

УДК 550.348.098.64 (571.65)

СЕЙСМИЧНОСТЬ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ в 2021 году

Е.И. Алёшина, С.В. Курткин, Л.И. Карпенко

Магаданский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Магадан, Россия, evgeniya@memsd.ru

Аннотация. Рассматриваются результаты сейсмического мониторинга Магаданской области, Чукотского автономного округа и шельфов прилегающих морей (Охотского, Чукотского, Берингова и Восточно-Сибирского). На Северо-Востоке России работали 14 сейсмических станций. В каталог включены сведения о 256 землетрясениях с энергетическими классами $K_p=6.2\text{--}13.3$. При этом, как обычно, большая их часть (84%) локализована в районе Колымы (район № 2). Классификация землетрясений осуществлялась по энергетическим классам K_p шкалы Т. Г. Раутиан. Суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся внутри границ региона, составила $\Sigma E=2.43 \cdot 10^{13}$ Дж. Построена карта энергетической представительности землетрясений с $K_{min}=6\text{--}10$, согласно которой на всей территории Магаданской области не могут быть пропущены землетрясения с $K_{min}=7$, в Охотском море с $K_{min}=8$, на Чукотке с $K_{min}=10$. Самое сильное на Северо-Востоке Омолонское землетрясение с $K_p=13.3$ и магнитудами $MPSP=5.0$, $MS=4.2$ произошло 9 октября в 06^h54^m на востоке Магаданской области. В населенных пунктах Северо-Востока ощущались три землетрясения с интенсивностью до 4 баллов по шкале MSK-64. Эпицентры землетрясений Магаданской области нанесены на тектоническую схему района. Большинство землетрясений приурочено к крупнейшим глубинным разломам северо-западного либо субширотного простирания. Все гипоцентры расположены в пределах земной коры. Уровень сейсмичности Северо-Востока России в 2021 г. согласно шкале «СОУС'09» оценен как «фоновый повышенный». Пространственно все землетрясения Северо-Востока России традиционно сосредоточены в крупных сейсмогенных поясах: Черского, Северо-Охотском и Транс-Берингийском.

Ключевые слова: сейсмический мониторинг, Северо-Восток, Колыма, Чукотка, Охотское море, сейсмический пояс, энергетический класс, тектоника, глубинный разлом.

Для цитирования: Алёшина Е.И., Курткин С.В., Карпенко Л.И. Сейсмичность Северо-Востока России в 2021 г.// Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – С. 173–182. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.15> EDN: ОММИМА

Введение. Северо-Восток России включает территорию Магаданской области, Чукотского автономного округа (ЧАО) и шельфы прилегающих морей: Охотского, Чукотского, Берингова и Восточно-Сибирского. Сейсмический мониторинг в 2021 г. осуществлялся Магаданским филиалом ФИЦ ЕГС РАН.

Сеть сейсмических станций и энергетическая представительность регистрации землетрясений K_{min} . Сеть наблюдений в 2021 г. состояла из 14 цифровых сейсмических станций: 11 станций расположены в Магаданской области (одна из них – «Магадан-1», временная) и три – в Чукотском АО. Для определения параметров землетрясений, произошедших в приграничных с Республикой Саха (Якутией) районах, использовались данные станций Якутского филиала ФИЦ ЕГС РАН.

В течение года на двух станциях была произведена модернизация регистрирующей аппаратуры: на станции «Анадырь» АЦП PAR-4CH заменен на Ермак-5; на станции «Омчак» PAR-4CH заменен на Байкал-8.

Сведения о станциях, типах и параметрах регистрирующей аппаратуры приведены в электронном приложении [1]. Положение сейсмических станций МФ ФИЦ ЕГС РАН, работавших в 2021 г., показано на рис. 1.

Классификация землетрясений Северо-Востока России осуществлялась по энергетическим классам КР шкалы Т. Г. Раутиан, использовалась шкала СКМ [2]. Для определения регистрационных возможностей сейсмических станций Северо-Востока построена карта K_{min} (рис. 1). При этом использовалась разработанная в 1984 г. для аналоговых станций методика В. В. Артамонова, Л. В. Мишиной [3], в которую внесены изменения, связанные с заменой аналоговых станций на цифровые на территории Северо-Востока, начавшейся в 1999 г. Энергетическая представительность землетрясений K_{min} по наблюдениям сети, действовавшей в 2021 г., показана на рис. 1.

Минимальный уровень энергии землетрясений с $K_{min}=6$ обеспечен региональной сетью в центре района № 2 (Колыма), в области наибольшей плотности сети. На всей территории района Колымы не могут быть пропущены землетрясения с $K_{min}=7$. В Охотском море (район № 1) без пропусков регистрируются землетрясения с $K_{min}=8$. Зона $K_{min}=9$ образует две области. Первая, большая, занимает площадь восточной части приграничной Республики Саха (Якутия), Охотского моря, Корякии и западной Чукотки (район № 3). Вторая область охватывает Восточную Чукотку (район № 4) и часть акваторий Чукотского и Берингова морей.

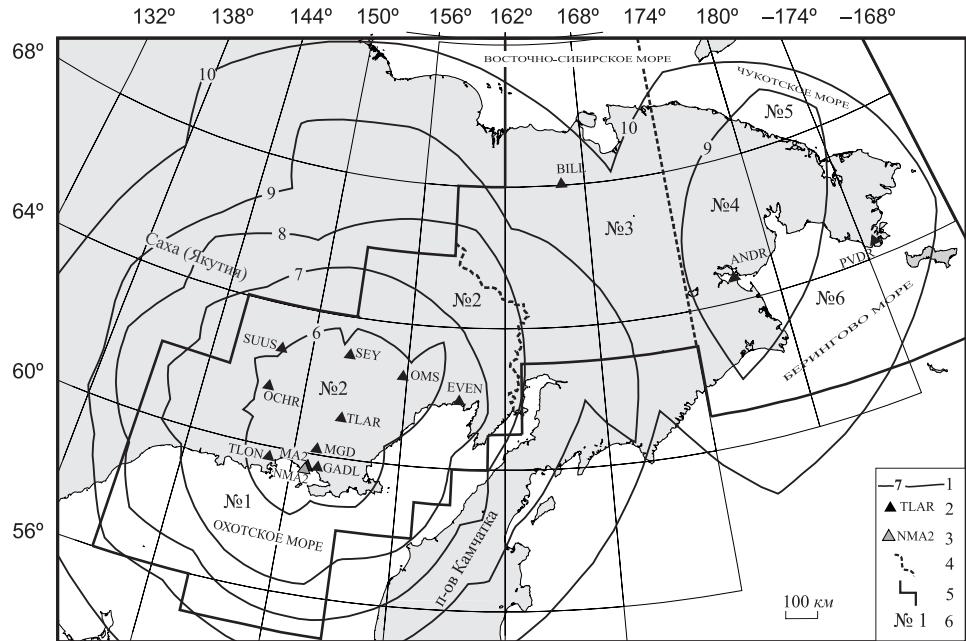


Рис. 1. Карта энергетической представительности K_{\min} землетрясений Северо-Востока России и расположение сейсмических станций в 2021 г.

1 – изолиния K_{\min} ; 2, 3 – сейсмическая станция, постоянная и временная соответственно; 4 – граница района, для районов № 1 (Охотское море), № 5 (Чукотское море) и № 6 (Берингово море) граница вдоль береговой линии и пунктиром не указана; 5 – граница региона; 6 – номер района.

По сравнению с состоянием представительной регистрации землетрясений в 2020 г., расширилась площадь, охватываемая изолиниями $K_{\min}=6$ и $K_{\min}=7$. Очевидно, причиной этому является возобновление работы станции «Омчак», которая в 2020 г. не работала 309 дней из-за отключения ее от линии электропередач (ЛЭП).

На Чукотке не удалось построить изолинию $K_{\min}=8$, т. к. в 2021 г. здесь не локализовано ни одного землетрясения с $K_p \leq 8.6$. Изолиния $K_{\min}=9$ охватывает меньшую площадь, чем в 2020 г., вероятно, из-за положения эпицентров землетрясений, которых здесь в 2021 г. локализовано всего два с $K_p=9.0, 9.4$.

Таким образом, сеть сейсмических станций Северо-Востока в 2021 г. решала задачу регистрации землетрясений с $K_{\min}=10$ на территории всего региона. Основная причина изменения конфигурации изолиний K_{\min} – простой некоторых станций.

Методика определения основных параметров землетрясений не изменилась. Просмотр сейсмограмм, выделение фаз, определение времен вступлений P - и S -волн, замеры амплитуд производились в программе DIMAS [4]. Основные параметры (время, координаты, глубина) вычислялись с помощью программы HYP2DT (версия 7.1), предоставленной К. Дж. Мяки (Мичиганский университет, Ист-Лансинг, США). Координаты эпицентров землетрясений рассчитывались с использованием времен пробега прямых и преломленных P - и S -волн [5]. Классификация землетрясений, как сказано выше, осуществлялась по энергетическим классам КР шкалы Т. Г. Раутиан [2] с использованием шкалы расстояний для приборов СКМ.

Анализ данных. В каталог землетрясений Северо-Востока и приграничных районов за 2021 г. [6] включены сведения о 256 событиях с $K_p=6.2-13.3$. Из них 22 землетрясения находятся за границами зоны ответственности МФ ФИЦ ЕГС РАН: 7 – на Камчатке и 15 – на территории Республики Саха (Якутия).

Гипоцентры всех землетрясений Северо-Востока расположены в пределах земной коры, на глубинах $h \leq 33$ км. Карта эпицентров землетрясений, включенных в каталог [6], представлена на рис. 2.

Большинство землетрясений приурочены к ранее известным сейсмогенным зонам: сейсмическим поясам Черского северо-западного простирания, Северо-Охотскому субширотному направлению и Транс-Берингийскому сейсмическому поясу (ТБСП) северо-восточного простирания (рис. 2). Сильные землетрясения зарегистрированы в районе Колымы (№ 2), в Чукотском и Охотском морях.

Самое сильное на Северо-Востоке землетрясение (7 на рис. 2) с $K_p=13.3$ ($MSP=5.0$, $MS=4.2$ [11]) произошло 9 октября в 06^h54^m на востоке Магаданской области.

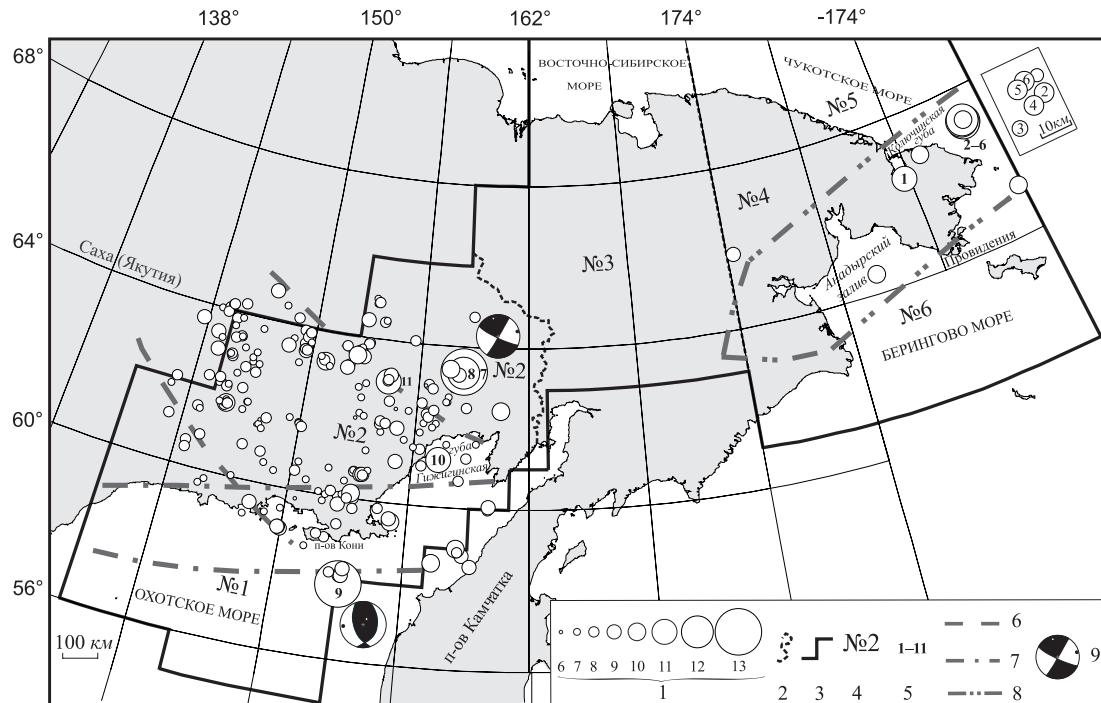


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Северо-Востока России за 2021 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – граница района, для районов № 1 (Охотское море), № 5 (Чукотское море) и № 6 (Берингово море) граница вдоль береговой линии и пунктиром не указана; 3 – граница региона; 4 – номер района; 5 – номер сильного ($K_p \geq 10.6$) землетрясения, указанного в графе 2 каталога [6]; 6 – граница фрагмента сейсмического пояса Черского [7]; 7 – граница Северо-Охотского сейсмического пояса [8]; 8 – граница фрагмента Транс-Берингийского сейсмического пояса (ТБСП) [9]; 9 – механизмы очагов землетрясений по GCMT [10]; в правом верхнем углу, на врезке – эпицентры землетрясений в Чукотском море.

Отметим сильное землетрясение (9 на рис. 2) с $K_p=13.1$ ($MPSP=5.4$, $MS=4.7$ [11]), произошедшее 27 октября в 02^h42^m в Охотском море, у границы с Камчатским регионом [12].

Минимальным значением энергетического класса в каталоге, соответствующим $K_p=6.2$, характеризуется событие в районе № 2 (Колыма), находящееся в 82 км северо-восточнее с. Гадля.

Ощущимых землетрясений в 2021 г. было три [13]. Максимальная интенсивность сотрясений не превышала $I=4$ балла по шкале MSK-64 [14]. Сотрясения от ощущимых землетрясений 2021 г. были зафиксированы в трех населенных пунктах [15].

Распределения землетрясений по энергетическим классам и выделенной ими суммарной сейсмической энергии по районам представлены в табл. 1.

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_p и суммарная сейсмическая энергия ΣE по районам за 2021 г.

№	Район	K_p								N_Σ	ΣE , 10^{11} Дж
		6	7	8	9	10	11	12	13		
1	Охотское море		7	7	8	2	1			25	0.718
2	Колыма	10	92	71	15	6	1	1	1	197	207.824
3	Западная Чукотка										
4	Восточная Чукотка				2	1	1			4	2.189
5	Чукотское море					1	1	4		6	32.106
6	Берингово море	2	2			2				2	0.179
	Всего	10	99	78	25	12	4	5	1	234	243.016

Суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся в 2021 г. в границах региона Северо-Восток, согласно каталогу [6], составила $\Sigma E=243.016 \cdot 10^{11}$ Дж. Количество зарегистрированных в регионе землетрясений $N_\Sigma=234$.

На рис. 3 показано распределение значений ежегодных количеств N_Σ землетрясений и выделяемой сейсмической энергии ΣE на Северо-Востоке России в период 2000–2021 гг.

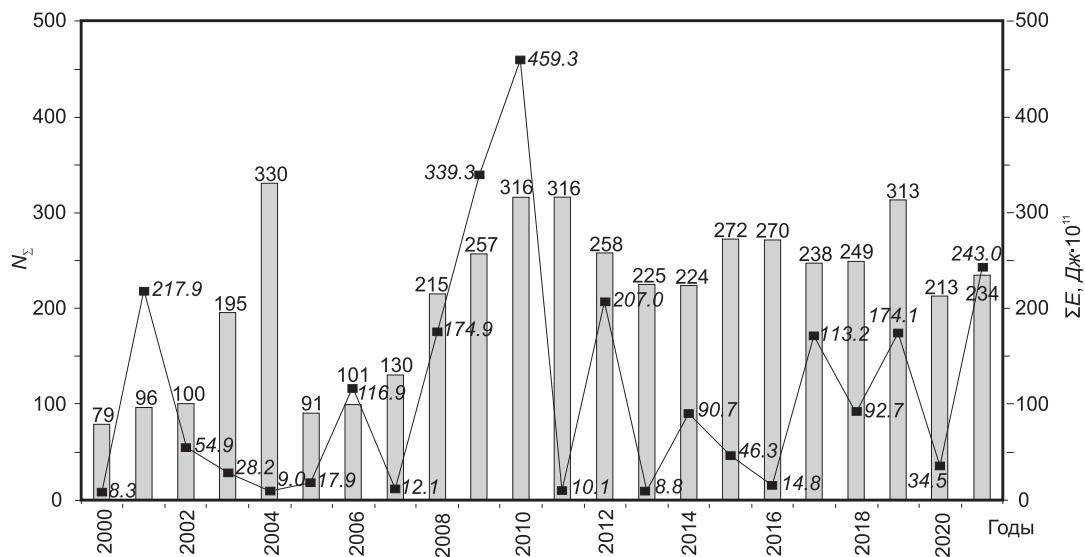


Рис. 3. Изменение ежегодного количества землетрясений N_{Σ} и сейсмической энергии ΣE на Северо-Востоке России за период 2000–2021 гг.

Гистограмма – количество землетрясений (N_{Σ}), график – суммарная сейсмическая энергия (ΣE).

Количество землетрясений $N_{\Sigma}=234$ в 2021 г. близко к среднему значению за 22-летний период наблюдений ($N_{\Sigma\text{среднее}}=215$). Суммарная сейсмическая энергия $243.016 \cdot 10^{11}$ Дж в 2021 г. в 2.1 раза выше среднего значения за 22 года ($\Sigma E_{\text{среднее}}=115.087 \cdot 10^{11}$ Дж).

По шкале «СОУС’09» [16] уровень сейсмичности Северо-Востока России в 2021 г. оценен как «фоновый повышенный» за 54-летний период наблюдений (с 1968 по 2021 гг.) [17].

Проанализируем особенности сейсмичности Северо-Востока России в 2021 г. по отдельным районам.

В **Охотском море (№ 1)** в 2021 г. локализовано 25 землетрясений с $K_p=6.9$ – 10.7 . Выделившаяся сейсмическая энергия, равная $\Sigma E=0.718 \cdot 10^{11}$ Дж, составляет 0.3% от суммарной годовой энергии региона (табл. 1). Самое сильное землетрясение (10 на рис. 2) с $K_p=10.7$ зарегистрировано 5 ноября в 20^h11^m. Его эпицентр расположен на северо-востоке Охотского моря в западной части Гижигинской губы.

В Охотском море 27 октября в 02^h42^m произошло землетрясение (9 на рис. 2) с $K_p=13.1$, $MPSP=5.4$, эпицентр которого расположен на границе с территорией Камчатского региона. В Магадане, находящемся на расстоянии 228 км от эпицентра, отмечались 3-балльные сотрясения. Зарегистрирован форшок с $K_p=8.6$, возникший 2 октября, и четыре афтершока с $K_p=8.4$ – 9.2 , произошедшие 27 октября, в один день с главным событием. Афтершоки и форшок расположены севернее основного толчка – в зоне ответственности Магаданского филиала, эпицентральная область вытянута в меридиональном направлении на расстояние ~45 км.

Для землетрясения (9) 27 октября с $K_p=13.1$ есть решение механизма очага по данным GCMT [10] (рис. 2). Согласно механизму, землетрясение возникло в условиях преобладающих напряжений сжатия ($PL_T=71$, $PL_p=10$). Сжимающие напряжения близширотны ($AZM_p=266^\circ$), растягивающие напряжения ориентированы на северо-восток ($AZM_T=28^\circ$). Плоскость $NP2$ кругопадающая ($DP2=57^\circ$), $NP1$ – пологая ($DP1=38$). Простижение по нодальной плоскости $NP1$ – северо-восточное ($STK_1=15^\circ$), по $NP2$ – юго-восточное ($STK_2=163^\circ$). Тип подвижки в очаге – взброс с небольшими компонентами сдвига, правостороннего по $NP1$, левостороннего по $NP2$.

В районе **Колымы (№ 2)** зарегистрировано 197 землетрясений с $K_p=6.2$ – 13.3 , или 84% от общего числа событий в регионе. Суммарная сейсмическая энергия, выделенная землетрясениями района № 2, $\Sigma E=207.824 \cdot 10^{11}$ Дж, составляет 85.5% от суммарной энергии всех зарегистрированных в регионе событий. Эпицентры землетрясений района Колымы нанесены на схему тектонического районирования Магаданской области [18] (рис. 4).

Большинство землетрясений приурочено к глубинным разломам северо-западного и субширотного простирания. Наиболее активными были Тебанинский и Улаханский глубинные разломы. Наблюдаются скопления эпицентров в зоне между Кава-Ямским и Челомджа-Ямским разломами субширотного направления, в зоне сочленения Ольской и Ямской неотектонических впадин.

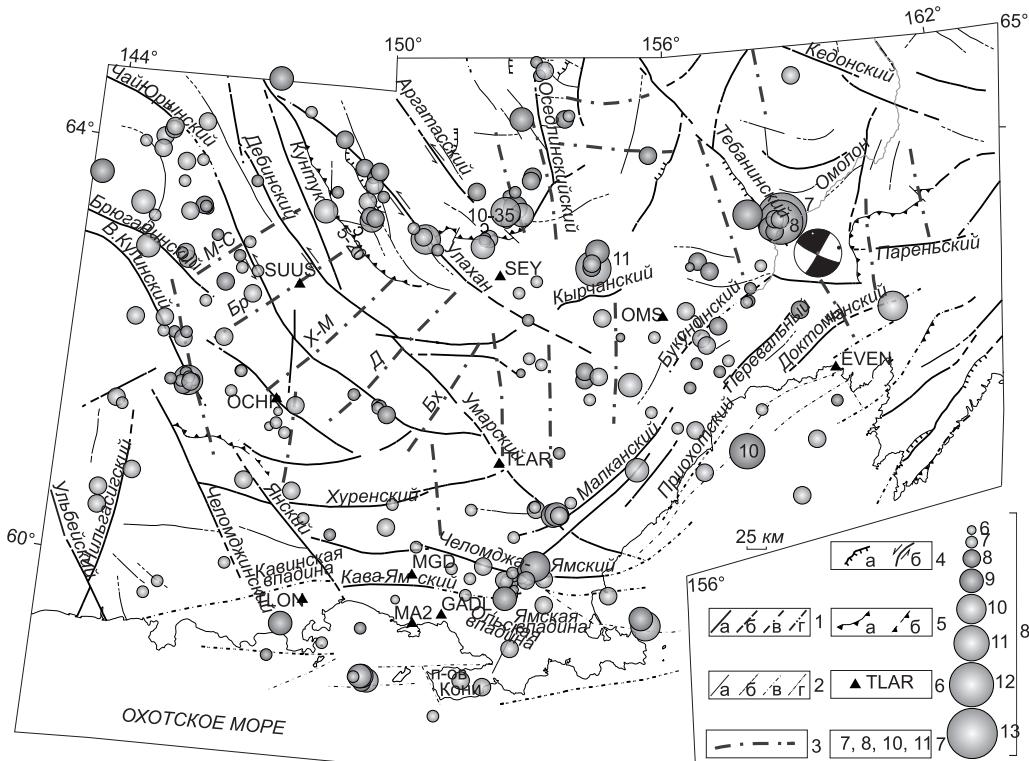


Рис. 4. Тектоническая схема района Колымы [18] и положение эпицентров землетрясений в 2021 г.

1 – крупнейшие разломы: установленные (а), предполагаемые (б), скрытые под молодыми образованиями (в) и в акватории моря (г); 2 – прочие тектонические нарушения: установленные (а), предполагаемые (б), скрытые под молодыми образованиями (в) и в акватории моря (г); 3 – скрытые разломы фундамента: М-С – Малык-Сиенский, Бр – Берелехский, Х-М – Хейджано-Мыгинский, Д – Детринский, Бх – Бахапчинский; 4 – разломы: надвиги (а), сдвиги (б); 5 – краевые ограничения установленных (а) и предполагаемых (б) разломов; 6 – сейсмическая станция; 7 – номера сильных ($K_p \geq 10.6$) землетрясений, указанных в графе 2 каталога [6]; 8 – энергетический класс землетрясений.

Самым сильным в районе Колымы (№ 2) является землетрясение с $K_p=13.3$ ($MPSP=5.0$, $MS=4.2$ [11]), произошедшее 9 октября в 06^h54^m на востоке Магаданской области, в верхнем течении реки Омолон (7 на рис. 2, 3) вблизи юго-восточного окончания Тебанинского глубинного разлома. Назовем это сильнейшее сейсмическое событие региона Северо-Восток в 2021 г. Омолонским, по ближайшей реке Омолон. Основные параметры Омолонского землетрясения по материалам различных сейсмологических агентств, согласно бюллетеню ISC [19], представлены в табл. 2. Координаты эпицентра по данным разных сетей показаны на рис. 5.

Таблица 2. Основные параметры Омолонского землетрясения 9 октября с $K_p=13.3$ по региональным данным в сопоставлении с определениями других агентств

Агентство	t_0 , ч:мин:с	δt_0 , с	Гипоцентр					Магнитуда	Источник	
			$\phi^{\circ}N$	$\delta\phi^{\circ}$, км	$\lambda^{\circ}E$	$\delta\lambda^{\circ}$, км	h , км	δh , км		
МФ ФИЦ ЕГС РАН	06:54:11.0	0.4	63.38	2.6	158.42	2.5	12	4	$K_p=13.3$	[6]
MOS	06:54:11.5	0.9	63.40	9.6	158.346	4.6	12		$MS=4.2/5$, $MPSP=5.0/43$	[11]
ISC	06:54:12.50	0.3	63.3443	5.27	158.4658	4.053	10	f	$Ms=4.2/47$, $mb=4.8/170$	[19]
IDC	06:54:10.86	0.47	63.3084	12.4	158.3815	10.6	0	f	$Ms=4.1/37$, $mb=4.5/33$	– "
BJI	06:54:11.60		63.33		158.54	14			$Ms=5.0/26$, $mb=4.7/36$	– "
NEIC	06:54:12.45	1.35	63.3751	12.7	158.3556	11.8	10	f	$mb=4.8/53$	– "
GFZ	06:54:13.65	0.21	63.413		158.493		10	f	$Ms=5.1/52$, $mb=4.9/52$	– "
GCMT	06:54:14.20	0.20	63.38		158.36		24	1.3	$Mw=4.9/106$	– "
ISC-EHB	06:54:14.72		63.368	3.7	158.415	2.5	24	f		– "

Разброс координат по данным различных центров достигает 12 км по широте и 10 км – по долготе. Решения мировых агентств хорошо согласуются как между собой, так и с региональным решением для эпицентра.

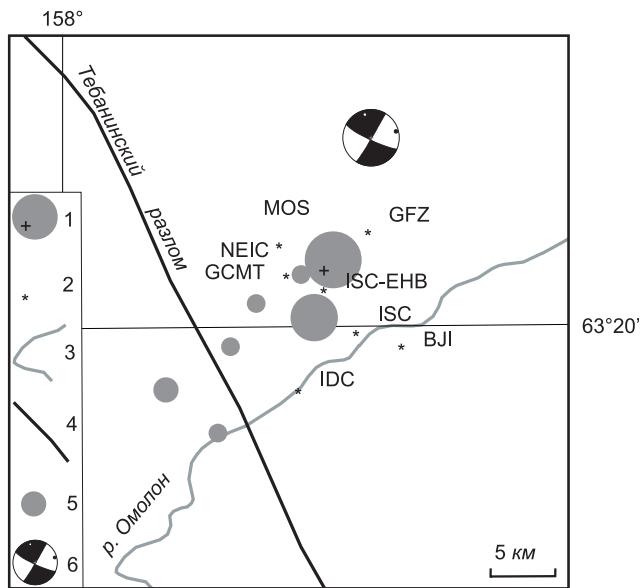


Рис. 5. Сопоставление положения эпицентра Омоловского землетрясения 9 октября с $K_p=13.3$ по данным станций сети МФ ФИЦ ЕГС РАН и других агентств

1 – инструментальный эпицентр по [6]; 2 – решения по данным других сейсмологических служб; 3 – река Омолон; 4 – фрагмент Тебанинского разлома; 5 – афтершоки; 6 – механизм очага землетрясения по GCMT [10].

Региональные решения для эпицентров основного толчка и афтершоков несколько расходятся, что может быть связано как с невысокой точностью локации, так и с конечным размером очага. При сводной обработке Омоловского землетрясения в Магаданском филиале использовались данные наблюдений десяти станций (рис. 6). Ближайшими к эпицентру были станции «Омсукчан» ($\Delta=166$ км) и «Эвенск» ($\Delta=169$ км). Максимальное эпицентрическое расстояние – 640 км (станция BILL). Учитывая такую удаленность, расхождения в положении эпицентров основного толчка и афтершоков вполне объяснимы, однако частично они могут быть связаны с конечным размером очага главного толчка.

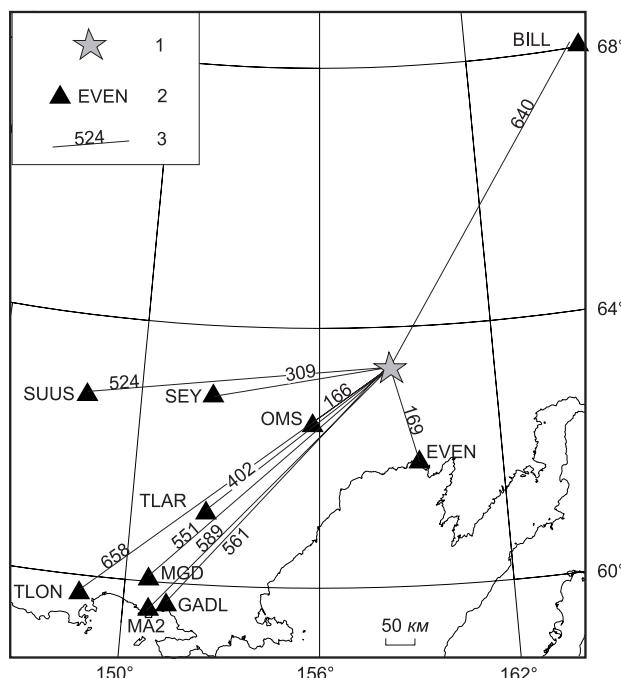


Рис. 6. Положение региональных станций, зарегистрировавших Омоловское землетрясение

1 – эпицентр землетрясения; 2 – сейсмическая станция и ее код; 3 – эпицентрическое расстояние, км

Механизм очага Омоловского землетрясения определен GCMT [10, 20]. Согласно опубликованному решению, землетрясение возникло под действием близких по величине горизонтальных растягивающих и сжимающих напряжений ($PL_T=6^\circ$, $PL_p=3^\circ$). Растягивающие напряжения ориентированы на север–северо-запад ($AZM_T=344^\circ$), направление сжимающих напряжений – восток–северо-восток ($AZM_p=74^\circ$). Обе нодальные плоскости имеют крутое падение ($DP_1=88^\circ$, $DP_2=83^\circ$). Плоскость $NP1$ простирается в север–северо-восточном направлении ($STK_1=29^\circ$), плоскость $NP2$ – в восток–юго-восточном ($STK_2=119^\circ$). Тип подвижки по плоскости $NP1$ – правосторонний сдвиг, по плоскости $NP2$ – левосторонний сдвиг.

Омоловское землетрясение 9 октября с $K_p=13.3$ сопровождалось серией из шести афтершоков с $K_p=7.6$ – 11.6 (рис. 5), произошедших в период с 9 по 27 октября [6]. Область эпицентров главного толчка и афтершоков вытянута в северо-восточном направлении, вдоль течения р. Омолов, на расстояние ~ 17 км. Главное событие ограничивает положение афтершоков с северо-востока, что характерно для афтершоковых зон землетрясений Северо-Востока, где главное событие практически всегда ограничивает положение афтершоков с одной из сторон эллипсоида, за пределами которой эпицентры отсутствуют [21].

Сильнейший афтершок (8) с $K_p=11.6$ ($MPSP=4.4$) зарегистрирован 19 октября в 04^h48^m в 5 км юго-западнее главного события. Его магнитуда на 0.6 меньше магнитуды главного толчка, энергетическая ступень составляет $\Delta K_p=1.7$.

Суммарная сейсмическая энергия Омоловского землетрясения и шести его афтершоков составила $\Sigma E=2.035 \cdot 10^{13}$ Дж, в очаге основного толчка высвободилась энергия $E=1.995 \cdot 10^{13}$ Дж, т. е. 98% от суммарной энергии всей серии.

Глубина гипоцентра Омоловского землетрясения – $h=12$ км, диапазон глубин афтершоков, определенных с помощью программы HYP2DT, составил 7–28 км.

В тектоническом отношении эпицентры Омоловского землетрясения и афтершоков тяготеют к южному окончанию Тебанинского левостороннего взбросо-сдвига северо-западного простирания [17].

Омоловское землетрясение ощущалось в пос. Омсукчан (сейсмостанция OMS на рис. 4, 6), который расположен в 166 км юго-западнее эпицентра, с интенсивностью $I=4$ балла. Сведения о макросейсмических проявлениях собраны сотрудниками сейсмостанций «Омсукчан» и «Эвенск» при помощи телефонного опроса, а также посредством распространения опросных листов. Многие жители Омсукчана на 1–5 этажах панельных, блочных и каменных зданий в состоянии покоя и в движении ощутили толчки снизу, вибрацию как от движения тяжелого грузовика, сотрясения всего дома. Раскачивались висячие предметы, звенели посуда, окна. Жидкость в сосудах слегка колебалась, сдвинулись чашки на столе. Многие испугались, но помещение никто не покинул. Жителями пос. Эвенск (сейсмостанция EVEN на рис. 4, 6), находящимися на расстоянии 169 км юго-юго-восточнее эпицентра, землетрясение не ощущалось.

Действующая плоскость разрыва может быть выбрана как по простиранию области афтершоков, вдоль течения р. Омолов, так и по направлению Тебанинского разлома. Плоскость $NP1$ с простиранием $STK_1=29^\circ$ неплохо согласуется с северо-восточной ориентацией области афтершоков ($AZM_{\text{афт}}=45^\circ$), а плоскость $NP2$ ($STK_2=119^\circ$) восток–северо-восточного простирания может быть сопоставлена с северо–северо-западным (юго–юго-восточным) простиранием Тебанинского левостороннего взбросо-сдвига ($AZM_{\text{разл}}=333^\circ$) и типом подвижки в очаге по $NP2$. Учитывая, что Омоловское землетрясение ощущалось юго-западнее эпицентра (пос. Омсукчан $\Delta=166$ км), и не ощущалось юго-восточнее эпицентра (пос. Эвенск $\Delta=169$ км) можно предположить, что длинная ось изосейст вытянута в северо-восточном направлении, как и область афтершоков. Таким образом, анализ всех характеристик позволяет выбрать в качестве действующей плоскости в очаге Омоловского землетрясения нодальную плоскость $NP1$, ориентированную с восток–северо-востока на запад–юго-запад.

История сейсмичности очаговой зоны Омоловского землетрясения содержит сведения, в основном, о слабых землетрясениях. За весь период инструментальных наблюдений (с 1963 г.) здесь зарегистрировано не более 20 событий с $K_p=7.6$ – 9.9 и одно землетрясение с $K_p=11.1$ 11 сентября 2020 г., эпицентр которого располагался в 29 км юго-западнее Омоловского землетрясения 2021 г.

Другое сравнительно сильное землетрясение в районе № 2 (11 на рис. 4) с $K_p=11.5$ ($MPSP=4.4$) произошло 13 декабря в 02^h48^m. 13–17 декабря зарегистрировано три его афтершока с $K_p=8.8$, 7.7, 7.6. Область эпицентров главного толчка и афтершоков вытянута в меридиональном направлении на расстояние около 18 км. В тектоническом отношении эпицентральная зона этого землетрясения расположена в Сеймчано-Ачагинской зоне Сугойского синклиниория, севернее Кырчанского разлома субширотной ориентации [18]. Это землетрясение ощущалось в пос. Омсукчан ($\Delta=91$ км) и Сеймчан ($\Delta=99$ км) с интенсивностью $I=3$ балла.

Большинство землетрясений района Колымы (№ 2) в 2021 г. расположены в пределах юго-восточной части сейсмического пояса Черского и вдоль северной границы Северо-Охотского сейсмического пояса.

Район *Западной Чукотки* (№ 3) в 2021 г. был асейсмичен.

В районе *Восточной Чукотки* (№ 4) локализовано 4 землетрясения с $K_p=9.0\text{--}11.3$. Самое сильное из них землетрясение (1 на рис. 2) с $K_p=11.3$ ($mb=3.9$) произошло 15 марта в 13^h56^m на южном побережье Колючинской губы, где наблюдалась сейсмическая активизация в 2020 г.

В районе *Чукотского моря* (№ 5) в период с августа по сентябрь наблюдался рой, включающий 16 землетрясений с $K_p\geq9.6$, из которых локализованы шесть с $K_p=10.1\text{--}12.1$ [6] (рис. 2). В этом районе сеть сейсмических станций позволяет регистрировать без пропусков землетрясения с $K_p\geq10$. Ближайшая станция «Провидения» (PVDR) находится на расстоянии 334–351 км. Эпицентры в плане образуют компактную группу, немного вытянутую в северо-восточном направлении. Длина зоны – около 17 км, ширина – 7 км. Глубина $h=24, 26$ и 33 км определена для трех событий, у других она зафиксирована как $h=0$ программой HYP2DT. Максимальное событие (4 на рис. 2) с $K_p=12.1$ возникло 26 августа в 12^h49^m на глубине около 33 км. Выделившаяся в районе № 5 сейсмическая энергия, равная $\Sigma E=3.211\cdot10^{12}$ Дж, составляет 13.2% от суммарной годовой энергии региона (табл. 1). Землетрясения в близлежащих населенных пунктах Инчоун, Энурмино, Уэлен (на расстоянии ~97–145 км) не ощущались.

Ранее в этом районе Чукотского моря регистрировались умеренные ($K_p=9.0\text{--}10.2$) землетрясения, роевые последовательности не наблюдались. Только 25 сентября 2009 г. по данным Сейсмологического бюллетеня [11] с разницей в полчаса произошли два землетрясения с $MPSP=5.4, 4.8$ с близкими координатами [22]. Их эпицентры находились в ~45–55 км юго-западнее роя 2021 г.

В *Беринговом море* (район № 6) зарегистрировано и обработано два землетрясения: первое произошло 12 февраля с $K_p=9.9$ у восточной границы региона, другое – 11 августа с $K_p=10.0$ в Анадырском заливе (рис. 2).

Заключение. Уровень сейсмичности Северо-Востока России в 2021 г., согласно шкале «СОУС’09», оценен как «фоновый повышенный». Главной особенностью 2021 г. явилось возникновение Омолонского землетрясения 9 октября с $K_p=13.3$ ($MPSP=5.0, MS=4.2$). Это первое столь сильное землетрясение в этом районе за историю инструментальных наблюдений. Отметим усиление сейсмической активности в Чукотском и Охотском морях, на границе с Камчатским регионом. Пространственно большинство землетрясений Северо-Востока России традиционно сосредоточено в крупных сейсмогенных поясах: Черского, Северо-Охотском и Транс-Берингийском.

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» (<https://ckp-tf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

Л и т е р а т у р а

1. Алёшина Е.И., Курткин С.В. Сейсмические станции Северо-Востока России в 2021 г. (код сети NEGSR) // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-28.html>
2. Раутян Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика (Труды ИФЗ АН СССР; № 32 (199)). – М.: Наука, 1964. – С. 88–93.
3. Артамонов В.В., Мишина Л.В. Регистрационные возможности сети сейсмических станций Северо-Востока СССР // Сейсмические процессы на Северо-Востоке СССР. – Магадан, 1984. – С. 99–115.
4. Дроздин Д.В., Дроздина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – 2010. – Т. 46, № 3. – С. 22–34.
5. Mackey K.G. Seismological Studies in Northeast Russia. Dissertation for the degree of Ph.D. / Michigan State University. Department of Geological Sciences, 1999. – 346 p.
6. Алёшина Е.И., Габдрахманова Ю.В., Чернецова А.Г., Бугаева А.П. Каталог землетрясений Северо-Востока России за 2021 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-28.html>
7. Козьмин Б.М. Сейсмические пояса Якутии и механизм очагов землетрясений. – М.: Наука, 1984. – 125 с.
8. Алёшина Е.И., Седов Б.М. Развитие структуры и геодинамики северной границы Охотоморской плиты // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. – Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2009. – С. 11–13.

9. Fujita K., Mackey K.G., McCaleb R.C., Gunbina L.V., Kovalev V.N., Imaev V.S., Smirnov V.N. Seismicity of Chukotka, Northeastern Russia // Society of America Special Papers. – 2002. – V. 360. – P. 259–272. <https://doi.org/10.1130/0-8137-2360-4.259>
10. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). Catalog Search. (2025). [Site]. – URL: <https://www.glob-alcmt.org/>
11. Сейсмологический бюллетень (сеть телесейсмических станций), 2021. (2025) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2021
12. Чебров Д.В., Матвеенко Е.А., Абубакиров И.Р., Дроздина С.Я., Митюшкина С.В., Павлов В.М., Раевская А.А., Ромашева Е.И., Салтыков В.А. Сейсмичность Камчатки и Командорских островов в 2021 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – С. 162–172. DOI:<https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.14> EDN:NUOFES
13. Алёшина Е.И. Макросейсмический эффект ощущимых землетрясений в населенных пунктах Северо-Востока России в 2021 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-28.html>
14. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
15. Алёшина Е.И. Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощущимых землетрясений Северо-Востока России в 2021 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-28.html>
16. Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 2. – С. 53–59.
17. Алёшина Е.И., Курткин С.В. Северо-Восток России и Чукотка // Землетрясения России в 2021 г. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2023. – С. 70–75.
18. Кузнецов В.М. Схема тектонического районирования Охотско-Колымского водораздела. Масштаб 1:1 000 000. – ФГУП «Магадангеология», 2001.
19. International Seismological Centre. (2025). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
20. Алёшина Е.И., Лукаш Н.А. Каталог механизмов очагов землетрясений Северо-Востока России за 2021 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-28.html>
21. Алёшина Е.И., Седов Б.М., Гунбина Л.В. Характеристика роев и афтершоков Северо-Востока России // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Девятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 31–35.
22. Алёшина Е.И., Гунбина Л.В., Карпенко Л.И. Седов Б.М. Северо-Восток России // Землетрясения Северной Евразии, 2009 год. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 196–203.

SEISMICITY of the NORTH-EAST OF RUSSIA in 2021

E.I. Alyeshina, S.V. Kurtkin, L.I. Karpenko

Magadan branch of the Geophysical Survey RAS, Magadan, Russia, evgeniya@memsd.ru

Abstract. The results of seismic monitoring of the Magadan region, Chukotka Autonomous Area and the shelf of adjacent seas (the Okhotsk, Chukchi, Bering and East Siberian Seas) in 2021 are considered. There were 14 working seismic stations in the region. The catalog includes information about 256 earthquakes with energy classes $K_R=6.2\text{--}13.3$. As usual, most regional earthquakes (84%) are localized in the Kolyma area. The total seismic energy ΣE released within the region's borders was equal to $2.43 \cdot 10^{13} \text{ J}$. The classification of Russian North-East earthquakes was performed using energy classes K_R of T. G. Rautian scale. The earthquake energy representativeness map with $K_{\min}=6\text{--}10$ was built. According to the map, the Magadan network records without omissions the earthquakes with $K_{\min}=7$ in Magadan oblast, with $K_{\min}=8$ in the Okhotsk Sea, $K_{\min}=10$ in the Chukchi Sea. The strongest Omolon earthquake with $K_R=13.3$ ($MPSP=5.0$, $MS=4.2$) occurred on October 9, $06^{\circ}54^{\prime\prime}$ in the east of the Magadan region. In the North-East settlements, three earthquakes with an intensity up to 4 were felt. Epicenters of Magadan region earthquakes were plotted on the tectonic zoning scheme. Most earthquakes are confined to the largest deep faults of northwestern and sublatitudinal directions. All hypocenters are located within the earth's crust. In 2021, the seismicity level of the North-East of Russia according to the “SOUS'09” scale was assessed as “background increased”. Spatially, all Russian North-East earthquakes are traditionally concentrated in large seismogenic belts: Chersky, North-Okhotsk and Trans-Beringian.

Keyword: seismic monitoring, North-East, Kolyma, Chukchi Sea, Okhotsk Sea, seismogenic belt, energy class, tectonics, deep fault.

For citation: Alyeshina, E.I., Kurtkin, S.V., & Karpenko, L.I. (2025). [Seismicity of the North-East of Russia in 2021]. Zemletriaseniiia Severnoi Evrazii [Earthquakes in North Eurasia], 28(2021), 173–182. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.15> EDN: OMMIMA

References

1. Alyeshina, E.I., & Kurtkin, S.V. (2025). [Seismic stations North-East of Russia in 2021 (network code NEGRS)]. *Zemletriasenia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-28.html> (In Russ.).
2. Rautian, T.G. (1964). [On the determination of energy of earthquakes at distances 3000 km]. In *Experiments'naya seismica (Trudy IFZ AN USSR; № 32 (199))* [Experimental seismic] (pp. 88–93). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
3. Artamonov, V.V., & Mishina, L.V. (1984). [Registration capabilities of the network of seismic stations of the North-East of the USSR]. In *Seismicheskie processy na Severo-Vostoke SSSR* [Seismic processes in the North-East of the USSR] (pp. 99–115). Magadan, Russia. (In Russ.).
4. Droznin, D.V., & Droznina, S.Ya. (2011). Interactive DIMAS software for seismic signal processing. *Seismic Instruments*, 47(3), 215–224. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.3103/S0747923911030054>
5. Mackey, K.G. (1999). Seismological Studies in Northeast Russia. Dissertation for the degree of Ph. D. *Michigan State University. Department of Geological Sciences*, 346 p.
6. Alyeshina, E.I., Chernetsova, A.G., Gabdrakhmanova, J.V., & Bugaeva, A.P. (2025). [The catalog earthquakes North-East of Russia in 2021]. *Zemletriasenia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-28.html> (In Russ.).
7. Kozmin, B.M. (1984). *Seismicheskie poyasy Yakutii i mehanizm ochagov zemletryaseniy* [Seismic zones of Yakutia and the mechanism of earthquake foci]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 125 p. (In Russ.).
8. Alyeshina, E.I., & Sedov, B.M. (2009). [Development of the structure and geodynamics of the Northern border of the Okhotsk plate]. In *Materialy sed'moi nauchno-tehnicheskoi konferentsii "Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dalnego Vostoka Rossii"* [Proceedings of the seventh scientific-practical conference “Problems of complex geophysical monitoring of the Russian Far East”] (pp. 11–13). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: KF GS RAS Publ. (In Russ.).
9. Fujita, K., Mackey, K.G., McCaleb, R.C., Gunbina, L.V., Kovalev, V.N., Imaev, V.S., & Smirnov, V.N., (2002). Seismicity of Chukotka, Northeastern Russia. *Geological Society of America Special Papers*, 360, 259–272. DOI: <https://dx.doi.org/10.1130/0-8137-2360-4.259>
10. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). Catalog Search. (2025). Retrieved from <https://www.globalcmt.org/>
11. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations. (2025). Retrieved from http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2021
12. Chebrov, D.V., Matveenko, E.A., Abubakirov, I.R., Droznina, S.Ya., Mityushkina, S.V., Pavlov, V.M., Raevskaya, A.A., Romasheva, E.I., & Saltykov, V.A. (2025). [Seismicity of Kamchatka and Commander Islands in 2021]. *Zemletriasenia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021), 162–172. (In Russ.). DOI:<https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.14> EDN:NUOFES
13. Alyeshina, E.I. (2024). [Macroseismic effect of significant earthquakes in settlements of the North-East of Russia in 2021]. *Zemletriasenia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-28.html> (In Russ.).
14. Medvedev, S. V. Shponhoyer, V., & Karnik, V. (1965). *Mezhdunarodnaya shkala seismicheskoy intensivnosti MSK-64* [MSK-64 International seismic intensity scale]. Moscow, Russia: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p. (In Russ.).
15. Alyeshina, E.I. (2025). [Information on points for which there is information on macroseismic manifestations of palpable earthquakes Northeast Russia in 2021]. *Zemletriasenia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-28.html> (In Russ.).
16. Saltykov, V.A. (2011). A statistical estimate of seismicity level: The method and results of application to Kamchatka. *Journal of Volcanology and Seismology*, 5(2), 123–128. DOI: [10.1134/S0742046311020060](https://doi.org/10.1134/S0742046311020060) EDN: OHTIXN
17. Alyeshina, E.I., & Kurtkin, S.V. (2023). [Northeast of Russia and Chukotka]. In *Zemletriasenia Rossii v 2021 godu* [Earthquakes in Russia, 2021] (pp. 70–75). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
18. Kuznetsov, V.M. (2001). *Skhema tektonicheskogo raionirovaniia Okhotsko-Kolymskogo vodorazdela. Masshtab 1:1000 000* [Scheme of tectonic zoning of the Okhotsk-Kolyma watershed. Scale 1:1000 000]. FSUE «Magadan-geologiya» Publ. (In Russ.).
19. International Seismological Centre. (2025). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
20. Alyeshina, E.I., & Lukash, N.A. (2025). [Catalog of mechanisms of earthquake foci in the North-East of Russia for 2021]. *Zemletriasenia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-28.html> (In Russ.).
21. Alyeshina, E.I., Sedov, B.M., & Gunbina, L.V. (2014). [Characteristic of earthquake swarms and aftershocks in Northeast Russia]. In *Materialy IX Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly "Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh"* [Proceedings of the IX International Seismological Workshop “Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data”] (pp. 31–35). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
22. Alyeshina, E.I., Gunbina, L.V., Karpenko, L.I., & Sedov, B.M. (2015). [North-East of Russia]. In *Zemletriasenia Severnoi Evrazii v 2009 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2009] (pp. 196–203). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).