

УДК 550.348.436

ХУБСУГУЛЬСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 11 января 2021 г. с $ML=6.9$, $Mw=6.7$ (Монголия)

А.А. Еманов^{1,2}, А.Ф. Еманов¹, А.В. Фатеев^{1,2}, Е.А. Гладышев¹,
Е.В. Шевкунова¹, И.Ф. Ешкунова¹, П.О. Полянский¹

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 статье анализируются инструментальные данные Хубсугульского землетрясения 11 января 2021 г. ($ML=6.9$), произошедшего на территории Монголии, в северо-западной части Хубсугульской впадины рифтового происхождения. Сейсмические события более высокого энергетического уровня в данной тектонической структуре не известны. Механизм главного толчка по данным разных сейсмологических агентств имеет хорошую согласованность и представляет собой сброс с минимальной сдвиговой составляющей. Хубсугульское землетрясение сопровождалось интенсивным афтершоковым процессом: в настоящее время в его очаговой зоне зафиксировано свыше 10000 землетрясений. Коэффициент наклона линейной части графика повторяемости равен $b=0.73$, это значение характерно для сейсмоактивных зон Алтае-Саянского региона. Максимальные макросейсмические проявления зафиксированы в п. Монды, Республика Бурятия ($I=6-7$ баллов, эпицентральное расстояние 60 км). Там же были зарегистрированы максимальные значения пиковых ускорений грунта (PGA) – 54.6 см/с^2 . Показано, что сейсмически активизированы два разлома, расходящиеся из общей точки в северо-восточном и северо-западном направлениях, при этом главное событие относится к разлому северо-восточной ориентации, а афтершоковый процесс развивался преимущественно вдоль разлома, ориентированного на северо-запад. Крупнейшие афтершоки с $ML \geq 6$ зафиксированы на стыках упомянутого разлома северо-западной ориентации с опояривающими его с восточной стороны поперечными разломами. Полученные результаты могут быть использованы в работах по сейсмическому районированию и уточнению сейсмической опасности зоны сочленения Алтае-Саянской складчатой области и Байкальской рифтовой зоны.

Ключевые слова: озеро Хубсугул, сейсмический режим, землетрясение, афтершоковый процесс, механизм очага.

Для цитирования: Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Гладышев Е.А., Шевкунова Е.В., Ешкунова И.Ф., Полянский П.О. Хубсугульское землетрясение 11 января 2021 г. с $ML=6.9$, $Mw=6.7$ (Монголия) // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – С. 259–267. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.24> EDN: TJHBUQ

Введение. 11 января 2021 г. в 21^h32^m UTC (12 января в 05^h32^m по местному времени) в северной части Монголии, в районе Хубсугульской рифтовой впадины произошло сильнейшее для этого района за всю историю наблюдений ($ML=6.9$, $Mw=6.7$) землетрясение. Координаты эпицентра события – $\varphi=51.29^\circ\text{N}$, $\lambda=100.37^\circ\text{E}$, глубина гипоцентра составила 8 км. По местоположению эпицентра, лоцированного в пределах оз. Хубсугул, данное землетрясение получило название Хубсугульского.

Хубсугульское землетрясение сопровождалось макросейсмическими проявлениями с оценкой до IX баллов в эпицентре и ощутимыми колебаниями (вплоть до VII баллов) во многих населенных пунктах как Монголии, так и южных частей Сибирского и Дальневосточного федеральных округов Российской Федерации [1]. Оно инициировало мощный и продолжительный афтершоковый процесс: за прошедшие 4 года наблюдений в его очаговой зоне зафиксировано свыше 10000 землетрясений.

Задача данной работы – обобщить, дополнить и актуализировать имеющиеся данные о Хубсугульском землетрясении, представить результаты их анализа.

Инструментальные данные. Хубсугульское землетрясение и его афтершоки фиксировались сетью стационарных сейсмологических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН, которая в 2021 г. состояла из 53 пунктов регистрации. Детальные сведения об оснащении станций региональной сети и методике обработки данных представлены в статье настоящего выпуска журнала, описывающей сейсмичность Алтае-Саянского региона [2]. Кроме того, в рамках обмена данными для обработки были доступны также волновые формы с ряда станций Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН и Института астрономии и геофизики Монгольской академии наук.

Инструментальные данные позволили определить параметры очага Хубсугульского землетрясения. Координаты эпицентра, определенные по данным региональной сети, а также решения по данным других агентств, имеют различие до 10–12 км (рис. 1). Что касается оценок магнитуд, определенных разными способами, они также имеют существенные отличия (табл. 1).

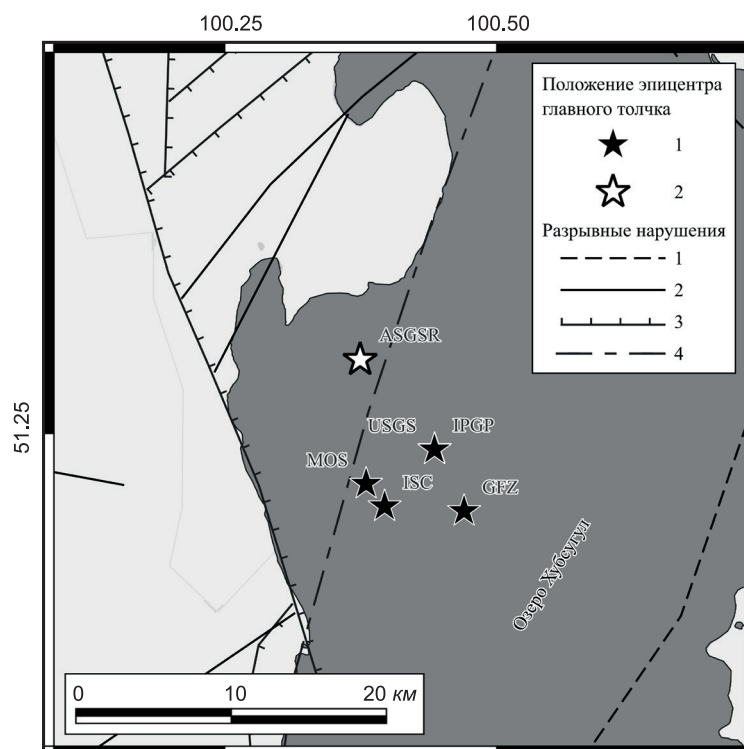


Рис. 1. Решения эпицентров главного толчка по данным разных агентств

1, 2 – положение эпицентра: 1 – IPGP – Institut de Physique du Globe de Paris; USGS – United States Geological Survey; MOS – ФИЦ ЕГС РАН; ISC – International Seismological Centre; GFZ – Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre For Geosciences; 2 – ASGSR – Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН.

1–4 – разрывные нарушения по [3]: 1 – скрытые, 2 – сдвиги, 3 – сбросы, 4 – предполагаемые.

Таблица 1. Параметры главного толчка Хубсугульского землетрясения 11 января 2021 г. по данным различных агентств

Агентство	Дата, дд.мм.гггг	Время в очаге t_0 , чч.мм.сс	Гипоцентр			Магнитуда/кол-во станций	Ссылка
			φ° , N	λ° , E	h , км		
ASGSR	11.01.2021	21:32:58	51.292	100.375	8	$ML=6.9$	
IPGP	11.01.2021	21:32:58	51.241	100.443	13	$Mw=6.8$	[4]
USGS NEIC	11.01.2021	21:32:58	51.241	100.443	10	$mb=6.3, Mw=6.7$	[4]
MOS	11.01.2021	21:32:57	51.221	100.380	9	$MS=6.4$	[4]
ISC	11.01.2021	21:32:58	51.208	100.397	9.3	$mb=6.2/835, MS=7.1/516$	[4]
GFZ	11.01.2021	21:32:59	51.200	100.470	10	$mb=6.1/177, Mw=6.8/272$	[4]

Примечание. ASGSR – Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН; IPGP – Institut de Physique du Globe de Paris; USGS NEIC – United States Geological Survey National Earthquake Information Center; MOS – ФИЦ ЕГС РАН; ISC – International Seismological Centre; GFZ – Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre For Geosciences.

На рис. 2 представлены примеры сейсмограмм Хубсугульского землетрясения, полученных на удалениях 214–439 км от эпицентра.

Развитие афтершокового процесса. Хубсугульское землетрясение сопровождается насыщенным и длительным афтершоковым процессом, в целом характерным для известных подобных землетрясений Центральной Азии [5]. Детальный пространственно-временной анализ афтершокового процесса в первые два года после главного толчка представлен в [6]. В течение всего периода наблюдений, с момента Хубсугульского землетрясения по 31 января 2025 г., составившего чуть более четырех лет, в его очаговой зоне зафиксировано свыше 10000 землетрясений. На графике (рис. 3) представлены землетрясения с магнитудой $ML \geq 3$, заведомо представительной для данного региона даже с учетом отсутствия в тот или иной период данных с ряда ключевых пунктов наблюдения. Три значимых афтершока с $ML \geq 6$ произошли в течение первых четырех месяцев после главного толчка; крупнейший афтершок ($ML=6.4$) датирован 3 мая 2021 года. В дальнейшем

наблюдается постепенное затухание афтершоковой активности как по общему количеству событий, так и по максимальной регистрируемой магнитуде. В течение 2022 г. уже не фиксировались события с $M_L \geq 5$, количество землетрясений с $M_L \geq 4$ составило около десяти. В 2023 и 2024 гг. можно говорить об определенном выполаживании графика. Крупнейший афтершок в этот период ($M_L=5.3$) зафиксирован 22 сентября 2023 г., при этом за два года произошло всего четыре события с $M_L \geq 4$. В 2025 г. обработаны пока только события первого месяца, но при этом уже зафиксированы два афтершока с $M_L \geq 4$: 12 и 16 января, $M_L=4.7$ и $M_L=4.1$ соответственно (рис. 3).

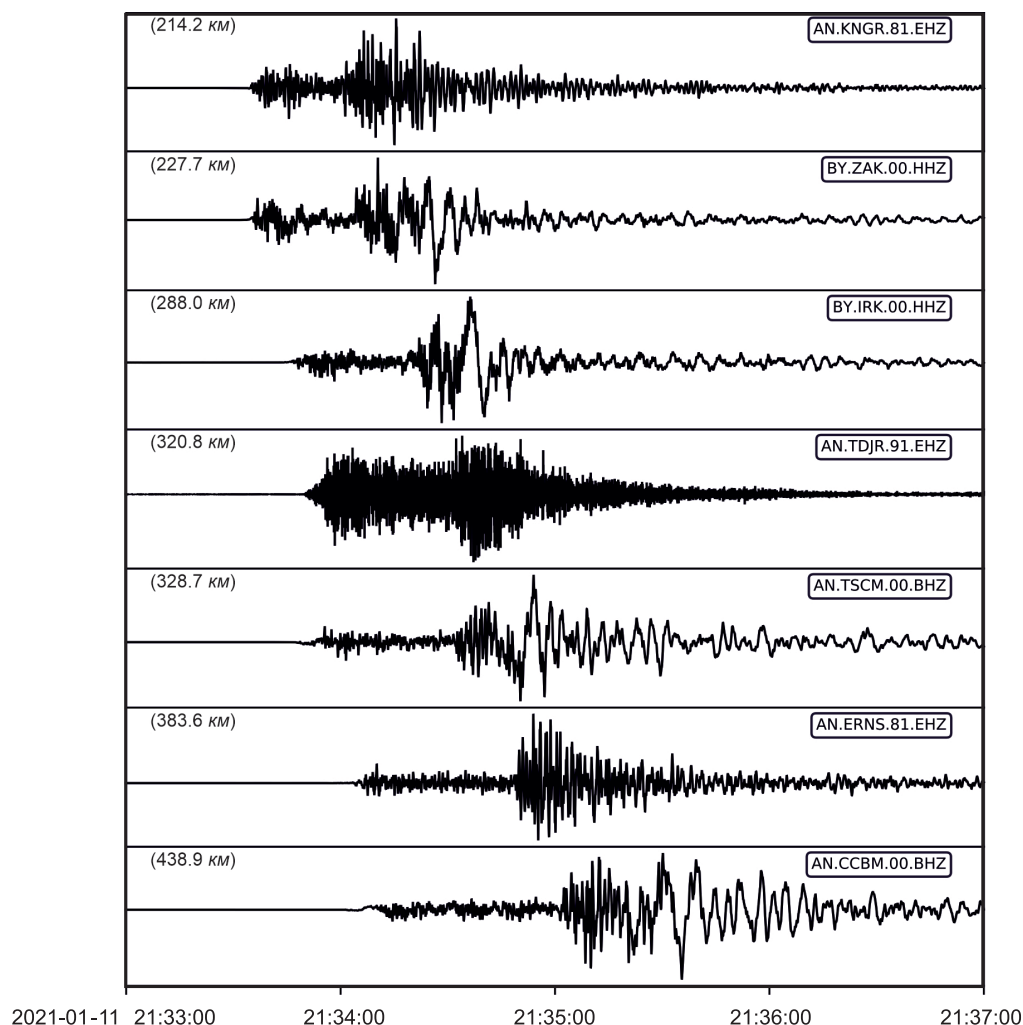


Рис. 2. Примеры сейсмограмм (вертикальные каналы велосиметров) главного толчка Хубсугульского землетрясения

График повторяемости для афтершокового процесса Хубсугульского землетрясения представлен на рис. 4. Коэффициент наклона для его линейной части равняется $b=0.73$, что немного ниже значения $b=0.76$, полученного за 2021 г. для Алтае-Саянского региона в целом [2]. Излом графика повторяемости на уровне $M_L=2.5$ косвенно подтверждает представительство регистрации сейсмических событий в районе Хубсугульского землетрясения, как минимум начиная с этого значения. Полученная зависимость хорошо аппроксимируется линейной функцией, что характерно для периода устоявшегося развития сейсмичности и может свидетельствовать об уже произошедшем к данному моменту сбросе основной части накопленных напряжений в исследуемом районе [7].

Механизмы очагов главного толчка и крупнейших афтершоков, тектоническая позиция, история сейсмичности очаговой области. Рассчитанный в АСФ по знакам первых вступлений с использованием программы FPFIT [8] фокальный механизм Хубсугульского землетрясения представляет собой сброс с минимальной сдвиговой составляющей. Ось сжатия субвертикальна ($P-AZM=197^\circ$, $P-PL=76^\circ$), ось растяжения горизонтальна ($T-AZM=314^\circ$, $P-PL=7^\circ$), что типично для сбросовых механизмов очагов. Полученные результаты согласуются с растягивающими напряжениями, характерными для ветви Байкальской рифтовой системы в районе Хубсугульской впадины.

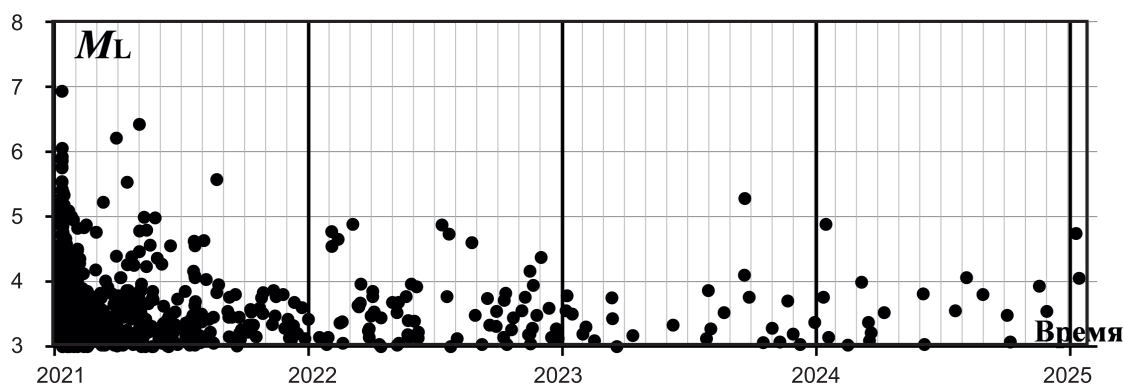


Рис. 3. График развития сейсмического процесса в очаговой зоне Хубсугульского землетрясения

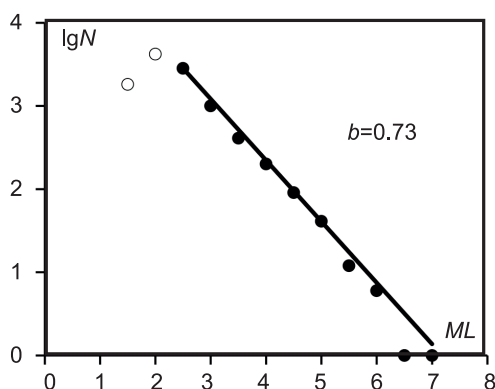


Рис. 4. График повторяемости для очаговой зоны Хубсугульского землетрясения за период с 11 января 2021 г. по 31 января 2025 г.

Параметры механизма очага по данным других агентств вполне сопоставимы с параметрами, полученными в АСФ (табл. 2).

Таблица 2. Параметры механизма очага Хубсугульского землетрясения

№	Агентство	Гипоцентр			M_w	Нодальные плоскости						Стереодиаграмма
		φ°, N	λ°, E	h , км		$NP1$			$NP2$			
						STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$	
1	ASGSR	51.2922	100.3745	8	6.7	30	40	−110	235	53	−74	
2	IPGP	51.241	100.443	13	6.84	237	62	−52	358	46	−139	
3	USGS NEIC	51.2407	100.4428	10	6.74	16	32	−110	219	60	−78	
4	GFZ	51.20	100.47	10	6.8	226	51	−60	4	47	−121	

Примечание. ASGSR – Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН; IPGP – Institut de Physique du Globe de Paris; USGS NEIC – United States Geological Survey National Earthquake Information Center; GFZ – Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre For Geosciences.

Эпицентр Хубсугульского землетрясения приурочен к участку со сложной разломной структурой [3]; при этом разломы частично скрыты под толщей воды, что затрудняет их детализацию. На рис. 5 представлена тектоническая позиция эпицентра главного толчка и трех крупнейших афтершоков с $ML \geq 6$, для которых получены достоверные данные по параметрам нодальных пло-

скостей. В целом следует отметить хорошую согласованность механизмов с пространственной ориентацией разломов.

Характерной особенностью структуры разломов очаговой области является угол между двумя основными разломами. Один из них, в районе которого лоцированы три крупнейших афтершока, направлен на северо-запад от точки пересечения разломов у озера, а второй, к которому приурочен эпицентр главного толчка, – на северо-восток. От северо-западного разлома ответвляются оперяющие его разломы в северо-восточном направлении. Вполне вероятно, что на северо-западной оконечности оз. Хубсугул расположен угловой сегмент с уже раздробленной разломами внутренней структурой.

Главное событие произошло непосредственно на территории оз. Хубсугул и приурочено к разлому с северо-восточным простиранием. В то же время по карте плотности афтершоков видно, что северо-западное направление в данной системе разломов наиболее сейсмически активно. Афтершок с $M_L=6.1$ произошел спустя полтора часа после главного толчка, что дало старт активизации разлома, уходящего от точки пересечения в северо-западном направлении. К этому же разлому приурочены и два еще более сильных афтершока, с $M_L=6.2$ и $M_L=6.4$, которые произошли вблизи от первого сильного афтершока с задержкой в три и четыре месяца соответственно. Данные афтершоки произошли в районе узловых точек, от которых в северо-восточном направлении уходят оперяющие разломы (рис. 5).

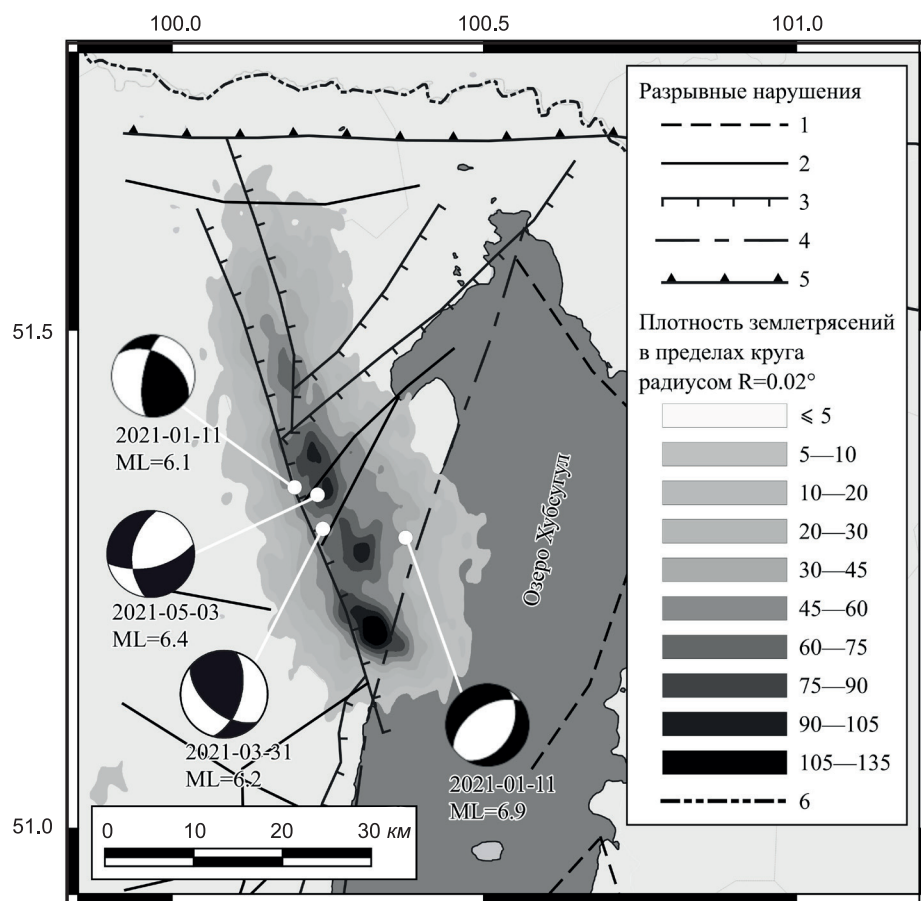


Рис. 5. Плотность землетрясений, рассчитанная по методу KDE [9] (радиус осреднения $R=0.02^\circ$) в районе оз. Хубсугул с 11.01.2021 по 03.03.2025 гг.

1–5 – разрывные нарушения по [3]: 1 – скрытые, 2 – сдвиги, 3 – сбросы, 4 – предполагаемые, 5 – взбросы; 6 – государственная граница.

Примечание. KDE – Kernel Density Estimation (метод ядерного сглаживания плотности).

Эпицентр Хубсугульского землетрясения приурочен к границе двух элементов блоковой структуры по [10]: Тувино-Монгольского и Хамар-Дабанского блоков (рис. 6). При этом Тувино-Монгольский блок расположен между Саяно-Тувинским и Хамар-Дабанским блоками, являясь пограничной областью на стыке Алтае-Саянской складчатой области и Байкальской рифтовой зоны,

которые являются структурами более высокого ранга. Их сейсмические режимы характеризуются принципиально разными закономерностями. В Алтае-Саянской складчатой области землетрясения характерны для горного обрамления впадин, тогда как в Байкальской рифтовой зоне они происходят внутри впадин, что обусловлено разницей в типах напряженного состояния этих структур [11]. Таким образом, Тувино-Монгольский блок подвержен воздействию зон с кардинально различными типами сейсмичности. В этом блоке расположена группа рифтовых впадин: Хубсугульской, Дархадской, Бусингольской, Белинской и Терехольской. Система этих впадин ориентирована субмеридионально, и таким образом перпендикулярна Тункинской и Южно-Байкальской впадинам, ориентированным субширотно (рис. 6). Эти субширотные впадины безусловно относятся к Байкальской рифтовой зоне, тогда как принадлежность к ней субмеридиональных впадин дискуссионна [12].

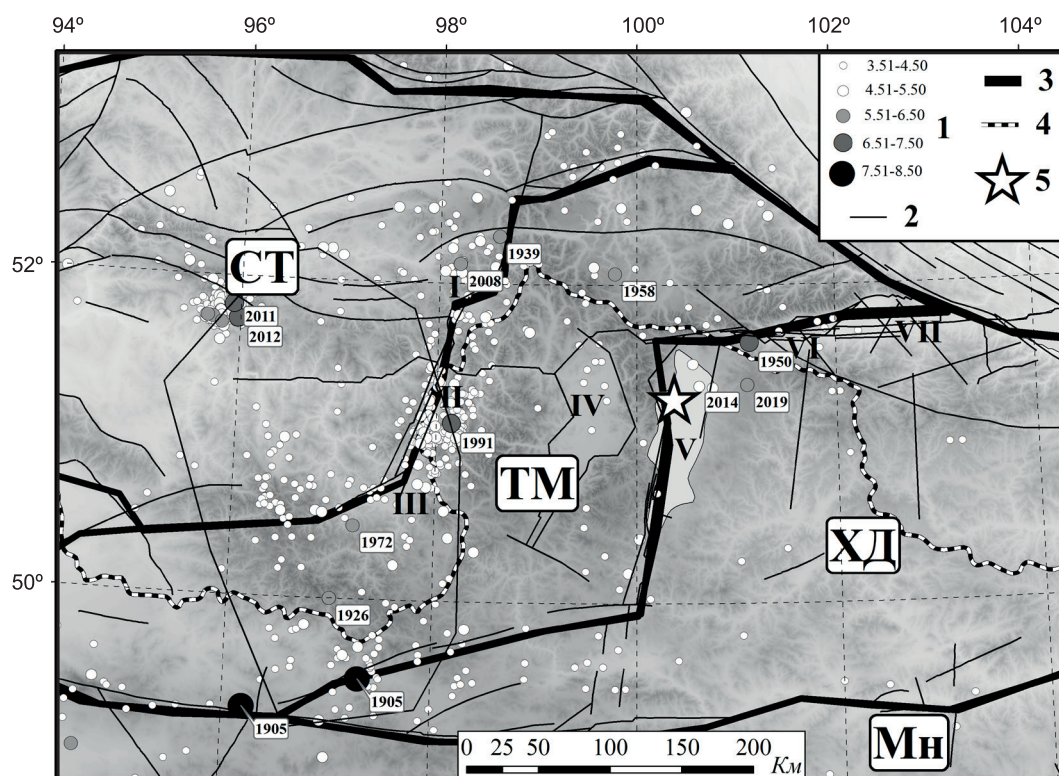


Рис. 6. Сейсмичность района границы Алтае-Саянской горной области и Байкальской рифтовой зоны до Хубсугульского землетрясения

1 – магнитуа; 2 – неотектонический разлом по [13], 3 – границы элементов блоковой структуры; 4 – государственная граница; 5 – инструментальный эпицентр Хубсугульского землетрясения 11.01.2021 г. с $M_L=6.9$. Буквами на карте обозначены блоки по [10]: СТ – Саяно-Тувинский, ТМ – Тувино-Монгольский, ХД – Хамар-Дабанский, Мн – Монгольский. Римскими цифрами на карте обозначены рифтовые впадины: I – Бусингольская, II – Белинская, III – Терехольская, IV – Дархадская, V – Хубсугульская, VI – Тункинская, VII – Южно-Байкальская.

Возникновение молодых рифтовых впадин Тувино-Монгольского блока внесло значительный вклад в его сейсмичность, однако крупнейшие известные землетрясения данного региона – Цэцэрлэгское с $M=7.6$ и Болнайское с $M=8.2$ – произошли в 1905 г. на разломах, ограничивающих этот блок с юга. В районе западной границы блока произошло Бусингольское землетрясение 1991 г. с $M_s=6.5$, до сих пор сопровождающееся афтершоковым процессом, и Белин-Бий-Хемское землетрясение 2008 г. с $M_w=5.7$. Ближайшим к Хубсугульскому (70 км в северо-восточном направлении) из известных крупных ($M_L \geq 6$) землетрясений является Мондинское землетрясение 1950 г. с $M=7.0$. Оно, как и Хубсугульское, произошло на границе Тувино-Монгольского и Хамар-Дабанского блоков. Эпицентр его расположен хоть и относительно недалеко, но уже в совершенно другой структуре (Тункинская впадина Байкальской рифтовой зоны) и в условиях совсем иного режима напряженного состояния. В самой же Хубсугульской впадине до 2021 г. крупнейшим из зафиксированных является землетрясение 05.12.2014 г. с $M=4.9$ (рис. 6).

Результаты макросейсмического обследования Хубсугульского землетрясения представлены в [1]. Оценка макросейсмических проявлений в его эпицентре составляет IX баллов. Ощутимые колебания до VII баллов фиксировались как в Монголии, так и в южных частях Сибирского

и Дальневосточного федеральных округов Российской Федерации. По результатам записи сильных движений на сейсмологических станциях Алтае-Саянского и Байкальского филиалов ФИЦ ЕГС РАН, а также ряда станций сейсмологической сети Института астрономии и геофизики Монгольской академии наук, получены значения пиковых ускорений грунта (PGA) до 54.6 см/с^2 (станция «Монды», эпицентрального расстояния 57 км) [1].

Заключение. Исследование Хубсугульского землетрясения, представленное в данной статье, привело его авторов к следующим выводам.

Хубсугульское землетрясение 11 января 2021 г. ($M_L=6.9$, $M_w=6.7$), крупнейшее из известных для данного района, произошло в одноименной впадине и вызвало интенсивный афтершоковый процесс. Механизм главного толчка представляет собой сброс с минимальной сдвиговой составляющей. Полученные результаты согласуются с растягивающими напряжениями, характерными для ветви Байкальской рифтовой системы в районе Хубсугульской впадины.

Максимальные макросейсмические проявления достигали $I=6-7$ баллов на эпицентрального расстоянии 60 км.

Особо следует отметить пространственные отличия в расположении эпицентра главного толчка и области афтершоков. Разломная структура в данном районе характеризуется двумя основными разломами, расходящимися под острым углом из одной точки в северо-западном и северо-восточном направлениях. Главный толчок произошел на разломе с восточной стороны угла, а афтершоковая область в основном расположена на западной. Крупнейшие афтершоки приурочены к узлам пересечений главного разлома с оперяющими.

Эпицентр Хубсугульского землетрясения приурочен к району сочленения коллизионных структур Алтае-Саянской складчатой зоны и Байкальской рифтовой зоны, который в 1905–2021 гг. характеризуется повышенной сейсмической активностью около границ блоков. Прежде всего, это Тувино-Монгольский блок и восточная часть Саяно-Тувинского блока. Сейсмически активизированная зона – это восточная граница Тувино-Монгольского микроконтинента, с которой связана система субмеридиональных рифтовых впадин, расположенных перпендикулярно субширотным впадинам Байкальской рифтовой зоны.

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», а также в рамках проекта ФНИ № FWZZ-2022-0021 «Региональные особенности структуры земной коры и верхов мантии платформенных и складчатых областей Сибири, их напряженно-деформированное состояние по данным сейсмологии, гравиметрии и геомеханики».

Л и т е р а т у р а

1. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Чечельницкий В.В., Шевкунова Е.В., Радзиминович Я.Б., Фатеев А.В., Кобелева Е.А., Гладышев Е.А., Арапов В.В., Артёмова А.И., Подкорытова В.Г. Хубсугульское землетрясение, 12.01.2021 г. $M_w=6.7$, $M_L=6.9$ и афтершоки начального периода // Физика Земли. – 2022. – № 1. – С. 67–82. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002333722010021> EDN: PADCYH
2. 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
3. Парфеев А.В., Саньков В.А. Напряженное состояние земной коры и геодинамика юго-западной части Байкальской рифтовой зоны / Отв. ред. К.Г. Леви. – Новосибирск: ГЕО, 2006. – 151 с.
4. International Seismological Centre. (2025). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
5. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Чечельницкий В.В., Шевкунова Е.В., Фатеев А.В., Кобелева Е.А., Полянский П.О., Фролов М.В., Ешкунова И.Ф. О влиянии Хубсугульского землетрясения 2021 года на сейсмичность стыка Алтае-Саянской горной области с Байкальской рифтовой зоной // Вулканология и сейсмология. – 2024. – № 6. – С. 28–39. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0203030624060047> EDN: HZCUUI
6. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Чечельницкий В.В., Шевкунова Е.В., Фатеев А.В., Кобелева Е.А., Подкорытова В.Г., Фролов М.В., Ешкунова И.Ф. Хубсугульское землетрясение 11.01.2021 г. с $M=6.7$ и его афтершоки // Землетрясения России в 2021 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2023. – С. 123–132. EDN: ZQCMVY
7. Шебакин П.Н. Афтершоки как индикаторы напряженного состояния в системе разломов // Доклады РАН. – 2004. – Т. 398, № 2. – С. 249–254.
8. 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.

9. Rosenblatt M. Remarks on Some Nonparametric Estimates of a Density Function // The Annals of Mathematical Statistics. – 1956. – V. 27, N 3. – P. 832–837.
10. Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Парфеев А.В., Аржанникова А.В. Новые данные о позднекайнозойских полях тектонических напряжений Прихубсугуля (Монголия) // Доклады РАН. – 2003. – Т. 388, № 4. – С. 526–529.
11. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г., Лескова Е.В. Пространственно-временные особенности сейсмичности Алтае-Саянской горной области // Физическая мезомеханика. – 2005. – Т. 8, № 1. – С. 49–64.
12. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Чечельницкий В.В., Шевкунова Е.В., Фатеев А.В., Кобелева Е.А., Арапов В.В., Фролов М.В. Хубсугульское землетрясение 12.01.2021 г., $M_L=6.9$ в структуре сейсмичности Тувино-Монгольского блока // Физика Земли. – 2023. – № 5. – С. 79–95. EDN: VZHSYQ DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002333723050034>
13. Трифонов В.Г. Неотектоника Евразии. (Тр. ГИН РАН; Вып. 514). – М.: Научный мир, 1999. – 242 с.

THE KHUBSUGUL EARTHQUAKE of January 11, 2021, $M_L=6.9$, $M_w=6.7$ (Mongolia)

A.A. Emanov^{1,2}, A.F. Emanov¹, A.V. Fateev^{1,2}, E.A. Gladyshev¹,
E.V. Shevkunova¹, I.F. Eshkunova¹, P.O. Polyansky¹

¹Altai-Sayan Branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russia, 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 paper considers the Khubsugul earthquake of January 11, 2021 ($M_L=6.9$), which occurred in the northwestern part of the Khubsugul basin of rift origin in Mongolia, and provides its instrumental data. There are no known seismic events of a higher energy level in this tectonic structure. The focal mechanism of the main shock, according to data from different agencies, has good consistency and is a normal fault with a small shear component. The Khubsugul earthquake is accompanied by an intense aftershock process: over 10,000 earthquakes have been recorded in its epicentral zone. The slope coefficient of the linear part of the recurrence graph is $b=0.73$, this value is typical for the seismically active zones of the Altai-Sayan region. The maximum macroseismic manifestations were recorded in the village of Mondy, Republic of Buryatia ($I=6-7$ points, epicentral distance of 60 km). The maximum values of peak ground accelerations (PGA), 54.6 cm/s^2 , were also recorded there. It is shown that two faults, diverging from a common point in the north-east and north-west directions, were seismically activated. The main event refers to the north-east fault, and the aftershock process develops mainly in the north-west fault. The strongest aftershocks (with $M_L \geq 6$) were recorded at the junctions of the north-east fault with transverse faults extending from its eastern side. The results obtained can be used in works on seismic zoning and clarifying the seismic hazard of the junction zone of the Altai-Sayan folded region and the Baikal rift zone.

Keywords: Khubsugul lake, seismic regime, earthquake, aftershock process, focal mechanism.

For citation: Emanov, A.A., Emanov, A.F., Fateev, A.V., Gladyshev, E.A., Shevkunova, E.V., Eshkunova, I.F., & Polyansky, P.O. (2025). [The Khubsugul Earthquake of January 11, 2021, $M_L=6.9$, $M_w=6.7$ (Mongolia)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021), 259–267. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.24> EDN: TJHBUQ

References

1. Emanov, A.F., Emanov, A.A., Chechelitsky, V.V., Shevkunova, E.V., Radziminovich, Y.B., Fateev, A.V., Kobleva, E.A., Gladyshev, E.A., Arapov, V.V., Artemova, A.I., & Podkorytova, V.G. (2022). The Khuvsgul Earthquake of January 12, 2021 ($M_w=6.7$, $M_L=6.9$) and Its Early Aftershocks. *Physics of the Solid Earth*, 58(1), 59–73. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002333722010021> EDN: PADCYH
2. 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
3. Parfeevets, A.V., & San'kov, V.A. (2006). *Napriazhennoe sostoiianie zemnoi kory i geodinamika iugo-zapadnoi chasti Baikalskoi riftovoi zony* [Stress state of the Earth's crust and geodynamics of the southwestern part of the Baikal Rift zone]. Novosibirsk, Russia: GEO Publ., 151 p. (In Russ.).
4. International Seismological Centre. (2025). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
5. Emanov, A.F., Emanov, A.A., Chechelitsky, V.V., Shevkunova, E.V., Fateev, A.V., Kobleva, E.A., Polyansky, P.O., Frolov, M.V., & Eshkunova, I.F. (2024). On the Influence of the 2021 Hubsugul Earthquake on the Seismicity in the Junction between the Altai-Sayan Mountain Region and the Baikal Rift Zone. *Journal of Volcanology and Seismology*, 18(6), 532–543. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0203030624060047> EDN: HZCUUI
6. Emanov, A.F., Emanov, A.A., Chechelitsky, V.V., Shevkunova, E.V., Fateev, A.V., Kobleva, E.A., Podkorytova, V.G., Frolov, M.V., & Eshkunova, I.F. (2023). [The Khubsugul earthquake of 11.01.2021 with $M=6.7$ and its aftershocks].

- In *Zemletriaseniia Rossii v 2021 godu* [Earthquakes in Russia, 2021] (pp. 123–132). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.). EDN: ZQCMVY
7. Shebalin, P.N. (2004). *Aftershoki kak indikatory napriazhennogo sostoianiia v sisteme razlomov* [Aftershocks as Indicators of Stress State in the Fault System]. *Doklady Earth Sciences*, 398(2), 249–254.
 8. 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.
 9. Rosenblatt, M. (1956). Remarks on Some Nonparametric Estimates of a Density Function. *The Annals of Mathematical Statistics*, 27(3), 832–837.
 10. San'kov, V.A., Miroshnichenko, A.I., Parfeevets, A.V., & Arzhannikova, A.V. (2003). *Novye dannye o pozdneka-inozoiskikh poliakh tektonicheskikh napriazhenii Prihubsugul'ia (Mongoliia)* [New data on the Late Cenozoic tectonic stress fields of Prihubsugulye (Mongolia)]. *Doklady Earth Sciences*, 388(4), 526–529.
 11. Emanov, A.F., Emanov, A.A., Filina, A.G., & Leskova, E.V. (2005). [Spatial and temporal features of the seismicity of the Altai-Sayan mountain region]. *Fizicheskaia mezomekhanika* [Physical mesomechanics], 8(1), 49–64. (In Russ.).
 12. Emanov, A.F., Emanov, A.A., Chechel'nitsky, V.V., Shevkunova, E.V., Fateev, A.V., Kobeleva, E.A., Arapov, V.V., & Frolov, M.V. (2023). The Khuvsgul Earthquake of January 12, 2021, $ML=6.9$, in the Seismicity Structure of the Tuva-Mongolian Block. *Physics of the Solid Earth*, 59(5), 733–748. EDN: VZHSYQ DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002333723050034>
 13. Trifonov, V.G. (1999). *Neotektonika Evrazii* [Neotectonics of Eurasia]. Moscow, Russia: Nauchnyi mir Publ., 242 p. (In Russ.).