

УДК 550.348. (571.66)

СЕЙСМИЧНОСТЬ КАМЧАТКИ и КОМАНДОРСКИХ ОСТРОВОВ в 2021 году

Д.В. Чебров, Е.А. Матвеев, И.Р. Абубакиров, С.Я. Дрознина, С.В. Митюшкина,
В.М. Павлов, А.А. Раевская, Е.И. Ромашева, В.А. Салтыков

Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия, van@emsd.ru

Аннотация. Приведен обзор сейсмичности Камчатки и прилегающих территорий за 2021 г. Представительность каталога землетрясений Камчатки в целом по зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН может оцениваться как $ML^c=3.65$ ($K^c=8.8$), а для Камчатской сейсмоактивной области ($\varphi=50.5-56.5^\circ$ с.ш., $\lambda=156.0-167^\circ$ в.д., глубина до 300 км) – $ML^c=3.05$ ($K_s^c=7.6$). Публикуемый в настоящем выпуске журнала каталог землетрясений 2021 г., зарегистрированных Камчатской региональной сетью, включает 1194 события с локальной магнитудой $ML \geq 3.5$, где ML связана с энергетическим классом K_s по С. А. Федотову как $ML=0.5 \cdot K_s - 0.75$. Из них 76 событий с $ML=3.6-6.55$ ощущались на Камчатке и прилегающих территориях с интенсивностью I от 1–2 до 6 баллов по шкале ШСИ-17. В 2021 г. в пределах Камчатской зоны ответственности наблюдалась типичная картина расположения эпицентров землетрясений, уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09» соответствует фоновому среднему. Для 34 землетрясений с $ML \geq 5.0$ из зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН рассчитаны тензоры сейсмического момента, глубина h и длительность эквивалентного точечного источника. Самое сильное событие года произошло 16 марта в 18^h38^m ($ML=6.55$, $M_w=6.5$), эпицентр находился на западном склоне Курило-Камчатского глубоководного желоба в 80 км на восток от Кроноцкого полуострова. Максимальные сотрясения $I=5$ баллов, вызванные этим землетрясением, зарегистрированы в 140 км от эпицентра. В 2021 г. на территории Камчатского края открыто два новых пункта наблюдения.

Ключевые слова: Камчатка, сейсмичность, каталог, землетрясение, механизм очага, макросейсмика, уровень сейсмичности.

Для цитирования: Чебров Д.В., Матвеев Е.А., Абубакиров И.Р., Дрознина 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

Введение. В статье представлен обзор и анализ сейсмичности Камчатки и Командорских островов в 2021 г. Основой статьи является каталог землетрясений [Приложение 2], который составляется по результатам обработки данных, получаемых сетью сейсмических станций КФ ФИЦ ЕГС РАН [Приложение 1]. Следует отметить, что каталог, публикуемый в настоящем журнале, может незначительно отличаться от представленного ранее в [1], вследствие корректировки данных¹. Для сильных землетрясений рассчитаны механизмы очагов [Приложение 3], для ощутимых событий приводится информация о макросейсмическом эффекте [Приложение 5]. Для каждой из десяти сейсмоактивных зон оценивается уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09» [2].

Сеть сейсмических станций. В 2021 г. продолжилась работа по модернизации постоянно действующей сети сейсмических станций КФ ФИЦ ЕГС РАН [3] ([Приложение 1], рис. 1).

В сентябре 2021 г. открыты два новых пункта наблюдений: «Удина» (UDINA) на северо-западном склоне вулкана Большая Удина и «Юлия Кугаенко» (YKUG) в районе вулкана Плоский Толбачик. В октябре 2021 г. на склоне вулкана Козельский восстановлена работа пункта наблюдений «Козельский» (KZL), который был законсервирован с 1 августа 1991 г. Во всех трех пунктах введены в действие цифровые широкополосные трехкомпонентные велосиметры CMG-6TD с передачей данных по Wi-Fi. В пункте наблюдений «Водозабор» (UK2) 12 ноября 2021 г. произведена установка сейсмометра CMG-5T (на замену вышедшего из строя в мае 2019 г. сейсмометра CMG-5TD).

Методика обработки. Обработка сигналов сейсмических станций, расчет параметров гипоцентров и энергетических характеристик землетрясений производятся при помощи программы DIMAS [4].

Сбор макросейсмических данных осуществляется с использованием интерактивной анкеты на сайте КФ ФИЦ ЕГС РАН (<https://www.emsd.ru/lsopool/poll.php>), а также путем телефонного опроса респондентов. Оценка макросейсмической интенсивности I определяется с использованием шкалы сейсмической интенсивности ШСИ-17 [5]. Полная методика ШСИ-17 в работу не внедрена, расчет средней оценки реакции категорий-сенсоров не проводится. Для оценки макросейсмики

¹ Список событий, параметры которых были пересмотрены, можно получить по ссылке <https://sdis.emsd.ru/info/earthquakes/catalogue.php>, заполнив параметр «Время внесения поправок в каталог (UTC)»

используются описания реакций категорий-сенсоров на землетрясение и их прочие признаки из соответствующих таблиц приложений Б, В, Г, И [5].

Механизмы и параметры очагов определялись путем инверсии волновых форм широкополосных сейсмических станций в тензор сейсмического момента (ТСМ) в соответствии с методикой RSMT (Regional Seismic Moment Tensor), разработанной в КФ ФИЦ ЕГС РАН [6, 7].

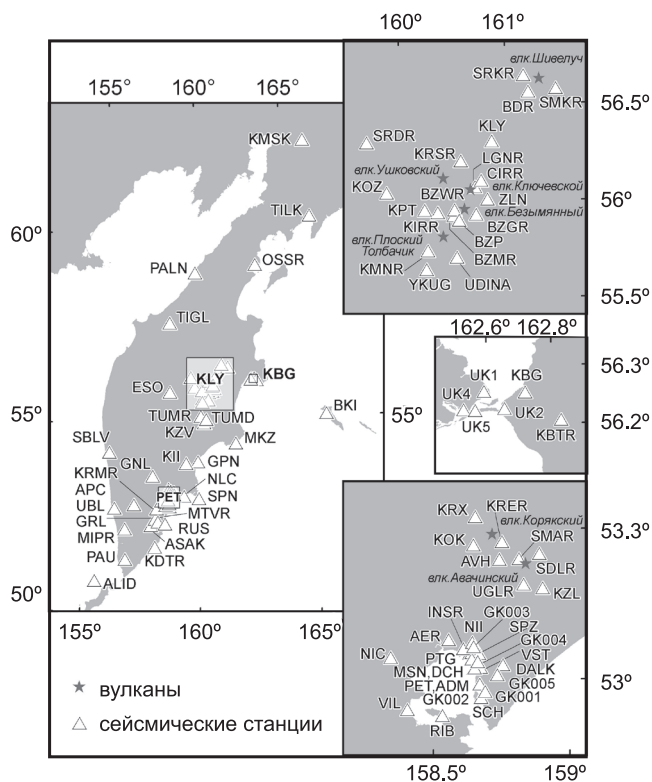


Рис. 1. Сеть сейсмических станций Камчатки в 2021 г.

Представительность каталога. В зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН [8] представительность каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов в 2021 г. оценивается как $ML^C=3.65 (K_s^C=8.8)^2$, для Камчатской сейсмоактивной области ($\varphi=50.5-56.5^\circ$ с.ш., $\lambda=156.0-167^\circ$ в.д., глубина до 300 км) – $ML^C=3.05 (K_s^C=7.6)$, а для охотоморских землетрясений, происходящих на глубине нескольких сотен километров – $ML^C=3.65 (K_s^C=8.8)$. Как показано в [9], оценка региональной представительности по графику Гутенберга-Рихтера для больших пространственных областей некорректна, поэтому реальная представительность каталога землетрясений Камчатки в 2021 г. может быть оценена путем сканирования сейсмоактивной области ячейками относительно небольшого размера и последующим объединением полученных результатов.

На рис. 2 показана карта представительности каталога землетрясений³ за 2021 г. в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН. Карта построена по результатам сканирования кругами радиусом 100 км с расчетом соответствующего уровня представительности каталога ML^C по локальной магнитуде или K_s^C по энергетическому классу со статистической значимостью $\alpha=0.3$. Используемый каталог ограничен снизу локальной магнитудой $ML^4=2.0$ (энергетическим классом $K_s=5.5$), что позволяет отделить вулканические землетрясения, происходящие в локальных областях и зарегистрированные специализированными группами сейсмометрических станций, обеспечивающими локальную представительность, существенно отличающуюся от региональной.

Анализ параметров сейсмического режима региона в 2021 г. представлен в работе [10].

Характеристика исходных данных. Всего в 2021 г. в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН определены параметры 9829 землетрясений в энергетическом диапазоне $ML=0.25-6.55 (K_s=2.0-14.6)$. Распределение числа землетрясений по магнитудам с шагом 0.05 и по энергетическим классам с шагом 0.1 приведено на рис. 3.

² ML^C – представительная магнитуда каталога, K^C – представительный класс по С.А. Федотову [9]

³ Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов (1962 г. – наст. время) <https://sdis.emsd.ru/info/earthquakes>

⁴ Локальная магнитуда $ML=0.5 \cdot K_s-0.75$ [11], где K_s – энергетический класс [12]

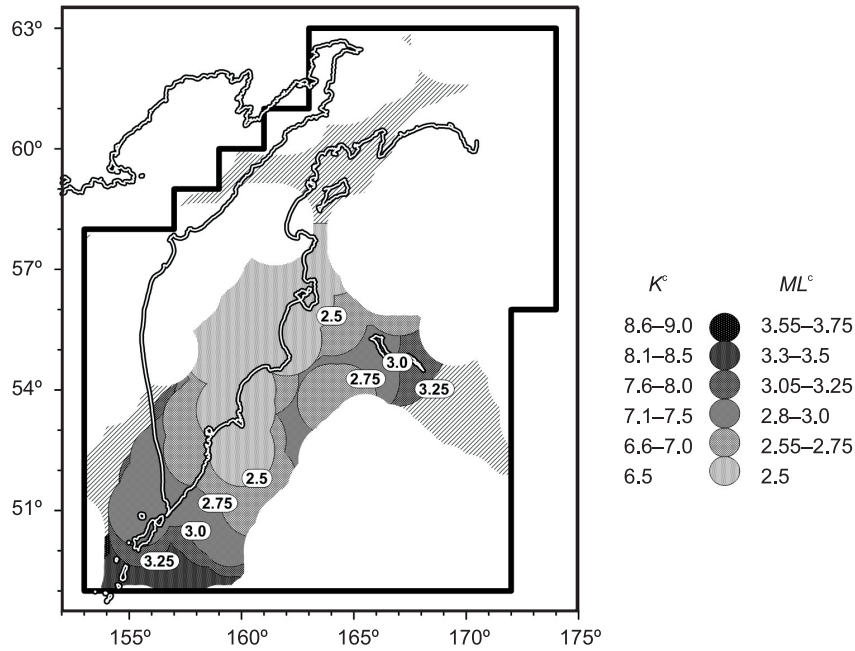


Рис. 2. Карта региональной представительности каталога землетрясений 2021 г. в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН

Незакрашенной области соответствует отсутствие землетрясений в 2021 г. Косая штриховка обозначает территории, где плотность землетрясений представительной магнитуды ML^c не достигла порогового для расчета уровня $N=25$ на единичный круг.

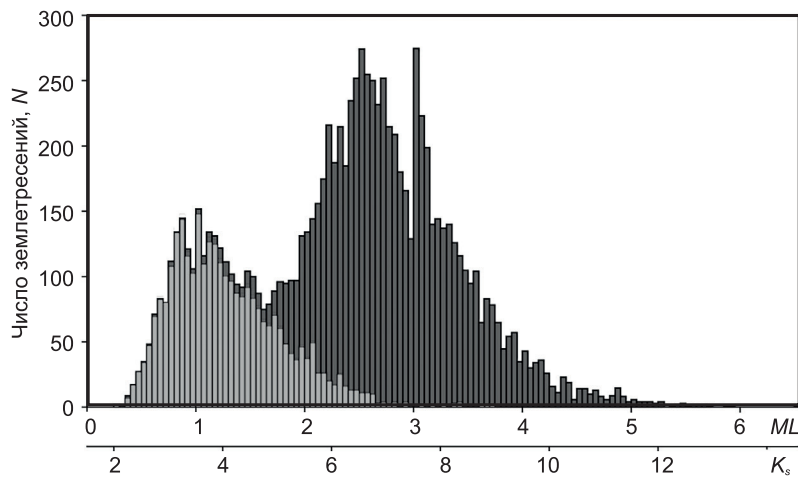


Рис. 3. Распределение числа землетрясений по магнитудам ML и энергетическим классам K_s в 2021 г. для зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН

Серым цветом отмечено число землетрясений, локализованных с 19 марта до конца года в 10-километровой зоне сильного события (14), произошедшего 19 марта в 03^h16^m с $M_w=5.1$ [Приложение 2].

Каталог землетрясений, публикуемый в настоящем выпуске журнала [Приложение 2], включает 1194 события с $ML \geq 3.5$ ($K_s \geq 8.5$), зарегистрированные Камчатской региональной сетью сейсмических станций (рис. 4 а). Из них 1068 событий находятся внутри зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН, а 126 – за ее пределами. Анализ сейсмичности в данной статье проводится по землетрясениям внутри зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН, контуры которой показаны на рис. 2.

Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов, включающий землетрясения с $ML \geq 3.5$ ($K_s \geq 8.5$), доступен через веб-интерфейс Единой информационной системы сейсмологических данных Камчатского филиала (ЕИССД) [13] по адресу <http://sdis.emsd.ru>. Для получения информации о более слабых событиях необходимо пройти регистрацию в ЕИССД по ссылке <https://sdis.emsd.ru/pers/registration.php> и оформить запрос на расширенный доступ.

Анализ данных. Камчатской сетью сейсмических станций в 2021 г. зафиксировано 61 землетрясение с $ML \geq 5.0$ ($K_S \geq 11.5$), из них 42 локализовано в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН. Эти события пронумерованы на карте (рис. 4 а) в соответствии с нумерацией в каталоге [Приложение 2].

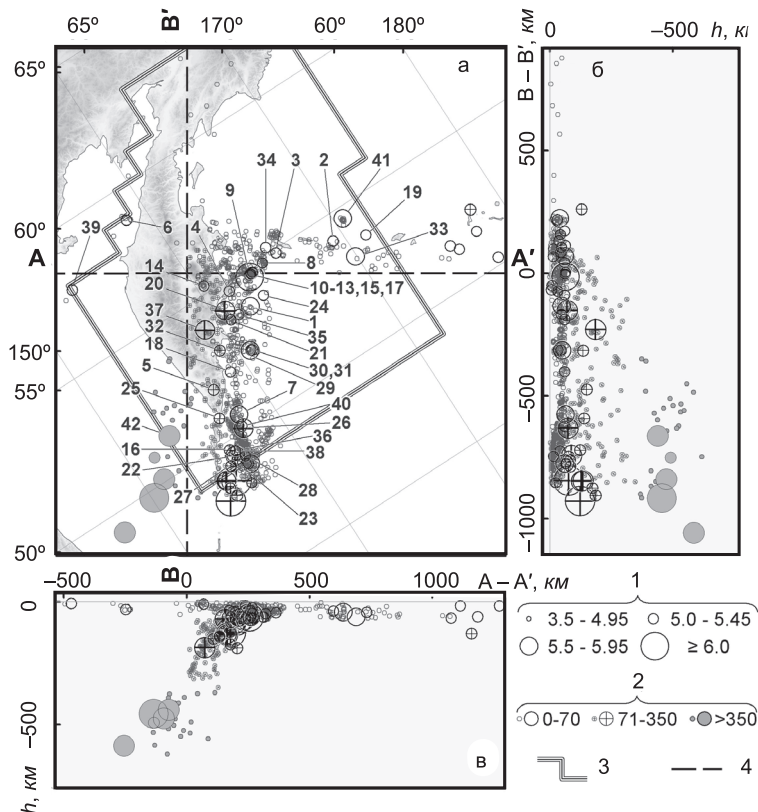


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений Камчатки с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$) за 2021 г. (а); проекции гипоцентров землетрясений на вертикальные плоскости разрезв вдоль линий $A-A'$ (в) и $B-B'$ (б)

1 – локальная магнитуда ML ; 2 – глубина гипоцентра h , км; 3 – граница зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН; 4 – линия вертикального разреза вкрест ($A-A'$) и вдоль ($B-B'$) фокальной зоны. Числа 1–42 соответствуют номерам землетрясений с $ML \geq 5.0$ ($K_S \geq 11.5$) согласно каталогу [Приложение 2], события вне зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН с $K_S \geq 11.5$ не нумеруются.

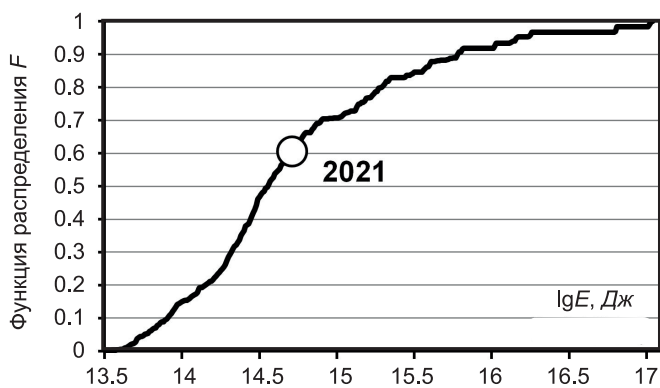


Рис. 5. Функция распределения F годовой сейсмической энергии для региона Камчатки и Командорских островов по данным за 1962–2023 гг.

Кружком отмечено значение функции распределения F в 2021 г.

Уровень сейсмичности в регионе Камчатки и Командорских островов оценивался исходя из величины функции распределения F для выделившейся в 2021 г. сейсмической энергии. Методика расчета функции распределения F и градации шкалы уровня сейсмичности «СОУС'09» описаны в [2]. Суммарная энергия всех зарегистрированных в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН землетрясений составила $\Sigma E = 5.2 \cdot 10^{14}$ Дж. Функция распределения F выделившейся за год сейсмической энергии построена по данным за 1962–2023 гг. (рис. 5). Для 2021 г. $F = 0.61 \pm 0.06$, что соответствует фоновому среднему уровню сейсмичности по шкале «СОУС'09».

На территории Камчатского края и Северных Курильских островов в 2021 г. ощущалось 78 землетрясений с $ML = 2.7-6.55$ ($K_S = 6.8-14.6$) и интенсивностью сотрясений I от 1–2 до 6 баллов по шкале ШСИ-17 [5]. В каталог, публикуемый в настоящем Ежегоднике, включено 76 событий [Приложение 2] с $ML = 3.6-6.55$ ($K_S = 8.7-14.6$), для которых собрано 756 сообщений о землетрясе-

ниях из 81 пункта [Приложение 6]. Ощущались землетрясения в 48 пунктах, наибольшее число сообщений $n=22$ [Приложение 5] получено из г. Петропавловска-Камчатского (П-К). Максимальная интенсивность сотрясений в 2021 г. $I_{\max}=6$ баллов наблюдалась на маяке Круглый ($\Delta=38$ км) во время землетрясения (18)⁵ 11 апреля в 13^h48^m с $ML=5.2$ ($K_s=11.9$, $M_w=4.5$), $h=60.1$ км. В административных населенных пунктах самая высокая интенсивность $I=4-5$ баллов зафиксирована в пос. Усть-Камчатск ($\Delta=185$ км) во время самого сильного землетрясения года (9) 16 марта в 18^h38^m с $ML=6.55$ ($K_s=14.6$, $M_w=6.5$), $h=64.3$ км.

В г. Петропавловске-Камчатском сотрясения интенсивностью I от 1–2 до 3 баллов ощущались в совокупности 22 раза от землетрясений разных магнитуд (классов) в диапазоне $ML=4.1-6.55$ ($K_s=9.7-14.6$), из них 10 событий с $ML \geq 5.0$ ($K_s \geq 11.5$).

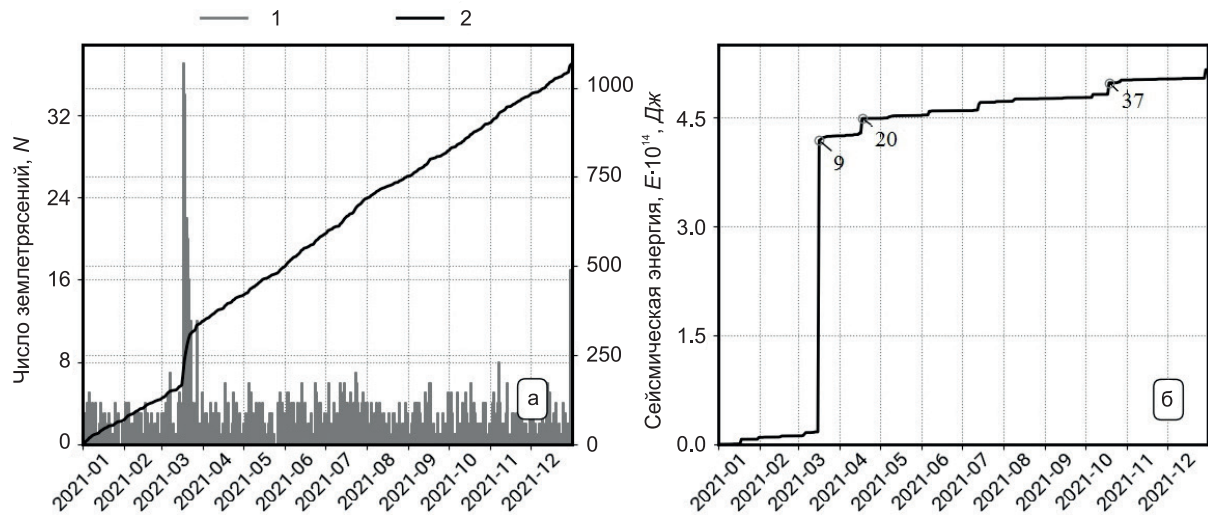


Рис. 6. Ежесуточное число N землетрясений с $ML \geq 3.5$ (а) и кумулятивный график выделившейся сейсмической энергии ΣE (б) в 2021 г. в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН

1, 2 – гистограмма распределения и кумулятивный график числа N землетрясений; на рис. 6 б отмечены землетрясения с $ML \geq 6.5$, их номера соответствуют каталогу [Приложение 2].

Для расчета механизмов и параметров очагов из регионального каталога Камчатки и Командорских островов отбирались события с $ML \geq 5.0$ ($K_s \geq 11.5$), произошедшие в 2021 г. вне зависимости от того, попадают ли они в зону ответственности или нет. В соответствии с этим критерием для последующей обработки было отобрано 61 землетрясение [Приложение 2]. В работе использовались широкополосные волновые формы, зарегистрированные сейсмостанциями Камчатки, Дальнего Востока России, острова Хоккайдо (Япония), Алеутских островов и Аляски (США) с $\Delta \leq 20^\circ$. Расчеты проводились для ТСМ типа «двойной диполь без момента» по методике RSMT с использованием алгоритма, описанного в [5, 6].

Тензор сейсмического момента, глубину h и длительность эквивалентного точечного источника удалось определить для 46 землетрясений. По ТСМ определены механизмы очага и значения скалярного сейсмического момента M_0 . По стандартной формуле $M_w = (2/3) \cdot (\lg M_0 [\text{Н} \cdot \text{м}] - 9.1)$ [14] рассчитана моментная магнитуда M_w . Полученные оценки моментной магнитуды M_w лежат в диапазоне $M_w=4.1-6.5$ ([Приложение 3], рис. 7, 8).

Для 12 землетрясений с $ML=5.0-5.3$ ($K_s=11.5-12.1$) оценки механизмов и параметров очагов получить не удалось из-за недостатка исходных данных с приемлемым отношением сигнал/шум.

Для трех землетрясений из исходной выборки полученные оценки механизмов и параметров очагов не были включены в каталог по следующим причинам:

1) событие (41) 29 декабря в 03^h57^m, $ML=5.65$ ($K_s=12.8$), расположенное в районе Алеутской островной дуги – из-за значительного расхождения полученного механизма с решением GСMT (угол Кагана [15] составляет 64°);

2) событие (12) 18 марта в 00^h09^m, $ML=5.2$ ($K_s=11.9$), относящееся к афтершоковой последовательности землетрясения (9) в Тихом океане восточнее мыса Кроноцкий 16 марта с $M_w=6.5$ – из-за существенного занижения (на 0.7 единицы) определения моментной магнитуды M_w относительно определения GСMT [16];

⁵ Номера событий здесь и далее соответствуют таковым в каталоге [Приложение 2]

3) событие 20 марта в 15^h26^m, $ML=5.55$ ($K_S=12.6$), локализованное вне зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН в Тихом океане в районе Северных Курильских островов – из-за занижения на 0.4 единицы определения моментной магнитуды M_w относительно определения GСMT.

Причины расхождения региональных определений механизма и моментных магнитуд с решениями GСMT в этих трех случаях требуют проведения отдельного исследования.

Сейсмичность сейсмоактивных областей Камчатки и Командорских островов. Рассмотрим особенности сейсмического процесса региона в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН в пространственных областях, определенных в соответствии с регионализацией сейсмоактивного объема Камчатки и прилегающих территорий [17, 18], учитывающей тектоно-географическое положение землетрясений. Оценки распределения количества землетрясений представлены в табл. 1 на двух энергетических срезах – $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$) и $ML \geq 5.0$ ($K_S \geq 11.5$). Они сравниваются с соответствующими средними значениями за весь период инструментальных наблюдений с 1962 по 2020 гг. Для выделенных зон можно сделать статистические оценки уровня сейсмичности по шкале «СОУС'09», которые также приведены в табл. 1.

Таблица 1. Распределение числа землетрясений с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$) и $ML \geq 5$ ($K_S \geq 11.5$) в 2021 г. в сопоставлении с их средними оценками за период 1962–2020 гг., а также оценка уровня сейсмичности для различных сейсмоактивных областей в границах зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН

№	Зона	Слой	Средние значения за 1962–2020 гг.				Значения за 2021 г.				F (lgE)	Уровень сейсмичности
			N ($ML \geq 3.5$)	N/N_{Σ} , %	N ($ML \geq 5.0$)	ΣE 10^{14} Дж	N ($ML \geq 3.5$)	N/N_{Σ} , %	N ($ML \geq 5.0$)	ΣE 10^{14} Дж		
1	Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки	I	225	20.7	11	1.89	262	24.5	5	0.09	0.23± 0.05	Фоновый средний
		II	64	5.9	3	0.78	91	8.5	8	0.15		
		III	11	1	1	18.01	17	1.6	1	0.05		
2	Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны	I	390	36	16	2.08	356	33.3	14	4.27	0.83± 0.05	Фоновый средний / Фоновый повышенный
		II а	94	8.7	3	3.25	89	8.3	3	0.37		
		III а	<1	<0.1	<1	0.02	–	–	–	–		
3	Командорский сегмент Алеутской дуги	I	144	13.2	7	3.41	122	11.4	5	0.1	0.27± 0.06	Фоновый средний
		II	1	<0.1	<1	<0.01	–	–	–	–		
4	Тихий океан	I	80	7.4	2	12.96	89	8.3	2	0.01	0.41 ±0.06	Фоновый средний
5	Мелкофокусные землетрясения Северных Курил	I	3	0.2	<1	<0.01	–	–	–	–	0.54 ±0.06	Фоновый средний
6	Континентальные области Камчатки	I	42	3.8	<1	0.27	20	1.9	1	0.01	0.85 ±0.05	Фоновый средний / Фоновый повышенный
7	Корякский сейсмический пояс	I	25	2.3	1	1.64	13	1.2	–	<0.01	0.53± 0.06	Фоновый средний
8	Берингово море	I	<1	<0.1	–	<0.01	3	0.3	1	0.06	1.00	Экстремально высокий
9	Залив Шелихова	I	3	0.3	<1	<0.01	5	0.5	1	<0.01	0.84 ±0.05	Фоновый средний / Фоновый повышенный
10	Охотия	I	1	0.1	<1	<0.01	1	<0.1	1	0.03	1.00	Экстремально высокий
	Всего		1083	100	44	44.31	1068	100	42	5.15	0.61± 0.06	Фоновый средний

Примечание. Цифрами I, II и III обозначены поверхностный ($0 \leq h \leq 70$ км), промежуточный ($70 < h \leq 350$ км) и глубокий ($h > 350$ км) слои соответственно; зона № 2 имеет границы зон промежуточного ($70 < h \leq 380$ км) и глубокого ($h > 380$ км) слоев, отличные от других; они обозначаются как II а и III а соответственно. Символ «–» означает, что сейсмическая активность указанного уровня не зарегистрирована.

В сейсмофокальной зоне Курил и Южной Камчатки (зона № 1) в границах зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН произошло 370 землетрясений с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$) и 97 за ее пределами; с $ML \geq 5$ ($K_S \geq 11.5$) определены 28 землетрясений, из которых 14 вне зоны ответственности (рис. 7). С наибольшей энергетической оценкой $K_S=12.7$, $M_w=4.9$ в зоне зафиксировано два землетрясения [Приложение 2]. Первое (26) произошло в промежуточном слое 6 июня в 16^h01^m ($M_w=4.9$)

с $h=75$ км и эпицентром в Тихом океане, примерно в 123 км юго-восточнее г. Северо-Курильска (о. Парамушир). Событие ощущалось с интенсивностью I от 2 до 4 баллов в 5 населенных пунктах ($\Delta=123-227$ км) п-ова Камчатка и о. Парамушир. Второе (42) с эпицентром в Охотском море зафиксировано 29 декабря в 14^h00^m в глубоком слое, $h=440$ км с $M_w=4.9$.

Всего в зоне № 1 произошло 22 ощутимых землетрясения с интенсивностью сотрясений I от 1–2 до 6 баллов и $ML=4.5-6.2$ ($K_S=10.5-13.9$). Три ощутимых события находились вне зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН [Приложение 5]. Землетрясение (18) 11 апреля в 13^h48^m с $ML=5.2$ ($K_S=11.9$, $M_w=4.5$) вызвало максимальные сотрясения $I_{max}=6$ баллов на ближайшем к эпицентру маяке Круглый ($\Delta=38$ км). По сообщению смотрителя маяка люди проснулись от гула и сильного толчка. Сотрясения продолжались около 5 секунд, но были такой силы, что большой кинескопный телевизор, стоящий в тяжелой мебельной стенке, заметно оторвался от поверхности, подпрыгнув вверх. От горизонтальных движений с подоконника упали все комнатные цветы в горшках. Землетрясение ощущалось с интенсивностью $I=2-4$ балла еще в семи населенных пунктах Камчатского края, расположенных на восточном побережье Камчатки северо–северо-западнее от эпицентра на расстоянии $\Delta=69-115$ км. В г. Петропавловске-Камчатском ($\Delta=105$ км) интенсивность сотрясений I не превышала 2–3 баллов.

В северной части Камчатской сейсмофокальной зоны (зона № 2) в поверхностном и промежуточном слоях этой зоны реализовалось 445 землетрясений с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$), 17 из них – с $ML \geq 5$ ($K_S \geq 11.5$) (рис. 7). С 2005 г. в глубоком слое сейсмофокальной зоны № 2 не зафиксировано ни одного землетрясения.

Самое сильное событие (9) зарегистрировано в поверхностном слое 16 марта в 18^h38^m с $ML=6.55$ ($K_S=14.6$, $M_w=6.5$), $h \sim 64$ км и является сильнейшим землетрясением 2021 г. в каталоге землетрясений Камчатки и Командорских островов. Максимальный макросейсмический эффект землетрясения $I_{max}=5$ баллов зарегистрирован на ближайшем к эпицентру кордоне Кроноки ($\Delta=141$ км). Землетрясение сопровождалось мощной серией афтершоков, которая продолжалась в течение ~ 300 суток. Самый сильный афтершок (10) зарегистрирован 16 марта в 19^h51^m с $ML=5.45$ ($K_S=12.4$, $M_w=5.5$); это землетрясение стало вторым по силе событием в зоне. Событие ощущалось с интенсивностью 3–4 балла в двух населенных пунктах – на кордоне Кроноки ($\Delta=144$ км) и в с. Никольское ($\Delta=175$ км). Отдельная статья об этом землетрясении включена в данный выпуск журнала [19].

Всего в зоне № 2 произошло 37 ощутимых землетрясений с $ML=3.6-6.55$ ($K_S=8.7-14.6$) и интенсивностью сотрясений I от 1–2 до 5 баллов.

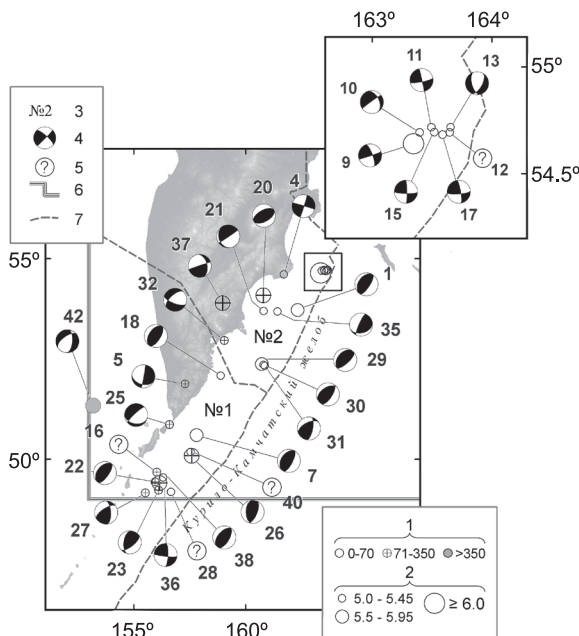


Рис. 7. Карта эпицентров и диаграммы механизмов очагов землетрясений с $K_S \geq 11.5$ ($ML \geq 5.0$) Курило-Камчатской зоны субдукции (зоны № 1 и № 2) за 2021 г.

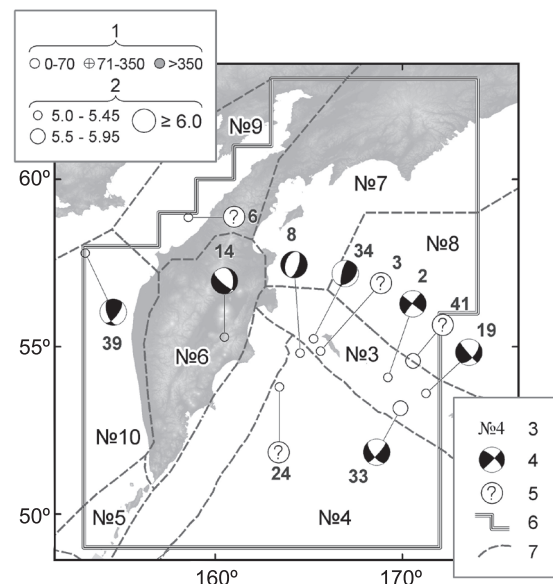


Рис. 8. Карта эпицентров и диаграммы механизмов очагов землетрясений с $K_S \geq 11.5$ ($ML \geq 5.0$) зон № 3–10 за 2021 г.

1 – глубина гипоцентра h , км; 2 – локальная магнитуда ML ; 3 – номер зоны из табл. 1; 4 – диаграмма механизма очага землетрясения в равноплощадной проекции нижней полусферы с номером согласно [Приложение 2]; 5 – механизм очага для землетрясения не определен; 6 – граница зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН; 7 – границы зон сейсмичности.

В **Командорском сегменте Алеутской дуги** (зона № 3) зафиксировано 122 землетрясения с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$), из них пять (2, 3, 19, 33, 34) имеют $ML = 5.0-5.5$ ($K_S = 11.5-12.5$) (рис. 8), все сильные события реализовались в поверхностном слое. С интенсивностью сотрясений I от 1–2 до 4 баллов ощущалось 9 землетрясений с $ML = 4.0-5.0$ ($K_S = 9.5-11.5$). Максимальную интенсивность сотрясений $I = 4$ балла вызвало событие (3) 3 февраля в $10^h 20^m$ с $ML = 5.0$ ($K_S = 11.5$), которое ощущалось в единственном ближайшем пункте – с. Никольское ($\Delta = 44$ км).

В **Тихом океане** (зона № 4) произошло 89 землетрясений с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$), из которых два сильных (8, 24). Событие (8) произошло 13 марта в $05^h 40^m$ с $ML = 5.05$ ($K_S = 11.6$, $M_w = 4.6$) в 17 км от эпицентра землетрясения Углового поднятия 2018 г. (ЗУП) [20]. В очаговой области ЗУП в 2021 г. реализовалось 40 землетрясений зоны с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$), до 2018 г. в районе очага ЗУП ежегодно регистрировалось от 5 до 20 событий. Событие (8) слабо ощущалось в с. Никольское ($\Delta = 102$ км, $I = 2$ балла). Землетрясение (24) реализовалось 10 мая в $08^h 10^m$ с $ML = 5.0$ ($K_S = 11.5$) в 130 км на юго-восток от Кроноцкого полуострова (рис. 8).

В **зоне Северные Курилы** (зона № 5) в течение года не зафиксировано ни одного события с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$).

В **континентальных областях Камчатки** (зона № 6) зафиксировано 20 землетрясений с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$), семь из которых реализовались в вулканических районах [Приложение 2, 9]. В районе центральной части хребта Тумрок 19 марта в $03^h 16^m$ произошло самое сильное землетрясение зоны (14) с $ML = 5.25$ ($K_S = 12.0$, $M_w = 5.1$), $h = 8.7$ км (рис. 8). За период с 1962 по 2024 гг. в зоне № 6 зафиксировано всего 35 событий с $ML \geq 5$, а в районе хр. Тумрок события такой силы регистрировались в 1963, 1976 и 2010 гг. Событие (14) спровоцировало сейсмическую активизацию в радиусе 10 км от эпицентра, где за последующие два месяца было локализовано более 2500 землетрясений; это проявилось на графике распределения числа землетрясений по магнитудам ML (рис. 3) «горбом» в области низких магнитуд. Для событий предыдущих лет с $ML \geq 5$ этого района подобных активизаций зарегистрировано не было, что может быть связано с ограниченными возможностями регистрации слабых землетрясений существовавшей на тот момент сетью сейсмических станций.

Событие (14) ощущалось в пункте «источники Тумрокские» ($\Delta = 11$ км) интенсивностью $I = 5$ баллов. Со слов респондента, во время землетрясения он с другими людьми находился в одноэтажном деревянном доме с мансардой; все сидели за столом, почувствовали сильный толчок, за которым последовало продолжительное (10–20 секунд) сильное колебание. Все двери в доме открылись, качалась мебель, с тумбочки упала тяжелая пустая устойчивая бутылка; люди находились в напряжении, некоторые встали с мест, но никто здание не покинул (на улице была пурга). При осмотре дома после землетрясения никаких повреждений не обнаружено, как и в остальных зданиях, расположенных у Тумрокских источников. Приблизительно за четыре минуты до этого события люди, сидя за тем же столом, ощущали одиночный несильный толчок интенсивностью $I = 3-4$ балла [Приложение 5].

В **Корякском сейсмическом поясе** (зона № 7) произошло 13 событий с $3.5 \leq ML \leq 4.95$ ($8.5 \leq K_S \leq 11.4$), два были ощутимые с интенсивностью сотрясений $I = 4-5$ и 2 балла на ГМС мыс Озерной ($\Delta = 83$ км и $\Delta = 25$ км соответственно). Самое сильное землетрясение зоны – 11 марта в $15^h 27^m$ с $ML = 4.95$ ($K_S = 11.4$), эпицентр которого расположен южнее пункта ГМС мыс Озерной ($\Delta = 83$ км), ощущалось в этом пункте с интенсивностью $I = 4-5$ баллов. По сообщению сотрудника гидрометеорологической станции, в течение двух секунд дом сотрясся, но ни один предмет не упал со своего места.

В **Беринговом море** (зона № 8) ежегодно наблюдается низкая сейсмическая активность (в абсолютном измерении). За все время наблюдений в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН зафиксировано семь событий, пять из которых с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$). В 2021 г. в зоне № 8 произошло три землетрясения с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$), одно из которых (41) реализовалось 29 декабря в $03^h 57^m$ с $ML = 5.65$ ($K_S = 12.8$) и стало самым сильным землетрясением в зоне. Эпицентр этого землетрясения находится на границе двух зон, и с учетом ошибки определения (15.5 км) также может быть отнесен к зоне № 3 (Командорский сегмент Алеутской дуги).

В **Заливе Шелихова** (зона № 9) отмечается фоновый средний/фоновый повышенный уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09». В зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН зафиксировано пять неощутимых землетрясений с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$), самое сильное из которых (6) реализовалось 4 марта в $15^h 09^m$ с $ML = 5.0$ ($K_S = 11.5$).

В зоне № 10 – **Охотия** – внутри границ региона локализовано два события. Землетрясение (39), реализовавшееся 27 октября в $02^h 42^m$ с $ML = 5.45$ ($K_S = 12.4$, $M_w = 4.8$), $h = 6.4$ км, является самым сильным в зоне за всю историю детальных сейсмологических наблюдений. Это событие ощущалось в г. Магадане ($\Delta = 236$ км) с интенсивностью $I = 1-2$ балла. Респондент, находясь на четвертом

этаже пятиэтажного панельного многоквартирного дома, в течение 20–30 с ощущал слабое плавное покачивание; едва заметно раскачивались висящие предметы. Жители поселков, расположенных на западном побережье Камчатки, землетрясение не заметили.

Заключение. В Камчатской зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН в 2021 г. преимущественно наблюдалась типичная картина расположения эпицентров землетрясений, большая часть которых относилась к зоне субдукции Тихоокеанской плиты. Количество зафиксированных событий с $ML \geq 3.5$ ($K_s \geq 8.5$) и сильных землетрясений с $ML \geq 5.0$ ($K_s \geq 11.5$) близко к среднегодовому значению. По шкале «СОУС'09», внутри границ региона для большинства зон уровень сейсмичности в целом соответствует фоновому, за исключением зон Берингово море и Охотия, где фиксируется экстремально высокий уровень сейсмичности. В обеих зонах зарегистрированы самые сильные землетрясения для этих зон с 1962 г. В 2021 г. в зоне Берингово море зарегистрировано четыре события (включая одно с $ML < 3.5$). Это больше, чем за период наблюдений до 2021 г. Стоит обратить внимание, что с учетом ошибки определения эпицентр землетрясения (41) и два последующих за ним события могут быть отнесены как к зоне № 8, так и к зоне № 3. Максимальное значение выделившейся энергии в сравнении с другими зонами имеет Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны. Здесь произошло сильнейшее событие 2021 г., зарегистрированное 16 марта ($M_w = 6.5$), ощущавшееся на территории Камчатки с интенсивностью $I = 5$ баллов и сопровождавшееся афтершоковым процессом.

Значительным событием в истории коровой сейсмичности Камчатки явилась сейсмическая активизация после ощутимого землетрясения (14) 19 марта в хр. Тумрок ($M_w = 5.1$).

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-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

В подготовке электронных приложений к данной статье принимали участие Д.В. Чебров, С.Л. Сенокков, И.Р. Абубакиров, В.М. Павлов, С.Я. Дрознина, Е.А. Матвеевко, С.В. Митюшкина, И.Н. Нуждина, А.А. Раевская, Ю.В. Шевченко, А.Н. Должикова, Е.А. Карпенко, Т.Ю. Кожевникова, Н.А. Леднева, З.А. Назарова, Е.И. Ромашева, О.В. Соболевская, С.Л. Толочкова, С.Г. Пойгина, Н.А. Лукаш, Г.М. Бахтиарова.

Электронное приложение App11_Kamchatka_2021 (<http://www.gsras.ru/zse/app-28.html>): 1 – Сейсмические станции сети Камчатки и Командорских островов в 2021 г.; 2 – Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2021 г.; 3 – Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2021 г.; 4 – Дополнение к каталогу механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов по данным ISC за 2021 г.; 5 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Камчатки и Командорских островов в населенных пунктах в 2021 г.; 6 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2021 г.; 7 – Каталог землетрясений Авачинской группы вулканов за 2021 г.; 8 – Каталог землетрясений вулкана Жупановский за 2021 г.; 9 – Каталог землетрясений вулкана Кизимен за 2021 г.; 10 – Каталог землетрясений Мутновско-Гореловской группы вулканов за 2021 г.; 11 – Каталог землетрясений Северной группы вулканов за 2021 г.

Л и т е р а т у р а

1. 2021-ER_App 17 Kamchatka-and-Komandor-Islands.xls // Землетрясения России в 2021 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2023. – [Электронное приложение]. – URL: http://www.gsras.ru/zr/app_21.html
2. Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 2. – С. 53–59.
3. Чебров Д.В., Тихонов С.А., Дрознин Д.В., Дрознина С.Я., Матвеевко Е.А., Митюшкина С.В., Салтыков В.А., Сенокков С.Л., Серафимова Ю.К., Сергеев В.А., Ящук В.В. Система сейсмического мониторинга и прогнозирования на Камчатке и её развитие. Основные результаты наблюдений в 2016–2020 гг. // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 3. – С. 28–49. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.3.02>
4. Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – 2010. – Т. 46, № 3. – С. 22–34.
5. ГОСТ Р 57546-2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 27 с
6. Павлов В.М., Абубакиров И.Р. Алгоритм расчета тензора сейсмического момента сильных землетрясений по региональным широкополосным сейсмограммам объемных волн // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2012. – № 2(20). – С. 149–158
7. Абубакиров И.Р., Павлов В.М. Определение тензора момента двойного диполя для землетрясений Камчатки по волновым формам региональных сейсмических станций // Физика Земли. – 2021. – № 3. – С. 45–62.

8. Границы каталогов для регионов и территорий Северной Евразии в 2020 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – С. 370–371.
9. Салтыков В.А. О возможных проблемах оценки пространственно-временных особенностей представительности каталога землетрясений (на примере камчатского каталога Единой геофизической службы РАН) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2019. – Вып. 43, № 3. – С. 66–74.
10. Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Коновалова А.А. Количественный анализ сейсмичности Камчатки // Землетрясения России в 2021 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 95–102.
11. Чубарова О.С., Гусев А.А., Чебров В.Н. Свойства колебаний грунта при Олюторском землетрясении 20.04.2006 г. и его афтершоках по данным цифровой регистрации // Вулканология и сейсмология. – 2010. – № 2. – С. 57–70.
12. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. – 1972. – 117 с.
13. Чеброва А.Ю., Чемарев А.С., Матвеевко Е.А., Чебров Д.В. Единая информационная система сейсмологических данных в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН: принципы организации, основные элементы, ключевые функции // Геофизические исследования. – 2020. – Т. 21, № 3. – С. 66–91. DOI: <https://doi.org/10.21455/gr2020.3-5>
14. Kanamori H. The energy release in great earthquakes // Journal of Geophysical Research. – 1977. – V. 82, N 20. – P. 2981–2987.
15. Kagan Y. Simplified algorithms for calculating double-couple rotation // Geophysical Journal International. – 2007. – V. 171. – P. 411–418.
16. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). Catalog Search. (2025). [Site]. – URL: <https://www.globalcmt.org/>
17. Левина В.И., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Чеброва А.Ю. Сейсмичность Камчатского региона 1962–2011 гг. // Вулканология и сейсмология. – 2013. – № 1. – С. 41–64.
18. Чебров В.Н., Дрознина С.Я., Сенюков С.Л., Ландер А.В. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения России в 2013 году. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 58–65.
19. Чебров Д.В., Матвеевко Е.А., Абубакиров И.Р., Дрознина С.Я., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Павлов В.М., Раевская А.А., Салтыков В.А. Восточно-Кроноцкое землетрясение 16 марта 2021 г., $M_w=6.5$ // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – С. 309–320. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.29 EDN: VHYZYX>
20. Чебров Д.В., Кугаенко Ю.А., Ландер А.В., Абубакиров И.Р., Дрознина С.Я., Митюшкина С.В., Павлов В.М., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К., Титков Н.Н. Землетрясение Углового поднятия 20 декабря 2018 г. $M_w=7.3$ в зоне сочленения Камчатского и Алеутского океанических желобов // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2020. – № 1. – С. 100–117.

SEISMICITY of KAMCHATKA and COMMANDER ISLANDS in 2021

D. V. Chebrov, E. A. Matveenko, I. R. Abubakirov, S. Ya. Droznina, S. V. Mityushkina,
V.M. Pavlov, A.A. Raevskaya, E.I. Romasheva, V.A. Saltykov

Kamchatka Branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, van@emsd.ru

Abstract. The seismicity review of Kamchatka and surrounding territories for 2021 is given. In the Kamchatka earthquake catalogue, the minimum local magnitude of completeness is $ML^C=3.65$, and for the Kamchatka seismically active region ($\varphi=50.5-56.5^\circ\text{N}$, $\lambda=156.5-167^\circ\text{E}$) $ML^C=3.05$, and for earthquakes with $h\geq 350\text{ km}$ under the Okhotsk sea $ML^C=3.65$. The Kamchatka earthquake catalogue for 2021, published in the Appendix to this article, includes 1194 events with $ML\geq 3.5$ where the local magnitude is $ML=0.5\cdot K_s-0.75$. 76 earthquakes with $ML=3.6-6.55$ were felt in Kamchatka and surrounding areas with seismic intensity I of 1–2 to 6 according to the Seismic Intensity Scale-2017 (Russian state standard). The level of seismicity according to the «SOUS'09» scale in 2021 corresponded to the «background average». For 34 events with $ML\geq 5.0$ that occurred in 2021 within the area of responsibility of Kamchatka Branch of Geophysical Survey RAS, an attempt to calculate the seismic moment tensor (SMT) was made. The strongest event for the year occurred on March 16 at 18^h38^m ($ML=6.55$, $M_w=6.5$) with an epicenter on the western slope of the Kuril-Kamchatka deepwater trench, 80 km east of the Kronotsky Peninsula. The maximum concussions of $I=5$ points caused by this earthquake were recorded 140 km from the epicenter. In 2021, two new observation points were opened in the Kamchatka Territory.

Keywords: Kamchatka, seismicity, catalogue, earthquake, focal mechanism, macroseismic, seismicity level.

For citation: 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]. *Zemletriaseniia 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>

References

1. [2021-ER_App17_Kamchatka-and-Komandor-Islands.xls]. (2023). In *Zemletriaseniia Rossii v 2021 godu* [Earthquakes in Russia in 2021]. Obninsk, Russia: GS RAS Publ. Electronic supplement. Retrieved from http://www.gsras.ru/zr/app_21.html (In Russ.).
2. 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. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0742046311020060>
3. Chebrov, D.V., Tikhonov, S.A., Droznin, D.V., Droznina, S.Ya., Matveenkov, E.A., Mityushkina, S.V., Saltykov, V.A., Senyukov, S.L., Serafimova, Yu.K., Sergeev, V.A., & Yashchuk, V.V. (2021). [Kamchatka seismic monitoring and Earthquake prediction system and its evolution. Main results of observations in 2016–2020]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(3), 28–49. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.3.02>
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. GOST R 57546-2017. (2017). [Earthquakes. Seismic Intensity Scale]. Moscow, Russia: Standartinform Publ., 27 p. (In Russ.).
6. Pavlov, V.M., & Abubakirov, I.R. (2012). [Algorithm for calculating the tensor of the seismic moment of strong earthquakes from regional broadband seismograms of volume waves]. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle* [Bulletin of KRAESC. Earth sciences], 2(20), 149–158. (In Russ.).
7. Abubakirov, I.R., & Pavlov, V.M. (2021). Determination of the double dipole moment tensor for Kamchatka earthquakes by wave forms of regional seismic stations. *Izvestiya, Physics of the solid Earth*, 57(3), 332–347. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002333721030017>
8. [Catalog boundaries for regions and territories of Northern Eurasia in 2020]. (2024). *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020), 370–371. (In Russ.).
9. Saltykov, V.A. (2019). [Possible Problems of Evaluation of Spatial-Temporal Features of Earthquake Catalog Representativity: Case Study for the Kamchatka Catalog of Geophysical Survey of RAS]. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle* [Bulletin of KRAESC. Earth sciences], 3(43), 66–74. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-3-43-66-74>
10. Saltykov, V.A., Kravchenko, N.M., & Konovalova A. A. (2022). [Quantitative analysis of Kamchatka seismicity]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2021 godu* [Earthquakes in Russia, 2023] (pp. 95–102). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
11. Chubarova, O.S., Gusev, A.A. & Chebrov, V.N. (2010) The ground motion excited by the Olyutorskii earthquake of April 20, 2006 and by its aftershocks based on digital recordings. *Journal of Volcanology and Seismology*, 4(2), 126–138. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0742046310020065>.
12. Fedotov, S.A. (1972). *Energeticheskaya klassifikatsiya Kurilo-Kamchatskikh zemletryasenyi i problema magnitud* [Energy classification of Kuril-Kamchatka earthquakes and the problem of magnitudes]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 11 p. (In Russ.).
13. Chebrova, A.Yu., Chemarev, A.S., Matveenkov, E.A. & Chebrov, D.V. (2020). [Seismological data information system in Kamchatka branch of GS RAS: organization principles, main elements and key functions]. *Geofizicheskiye issledovaniya* [Geophysical research], 21(3), 66–91. (In Russ.).
14. Kanamori, H. (1977). The energy release in great earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, 82(20), 2981–2987.
15. Kagan, Y. (2007). Simplified algorithms for calculating double-couple rotation. *Geophysical Journal International*, 171, 411–418. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2007.03538.x>
16. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). Catalog Search. (2025). Retrieved from <https://www.globalcmt.org/>
17. Levina, V.I., Lander, A.V., Mityushkina, S.V., & Chebrova, A.Yu. (2013). The seismicity of the Kamchatka region: 1962–2011. *Journal of Volcanology and Seismology*, 7(2), 37–57. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.1134/S0742046313010053>
18. Chebrov, V.N., Droznina, S.Ya., Senyukov, S.L., & Lander, A.V. (2015). [Kamchatka and Komandor Islands]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2013 godu* [Earthquakes in Russia, 2013] (pp. 58–65). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
19. Chebrov, D.V., Matveenkov, E.A., Abubakirov, I.R., Droznina, S.Ya., Lander, A.V., Mityushkina, S.V., Pavlov, V.M., Raevskaya, A.A., & Saltykov, V.A. (2025). [East Kronotskiy earthquake March 16, 2021 $M_w=6.5$]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021), 309–320. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.29> EDN: VHYZYX
20. Chebrov, D.V., Kugaenko, Yu.A., Lander, A.V., Abubakirov, I.R., Droznina, S.Ya., Mityushkina, S.V., Pavlov, V.M., Saltykov, V.A., Serafimova, Yu.K., & Titkov, N.N. (2020). [The Uglovoye Podnyatiye Earthquake on December 20, 2018 ($M_w=7.3$) in the Junction Zone between Kamchatka and Aleutian Oceanic Trenches]. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle* [Bulletin of KRAESC. Earth sciences], 1(45), 100–117. (In Russ.).