянского региона в населенных пунктах за 2021 г.; 9 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Алтае-Саянского региона за 2021 г.

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. Жалковский Н.Д., Цибульчик Г.М., Шебалин Н.В. Землетрясение в г. Камень-на-Оби 15 февраля 1965 г. // Доклады АН СССР. Сер. Математическая физика, 1965. – Т. 165, № 2. – С. 327–328.
5. Бугаев Е.Г., Еманов А.Ф., Ворона У.Ю., Еманов А.А., Лескова Е.В. Изучение микросейсмичности района г. Камень-на-Оби Алтайского края и оценка сейсмической опасности // Геофизические методы исследования земной коры. Материалы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика Н.Н. Пузырёва. – 2014. – С. 112–117.
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. Reasenberг P.A., Oppenheimer D. FPFIT, FPLOT, and FPPAGE: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake faultplane solutions // US. Geological Survey, Open-File Report. – 1985. – P. 85–739.
9. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
10. 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>
11. Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Ершов Р.А., Бах А.А., Корабельщиков Д.Г. Мониторинг наведенной сейсмичности в Западной Сибири // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2023. – Т. 10, № 3. – С. 30–35.
12. Трифонов В.Г. Неотектоника Евразии. (Тр. ГИН РАН; Вып. 514). – М.: Научный мир, 1999. – 242 с.
13. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Новиков И.С., Гладышев Е.А., Фатеев А.В., Полянский П.О., Шевкунова Е.В., Ершов Р.А., Арапов В.В., Кривов А.А. Айгулакская очаговая область как результат воздействия Чуйского землетрясения 2003 г. на Горный Алтай // Геология и геофизика. – 2024. – Т. 65, № 11. – С. 1630–1646.
14. 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 2021

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

¹*Altai-Sayan Branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russia, asf@gs.sbras.ru*

²*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russia, ipgg@ipgg.sbras.ru*

Abstract. The paper considers the features of the seismic regime of Altai and Sayan in 2021. During the specified period, the seismic network of the region consisted of 53 stationary seismological stations. During the year, the recording equipment was upgraded and routine maintenance was carried out. In 2021, four local area networks and one temporary station were operating in addition to the stationary one in the Altai-Sayan region. The total seismic energy released in the earthquake foci of the Altai-Sayan region in 2021 was $9.5 \cdot 10^{12} J$, which is slightly lower than the annual average over the entire period of instrumental observations. The slope of the linear part of the earthquake recurrence graph for 2021 practically does not differ from the same for the previous year and amounts to $b=0.76$. The strongest earthquake in the region in 2021 ($M_L=5.9$) occurred on September 6 at 07^h47^m in the central part of the Eastern Sayan ridge, on the territory of the Republic of Tuva. The maximum intensity of macroseismic manifestations from earthquakes in the region reached $I=5$ points on the MSK-64 scale. A separate description of the seismicity of the Chui-Kurai zone of Gorny Altai is given.

Keywords: Altai-Sayan region, seismic regime, earthquake, network of seismological stations, technogenic seismicity, focal mechanism.

For citation: Emanov, A.A., Emanov, A.F., Fateev, A.V., Shevkunova, E.V., & Podkorytova, V.G. (2025). [Seismicity of the Altai and Sayan region in 2021]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021), 129–137. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.11> EDN: LGIDKF

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 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. Zhalkovskii, N.D., Tsibul'chik, G.M., & Shebalin, N.V. (1965). Earthquake in Kamen-on-Obi on February 15, 1965. *Doklady Earth Sciences*, 165(2), 327–328.
5. Bugaev, E.G., Emanov, A.F., Vorona, U.Iu., Emanov, A.A., & Leskova, E.V. (2014). [Study of microseismicity in the area of Kamen-na-Obi, Altai Region and assessment of seismic hazard]. In *Geofizicheskie metody issledovaniia zemnoi kory* [Geophysical methods for studying the earth's crust] (pp. 112–117). Novosibirsk, Russia. (In Russ.).
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., Podkorystova, V.G., & Shevkunova, E.V. (2018). [Altai-Sayan region]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 21(2012), 132–142. (In Russ.).
8. Reasenber, P.A., & Oppenheimer, D. (1985). FPFIT, FPPLLOT, and FPPAGE: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake faultplane solutions. *U. S. Geological Survey, Open-File Report*, 85–739.
9. 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.).
10. 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.
11. Emanov, A.A., Emanov, A.F., Fateev, A.V., Shevkunova, E.V., Ershov, R.A., Bakh, A.A., & Korabel'shchikov, D.G. (2023). [Monitoring of induced seismicity in West Siberia]. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornykh nauk* [Mining sciences: fundamental and applied issues], 10(3), 30–35. (In Russ.).
12. Trifonov, V.G. (1999). *Neotektonika Evrazii* [Neotectonics of Eurasia]. Moscow, Russia: Nauchnyi mir Publ., 242 p. (In Russ.).
13. Emanov, A.F., Emanov, A.A., Novikov, I.S., Gladyshev, E.A., Fateev, A.V., Polianskii, P.O., Shevkunova, E.V., Ershov, R.A., Arapov, V.V., & Krivov, A.A. (2024). [Aigulak focal area as a result of the impact of the 2003 Chuya earthquake on Gorny Altai]. *Geologiya I Geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 65(11), 1630–1646. (In Russ.).
14. 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.).