

СЕЙСМИЧНОСТЬ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ в 2016–2017 гг.**Е.И. Алёшина, С.В. Курткин, Л.И. Карпенко***Магаданский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Магадан, evgeniya@temsd.ru*

Аннотация. Рассматриваются результаты сейсмического мониторинга в 2016–2017 гг. Северо-Востока России, охватывающего Магаданскую область, Чукотский автономный округ и шельфы прилегающих морей – Охотского, Чукотского, Берингова и Восточно-Сибирского. В регионе работали 14 сейсмических станций, включая новую станцию «Талон», открытую на побережье Охотского моря. В каталог включены сведения о 577 землетрясениях с энергетическими классами $K_p=4.6–12.7$. При этом, как обычно, большая их часть (88 %) локализована в районе Колымы. В дополнительном каталоге содержатся сведения о 12 землетрясениях на Чукотке. Суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся в границах региона, составила $\Sigma E=1.86 \cdot 10^{13}$ Дж. Согласно карте энергетической представительности землетрясений с $K_{\min}=5–10$, на территории Магаданской области не могут быть пропущены землетрясения с $K_{\min}=7$, в Охотском море с $K_{\min}=8$. Самое сильное землетрясение с $K_p=12.7$ и магнитудой $MPSP=4.8$ произошло 5 ноября 2017 г. на Чукотском полуострове. В населенных пунктах Северо-Востока ощущались пять землетрясений с интенсивностью I от 2 до 4 баллов по шкале ШСИ-17. Максимальная интенсивность сотрясений, 4 балла, наблюдалась 20 мая 2017 г. в пос. Беринговский ($\Delta=22$ км) на Чукотке. Эпицентры землетрясений Магаданской области нанесены на схему тектонического районирования. Большинство землетрясений приурочено к крупнейшим глубинным разломам северо-западного и субширотного простираний. Все гипоцентры расположены в пределах земной коры. Уровень сейсмичности Северо-Востока России в 2016–2017 гг. согласно шкале «СОУС'09» оценен как «фоновый средний» за период наблюдений с 1968 по 2017 год. 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, эпицентральная зона.

DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.15 **EDN:** ХЛТРУЕ

Для цитирования: Алёшина Е.И., Курткин С.В., Карпенко Л.И. Сейсмичность Северо-Востока России в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 176–186. DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.15. EDN: ХЛТРУЕ

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 2016–2017 гг. осуществлялся Магаданским филиалом ФИЦ ЕГС РАН.

Сеть наблюдений в 2016–2017 гг. состояла из 15 цифровых сейсмических станций. Для обработки землетрясений в приграничных с Саха (Якутией) районах использовались данные станций Якутского филиала ФИЦ ЕГС РАН.

С октября 2016 г. начала работать новая станция «Талон» (TLON). Станция «Охотск» (OKHR) закрыта 23 января 2016 года. Станция «Омчак» (OCHR) с 26 августа 2016 г. по 5 декабря 2017 г. не работала в связи с затоплением и замораживанием штольни. По техническим причинам в период с 30 апреля 2017 г. по 15 ноября 2017 г. не работала станция «Билибино» (BILL). Станция «Провидения» (PVDR) не работала с 9 декабря 2015 г. по 16 апреля 2016 г. и с 7 декабря 2016 г. по 17 апреля 2018 г. из-за отключения электроэнергии и скачков напряжения, приведших к поломкам аппаратуры.

Сведения о станциях, типах и параметрах регистрирующей аппаратуры приведены в электронном приложении [1]. Положение сейсмических станций показано на рис. 1.

Классификация землетрясений Северо-Востока России осуществлялась по энергетическим классам K_p шкалы Т.Г. Раутиан [2]. Для определения регистрационных возможностей сети Северо-Востока построена карта K_{\min} (рис. 1). При этом использовалась методика 1984 г. В.В. Артамонова и Л.В. Мишиной [3] с изменениями, поскольку на территории Северо-Востока в 1999 г. началась замена аналоговых станций на цифровые. Энергетическая представительность землетрясений K_{\min} по наблюдениям действовавшей в 2016–2017 гг. сети показана на рис. 1.

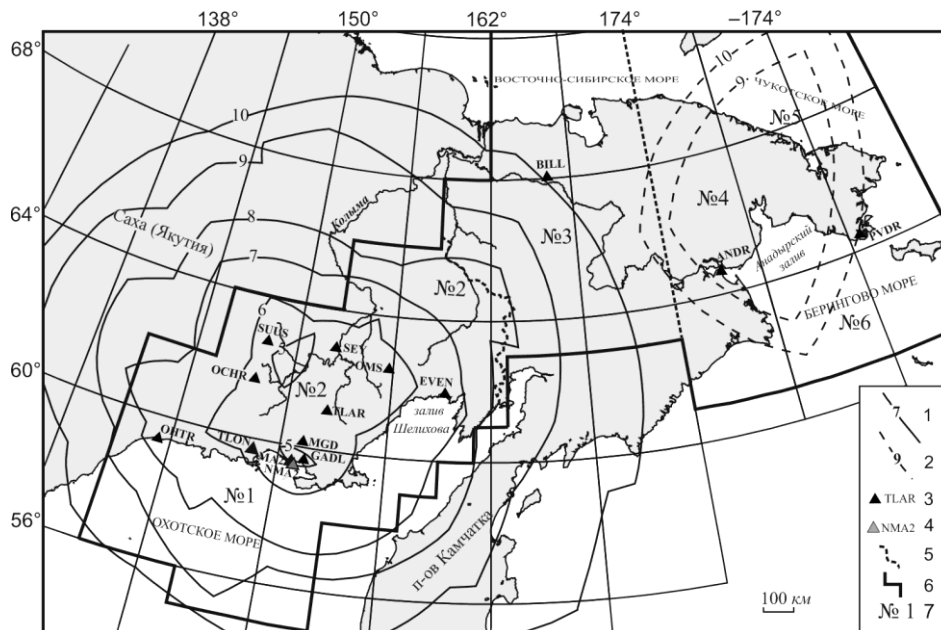


Рис. 1. Карта энергетической представительности K_{\min} землетрясений Северо-Востока России и расположение сейсмических станций в 2016–2017 гг.

1, 2 – изолиния K_{\min} , уверенная и предполагаемая соответственно; 3, 4 – сейсмическая станция, постоянная и временная соответственно; 5, 6 – граница района и региона соответственно; 7 – номер района.

Минимальный уровень энергии землетрясений с $K_{\min}=5.0$ обеспечен региональной сетью на двух участках: в центре района № 2 (Колыма) и в Примагаданье, в областях наибольшей плотности сети станций. На всей территории района Колымы не могут быть пропущены землетрясения с $K_{\min}=7$. В Охотском море (район № 1) без пропусков регистрируются землетрясения с $K_{\min}=8$. Для территории ЧАО, из-за недостаточности материалов сейсмических наблюдений, построены лишь предполагаемые изолинии $K_{\min}=9$ и 10 с учетом данных прошлых лет.

Методика определения основных параметров землетрясений не изменилась, обработка данных проводилась с помощью программы НУР2DT (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 [4].

Анализ данных. В каталог землетрясений Северо-Востока и приграничных районов [5] за 2016–2017 гг. включены сведения о 578 событиях с $K_p=4.6–12.7$. Из них 72 землетрясения находятся за границами зоны ответственности сети МФ ФИЦ ЕГС РАН, девять – на Камчатке и 63 – на территории Саха (Якутия), они не будут участвовать в дальнейшем обзоре сейсмичности Северо-Востока. В Сусуманском районе семь событий с $K_p=7.0–7.8$ определены нами как «возможно взрыв».

В дополнении [6] к каталогу [5] содержатся сведения о 12 землетрясениях с $mb_{ISC}=3.7–4.5$, произошедших на территории ЧАО. Их параметры заимствованы из бюллетеней ISC [7], т.к. данных сети сейсмических станций МФ ФИЦ ЕГС РАН оказалось недостаточно для определения гипоцентров. Для всех землетрясений – запись только на станции ANDR ($\Delta=231–672$ км, $K_p=10.6–12.8$), на других станциях сети отмечены лишь слабые вступления поверхностных волн (ϵL), станции PVDR и BILL в 2016–2017 гг. находились в длительном периоде простоя.

Самое сильное ($K_p=12.7$) в каталоге [5] землетрясение с магнитудой $mb_{MOS}=4.8$, $MS_{MOS}=4.3$ [8] произошло 5 ноября 2017 г. в 17^h32^m на Чукотском полуострове. Минимальным значением энергетического класса в каталоге, $K_p=4.6$, характеризуется событие в районе № 2 (Колыма), находящееся в 30 км юго-восточнее Сусумана.

Ощутимых землетрясений в 2016–2017 гг. было пять [9]. Максимальный макросейсмический эффект с $I=4$ балла по шкале ШСИ-17 [10] наблюдался при землетрясении 20 мая 2017 г. в 06^h23^m с $K_p=11.8$ в пос. Беринговский ЧАО. Сотрясения от ощутимых землетрясений 2016–2017 гг. были зафиксированы в трех населенных пунктах [11].

Гипоцентры всех землетрясений Северо-Востока расположены в пределах земной коры, на глубинах $h \leq 33$ км. Карта эпицентров землетрясений, включенных в основной [5] и дополнительный каталоги [6], представлена на рис. 2.

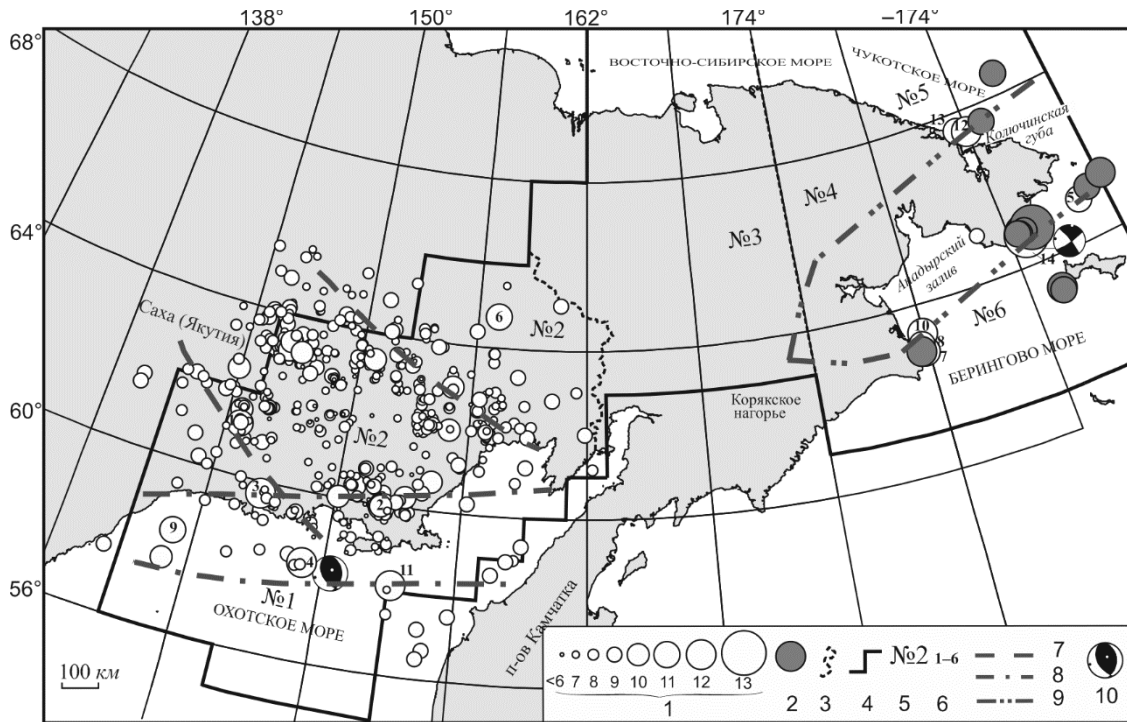


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Северо-Востока России за 2016–2017 гг.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – эпицентры из дополнительного каталога [6]; 3, 4 – граница района и региона соответственно; 5 – номер района; 6 – номер сильного ($K_p \geq 10.6$) землетрясения, указанного в графе 2 каталога [5]; 7 – граница фрагмента сейсмического пояса Черского; 8 – граница Северо-Охотского сейсмического пояса; 9 – граница фрагмента Транс-Берингийского сейсмического пояса (ТБСП); 10 – механизмы очагов землетрясений по [7].

Большинство землетрясений приурочено к ранее известным сейсмогенным зонам – сейсмическим поясам Черского северо-западного простирания, Северо-Охотскому субширотного направления и Транс-Берингийскому северо-восточного простирания [12, 13, 14] (рис. 2).

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

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_p и суммарная сейсмическая энергия ΣE по районам и приграничным территориям региона Северо-Восток за 2016–2017 гг.

№	Район	K_p											N_{Σ}	$\Sigma E, \text{Дж} \cdot 10^{11}$	
		5	6	7	8	9	10	11	12	13					
2016 г.															
1	Охотское море [5]	–	1	3	7	2	–	–	1	–	–	–	–	14	4.000
2	Колыма [5]	–	27	113	81	17	10	2	1	–	–	–	–	254	9.802
3	Западная Чукотка	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4	Восточная Чукотка [5]	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	1	0.005
5	Чукотское море [5, 6]	–	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–	1	0.3981
6	Берингово море [5]	–	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–	1	1
	Всего	3	28	116	88	20	10	4	2	–	–	–	–	271	15.205
2017 г.															
1	Охотское море [5]	–	2	8	9	2	1	1	1	–	–	–	–	27	14.365
2	Колыма [5]	5	20	91	62	21	3	1	–	–	–	–	–	203	2.307
3	Западная Чукотка	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4	Восточная Чукотка [5, 6]	–	–	–	–	–	–	–	4	–	2	–	–	6	95.697
5	Чукотское море [5, 6]	–	–	–	–	–	–	–	2	1	–	–	–	3	13.617
6	Берингово море [5, 6]	–	–	–	–	–	–	1	2	5	–	–	–	8	44.992
	Всего	8	22	99	71	23	5	10	7	2	–	–	–	247	170.960
	Всего за 2 года	11	50	215	159	43	15	14	9	2	–	–	–	518	186.165

Примечание. Учтены землетрясения из основного [5] и дополнительного [6] каталогов. Энергия землетрясений из [6] (район № 4, 5, 6) определена по одной станции ANDR.

Суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся в 2016–2017 гг. в границах региона, согласно каталогам [5, 6] составила $\Sigma E = 186.165 \cdot 10^{11}$ Дж. Количество зарегистрированных в этих границах в 2016–2017 гг. землетрясений $N_{\Sigma} = 518$. На рис. 3 показано распределение по годам количества землетрясений и выделенной ими суммарной сейсмической энергии на Северо-Востоке России в период 2000–2017 гг.

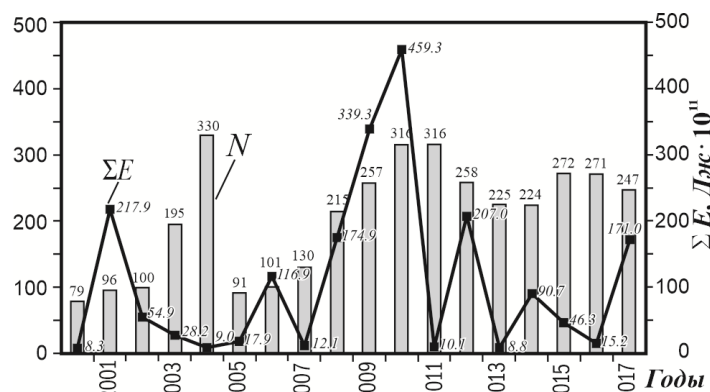


Рис. 3. Изменение ежегодного количества землетрясений N_{Σ} и сейсмической энергии ΣE на Северо-Востоке России за период 2000–2017 гг.

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

Количество землетрясений в 2016 и 2017 гг. близко к среднему значению за 18-летний период наблюдений ($N_{\Sigma \text{ ср.}} = 207$). Суммарная сейсмическая энергия в 2016 г. в 7.3 раза ниже среднего значения за 18 лет ($\Sigma E_{\text{ ср.}} = 110.43 \cdot 10^{11}$ Дж), а в 2017 г. она выше среднего в 1.5 раза.

Согласно шкале «СОУС'09» [15], уровень сейсмичности Северо-Востока России в 2016 и в 2017 гг. оценен как «фоновый средний» за период наблюдений 1968–2017 гг. [16, 17].

Проанализируем особенности сейсмичности Северо-Востока России в 2016–2017 гг. по отдельным районам.

В **Охотском море (№ 1)** в 2016–2017 гг. локализовано 41 землетрясение с $K_p = 5.0–12.1$. Выделившаяся сейсмическая энергия, равная $\Sigma E = 18.365 \cdot 10^{11}$ Дж, составляет 9.9 % от суммарной двухгодичной энергии региона (табл. 1).

Самое сильное землетрясение с $K_p = 12.1$ здесь зарегистрировано 1 сентября 2017 г. в 21^h07^m. Его эпицентр расположен в 207 км юго-восточнее г. Магадана. Сведений об ощутимости этого события из близлежащих населенных пунктов не поступало. Локализован один афтершок с $K_p = 7.5$. Отметим, что в этом районе ранее не регистрировались сильные землетрясения, за весь период наблюдений их энергия не превышала $K_p = 10.3$.

Основные параметры землетрясения 1 сентября по материалам различных сейсмологических агентств представлены в табл. 2. Все решения в плане изображены на рис. 4.

Таблица 2. Основные параметры землетрясения 1 сентября 2017 г. с $K_p = 12.1$ по региональным данным в сопоставлении с определениями других агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источник
			φ° , N	$\delta\varphi^\circ$, км	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$, км	h , км	δh , км		
МФ ФИЦ ЕГС РАН	21 07 41.0	0.8	58.12	4.0	153.14	2.2	14	3	$K_p = 12.1$	[5]
MOS	21 07 38.3	0.8	57.955	6.4	153.019	3.6	6	–	$M_S = 4.3/18$ $M_{PSP} = 5.1/86$	[8]
KRSC	21 07 37.14	2.05	57.948	–	153.191	–	6	–	–	[7]
ISC	21 07 42.3	–	57.951	2.0	153.045	1.1	20.8	0.6	$M_S = 4.0/71$, $m_b = 5.0/329$	–
IDC	21 07 39.13	0.38	57.971	9.6	153.001	8.3	0	f	$M_S = 4.2/23$, $m_b = 4.5/29$	–
NEIC	21 07 41.6	1.64	58.009	11.8	152.937	4.8	13.7	3.7	$m_b = 5.0/386$	–
ВЛ	21 07 37.5	0.00	57.96	–	153.35	–	14.0	–	$M_S = 4.7/55$, $m_b = 4.6/64$	–
GCMT	21 07 42.6	0.40	57.91	–	153.05	–	23.6	1	$M_w = 4.8/76$	–

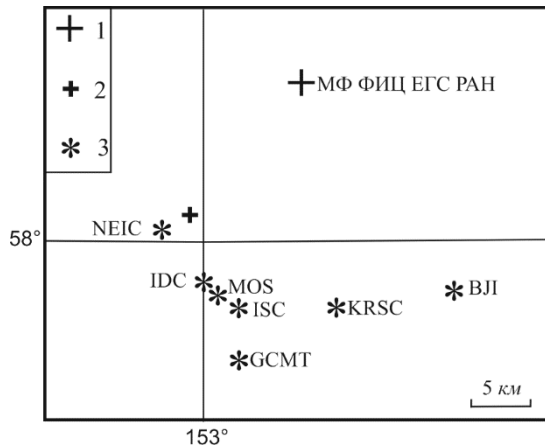


Рис. 4. Сопоставление положения эпицентра землетрясения 1 сентября 2017 г. с $K_p=12.1$ по данным МФ ФИЦ ЕГС РАН и других агентств

1 – инструментальный эпицентр по [5]; 2 – афтершок; 3 – решения по данным других сейсмологических служб.

Разброс координат по данным различных центров достигает 24 км по широте и 23 км по долготе. Все решения располагаются южнее регионального. Наблюдаемое смещение в положении гипоцентра связано с односторонним положением региональных сейсмических станций относительно землетрясения (рис. 5).

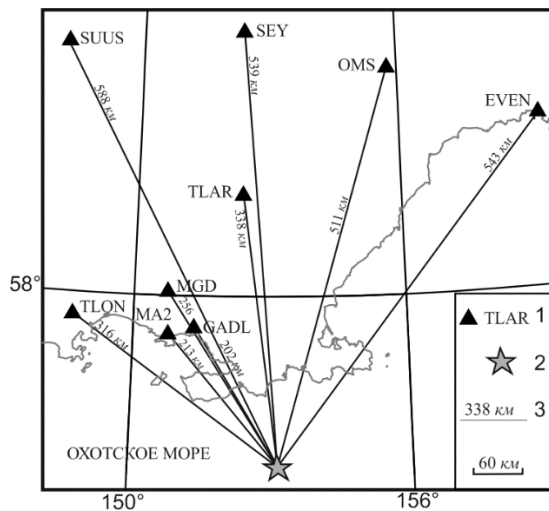


Рис. 5. Положение региональных станций, зарегистрировавших землетрясение 1 сентября 2017 г. с $K_p=12.1$

1 – сейсмическая станция и ее код; 2 – эпицентр землетрясения; 3 – эпицентральное расстояние.

Обработка землетрясения была выполнена по данным девяти станций. Гипоцентр был определен по девяти фазам P -, P_g - и S_g -волн. Ближайшей к эпицентру является станция GADL ($\Delta=202$ км); максимальное эпицентральное расстояние составило 588 км (станция SUUS).

Для землетрясения 1 сентября 2017 г. с $K_p=12.1$ есть решение механизма очага по данным GCMT [7, 18], согласно которому землетрясение возникло в условиях преобладающих напряжений сжатия ($PL_T=77$, $PL_P=10^\circ$). Направление

сжимающих напряжений – запад–юго-запад ($AZM_P=254^\circ$), растягивающие напряжения ориентированы на северо-восток ($AZM_T=29^\circ$). Простираение нодальной плоскости $NP1$ – юго-восточное ($STK_1=156^\circ$), $NP2$ – субмеридиональное ($STK_2=355^\circ$). Тип подвижки в очаге по $NP1$ – взброс компонентами сдвига, по $NP2$ – надвиг с элементами сдвига.

Другое сильное землетрясение (4) с $K_p=11.6$ в Охотском море произошло 29 октября 2016 г. в 18^h11^m. Оно ощущалось в г. Магадане, находящемся на расстоянии 170 км от эпицентра, с интенсивностью $I=3$ балла. Многие жители города, находившиеся на верхних этажах зданий (3–9 этажи) и в деревянных одноэтажных домах, проснулись от толчков и вибрации, некоторые испугались. Респонденты ощутили один или два толчка снизу вверх, затем волнообразные движения и вибрацию, как от грузовика; раскачивались висящие предметы, звенела посуда. Отметим, что 07.11.2001 г. в этом районе (в 12 км северо-восточнее эпицентра 2016 г.) произошло Спафарьевское-II землетрясение с $K_p=12.6$, которое ощущалось в Магадане с интенсивностью 4 балла.

Очаги землетрясений района № 1 в 2016–2017 гг. расположены в пределах Северо-Охотского сейсмического пояса.

В районе **Колымы (№ 2)** зарегистрировано 457 землетрясений с $K_p=4.6–12.7$, или 88.2 % от общего числа событий в регионе. Суммарная сейсмическая энергия, выделенная землетрясениями района № 2, равна $\Sigma E=12.109 \cdot 10^{11}$ Дж, что составляет 6.5 % от величины суммарной энергии всех зарегистрированных в регионе событий. Эпицентры землетрясений Колымского района (№ 2) нанесены на схему тектонического районирования Магаданской области [17] (рис. 6). Большинство землетрясений приурочено к глубинным разломам северо-западного простирания: Улахану, Дебинскому, Чай-Юрьинскому, Верхне-Кулинскому, а также к субширотным Челомджа-Ямскому и Кава-Ямскому. Наблюдается скопление эпицентров в северо-западной части района № 2 между Брюгандинским и Чай-Юрьинским разломами.

Наиболее сильным в районе № 2 является землетрясение (3) с $K_p=11.7$, $MPSP=4.7$ (рис. 2, 6), произошедшее 6 мая 2016 г. в 12^h46^m в 25 км от берега Охотского моря. Это самое

сильное сейсмическое событие на Северо-Востоке в 2016 г., в очаге высвободилось 51.1 % годовой энергии ($E=5.012 \cdot 10^{11}$ Дж). Его эпицентр приурочен к западному окончанию Кава-Ямского разлома субширотного простирания. В районе эпицентра он скрыт кайнозойскими отложениями Кавинской впадины (рис. 6). Через 1.5 часа зарегистрирован один слабый афтершок с $K_p=7.2$. Всего в эпицентральной зоне события (3) течение 2016–2017 гг. произошло 11 землетрясений с $K_p=6.8–8.4$, область их эпицентров вытянута в северо-западном направлении на расстояние около 53 км. Землетрясение (3) с $K_p=11.7$ ощущалось в г. Магадане ($\Delta=240$ км) с интенсивностью 2–3 балла. Оно произошло в 23 часа 46 минут местного времени, когда большинство жителей города спали. Немногие респонденты, проживающие на верхних этажах зданий (3–9 этажи), находившиеся в состоянии покоя, ощутили волнообразные движения или слабую вибрацию, слегка раскачивались висящие предметы.

Сильное ($K_p=11.0$) землетрясение (1) зарегистрировано 2 января 2016 г. в 04^h06^m. Его эпицентр приурочен к северному окончанию Нильгасигского разлома субмеридионального направления. Афтершоков не зарегистрировано. В течение года (в марте, апреле и июле) в очаговой зоне локализованы еще четыре землетрясения с $K_p=7.2–9.2$. Сведений о макросейсмических проявлениях из ближайшего населенного пункта пос. Омчак ($\Delta=177$ км) не поступало.

Другое сильное ($K_p=11.4$) землетрясение (2) произошло 22 февраля 2016 г. в 03^h04^m. В тектоническом отношении эпицентр расположен между двумя крупнейшими глубинными разломами субширотного простирания: Кава-Ямским и Челомджа-Ямским, в очаговой зоне они перекрыты отложениями Ольской неотектонической впадины (рис. 6). В период с 22 февраля по 8 апреля 2016 г. зарегистрировано 11 афтершоков с $K_p=6.3–9.5$. Область их эпицентров вытянута в запад–северо-западном направлении на расстояние около 35 км, ее ориентация практически совпадает с направлением Челомджа-Ямского разлома. Землетрясение (2) с $K_p=11.4$ ощущалось жителями села Гадля ($\Delta=60$ км) и г. Магадана ($\Delta=90$ км) с интенсивностью 3 и 2 балла соответственно. В Гадле многие люди почувствовали толчок и волнообразные движения. Респонденты, находившиеся на 4 и 5 этажах, наблюдали сотрясения зданий, некоторые испугались. В помещениях двигались и падали легкие предметы на столах и полках, чего не наблюдалось на нижних этажах (1, 2 этажи). В Магадане люди, находившиеся в зданиях выше 4 этажа, почувствовали слабые толчки, затем медленные колебания или легкую вибрацию; на нижних этажах землетрясение не ощущалось.

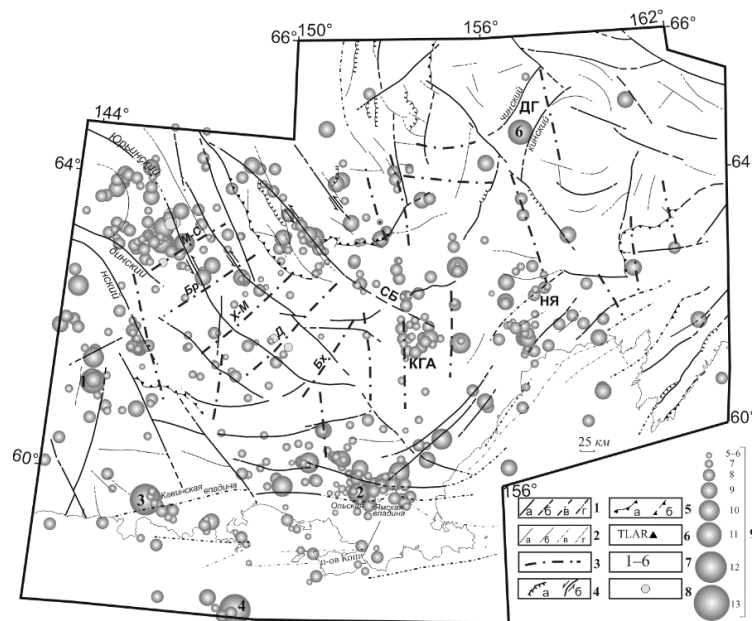


Рис. 6. Тектоническая схема района Колымы [19] и положение эпицентров землетрясений в 2016–2017 гг.

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 – Берелёхский, Х-М – Хейджано-Мылгинский, Д – Детринский, Бх – Бахапчинский; 4 – разломы: надвиги (а), сдвиги (б); 5 – краевые ограничения установленных (а) и предполагаемых (б) шарьяжей; 6 – сейсмическая станция; 7 – номера сильных ($K_p \geq 10.6$) землетрясений, указанных в графе 2 каталога [5]; 8 – возможно взрыв; 9 – энергетический класс землетрясений. Наименования структур: ДГ – Доломнанская грабенсинклиналь; СБ – Сеймчано-Буондинская впадина; НЯ – Наяханское вулканическое поле; КГА – Купкинская горстантиклиналь.

Отметим, что зона, расположенная между Челомджа-Ямским и Кава-Ямским разломами, одна из самых активных зон Магаданской области как в 2016–2017 гг., так и по наблюдениям прошлых лет. В 1944, 1964, 2003 и 2005 гг. здесь происходили сильные, ощутимые землетрясения с $K_p=12.0-13.0$, которые вызывали 4–5 балльные сотрясения в г. Магадане и близлежащих населенных пунктах [20, 21, 22].

На северо-востоке Колымского района (№ 2) 11 марта 2017 г. в 08^h22^m зарегистрировано землетрясение (6) с ($K_p=11.3$) (рис. 2). Эпицентр располагается в пределах Долоннанской грабен-синклинали, между Ольчанским и Нянкинским глубинными разломами северо-восточного простирания (рис. 6). Афтершоки не зафиксированы, макросейсмических проявлений не наблюдалось. В этом районе регистрировались, в основном, слабые землетрясения, за весь период инструментальных наблюдений (с 1963 г.) не более семи событий с $K_p \leq 9.4$, только 27 декабря 2015 г. здесь зафиксировано землетрясение с $K_p=11.2$ [23].

Необходимо отметить область скопления эпицентров ($N=27$, $K_p=6.4-8.9$) у юго-восточного окончания разлома Улахан, в зоне Купкинской горст-антиклинали (КГА), у юго-восточного окончания разлома Улахан. Небольшая группа толчков ($N=21$, $K_p=5.7-9.3$) отмечается в районе Наяханского вулканического поля, между Перевальным и Буксундинским глубинными разломами северо-восточного направления.

Очаги землетрясений района № 2 в 2016–2017 гг. расположены в пределах юго-западной части сейсмического пояса Черского и вдоль северной границы Северо-Охотского сейсмического пояса.

Район Западной Чукотки (№ 3) в 2016–2017 гг. был асейсмичен.

На Восточной Чукотке (№ 4) зарегистрировано семь землетрясений. Из них семью сейсмических станций Магаданского филиала лоцировано два землетрясения [5], и пять землетрясений зафиксированы мировой сетью телесейсмических станций [6]. Все землетрясения из дополнительного каталога [6] зарегистрированы только станцией «Анадырь» (ANDR), по данным которой определен их энергетический класс K_p . Выделившаяся сейсмическая энергия, равная $\Sigma E=95.684 \cdot 10^{11}$ Дж, составила 51.4 % от суммарной энергии региона. Основное количество энергии ($\Sigma E=89.93 \cdot 10^{11}$ Дж – 94 %) высвободилось в очагах двух сильных землетрясений: 23 октября 2017 г. в 18^h50^m с $K_p=12.6$, $m_{bISC}=4.5$ (m_{bISC}) [6] и 5 ноября 2017 г. в 17^h32^m с $K_p=12.7$, $MPSP=4.8$ [5].

Землетрясение 5 ноября 2017 г. – самое сильное сейсмическое событие региона в 2016–2017 гг., оно записано как региональной сетью, так и станциями международных сейсмологических агентств (табл. 3, рис. 7). Разброс координат по данным различных центров достигает 25 км по широте и 18 км по долготе. Все решения располагаются юго-западнее регионального.

Таблица 3. Основные параметры землетрясения 5 ноября 2017 г. с $K_p=12.7$ по региональным данным в сопоставлении с определениями других агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источ- ник
			φ° , N	$\delta\varphi^\circ$, км	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$, км	h , км	δh , км		
МФ ФИЦ ЕГС РАН	17 32 57.3	1.3	64.99	22.3	-173.10	6.5	0	f	$K_p=12.7$	[5]
MOS	17 32 58.20	0.91	64.9810	12.8	-173.101	7.1	16.0	–	$M_S=4.3/7$, $MPSP=4.8/40$	[8]
ISC	17 33 00.12	–	64.772	5.5	-173.088	2.6	17.0	2.5	$M_S=4.0/72$, $m_b=4.7/104$	[7]
IDC	17 32 58.01	0.54	64.9407	16.1	-173.4858	10.1	0.0	f	$M_S=4.0/63$, $m_b=4.3/32$	–
NEIC	17 32 59.37	1.81	64.8571	13.4	-173.1714	9.4	10.0	f	$ML=5.2/8$, $m_b=4.6/35$	–
AEIC	17 32 59.37	1.71	64.8709	13.22	-173.2224	7.3	5.0	5.0	$ML=4.9$,	–
GCMT	17 33 01.40	0.3	64.9300	–	-173.1100	–	20.9	1.4	$M_w=4.9/100$	–

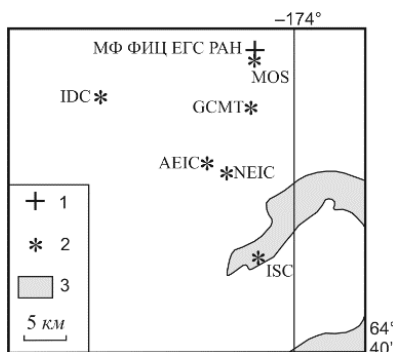


Рис. 7. Сопоставление положения эпицентра землетрясения 5 ноября 2017 г. с $K_p=12.7$ по данным станций сети МФ ФИЦ ЕГС РАН и других агентств

1 – инструментальный эпицентр по [5]; 2 – решения по данным других сейсмологических служб [7, 8]; 3 – море.

Обработка землетрясения была выполнена по данным шести станций. Гипоцентр был определен по четырем фазам P-волн, одной Pg и трём фазам Sg-волн. Ближайшей к эпицентру

является станция «Анадырь» ($\Delta=447$ км); максимальное эпицентрального расстояние составило 1893 км (станция «Сусуман») (рис. 8).

Для землетрясения 5 ноября 2017 г. с $K_p=12.7$ имеется решение механизма очага по данным GCMT [7], согласно которому в очаге действовали близкие по величине субгоризонтальные растягивающие и сжимающие напряжения ($PL_T=0^\circ$, $PL_P=11^\circ$). Растягивающие напряжения ориентированы на север ($AZM_T=8^\circ$), сжимающие – на запад ($AZM_P=278^\circ$). Обе нодальные плоскости имеют равное крутое падение ($DP_1=DP_2=82^\circ$). Одна из них простирается на северо-восток ($STK_1=54^\circ$), другая – на северо-запад ($STK_2=323^\circ$). Тип подвижки в очаге – сдвиг по обеим плоскостям: по $NP1$ – правосторонний, по $NP2$ – левосторонний.

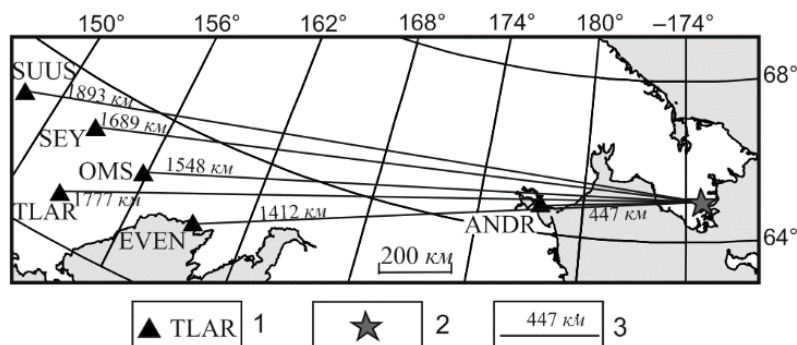


Рис. 8. Положение региональных станций, зарегистрировавших землетрясение 5 ноября 2017 г. с $K_p=12.7$

1 – сейсмическая станция и ее код; 2 – эпицентр землетрясения; 3 – эпицентрального расстояния.

Все землетрясения Восточной Чукотки произошли вблизи побережья Берингова моря, на расстоянии около 50 км от пос. Провидения (сейсмическая станция PVDR). Жители поселка землетрясений не ощущали.

В Чукотском море (№ 5) сетью МФ ФИЦ ЕГС РАН в районе Колюченской губы зарегистрированы два землетрясения (12 и 13 на рис. 2) с $K_p=11.9$, 11.4, которые произошли практически в одном очаге, в один день 10 сентября 2017 г. с разницей в 1.5 часа [5]. Мировой сетью телесеизмических станций в Чукотском море были зафиксированы два землетрясения с магнитудой $mb_{DC}=3.4$, $mb_{ISC}=3.8$ [6]. Эпицентры землетрясений сосредоточены у северо-восточной границы ТБСП.

В Беринговом море (№ 6) зарегистрированы девять землетрясений, из которых четыре (5, 7, 8, 10) с $K_p=10.9$ –12.1 локализованы сетью МФ ФИЦ ЕГС РАН [5], параметры других (с $mb_{ISC}=3.7$ –4.4) заимствованы из бюллетеня ISC [6]. Эпицентры большинства землетрясений приурочены к южной границе ТБСП.

Заключение. В целом сейсмичность Северо-Востока в 2016–2017 гг. соответствует фоновому уровню. Наблюдается повышение сейсмической активности на Чукотском п-ове, в Беринговом и Охотском морях. Все зарегистрированные землетрясения приурочены к ранее известным сейсмогенным зонам: сейсмическим поясам Черского, Северо-Охотскому и ТБСП.

Л и т е р а т у р а

1. Алёшина Е.И., Курткин С.В. Сейсмические станции Северо-Востока России в 2016–2017 гг. (код сети NEGSR) // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
2. Раутиан 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. 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.
5. Алёшина Е.И. (отв. сост.); Габдрахманова Ю.В., Чернецова А.Г., Бугаёва А.П. Каталог землетрясений Северо-Востока России за 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>

6. Алёшина Е.И., Лукаш Н.А. Дополнение к каталогу землетрясений Северо-Востока России за 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
7. International Seismological Centre. (2022). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
8. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеismicических станций), 2016–2017. (2022) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2016
9. Алёшина Е.И. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Северо-Востока России в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
10. ГОСТ Р 57546–2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 27 с.
11. Алёшина Е.И. (отв. сост.); Пойгина С.Г. Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Северо-Востока России в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
12. Козьмин Б.М. Сейсмические пояса Якутии и механизм очагов землетрясений. – М.: Наука, 1984. – 125 с.
13. 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.
14. Mackey K.G., Fujita K., **Sedov B.M.**, Gounbina L.V., Leyshuk N., Kurtkin S. A seismic aftershock deployment and analysis of seismicity of the Neshkan region, Chukotka, Russia (Michigan State University, Department of Geological Sciences, USA) // NERSP Report. – 2003. – N 10. – 85 p.
15. Салтыков В.А. Формализованная оценка уровня сейсмичности на примере Камчатки и Байкальского региона // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Четвертой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 178–182.
16. Алёшина Е.И., Курткин С.В. Северо-Восток России и Чукотка // Землетрясения России в 2016 г. – Обнинск: ГС РАН, 2018. – С. 60–64.
17. Алёшина Е.И., Курткин С.В. Северо-Восток России и Чукотка // Землетрясения России в 2017 г. – Обнинск: ГС РАН, 2019. – С. 62–66.
18. Алёшина Е.И. Каталог механизмов очагов землетрясений Северо-Востока России за 2016–2017 гг. по данным ISC // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
19. Кузнецов В.М. Схема тектонического районирования Охотско-Колымского водораздела. Масштаб 1:1 000 000. – ФГУП «Магадангеология», 2001.
20. Кондорская Н.В., Шебалин Н.В. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – 535 с.
21. Алёшина Е.И., Гунбина Л.В., Комарова Р.С., **Седов Б.М.** Северо-Восток России // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 193–200.
22. Алёшина Е.И., Гунбина Л.В., Карпенко Л.И., Комарова Р.С., **Седов Б.М.** Северо-Восток России // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 228–233.
23. Алёшина Е.И., Курткин С.В., Карпенко Л.И. Сейсмичность Северо-Востока России в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 164–172. doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.15

SEISMICITY of the NORTH-EAST of RUSSIA in 2016–2017

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

*Magadan branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia,
evgeniya@memsd.ru*

Abstract. The results of seismic monitoring of the region of Magadan, Chukotka Autonomous Area and the shelf of adjacent seas (the Okhotsk, Chukchi, Bering and East Siberian seas) are considered. There were 14 seismic stations working in the region in 2016–2017. The new station “Talon” was opened on the Okhotsk sea coast. The catalog includes information about 577 earthquakes with energy classes $K_R=4.6–12.7$. As usual, most of them (88 %) are located in the Kolyma region (area № 2). The additional catalog contains information about 12 earthquakes in the Chukchi. The total seismic energy released within the region’s borders was equal to $\Sigma E=1.86 \cdot 10^{13}$ J.

The energy representativeness map of earthquakes with $K_{\min}=5-10$ was built. It shows that the described network of stations records earthquakes with $K_{\min}=7$ at the Magadan region, with $K_{\min}=8$ in the Okhotsk sea without omissions. In 2016–2017 the strongest earthquake with $K_R=12.7$ ($m_{\text{MOS}}=4.8$) occurred on November 5 in Chukchi Peninsula. Five earthquakes with the intensity $I=2-4$ (according to the Russian Seismic Intensity scale introduced in 2017) were felt in the North East settlements. The maximum shaking intensity of $I=4$ was observed in the Beringovskiy settlement ($\Delta=22$ km). Joint map of epicenters of the Magadan region earthquakes and tectonic zoning scheme shows that most earthquakes are confined to the largest deep faults in the northwestern and sublatitudinal directions. All hypocenters are located within the Earth's crust. The seismicity level of the North-East of Russia in 2016–2017 according to the "SOUS'09" scale was assessed as "background average" for the observation period from 1968 to 2017. Spatially, all earthquakes are traditionally concentrated in large seismogenic belts: Chersky, North-Okhotsk and Trans-Beringian.

Keywords: seismic monitoring, Nord-East, Kolyma, Chukchi, Okhotsk seas, seismogenic belts, energy classes, tectonics, deep fault, epicentral zone.

DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.15 **EDN:** XJTPYE

For citation: Alyeshina, E.I., Kurtkin, S.V., & Karpenko, L.I. (2022). [Seismicity of the North-East of Russia in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 176–186. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.15. EDN: XJTPYE

References

1. Alyeshina, E.I., & Kurtkin, S.V. (2022). [Seismic stations of North-East of Russia in 2016–2017 (network code NEGRS)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
2. Rautian, T.G. (1964). [On determining the energy of earthquakes at a distance of 3000 km]. In *Ekspiermental'naia seismika. Trudy IFZ AN SSSR № 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 *Seysmicheskie processy na Severo-Vostoke SSSR* [Seismic processes in the North-East of the USSR] (pp. 99–115). Magadan, Russia. (In Russ.).
4. 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.
5. Alyeshina, E.I., Chernetsova, A.G., Gabdrahmanova, J.V., & Bugaeva, A.P. (2022). [The catalog earthquakes of the North-East of Russia in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
6. Alyeshina, E.I., & Lukash, N.A. (2022). [Addition to the catalogue of earthquakes of the North-East of Russia in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
7. International Seismological Centre. (2022). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
8. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations. (2022). Retrieved from http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2016
9. Alyeshina, E.I. (2022). [Macroseismic effect of significant earthquakes in settlements of the North-East of Russia in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
10. GOST R 57546-2017. (2017). [Earthquakes. Seismic Intensity Scale]. Moscow, Russia: Standardin form Publ., 27 p.
11. Alyeshina, E.I., & Poygina, S.G. (2022). [Information on points for which there is information on macroseismic manifestations of felt earthquakes of the North-East of Russia in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
12. Kozmin, B.M. (1984). *Seysmicheskie poyasa Yakutii i mehanizm ochagov zemletryaseniy* [Seismic zones of Yakutia and the mechanism of earthquake foci]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 125 p. (In Russ.).
13. 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-tekhnicheskaia konferentsiia "Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego 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.).

14. Mackey, K.G., Fujita, K., [Sedov, B.M.](#), Gounbina, L.V., Leyshuk, N., & Kurtkin, S. (2003). A seismic after-shock deployment and analysis of seismicity of the Neshkan region, Chukotka, Russia. Michigan State University, Department of Geological Sciences, USA. *NERSP Report*, 10, 85.
15. Saltykov, V.A. (2009). [Formalized estimation of seismicity level by the example of Kamchatka and Baikal region]. In *Materialy IV Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly "Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh"* [Proceedings of the IV International Seismological Workshop "Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data"] (pp. 178–182). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
16. Alyeshina, E.I., & Kurtkin, S.V. (2018). [Northeast of Russia and Chukotka]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2016 godu* [Earthquakes in Russia, 2016] (pp. 60–64). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
17. Alyeshina, E.I., & Kurtkin, S.V. (2019). [Northeast of Russia and Chukotka] In *Zemletriaseniia Rossii v 2017 godu* [Earthquakes in Russia, 2017] (pp. 62–66). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
18. Alyeshina, E.I. (2022). [Catalog of mechanisms of earthquake foci of the North-East of Russia in 2016–2017 according to ISC data]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
19. Kuznetsov, V.M. (2001). *Skhema tektonicheskogo raionirovaniia Okhotsko-Kolymskogo vodorazdela. Mashtab 1:1 000 000* [Scheme of tectonic zoning of the Okhotsk-Kolyma watershed. Scale 1:1 000 000]. FSUE «Magadangeologiya» Publ. (In Russ.).
20. Kondorskaya, N.V., & Shebalin, N.V. (1977). [New catalog of strong earthquakes in the USSR from ancient times through 1975]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 536 p. (In Russ.).
21. Alyeshina, E.I., Gunbina, L.V., Komarova, R.S., & [Sedov, B.M.](#) (2009). [North-East of Russia]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2003 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2003] (pp. 193–200). Moscow, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
22. Alyeshina, E.I., Gunbina, L.V., Karpenko, L.I., Komarova, R.S., & [Sedov, B.M.](#) (2010). [North East of Russia]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2005 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2005] (pp. 228–233). Moscow, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
23. Alyeshina, E.I., Kurtkin, S.V. & Karpenko, L.I. (2021). [Seismicity of the North-East of Russia in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 164–172. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.15