

УДК 550.348.436

Землетрясение 24 января 2024 г. в районе г. Краснодара с $M_w=4.1$, $I_0=5$ баллов

© 2024 г. А.С. Зверева, А.И. Клянчин

ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия

Поступила в редакцию 06.04.2024 г.

Аннотация. Приведены инструментальные и макросейсмические данные о землетрясении 24 января 2024 г. в 11:19 с $M_w=4.1$, $h=8$ км с эпицентром в Краснодарском крае (30 км от Краснодара). Параметры землетрясения определены по инструментальным данным сети региональных сейсмических станций Северного Кавказа ФИЦ ЕГС РАН. Рассчитаны очаговые спектры по записям трёх региональных сейсмических станций: GOYR, MRNR и GUZR. Определены спектральные параметры очага: сейсмический момент M_0 , величина сброшенного напряжения $\Delta\sigma$ и радиус разрыва R . Получено решение механизма очага по знакам первого вступления P -волн на 71 сейсмической станции. Установлено, что в очаге произошёл взброс с компонентом правостороннего сдвига. В тектоническом плане изучаемое землетрясение произошло в южной части Западно-Кубанского прогиба в пределах Ахтырской зоны ВОЗ с $M_{\max}=6.8$. Проведен макросейсмический сбор данных, построена карта распределения пунктов-баллов. Всего информация собрана у 300 респондентов в 20 пунктах, расстояния до которых варьируют от 4 до 92 км. Максимальная интенсивность в эпицентре составила 5 баллов $MSK-64$.

Ключевые слова: Северный Кавказ, сейсмичность, Ахтырская флексурно-разрывная зона, спектральные параметры очага, механизм очага, макросейсмические данные.

Для цитирования: Зверева А.С., Клянчин А.И. Землетрясение 24 января 2024 г. в районе г. Краснодара с $M_w=4.1$, $I_0=5$ баллов // Российский сейсмологический журнал. — 2024. — Т. 6, № 2. — С. 70–81. — DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2024.2.05>. — EDN: WPLUZZ

Введение

24 января 2024 г. в 11:19 UTC (14:19 местного времени) на территории Краснодарского края произошло ощутимое землетрясение с магнитудой $M_w=4.1$, $h=8$ км. Местоположение эпицентра по инструментальным данным — вблизи города Краснодара (30 км). В соответствии с утверждённой картой общего сейсмического районирования России ОСР-2015 [СП 14.13330.2018, 2018], эпицентральная зона землетрясения относится к 7-балльной зоне по карте ОСР-2015-А вблизи Ахтырской зоны ВОЗ с $M_{\max}=6.8$ в южной части Западно-Кубанского передового прогиба [Рогожин и др., 2019].

Изучаемое землетрясение сопровождалось макросейсмическими проявлениями интенсивностью I до 5 баллов. Изучение макросейсмических данных в густонаселённом Краснодарском крае чрезвычайно важно в связи с необходимостью обеспечения безопасности населения в случае развития природно-техногенных ката-

строф, связанных с возникновением сильного землетрясения. По историческим сведениям, данный регион характеризуется землетрясениями, сопровождаемыми макросейсмическим эффектом. 24 и 25 ноября 2018 г. также произошло два ощутимых землетрясения в непосредственной близости от эпицентра землетрясения 24.01.2024 г. (4 км) с интенсивностью в эпицентре 4 балла [Габсатарова и др., 2023].

Современный сейсмический мониторинг на территории Краснодарского края проводится региональной сетью сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН в непрерывном режиме наблюдений, что позволяет оперативно оценивать параметры землетрясений. Кроме данных о пространственном положении эпицентра, времени в очаге и энергетическом классе важной задачей является спектральный анализ очага землетрясения. Результаты исследований спектральных параметров очага, таких как сейсмический момент M_0 , величина сброшенного напряжения $\Delta\sigma$ и радиус круговой дислокации R , в совокупности

с данными о механизме очага позволяют изучить особенности очаговой зоны землетрясения.

Целью работы является изучение особенностей землетрясения, произошедшего 24 января 2024 года. Основные задачи исследования:

- обработка инструментальных данных;
- расчёт спектральных параметров очага землетрясения;
- решение механизма очага землетрясения;
- анализ тектонической позиции очага;
- анализ макросейсмического проявления в каждом населённом пункте и расчёт интенсивности.

Инструментальные данные и методика обработки

На рис. 1 представлена карта положения эпицентра землетрясения 24.01.2024 г., а в табл. 1 — его параметры, полученные разными агентствами. Видно, что наблюдаются расхождения в определениях параметров эпицентра как в пространстве, так и по глубине. Наибольшие отклонения наблюдаются с решениями региональных агентств Норвегии (NORSAR) и Азербайджана (RSSC), причиной этого является малое количество сейсмических станций — четыре и пять соответственно, с большим значением азимутального створа $GAP=333-348^\circ$. При сравнении результатов первичной локации, полученной в Службе срочных донесений (ССД) ФИЦ ЕГС РАН [Информация ..., 2024] и уточнённой с использованием данных региональной сети сейсмических станций Западного Кавказа (рис. 2а), наблюдается смещение эпицентра

на 9 км в северо-восточном направлении. Решение по данным региональной сети было выбрано как более точное, поскольку для его расчёта использовалось максимальное количество сейсмических станций, расположенных вблизи эпицентра на расстояниях 30–100 км, и уточнённая скоростная модель.

Первичные параметры гипоцентра землетрясения 24.01.2024 г. были получены в ССД ФИЦ ЕГС РАН [Информация ..., 2024], куда в режиме, близком к реальному времени, поступают записи более 110 сейсмических станций России и мира (GS RAS, табл. 1). Уточнение параметров исследуемого землетрясения проводилось с использованием данных сети региональных станций ФИЦ ЕГС РАН [Клянчин и др., 2023]. Для определения параметров гипоцентров землетрясений была использована программа HYPO71 [Lee, Valdes, 1985] с заданной скоростной моделью земной коры, построенной по данным скоростного профиля «Краснодар — Эмба» [Электронное..., 2013]. Локация проводилась по временам вступлений P - и S -волн на записях волновых форм 32 сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН ($\Delta=30-503$ км) и, дополнительно, четырьмя станций Крымской сети (OBGSR, табл. 1). Основными критериями для выбора лучшего решения являлись минимальные ошибки времени в очаге и параметра положения гипоцентра ближайших к эпицентру станций: «Краснодар» KGUR ($\Delta=29$ км), «Шапсуг» SPGR ($\Delta=53$ км), «Сергиевский» SRGR ($\Delta=68$ км), «Гладковский» GLDR ($\Delta=78$ км), «Гойтх» GOYR ($\Delta=92$ км), «Сукко» SUKR ($\Delta=101$ км) (рис. 2).

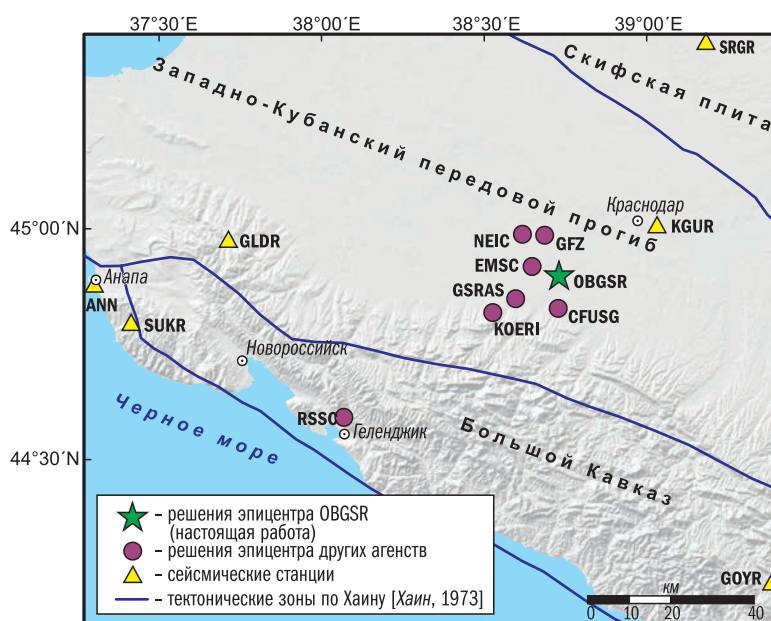


Рис. 1. Положение эпицентра землетрясения 24 января 2024 г. по данным разных агентств

Таблица 1. Параметры землетрясения 24 января 2024 г. по данным ФИЦ ЕГС РАН и других агентств

Агентство	t_0 , чч:мм:сс	δt_0 , с	Гипоцентр			Магнитуда, энергетический класс /число станций	GAP	N
			φ, °N	λ, °E	h, км			
GS RAS [Информация ..., 2024]	11:19:26	—	44.86	38.60	5	$m_b=4.3$	—	30
OBGSR (настоящая работа)	11:19:25	0.95	44.88	38.72	8	$K_p=10.9$, $ML=4.0$, $Mw=4.1$	105	32
EMSC [Euro-Mediterranean ..., 2024]	11:19:26	1.23	44.93	38.65	10f	$m_b=4.5$	74	84
GFZ [German ..., 2024]	11:19:26	1.60	45.00	38.69	10f	$m_b=4.5/20$	51	64
NEIC [National ..., 2024]	11:19:26	0.95	45.00	38.62	10f	$m_b=4.2/30$	39	43
KOERI [Kandilli ..., 2024]	11:19:23	0.35	44.83	38.53	5	$ML=4.0$	—	29
NORSAR [Norwegian ..., 2024]	11:19:39	0.69	46.55	39.43	21f	$m_b=4.1/26$	333	4
RSSC [Republican ..., 2024]	11:19:32	1.02	44.60	38.08	10	$m_b=5.2/1$	348	5
CFUSG [Институт ..., 2024]	11:19:26	0.90	44.84	38.73	8	$K_p=10.3/7$; $m_b=3.4/7$; $MSH=3.6/7$	—	7

Примечания: f – фиксированная глубина h гипоцентра; m_b – телесейсмическая магнитуда по объёмным волнам; K_p – энергетический класс по Т.Г. Раутиан; ML – локальная магнитуда; Mw – моментная магнитуда; MSH – магнитуда по волне SH (аппаратура типа C/LP).

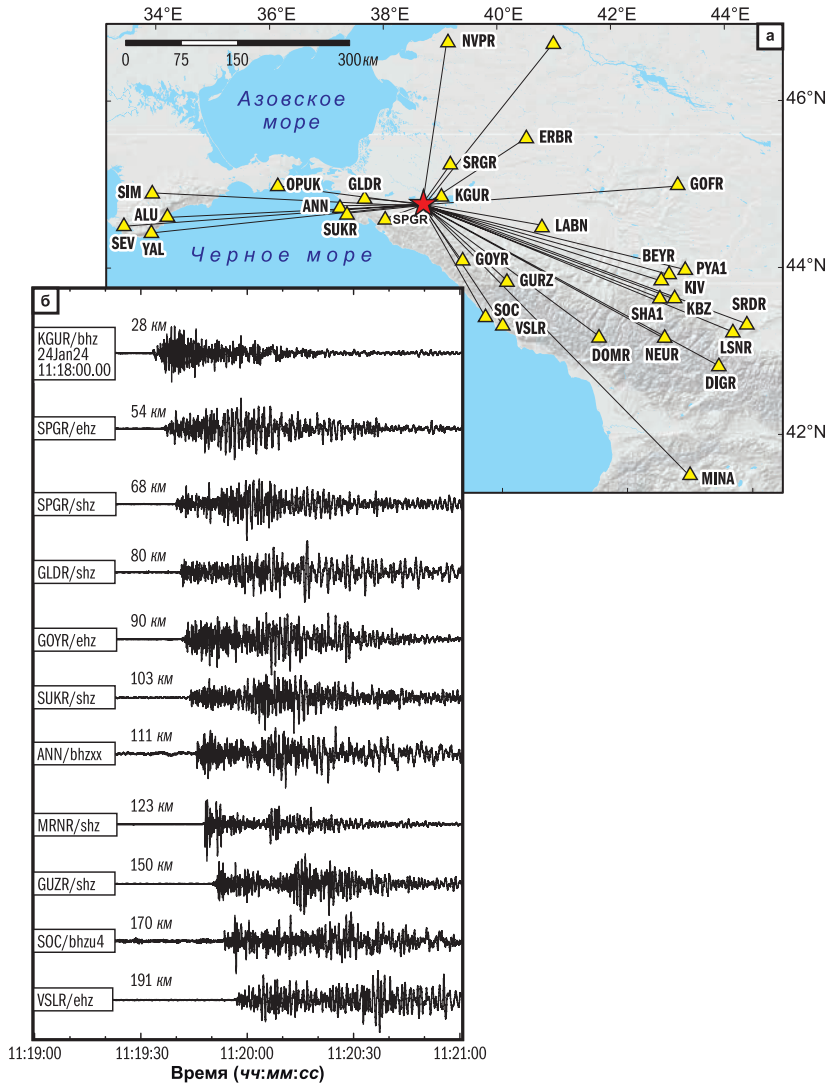


Рис. 2. Положение эпицентра землетрясения 24 января 2024 г. и сейсмических станций региональной сети Северного Кавказа (а); сейсмограммы (вертикальные компоненты) землетрясения (б)

Спектральные параметры очага

Для землетрясения 24 января 2024 г. был проведён расчёт спектральных параметров в программном комплексе SEISAN [Havskov et al., 2020], основанный на модели сейсмического источника Брюна [Brune, 1970]. Расчёт спектра смещений объёмной S -волны проводился для трёх сейсмических станций: «Гойтх» (GOYR, $\Delta=93$ км), «Марьино» (MRNR, $\Delta=125$ км) и «Гузерибль» (GUZR, $\Delta=152$ км) (рис. 3), критерием отбора были следующие параметры: отношение сигнала к уровню шума более 3, эпицентральный расстояние 50–250 км и соответствие модели Брюна. Наблюдённый спектр пересчитывался в очаговый путём внесения поправки за геометрическое расхождение, неупругое затухание и учёт влияния регистрирующей аппаратуры. Геометрическое расхождение задавалось в виде функции, зависящей от эпицентрального расстояния и глубины, потери за неупругое затухание — в виде частотно-зависимой добротности $Q(f)$ [Зверева и др., 2024], приповерхностное затухание $\kappa=0.02$. Детально процедура обработки изложена в работе 2022 г. [Zvereva et al., 2022]. Далее определялись уровень плоского участка спектра Ω_0 , как полный вектор смещения S -волны (м·с), приведённый к условиям однородного упругого полупространства, и угловая частота f_c (рис. 3).

Сейсмический момент определялся по формуле:

$$M_0 = \frac{\Omega_0 4\pi V^3}{0.6 \cdot 2.0 \cdot G(\Delta, h)}, \quad (1)$$

где $G(\Delta, h)$ — геометрическое расхождение (Δ — эпицентральный расстояние, h — глубина); Ω_0 — спектральная плотность (м·с) определялась по низкочастотному уровню очагового спектра S -волн через сумму квадратов спектров горизонтальных компонент; $\rho=2700$ кг/м³ — плотность; $V=3400$ м/с — скорость распространения S -волны [Электронное ..., 2013]; 0.6 — коэффициент, учитывающий средний эффект радиального расхождения лучей; 2.0 — коэффициент, учитывающий влияние эффекта свободной поверхности.

На основании полученных спектральных параметров рассчитывался радиус очага R (км) и статический сброс напряжений $\Delta\sigma$ (бар). Согласно дислокационной модели Брюна, в которой очаг имеет круговую форму с радиусом R [Havskov et al., 2020]:

$$R = 0.37 \cdot V / f_c, \quad (2)$$

где f_c — угловая частота. Статический сброс напряжений определялся как [Havskov et al., 2020]:

$$\Delta\sigma = \frac{0.44 M_0}{R^2}. \quad (3)$$

Моментная магнитуда M_w рассчитывалась по формуле [Kanamori, 1977]:

$$M_w = 2/3(\lg M_0 [H \cdot м]) - 6.06. \quad (4)$$

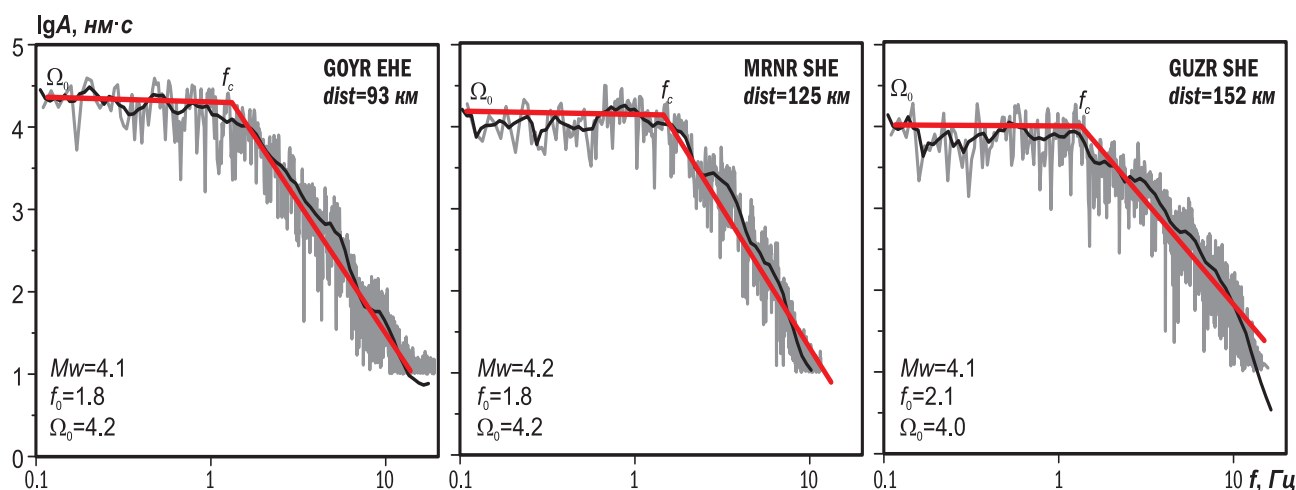


Рис. 3. Очаговые спектры смещения S -волны землетрясения 24.01.2024 г. по записям сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН. Определение спектральных параметров уровня площадки спектра Ω_0 и угловой частоты f_c в соответствии с моделью Брюна [Brune, 1970]

Серым показан исходный спектр, чёрной линией — сглаженный спектр, красными линиями — асимптоты по модели Брюна

Результаты расчёта спектральных параметров представлены в табл. 2.

Механизм очага

В ФИЦ ЕГС РАН механизм очага землетрясения был построен по знакам первого движения в P -волне, которые уверенно были выделены на 71 сейсмической станции, удалённой от очага на расстояния от 0.24° до 27.1° . На 36 станциях зафиксированы волны сжатия (знак плюс), на 35 — волны растяжения (знак минус). Для расчёта использовалась программа FA А.В. Ландера [Ландер, 2018]. Результаты представлены в табл. 3.

Движение в очаге возникло под действием превалирования напряжений сжатия. Нодальная плоскость $NP1$ имеет близширотное простирание на запад—юго-запад, а другая ($NP2$) — на север. Плоскость $NP1$ залегает близвертикально под углом 82° , тип движения — взброс с компонентами правостороннего сдвига. По пологой плоскости $NP2$ запад—юго-западного простирания произошёл левосторонний сдвиг с компонентой надвига.

Тектоническая позиция очага

Исследуемая часть территории Краснодарского края охватывает несколько крупных тектонических элементов, которые представляют

сложную систему разновозрастных поднятий и прогибов, ориентированных в северо-западном направлении. Эти структуры разделяются продольными и поперечными разрывами — взбросами, надвигами и сбросами. Главные тектонические элементы региона (рис. 1): альпийский Западно-Кубанский передовой прогиб, северный склон альпийского мегантиклинория Большого Кавказа, Скифская (Предкавказская) эпигерцинская платформа.

Существенное место в новейшей структуре Северо-Западного Кавказа занимают взбросово-надвиговые дислокации. Эпицентр землетрясения 24 января 2024 г. расположен в южной части Индоло-Кубанского прогиба вблизи Ахтырской флексурно-разрывной зоны (Ахтырский разлом, рис. 4) на расстоянии примерно 17 км к северу от неё [Фролова и др., 2023; Рогожин и др., 2014]. Данная территория имеет сложное строение и представляет собой границу между северо-западной частью орогена Большого Кавказа и Западно-Кубанским прогибом. В геологическом плане Ахтырская зона представлена серией взбросов и надвигов, плоскости которых наклонены к юго-западу под углами $50\text{--}80^\circ$ [Дьяконов и др., 1972]. По геофизическим данным, эта пограничная зона интерпретируется как вертикальный глубинный разлом. Вероятно, именно к проявлению движений этого разлома и принадлежит исследуемое землетрясение 24 января 2024 года.

Таблица 2. Спектральные параметры очага землетрясения 24.01.2024 г. по спектрам смещения S -волн

Станция	$\lg M_0, H\cdot m$	$\lg \Omega_0, \text{нм}\cdot c$	$f_c, \text{Гц}$	M_w^{SS*}	$\Delta\sigma, \text{бар}$	$R, \text{км}$
GOYR	15.2	4.3	1.8	4.2	23	0.71
MRNR	15.3	4.2	1.9	4.2	32	0.65
GUZR	15.2	4.0	2.3	4.1	40	0.56
Среднее	15.2 ± 0.1	4.1 ± 0.1	2.0 ± 0.3	4.1 ± 0.07	32 ± 8	0.64 ± 0.07

* M_w^{SS} — моментная магнитуда, определённая по очаговому спектру S -волны (S -spectrum)

Таблица 3. Параметры механизма очага землетрясения 24 января 2024 г.

Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Диаграмма
T		N		P		$NP1$			$NP2$			
PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$	
47	186	25	67	32	320	251	82	115	358	26	19	

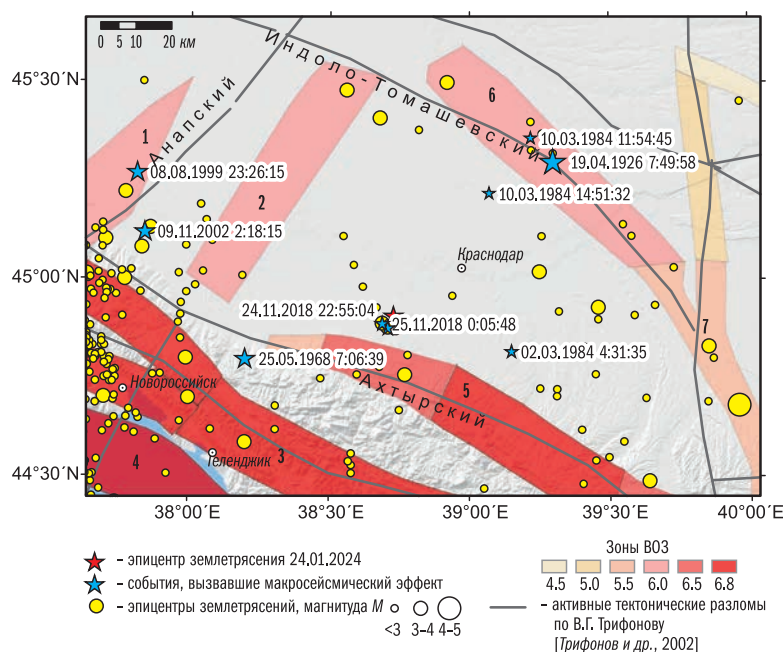


Рис. 4. Карта распределения эпицентров землетрясений в районе Краснодара с 1799 г. по настоящее время на фоне активных тектонических разломов [Трифонов и др., 2002] и зон ВОЗ [Рогожин и др., 2019]

Зоны ВОЗ: 1 — Анапская, 2 — Новороссийская, 3 — Михайловская, 4 — Черноморская, 5 — Ахтырская, 6 — Новотитаровская, 7 — Курджипская

Ахтырская флексурно-разрывная зона соотносится с Ахтырской зоной ВОЗ ($M_{\max}=6.8$) [Рогожин и др., 2019] (рис. 4) и в целом характеризуется невысоким уровнем сейсмической активности, однако 25 мая 1968 г. в её пределах произошло ощутимое землетрясение с магнитудой $M=4.4$ и интенсивностью $I=6$ баллов в пос. Ахтырском и г. Абинске. В ближайшем окружении эпицентра землетрясения 24 января 2024 г. исторически известны 6–7-балльные землетрясения (рис. 4): 19 апреля 1926 г. с $M=5.4$ и интенсивностью до 7 баллов в степном районе Кубани; 25 мая 1968 г. Абинское землетрясение с $M=4.4$, $I=6$ баллов [Никонов, 1994; Новый каталог ..., 1977]. Последний раз два ощутимых землетрясения произошли в районе станции Северской 24 ноября 2018 г. в 22:55 и 25 ноября 2018 г. в 00:05 с $M=3.5$, 3.6 и интенсивностью 4 балла [Габсатарова и др., 2023].

Макросейсмические данные

По результатам макросейсмического обследования, землетрясение 24 января 2024 г. ощущалось на территории Краснодарского края на расстоянии от 4 до 92 км от эпицентра. Сбор информации об ощутимости землетрясения от жителей проводился через социальную сеть «ВКонтакте»

в группах «Кубань-24» и «Подслушано Краснодар». Как уже отмечалось ранее в работах [Клянчин, 2019а; 2019б; Зверева и др., 2021; Клянчин и др., 2023], такой способ успешно показал себя для сбора информации при землетрясениях умеренной магнитуды, когда основную информацию об ощутимости по шкале сейсмической интенсивности ШСИ-17 [ГОСТ ..., 2017] даёт категория-сенсор «Предметы».

Собраны макросейсмические данные от 300 респондентов в 20 населённых пунктах, из них 226 анкет — в Краснодаре. Информация получена из групп социальной сети «ВКонтакте» и анкет Европейского Средиземноморского сейсмологического центра (EMSC) [Euro-Mediterranean ..., 2024], а также из мессенджера «Telegram». Большинство собранных анкет было получено от жителей Краснодара и близлежащих населённых пунктов. На основании полученных данных были рассчитаны средние значения интенсивности в каждом населённом пункте по ШСИ-17 [ГОСТ ..., 2017; Клянчин, 2019а; 2019б], результаты представлены в табл. 4, 5.

5 баллов — в станции Смоленской землетрясение ощущалось сильно. В школе № 49 обнаружилось повреждение, на потолке трещина, осыпалась штукатурка около 5 см, сильно трясло, весь дом «плавал, как на волнах», предметы

Таблица 4. Макросейсмические сведения о землетрясении 24 января 2024 г. в Краснодарском крае

№	Населённый пункт	Координаты		Δ , км	I, балл	Количество респондентов
		φ , °N	λ , °E			
1	ст-ца Смоленская	44.79	38.80	12	5	8
2	ст-ца Северская	44.85	38.68	4	4–5	12
3	пгт Афицкий	44.90	38.84	8	4	13
4	ст-ца Новодмитриевская	44.83	38.88	13	4	5
5	ст-ца Азовская	44.79	38.63	12	4	2
6	пгт Энем	44.90	38.91	13	4	2
7	ст-ца Елизаветинская	45.05	38.80	19	4	6
8	пгт Яблоновский	44.99	38.94	19	4	6
9	г. Краснодар	45.04	38.98	24	3–4	226
10	пгт Ахтырский	44.85	38.30	30	3–4	1
11	г. Адыгейск	44.88	39.19	32	3–4	5
12	г. Абинск	44.87	38.26	32	3	1
13	г. Горячий Ключ	44.63	39.13	42	2	4
14	ст-ца Динская	45.22	39.23	46	2	2
15	г. Новороссийск	44.72	37.77	72	2	1
16	г. Кореновск	45.46	39.45	67	2	2
17	г. Туапсе	44.11	39.08	92	2	1
18	пос. Российский	45.12	39.03	32	0	1
19	пос. Березовый	45.15	39.00	34	0	1
20	хутор Ленина	46.07	39.78	35	0	1
						Всего 300 человек

Таблица 5. Макросейсмические сведения о землетрясении 24 января 2024 г. в Краснодаре

№	Район г. Краснодара	Координаты		I, балл	Количество респондентов
		φ , °N	λ , °E		
1	Юбилейный	45.03	38.91	4	11
2	Центральный	45.03	38.97	4	60
3	Гидростроительный	45.00	39.08	4	10
4	Пашковский	45.03	39.11	4	4
5	мрн Черёмушки	45.02	39.00	4	12
6	ул. 40 лет Победы	45.05	39.00	4	2
7	Завод измерительных приборов	45.07	39.00	4	2
8	Краевая клиническая больница	45.07	39.02	4	2
9	Ремонтно-механический завод	45.04	39.04	4	2
10	Табачка	45.05	39.01	4	2
11	«Микрохирургия глаза»	45.06	38.90	4	1
12	Район парка Солнечный остров	45.01	39.06	4	1
13	Кожзавод	45.04	38.93	4	1
14	Краснодар без указания мрн	45.04	38.98	4	71
15	Губернский	45.08	39.03	3–4	1
16	Новая Адыгея	45.03	38.95	3	5
17	Комсомольский	45.04	38.98	3	6
18	мрн Фестивальный	45.06	38.95	3	18
19	Западный обход	45.09	38.90	3	4
20	Камвольно-суконный комбинат	45.03	39.07	3	1
21	Славянский	45.07	38.93	3	5
22	Завод радиоизмерительных приборов	45.10	39.01	2–3	4
23	мрн Дубинки	45.02	39.02	0	1
					Среднее значение балла по Краснодару – 3–5
					Всего 226 человек

падали с полок, почти все животные беспокоились, люди вышли на улицу, они были шокированы от толчка, были слышны гул и звук.

4–5 баллов — в станице Северской землетрясение ощущалось отчётливо. Люди вышли на улицу, двери ходили ходуном, затряслись стены, по полу прошла волна, были слышны гул и звук.

4 балла — землетрясение ощущалось в посёлках городского типа Энеме, Яблоновском, Афипском и в станицах Елизаветинской, Новодмитриевской, Азовской. Наблюдались раскачивание и движение предметов: тряслись столы, стулья, диваны, вода в чайниках, раскачивались цветы, гирлянды, люстры, колебалась вода в бутылках, окна дребезжали, звенела посуда. Население выходило из зданий на улицу, опасаясь повторения толчков, часть людей чувствовала сотрясение на открытом воздухе, некоторые испытали головокружение. Чувствительность животных: попугай беспокоился, кричал и летал по помещениям.

3–4 балла — в городах Краснодаре, Адыгейске и пгт Ахтырском толчок ощущали отчётливо,

по словам отдельных людей, «хорошо трянуло», в отдельных местах на верхних этажах зданий трясение продолжалось до 10 с.

3 балла — землетрясение слабо ощущалось людьми, находящимися в спокойном состоянии в г. Абинске.

2 балла — землетрясение ощущалось в городах Кореновске, Горячем Ключе и Туапсе, люди ощущали тряску, двойной толчок, беспокойно вела себя собака. Отмечена слабая ощутимость в Новороссийске.

Землетрясение не ощущалось в посёлках Росийском и Берёзовом, на хуторе Ленина.

По результатам макросейсмического опроса была построена карта распределения пунктов-баллов (рис. 5). Построение карты изосейст и расчёт параметров уравнения макросейсмического поля были невозможны из-за недостаточного количества макросейсмических данных. Всего информация собрана в 20 пунктах на расстояниях от 4 до 92 км от эпицентра. Максимальная интенсивность в эпицентре составляет 5 баллов.

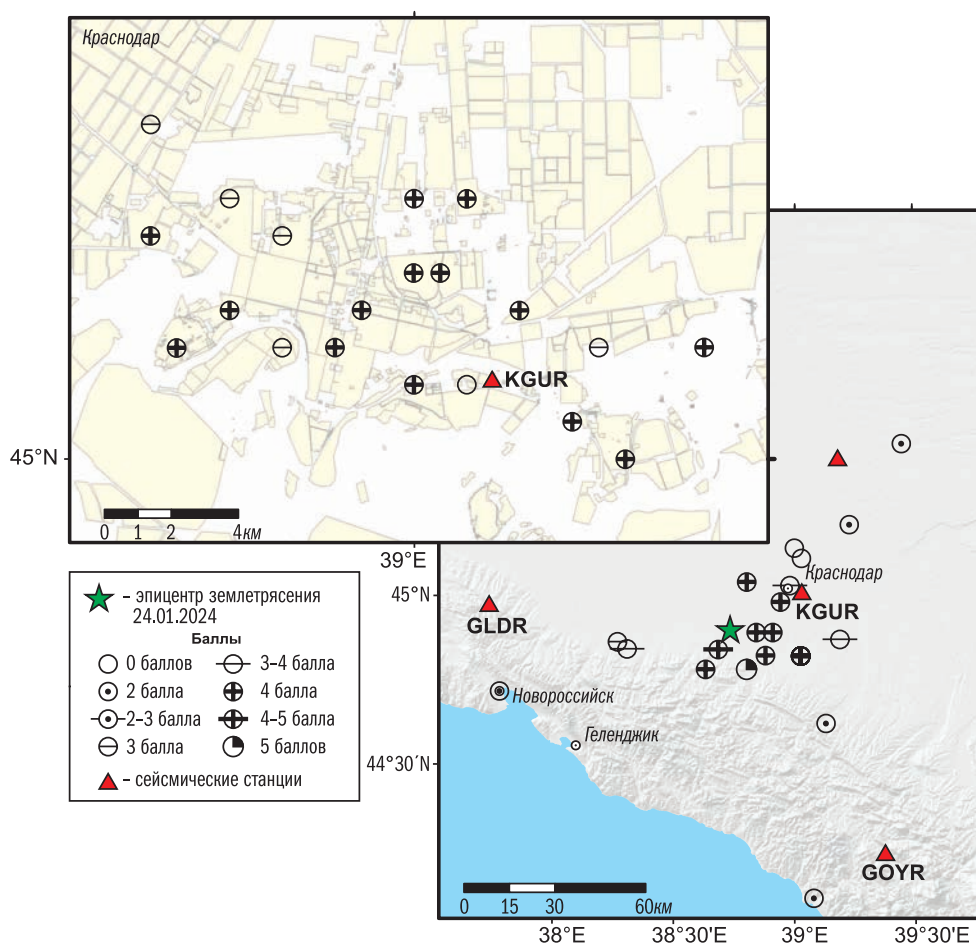


Рис. 5. Карта пунктов-баллов землетрясения по результатам опроса населения

Несмотря на недостаточность данных для полного анализа макросейсмического поля, можно отметить, что характер распространения макросейсмического эффекта имеет направленность северо-восточного простирания перпендикулярно структурам общекавказского простирания, в частности, Ахтырскому разлому. Особенно это заметно по распределению пунктов с проявлением 4-балльного эффекта.

Заключение

Детальное изучение землетрясения 24 января 2024 г. по инструментальным данным сети сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН позволило собрать обобщённую информацию и выделить характерные особенности:

- решение параметров землетрясения по данным региональной сети было выбрано как более точное, поскольку для его расчёта использовалось максимальное количество сейсмических станций, расположенных вблизи эпицентра (30–100 км);

- для землетрясения 24 января 2024 г. был проведён расчёт спектральных параметров сейсмического момента M_0 , величины сброшенных напряжений $\Delta\sigma$ и радиуса разрыва R , а также получено значение моментной магнитуды M_w ;

- механизм очага землетрясения — взброс с компонентами правостороннего сдвига;

- эпицентр землетрясения 24 января 2024 г. расположен в южной части Индоло-Кубанского прогиба вблизи Ахтырской флексурно-разрывной зоны, соотносящейся с Ахтырской зоной ВОЗ ($M_{\max}=6.8$), известной исторической сейсмичностью с макросейсмическими проявлениями;

- макросейсмические данные собраны через социальную сеть «ВКонтакте» и мессенджер «Telegram». По результатам макросейсмического обследования интенсивность в эпицентре составила $I_0=5$ баллов по шкале ШСИ-17.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) 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/>).

Литература

Габсатарова И.П., Королецки Л.Н., Иванова Л.Е., Саяпина А.А., Багаева С.С., Адиев З.М., Асма-

нов О.А. Сейсмичность Северного Кавказа в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. — 2023. — Вып. 26 (2018–2019 гг.). — С. 73–91. — DOI: 10.35540/1818-6254.2023.26.06. — EDN: ZOYJUV

ГОСТ Р 57546–2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. — Введ. 2017-07-19. — М.: Стандартинформ, 2017. — 28 с.

Дьяконов А.И., Байдов Ф.К., Кузьменко Ю.Д. Типы локальных структур геосинклинальной и переходной областей (на примере западного окончания Большого Кавказа) // Тектоника Сибири. Том 5. Принципы тектонического районирования, тектоническая терминология и систематика, тектонические эксперименты. — М: Наука, 1972. — С. 149–153.

Зверева А.С., Клянчин А.И., Габсатарова И.П. Землетрясение 12 декабря 2020 г. в Анапской зоне с $M_w=3.8$, $I_0=4$ –5 баллов // Российский сейсмологический журнал. — 2021. — Т. 3, № 2. — С. 52–66. — DOI: 10.35540/2686-7907.2021.2.03. — EDN: CVCGRP

Зверева А.С., Собисевич А.Л., Габсатарова И.П. Добротность геофизической среды восточной зоны Северного Кавказа // Физика Земли. — 2024. — № 1. — С. 1–17.

Институт сейсмологии и геодинамики (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» [сайт]. — URL: <https://cfuv.ru/strukturnye-podrazdeleniya-i-filialy-2/institut-sejsmologii-i-geodinamiki> (дата обращения 26.04.2024).

Информация Службы срочных донесений // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. — URL: <http://www.gsras.ru/new/ssd.htm> (дата обращения 26.01.2024).

Клянчин А.И. Макросейсмические проявления двух ощутимых землетрясений 24 апреля 2018 г. и 13 сентября 2018 г. // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. — 2019а. — Т. 5, № S4. — С. 95–105. — EDN: IIVCQA

Клянчин А.И. Макросейсмическое проявление землетрясения 24 апреля 2018 года в прибрежной зоне Краснодарского края // Исследования и творческие проекты для развития и освоения проблемных и прибрежно-шельфовых зон юга России: сборник трудов X Всероссийской Черноморской школы-семинара молодых учёных, аспирантов, студентов и школьников. — Геленджик: Издательство Южного федерального университета, 2019б. — С. 207–213.

Клянчин А.С., Зверева А.С., Габсатарова И.П. Землетрясение 24 апреля 2018 г. с $K_p=10.5$, $M_w=3.9$ и $I_0=5$ баллов в Анапско-Новороссийской зоне // Землетрясения Северной Евразии. — 2023. — Вып. 26 (2018–2019 гг.). — С. 293–302. — DOI: 10.35540/1818-6254.2023.26.26. — EDN: HYDJSS

Ландер А.В. Программа расчёта и графического представления механизмов очагов землетрясений

по знакам первых вступлений P -волн (FA) / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018662004 от 25 сентября 2018 г. — EDN: GTRUYE

Никонов А.А. Сильные землетрясения в районе Краснодарского водохранилища — новые оценки // Гидротехническое строительство. — 1994. — № 5. — С. 35–38.

Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времён до 1975 г. / Под ред. Н.В. Кондорской, Н.В. Шебалина. — М.: Наука, 1977. — 536 с.

Рогожин Е.А., Лутиков А.И., Овсяченко А.Н., Донцова Г.Ю., Сысолин А.И. Детальное сейсмическое районирование Северо-Западного Кавказа с учётом результатов палеосейсмогеологических исследований // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. — 2019. — Т. 41, № 4. — С. 32–38. — EDN: RDQFEA

Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Лутиков А.И., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Горбатилов А.В. Эндеогенные опасности Большого Кавказа. — М.: ИФЗ РАН, 2014. — 256 с. — EDN: ZPKBCV

СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП 11-7-81. — М.: Стандартинформ, 2018. — 122 с. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/550565571>

Трифонов В.Г., Соболева О.В., Трифонов Р.В., Восстриков Г.А. Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизионного пояса. — М.: ГЕОС, 2002. — 225 с.

Фролова Н.И., Габсатарова И.П., Суцев С.П., Малаева Н.С. Оценка сейсмического риска на территории Краснодарского края // Вопросы инженерной сейсмологии. — 2023. — Т. 50, № 4. — С. 36–57. — DOI: 10.21455/VIS2023.4-3. — EDN: IUTQNT

Электронное издание «Атлас «Опорные геолого-геофизические профили России». Глубинные сейсмические разрезы по профилям ГСЗ, отработанным в период с 1972 по 1995 год». [Электронный ресурс]. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2013. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). — URL: <https://vsegei.ru/ru/info/seismic/rukovodstvo.php>

Brune J.N. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // Journal of Geophysical Research. — 1970. — V. 75, N 26. — P. 4997–5009. — DOI: 10.1029/JB075I026P04997

Euro-Mediterranean Seismological Centre (EMSC). Earthquake contributions [Site]. — URL: https://www.emsc-csem.org/Earthquake_data/ (дата обращения 15.03.2024).

German Research Centre for Geosciences (GFZ) [Site]. — URL: <https://www.gfz-potsdam.de/en/> (дата обращения 15.03.2024).

Havskov J., Voss P.H., Ottemöller L. Seismological Observatory Software: 30 Yr of SEISAN // Seismological Research Letters. — 2020. — V. 91, N 3. — P. 1846–1852. — DOI: 10.1785/0220190313

Kanamori H. The energy release in great earthquakes // Journal of Geophysical Research. — 1977. — V. 82, N 20. — P. 2981–2987. — DOI: 10.1029/JB082I020P02981

Kandilli Observatory & Eri Regional Earthquake-Tsunami Monitoring Center (KOERI). Earthquake Catalog. [Site]. — URL: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/earthquake-catalog/> (дата обращения 15.03.2024).

Lee W.H.K., Valdes C.M. HYP071PC: A personal computer version of the HYP071 earthquake location program // U.S. Geological Survey Open File Report 85-749. — 1985. — 43 p. — DOI: 10.3133/ofr85749

National Earthquake Information Center (NEIC) [Site]. — URL: <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/national-earthquake-information-center-neic> (дата обращения 15.03.2024).

Norwegian Seismic Array (NORSAR) [Site]. — URL: <https://www.norsar.no/home/> (дата обращения 15.03.2024).

Republican Seismic Survey Center (RSSC) [Site]. — URL: <https://seismology.az/ru> (дата обращения 15.03.2024).

Zvereva A.S., Sobisevich A.L., Likhodeev D.V. Moment and local magnitudes calibration for earthquakes in the Northwest Caucasus // Doklady Earth Sciences. — 2022. — V. 507, Suppl. 2. — P. S304–S312. — DOI: 10.1134/S1028334X2260116X

Сведения об авторах

Зверева Анастасия Сергеевна, науч. сотр. Федерального государственного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН), г. Обнинск, Россия. E-mail: zvereva.as59@gmail.com

Клянчин Андрей Игоревич, инженер-исследователь ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия. E-mail: astrogeolog@mail.ru

Earthquake on January 24, 2024 near Krasnodar city, $M_w=4.1$, $I_0=5$

© 2024 A.S. Zvereva, A.I. Klianichin

GS RAS, Obninsk, Russia

Received April 6, 2024

Abstract The article presents instrumental and macroseismic data on the earthquake on January 24, 2024 at 11:19 (UTC), $M_w=4.1$, $h=8$ km. The earthquake parameters were determined using instrumental data from the network of regional seismic stations in the North Caucasus of the GS RAS. The earthquake parameters were determined from instrumental data from the network of regional seismic stations in the North Caucasus of the GS RAS. The source spectra of three regional seismic stations (GOYR, MRNR and GUZR) were calculated, from which the seismic moment M_0 , the stress drop $\Delta\sigma$ and the source radius R were determined. The solution of the focal mechanism was obtained from the polarization in P-waves at 71 seismic stations and the type of source fault with a right-lateral strike-slip component. The epicentral zone of the earthquake on 24.01.2024 is located within the high-magnitude Akhtyrka zone of potential earthquake source zones (ESZ) with $M_{max}=6.5-6.8$ and represents the boundary between the Northwestern part of the structures of the Greater Caucasus and the West Kuban trough. According to macroseismic survey in the regions, 300 respondents were interviewed in 20 settlements. The maximum observed intensity was $I=V$ MSK-64.

Keywords North Caucasus, seismicity, Akhtyrka flexure-fault zone, spectral parameters of the source, focal mechanism, macroseismic data.

For citation Zvereva, A.S., & Klianichin, A.I. (2024). [Earthquake on January 24, 2024 near Krasnodar city, $M_w=4.1$, $I_0=5$]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 6(2), 70-81. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2024.2.05>. EDN: WPLUZZ

References

- Brune, J.N. (1970). Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, 75(26), 4997-5009. DOI: 10.1029/JB075I026P04997
- Dyakonov, A.I., Baydov, P.K., & Kuzmenko, U.D. (1972). [Types of local structures of geosynclinal and transitional regions (on the example of the western end of the Greater Caucasus)]. In *Tektonika Sibiri. Tom 5. Printsipy tektonicheskogo raionirovaniia, tektonicheskaiia terminologiia i sistematika, tektonicheskie eksperimenty* [The tectonics of Siberia. Vol. 5. Principles of tectonic zoning, tectonic terminology and systematics, tectonic experiments] (pp. 149-153). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ).
- Elektronnoe izdanie "Atlas "Opornye geologo-geofizicheskie profili Rossii". Glubinnye seismicheskie razrezy po profilam GSZ, otrabotannym v period s 1972 po 1995 god"* [Electronic edition Atlas "Reference geological and geophysical profiles of Russia". Deep seismic sections along the profiles of the DSS, worked out from 1972 to 1995. (2013)]. Saint-Peterburg, Russia: VSEGEI Publ., 94 p. (In Russ). Retrieved from <https://vsegei.ru/ru/info/seismic/rukovodstvo.php>
- Euro-Mediterranean Seismological Centre (EMSC) (2024). Earthquake contributions. Retrieved from https://www.emsc-csem.org/Earthquake_data/
- Frolova, N.I., Gabsatarova, I.P., Suchshev, S.P., & Malaeva, N.S. (2023). [Seismic risk assessment in the Krasnodar krai territory]. *Voprosy inzhenernoi seismologii* [Problems of Engineering Seismology], 50(4), 36-57. (In Russ.). DOI: 10.21455/VIS2023.4-3
- Gabsatarova, I.P., Koroletski, L.N., Ivanova L.E., Sayapina A.A., Bagaeva, S.S., Adilov, Z.M., & Asmanov, O.A. (2023). [Seismicity of the Northern Caucasus in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 73-91. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2023.26.06. EDN: ZOYJVU
- German Research Centre for Geosciences (GFZ). (2024). Retrieved from <https://www.gfz-potsdam.de/en/>
- GOST R 57546-2017. (2017). [State Standard 57546-2017. Earthquakes. Seismic intensity scale]. Moscow, Russia: Standartinform Publ., 28 p. (In Russ.).
- Havskov, J., Voss, P.H., & Ottemöller, L. (2020). Seismological observatory software: 30 Yr of SEISAN. *Seismological Research Letters*, 91(3), 1846-1852. DOI: 10.1785/0220190313
- Institut seismologii i geodinamiki (strukturnoe podrazdelenie) FGAOU VO «Krymskii federal'nyi universitet imeni V.I. Vernadskogo»* [Institute of Seismology and Geodynamics (structural division) of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky]. (In Russ). Retrieved from <https://cfuv.ru/strukturnye-podrazdeleniya-i-filialy-2/institut-sejismologii-i-geodinamiki>

- Kanamori, H. (1977). The energy release in great earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, 82(20), 2981-2987. DOI: 10.1029/JB082I020P02981
- Kandilli Observatory & Eri Regional Earthquake-Tsunami Monitoring Center (KOERI). Earthquake Catalog. (2024). Retrieved from <http://www.koeri.boun.edu.tr/new>
- Klyanchin, A.I. (2019a). [Macroseismic manifestations of two sensible earthquakes on April 24 and September 13, 2018]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiia. Geologiya* [Scientific notes of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology], 5(S4), 95-105. (In Russ.). EDN: IIVCQA
- Klyanchin, A.I. (2019b). [Macroseismic manifestations of earthquakes on April 24, 2018 in the coastal zone of the Krasnodar Territory]. In *Issledovaniia i tvorcheskii proekty dlia razvitiia i osvoeniia problemnykh i pribrezhno-shelfovykh zon iuga Rossii: sbornik trudov X Vserossiiskoi Chernomorskoi shkoly-seminara molodykh uchenykh, aspirantov, studentov i shkol'nikov* [Research and creative projects for the development and development of problematic and coastal shelf zones in the south of Russia: Proceedings of the X All-Russian Black Sea School-seminar for young scientists, postgraduates, students and school-children] (pp. 207-213). Gelendzhik, Russia: Southern Federal University Publ. (In Russ.).
- Klyanchin, A.I., Zvereva, A.S., & Gabsatarova, I.P. (2023). [Earthquake of April 24, 2018, $K_R=10.5$, $M_w=3.9$, $I_0=5$ in the Anapa-Novorossiysk zone]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018-2019), 293-302. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2023.26.26. EDN: HYDJSS
- Kondorskaya, N.V., & Shebalin, N.V. (Eds.). (1977). *Novyi katalog sil'nykh zemletryasenii na territorii SSSR s drevnejshih vremyon do 1975 g.* [New catalogue of strong earthquakes on the territory of the USSR from ancient times to 1975]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 536 p. (In Russ.).
- Lander, A.V. (2018). [Program for calculating and graphing the mechanisms of earthquake sources by signs of the first arrivals of P-waves (FA)]. Certificate of state registration of a computer program No. 2018662004. (In Russ.).
- Last Earthquake (by Alert Service). (2024). GS RAS. Retrieved from http://www.ceme.gsras.ru/new/eng/ssd_news.htm
- Lee, W.H.K., & Valdes, C.M. (1985). HYP071PC: A personal computer version of the HYP071 earthquake location program. U.S. Geological Survey Open File Report 85-749, 43 p.
- National Earthquake Information Center (NEIC) (2024). Retrieved from <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/national-earthquake-information-center-neic>
- Nikonov, A.A. (1994). [Strong earthquake in the area Krasnodar reservoir - new estimates]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydraulic Engineering], 5, 35-38. (In Russ.).
- Norwegian Seismic Array (NORSAR) (2024). Retrieved from <https://www.norsar.no/home/>
- Republican Seismic Survey Center (RSSC) (2024). Retrieved from <https://seismology.az.ru>
- Rogozhin, E.A., Lutikov, A.I., Ovsyuchenko, A.N., Dontsova, G.Yu., & Sysolin, A.I. (2019). [Detailed seismic zoning of the North-West Caucasus taking into account the results of paleoseismogeological studies]. *Prirodnye i tehnogennye riski. Bezopasnost' sooruzheniy* [Natural and Technological Risks. Safety of Structures], 41(4), 32-38. (In Russ.). EDN: RDQFEA
- Rogozhin, E.A., Ovsyuchenko, A.N., Lutikov, A.I., Sobisevich, A.L., Sobisevich, L.E., & Gorbatiykov, A.V. (2014). *Endogennye opasnosti Bol'shogo Kavkaza* [Endogenous hazards of the Greater Caucasus]. Moscow, Russia: IPE RAS Publ., 256 p. (In Russ.). EDN: ZPKBCV
- SP 14.13330.2018. *Stroitel'stvo v seismicheskikh raionakh (aktualizirovannaya redaktsiia SNIIP 11-7-81)* [Building in seismic areas (updated version of SNIIP 11-7-81)]. (2018). Moscow, Russia: Standartinform Publ., 122 p. (In Russ.). Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/550565571>
- Trifonov, V.G., Soboleva, O.V., Trifonov, R.V., & Vostrikov, G.A. (2002). *Sovremennaya geodinamika Al'piiskogo Gimalaiskogo kollizionnogo poiasa* [Modern geodynamics of the Alpine-Himalayan Collisional Belt]. Moscow, Russia: GEOS Publ., 225 p. (In Russ.).
- Zvereva, A.S., Klyanchin, A.I., & Gabsatarova, I.P. (2021). [Earthquake on December 12, 2020 in the Anapa zone, $M_w=3.8$, $I_0=4-5$]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(2), 52-66. (In Russ.). DOI: 10.35540/2686-7907.2021.2.03. EDN: CBCGPE
- Zvereva, A.S., Sobisevich, A.L., & Gabsatarova, I.P. (2024). [Quality factor of the geophysical environment of the eastern zone of the North Caucasus]. *Fizika Zemli* [Physics of the Solid Earth], 1, 1-17. (In Russ.).
- Zvereva, A.S., Sobisevich, A.L., & Likhodeev, D.V. (2022). Moment and local magnitudes calibration for earthquakes in the Northwest Caucasus. *Doklady Earth Sciences*, 507 (Suppl. 2), S304-S312. DOI: 10.1134/S1028334X2260116X

Information about authors

Zvereva Anastasia Sergeevna, Researcher of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (GS RAS), Obninsk, Russia. E-mail: zvereva.as59@gmail.com

Klyanchin Andrei Igorevich, Researcher Engineer of the GS RAS, Obninsk, Russia. E-mail: astrogeolog@mail.ru