УДК 550.34.034

Инструментальные и макросейсмические параметры землетрясения 10 апреля 2024 г. с Ми=3.9 в Краснодарском крае

© 2024 г. А.С. Зверева, И.П. Габсатарова, А.И. Клянчин

ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия Поступила в редакцию 18.11.2024 г.

Аннотация. 10 апреля 2024 г. в Краснодарском крае произошло ощутимое землетрясение с Mw=3.9. Эпицентр его располагался в плотно населённой местности и последствия его имели широкий отклик у населения. В результате детального изучения землетрясения по инструментальным данным определены параметры его очага, включающие в себя положение гипоцентра и спектральные параметры, такие как сейсмический момент M_0 , величина сброшенных напряжений $\Delta \sigma$ и радиус разрыва R. По знакам первого вступления Р-волн рассчитан механизм очага землетрясения, который характеризуется как сдвиго-сброс. Проведено макросейсмическое обследование через источники сети Интернет: онлайн-анкетирование на сайте сейсмологических агентств, в группах социальной сети «ВКонтакте» и группах мессенджера «Telegram». На примере анализа макросейсмической информации землетрясения описывается процесс интерпретации сведений, собранных различными средствами Интернета и мобильной связи, который позволил расширить знания о характере макросейсмического поля. Для землетрясения 10 апреля 2024 г. определены значения балльности в 42 населённых пунктах территории Краснодарского края и Республики Адыгея, построена карта изосейст макросейсмического поля. Интенсивность колебаний в эпицентре оценена в 5 баллов и выявлено, что положение инструментального и макросейсмического очага землетрясения связано с Курджипской зоной ВОЗ.

Ключевые слова: сейсмичность, макросейсмические данные, зоны ВОЗ, изолинии балльности, спектральные параметры очага, механизм очага.

Для цитирования: Зверева А.С., Габсатарова И.П., Клянчин А.И. Инструментальные и макросейсмические параметры землетрясения 10 апреля 2024 г. с *Мw*=3.9 в Краснодарском крае // Российский сейсмологический журнал. – 2024. – Т. 6, № 4. – С. 39–52. – DOI: https://doi.org/10.35540/2686-7907.2024.4.03. – EDN: SRSKHZ

Введение

10 апреля 2024 г. в 22^h31^m UTC (11 апреля в 01^h31^m местного времени) в пограничной зоне между Краснодарским краем и Республикой Адыгея произошло ощутимое землетрясение с магнитудой Mw=3.9, $h=21 \ \kappa m$. Местоположение эпицентра по инструментальным данным — между городами Белореченск (18 κm) и Майкоп (8 κm) (рис. 1). Изучаемое землетрясение сопровождалось макросейсмическими проявлениями интенсивностью $I \le 5$ баллов.

Современный сейсмологический мониторинг территории Краснодарского края проводится региональной сетью сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН в непрерывном режиме, что позволяет оперативно оценивать параметры землетрясений. Начиная с 2018 г., в пределах изучаемой территории Северо-Западного Кавказа наблюдается активизация сейсмичности в Причерноморье и вблизи Краснодара, о чём свидетельствуют серии ощутимых землетрясений: в районе г. Анапы 24 апреля 2018 г. с *I*₀=5 баллов; 12 декабря 2020 г. с I_0 =4-5 баллов; вблизи г. Краснодара 24 и 25 ноября 2018 г. с $I_0 = 4$ и $I_0 = 5$ баллов соответственно; 24 января 2024 г. с $I_0=5$ баллов; около г. Белореченска 29 октября 2022 г. с I₀=3-4 балла; в районе г. Туапсе 1 сентября 2020 г. с $I_{\rm 0}{=}5{-}6$ баллов; с 13 по 25 мая 2023 г. – с І от 3 до 5 баллов (наиболее сильное из них 25 мая 2023 г. с I₀=5 баллов); 27 июля 2024 г. с I_0 =4 балла; в районе г. Сочи 2 марта 2022 г. с $I_0 = 4-5$ баллов; 22 мая 2022 г. с $I_0 = 5$ баллов, 30 мая 2022 г. с I₀=5 баллов; 20 декабря 2022 г.



Рис. 1. Положение эпицентра землетрясения 24 января 2024 г. и сейсмических станций региональной сети Северного Кавказа на фоне тектонических зон по В.Е. Хаину [*Хаин*, 1973].

СП – Ставропольское поднятие, ИКП – Индоло-Кубанский прогиб, ТКП – Терско-Каспийский прогиб с $I_0=3-4$ баллов [Габсатарова и др., 2024; Королецки и др., 2023; Зверева, Клянчин, 2024].

Исследуемые территории характеризуются высокой плотностью населения, и даже несильные землетрясения с *M*~3–4 здесь часто сопровождаются ощутимыми эффектами, что отражается на обеспокоенности населения и информационном «всплеске» в социальных сетях и мессенджерах.

В литературе неоднократно отмечалась важность и актуальность макросейсмических исследований, в частности, для решения задач сейсмической опасности. Сбор данных об интенсивности сотрясений в населённых пунктах способствует уточнению коэффициентов уравнения макросейсмического поля и выявлению локальных особенностей распределения интенсивности в баллах, проявляющейся в изометрической конфигурации поля изосейст. Несмотря на успешное развитие инструментальной сейсмологии, макросейсмические данные не могут быть полностью заменены другими методами оценки сейсмической опасности, особенно в оперативном режиме [Шебалин, 2003; Татевосян, 2013; Фролова и др., 2023].

Массовое развитие сети Интернет во всех сферах предоставило возможность

сбора информации об ощутимости в населённых пунктах, применяя как «активный» способ – через специализированные онлайнопросы на сайтах и новостных страницах, так и «пассивный», основанный на поиске сейсмологами откликов на эффекты от землетрясений в социальных сетях и мессенджерах. Подобного рода информация собирается в международных центрах: Европейском Средиземноморском сейсмологическом центре (EMSC) [Euro-Mediterranean ..., 2024], Геологической службе США, Национальном центре информации о землетрясениях (USGS NEIC) [National *Earthquake* ..., 2024] и российских региональных центрах ФИЦ ЕГС РАН – Северо-Осетинском филиале (https://sofgsras.ru), Байкальском филиале (https://seis-bykl.ru), Камчатском филиале (https://glob.emsd.ru), - и служит источником информации для оперативной оценки балльности в эпицентре и отдельных населённых пунктах. Задача сбора макросейсмической информации онлайн является актуальной и для исследуемой территории.

Таким образом, целью настоящего исследования являлось изучение параметров землетрясения 10 апреля 2024 г. по инструментальным и макросейсмическим данным с одновременным анализом возможной применимости данных об ощутимости в населённых пунктах, собранных посредством сети Интернета: на специализированных сайтах с помощью онлайн-опросов и в мессенджерах.

Инструментальные данные землетрясения 10 апреля 2024 г.

Инструментальные параметры землетрясения определены по данным 51 сейсмической станции сети, состоящей из 40 станций ФИЦ ЕГС РАН на Северном Кавказе [Габсатарова, Зверева, 2023], четырёх станций Крымской сети [Институт ..., 2024] и семи станций сейсмического мониторинга Грузии [*Ilia State University* ..., 2024] (рис. 1). Расчёт параметров гипоцентра реализован в программе HYPO71 [Lee, Valdes, 1985] с заданной скоростной моделью земной коры по данным ГСЗ [Краснопевцева, 1984] и уточнёнными отношениями скоростей сейсмических волн по графику Вадати. Локация проводилась по временам вступлений Р- и S-волн, полученных в результате обработки записей в программе WSG [Акимов, Красилов, 2020]. В табл. 1 представлены рассчитанные инструментальные параметры землетрясения.

После основного толчка 10 апреля 2024 г. в 22^h31^m с K_p=11.3 через 12 часов 11 апреля в 10^h45^m зарегистрирован слабый афтершок с К_р=6.8. На рис. 2а и 26 представлены записи основного толчка и афтершока на ближайших станциях. Слабый афтершок был хорошо записан только тремя станциями - «Гузерипль» (GUZR, Δ =74 км), «Марьино» (MRNR, Δ =91 км) и «Горный» (GRYR, ∆=105 км). Исследования сейсмических шумов в западной зоне Северного Кавказа показали, что эти станции обладают наиболее низким уровнем сейсмического шума и практически подобным днём и ночью [Malovichko et al., 2021]. Для всех других станций шум значительно повышается в дневные часы, когда и произошёл афтершок. Особенно это характерно для станции «Лабинск» (LABN) – несмотря на то, что она является ближайшей, афтершок не был зарегистрирован. Не зарегистрировала афтершок и другая из ближайших станций - «Краснодар» (KGUR) – из-за высокого уровня техногенных шумов в мегаполисе. На записи станций «Гойтх» (GOYR) при фильтровании в полосе 0.6-4.5 Ги выделяется лишь группа поперечных волн. Для выделения сейсмических фаз от афтершока 11 апреля на станции «Красная Поляна» (RPOR) требуется фильтрование записи в полосе 6–12 *Гц*.

Спектральные параметры очага

Расчёт спектральных параметров проведён в программном комплексе SEISAN [*Havskov et al.*, 2020], основанном на модели сейсмического источника по Дж. Брюну [*Brune*, 1970]. Подробнее методика изложена в работе [*Зверева*, *Клянчин*, 2024]. Расчёт спектра смещений объёмной *S*-волны проводился для четырёх сейсмических станций («Марьино» (MRNR, Δ =93 км), «Еремизино-Борисовская» (ERBR, Δ =122 км), «Шапсуг» (SPGR, Δ =154 км), «Анапа» (ANN, Δ =215 км)) (рис. 1). Критерием отбора были следующие параметры: отношение сигнала к уровню шума более 3, эпицентральное расстояние 50–250 км, соответствие модели Брюна. Сейсмический момент определялся по формуле:

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

где $G(\Delta, h)$ – геометрическое расхождение $(\Delta -$ эпицентральное расстояние, h -глубина); Ω_0 – спектральная плотность (*м*·*c*), определялась по низкочастотному уровню очагового спектра S-волн через сумму квадратов спектров горизонтальных компонент; $\rho = 2700 \kappa r/m^3 - плот$ ность; V=3400 м/с – скорость распространения S-волны; 0.6 – коэффициент, учитывающий средний эффект радиального расхождения лучей; 2.0 - коэффициент, учитывающий влияние эффекта свободной поверхности. На основании полученных спектральных параметров рассчитывался радиус круговой площадки в модели Брюна *R* (км) и статический сброс напряжений $\Delta \sigma$ (*бар*). Согласно дислокационной модели Брюна *R*:

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

где $f_{\rm c}$ — угловая частота. Статический сброс напряжений определялся как:

$$\Delta \sigma = \frac{0.44M_0}{R^2} \,. \tag{3}$$

Моментная магнитуда *Мw* рассчитывалась по формуле [*Kanamori*, 1977]:

$$Mw = 2/3(\lg M_0[H \cdot M]) - 6.06.$$
 (4)

Результаты расчёта спектральных параметров представлены в табл. 2.

Дата	$t_0,$	Ги	поцент	p	Энергетический класс,	CAD	AT.	
дд.мм.гггг	чч:мм:сс	φ, °N	λ, °E	һ, км	магнитуда	UAP	11	$V_{\rm P}/V_{\rm S}$
10.04.2024	22:31:18	44.66	40.03	21	$K_{\rm p}$ =11.3, <i>ML</i> =4.1, <i>Mw</i> =3.9	62	51	1.78
· · · ·	· · · ·			а			· · · ·	б
					GUZR/shz Pg	ويستعدوا ليتراث المالكي	. b . a.	
LABN/shzu3 5	6 км		Will Manufacture	hunninkan	24Apr11 10:44:00.00	. White a present of the second se	Å. 4. 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	
22:30:00.00	i di	un alla alla alla alla alla alla alla al	utolli con		GUZR/shn S			
GOYR/ehz		h			24Apr11		i filmen and	****
24Apr10	9 KM	M MAN WHANN	Huhmanym	mahrin	10:43:59.96	r hal		
22:30:00.00	II.	duh .			GUZR/she	ي بالمسابلة الألبان		
GUZR/shz 7	4 KM	ومحاذا بالاونوا والأنا الله	Hillerhaussia	m. have have merely	10:44:00.00	July Manufacture	1991 Barn 1992	
22:30:00.00	hali an		all di ta da se i se a se		MRNR/shz		Lut	
KGUR/bhz 8	8 км				24Apr11		MMWWWW	Mohowallum
24Apr10			MANNAM	Whentypervice	MRNR/shn			
22.30.00.00		' ¶'.			24Apr11	water of the second	hilling the second	esharifutanishan nana
MRNR/snz g 24Apr10	1 км	hhat had a second to the second s	White White	NNMNNNNN	10:43:59.98 MRNR/she	Sg	ı	
22:29:59.98	1.11.		l, hl		24Apr11			halle have a second
GRYR/shzu1 1 24Apr10	05 км	hieronia (martiniterania)	I WHEN ALL AND A WAY	ydynthationing	10:43:59.98	g ' '		
22:29:59.98		ן אי	h had of a	.,	24Apr11			white mark
SRGR/shz	07 ///		i Millin Instatore	J.u	10:44:00.00	ן אין יייייי ייי	1, 1 , 1, 1,	,
24Apr10				hinnin	GRYR/shnu1			والمتعادية والمتلا والمتلا والمتلا
22.30.00.00	·	1	ч Г л.		10:44:00.00		n, , in it with the	لىسىمە مرا، مالى بارسا
ERBR/shzu3	23 км				GRYR/sheu1	June 20	lu.	
22:30:00.00	'n	i da ala da		adital talent	24Apr11		n dalah pilangan Manangan pilangan	him in the second
22:31:15	22:31:30	1 1 22·31·45		2.00		00:01:45		2.00
22.01.10	Время (час:/	ин:сек)	22.02	2.00	Время (ча	с: <i>мин:сек</i>)	, 00.0	2.00

Таблица 1. Инструментальные параметры землетрясения 10 апреля 2024 г. по данным региональных станций ФИЦ ЕГС РАН

Рис. 2. Фрагменты записей основного толчка 10 апреля 2024 г. в $22^h 31^m$ с K_p =11.3 (а), и афтершока 11 апреля в $10^h 45^m$ с K_p =6.8 (б) ближайшими к эпицентру станциями

Таблица 2. Спектральные параметры очага землетрясения 10 апреля 2024 г.

Станция	$\lg M_0, H \cdot M$	Mw	Δσ, бар	R, км
MRNR «Марьино»	15.0	4.0	106	0.33
ERBR «Еремизино-Борисовская»	15.1	4.0	228	0.29
SPGR «Шапсуг»	14.9	3.9	81	0.43
ANN «Анапа»	14.9	3.9	85	0.34
Среднее	15.0±0.1	3.9±0.1	103±58	$0.36 {\pm} 0.07$

РОССИЙСКИЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ. 2024. Т. 6. № 4

Тектоническая позиция очага

В тектоническом плане эпицентральная зона землетрясения 10 апреля 2024 г. приурочена к зоне сочленения платформенных и орогенных структур и охватывает несколько крупных тектонических элементов, представляющих сложную систему разновозрастных поднятий и прогибов в основном запад—северо-западного (кавказского) простирания. Эти структуры разбиты продольными разрывами и осложнены поперечными поднятиями, опусканиями и разломами на отдельные блоки, обусловливающие наряду с продольной также и поперечную зональность. Главные тектонические элементы региона (рис. 1):

 – северный склон альпийского мегантиклинория Большого Кавказа;

 – сопряжённый с ним альпийский передовой Индоло-Кубанский прогиб (ИКП) на западе;

 Скифская (Предкавказская) эпигерцинская платформа, в южной части центральной зоны которой выделяются Ставропольское поднятие и Минераловодский выступ. Положение эпицентра землетрясения связано с Курджипской зоной ВОЗ (M_{max} =5.5) близмеридионального простирания (рис. 3), проходящей в зоне одноимённого разлома, который является северным продолжением Пшехско-Адлерской зоны поперечных разломов в области Предкавказского передового прогиба [*Рогожин и др.*, 2014; 2019]. С Курджипской зоной ВОЗ связаны очаги ощутимых землетрясений, произошедших 1 февраля 1994 г. (M=4.2, h=6 κm), 4 июня 1909 г. (M=4.4, h=14 κm) и 15 января 1873 г. (M=4.0, h=10 κm).

Механизм очага

По данным знаков первого вступления *P*-волны на 46 станциях, из которых 16 знаков «–» и 30 – «+», в программе FA A.B. Ландера [*Ландер*, 2018] построен механизм очага землетрясения 10 апреля 2024 г. (табл. 3).

Тип движения в очаге согласно механизму – сдвиго-сброс, северо-западное простирание нодальной плоскости *NP1* примерно совпадает с простиранием Курджипского разлома (рис. 3).



Рис 3. Карта распределения эпицентров землетрясений в районе г. Белореченска с 1799 г. по настоящее время на фоне зон ВОЗ [*Рогожин и др.*, 2019]

С	оси гла	вны	х напр	яжен	ний	Нодальные плоскости					Диаграмма	
	Т		N		Р		NP1		NP2		?	
PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
0	270	49	180	41	0	143	62	-148	37	62	-32	

Таблица 3. Параметры механизма очага землетрясения 10 апреля 2024 г.

По геофизическим данным, в поверхности фундамента Курджипский разлом образует относительно крутую ступень, в результате чего переходный комплекс пермь—триас, а вместе с ним и юрско-меловые отложения испытывают резкое опускание на 1500 *м*, тем самым образуя границу между Западно-Кубанским предгорным прогибом и крупной положительной морфоструктурой — Адыгейским выступом. Совпадение простирания и кинематики разлома и плоскости *NP1* позволяет назвать эту плоскость действующим разрывом.

Макросейсмические данные

Последнее время одним из основных источников информации является онлайн-анкетирование респондентов через интернет-сервисы сейсмологических агентств. Для территории Северного Кавказа анкеты об ощутимости землетрясений предложены для заполнения населением на сайтах Службы срочных донесений ФИЦ ЕГС РАН [Информация Службы ..., 2024] и Северо-Осетинского филиала ФИЦ ЕГС РАН (https://sofgsras.ru/nablyudeniya/soobshchit-ozemletryasenii). В анкетах респондентам предлагается заполнить соответствующие поля, где содержится основная информация о месте нахождения во время землетрясения, адрес, описание строения и того, как ощущалось землетрясение. Дополнительно проводится сбор информации на основании анкет Европейского Средиземноморского сейсмологического центра (EMSC) [Euro-Mediterranean ..., 2024], однако там нет представленных полей для заполнения, и население предоставляет информацию в свободной форме, что часто является недостаточным для корректной оценки.

Практика показывает, что современное население слабо откликается на работу с онлайнанкетами. С активным развитием социальных сетей и различных мессенджеров появилась возможность сбора информации о макросейсмическом проявлении землетрясений в различных новостных группах и каналах. Участники подобных новостных порталов и тематических групп более заинтересованы в получении информации о землетрясениях, а также быстрее реагируют на произошедшие события и оставляют свои отклики в виде комментариев, написанных в свободной форме.

Впервые сбор информации об ощутимости землетрясений с использованием социальной сети «ВКонтакте» для территории Северного Кавказа был проведён в 2019 г. в группах «Новороссийск» и «Анапа» для землетрясения 24 апреля 2018 г. с *Мw*=3.9, произошедшего Анапско-Новороссийской зоне [Клянчин, В 2019; Клянчин и др., 2023]. Подобный опыт сбора макросейсмической информации был применён для землетрясения 12 декабря 2020 г. в районе Анапы [Зверева и др., 2021], через сутки после которого был организован опрос в социальной сети «ВКонтакте» - были опрошены 144 респондента в 15 населённых пунктах за семь дней. Два землетрясения, вызвавших макросейсмический эффект, - 24 января 2024 г. в районе Краснодара и 10 апреля 2024 г. в районе Белореченска – привели к большому отклику и сильной реакции населения, поскольку эпицентры располагались в плотно населённом районе. К использованию данных из уже опробованных ранее источников, таких как онлайн-анкетирование на сайтах сейсмологических агентств и групп социальной сети «ВКонтакте», были добавлены группы мессенджера «Telegram», где население также охотно делится информацией об ощутимости.

Таким образом, для землетрясения 10 апреля 2024 г. по результатам макросейсмического обследования онлайн было получено 537 индивидуальных сообщений респондентов об ощутимости землетрясения на территории Краснодарского края и Республики Адыгея в 52 населённых пунктах на расстоянии от 6 до 152 *км* от инструментального эпицентра (рис. 4). Это было самое большое количество сообщений об ощутимости за весь период применения технологии сбора данных онлайн, что послужило основой для составления методики обработки подобных данных для территории Западного Кавказа.



Рис. 4. Карта расположения населённых пунктов, откуда поступили макросейсмические сведения о землетрясении 10 апреля 2024 г., и теоретические изосейсты, рассчитанные из уравнения макросейсмического поля

Для уточнения результатов онлайн-опроса населения об ощутимости землетрясения, где было недостаточно данных для первичной классификации балльности, были рассчитаны круговые теоретические изосейсты изучаемого землетрясения (рис. 4). Использование теоретического уравнения макросейсмического поля, связывающего магнитуду и глубину очага с интенсивностью на поверхности, является одним из основных методов оперативной оценки интенсивности произошедшего землетрясения. В общем виде уравнение макросейсмического поля имеет вид:

$$I = a \cdot M_{\rm s} - b \cdot \lg (H^2 + R^2)^{0.5} + c, \tag{5}$$

где $M_{\rm s}$ — магнитуда по поверхностным волнам, H — глубина очага (км), R — эпицентральное расстояние (км), a, b, c — эмпирические коэффициенты. Для территории Северного Кавказа существуют региональные значения a=1.6, b=3.1 и c=2.2, рассчитанные ранее Н.В. Шебалиным в [*Новый каталог* ..., 1975] и проверенные на ряде землетрясений Северо-Западного Кавказа. В настоящей работе используются эти коэффициенты и уравнение (5).

Анализ данных

Предварительный анализ данных показал, что землетрясение не вызвало повреждений зданий и каких-либо явлений на грунте, поэтому оценка интенсивности базировалась главным образом на реакции людей и предметов быта по шкале MSK-64 [Медведев и др., 1965]. Первичным этапом обработки данных респондентов была отбраковка малоинформативных данных, например, где есть только один критерий ощутимости колебаний: «Тряхнуло знатно», «Вибрация и гул», «Очень сильно почувствовал», «Трясло». Либо информация в общем виде «Ощущалось» для населённых пунктов, где уже имелись более информативные сообщения. Таким образом, было отбраковано 96 сообщений из общего числа.

Следующим этапом было присвоение значения средней балльности в населённом пункте, где была представлена в достаточном объёме информация об ощутимости (от пяти респондентов и более). Обращалось внимание на имеющиеся данные об этажах зданий, на которых находились респонденты. На основании проведённого анализа для 24 населённых пунктов были присвоены значения интенсивности в виде баллов (табл. 4, населённые пункты без символа «*»).

В населённых пунктах, которым были призначения *I*=4 и 5 баллов, своены свеления респондентов содержали в основном информацию о раскачивании телевизоров, мебели, грохоте падающей посуды и мелких предметов, в целом о сотрясении всего дома (большая часть населения проживает в индивидуальных домах частного сектора). Поскольку землетрясение произошло ночью, ощущавшие его люди просыпались от «тряски», «качания» и «смещения кровати». Многие отмечали громкий шум и гул. Когда данные не позволяли однозначно оценить интенсивность, например, в *I*=4 или 5 баллов, давался интервал *I*=4-5 баллов. Это значение балльности отражало неопределённость оценки.

Построение карты изосейст

На основании уравнения затухания вида (5) для 16 населённых пунктов, помеченных в табл. 4 символом «*», были уточнены и добавлены значения балльности, которые не были им присвоены на этапе первичного анализа. Ещё девять пунктов вошли в итоговую таблицу с отметкой «ощущали», поскольку более точного значения балльности присвоить им не удалось. Итоговое распределение пунктов-баллов показано на рис. 5 и в табл. 4.

На основании присвоенной балльности в населённых пунктах в результате комплексного анализа была построена карта изосейст макросейсмического поля (рис. 5). Уверенно удалось построить изосейсту для интенсивности I=4 балла, изосейсту для I=3 баллов в большей части, поскольку не было информации из населённых пунктов в юго-восточном направлении. Согласно уравнению макросейсмического поля, интенсивность в эпицентре составляла 5 баллов, по результатам опроса интенсивность в 5 баллов была выявлена только в одном населённом пункте - посёлке Родники Белореченского района. Изосейста со значением I=4-5 баллов проведена на основании данных в населённых пунктах, где ощутимость по описанию могла быть несколько выше I=4 балла, но информации

Таблица 4. М	акросейсмичес	ские данные
о землетрясени	ии 10 апреля 20	24 г. с <i>Мw</i> =3.9

No		A 1014
JN⊵	5 баллов	$\Delta, \kappa M$
1	Родники (5)	14
	4—5 баллов	
2	Гавердовский (9)	5
3	Майкоп (167)	8
4	Краснооктябрьский (6)	10
5	Приречный* (1)	11
6	Южный (6)	15
7	Белореченск (98)	17
8	Заречный* (4)	18
9	Новый* (2)	18
10	Дружный* (2)	21
11	Садовый* (1)	21
12	Гиагинская (15)	22
	4 балла	
13	Ханская (9)	6
14	Октябрьский* (1)	16
15	Пшехская* (3)	19
16	Тульский (12)	19
17	Кубанский* (2)	21
18	Цветочный* (2)	21
19	Кужорское* (1)	22
20	Долгогусевский* (1)	24
21	Курджипская* (1)	25
22	Шунтук (3)	26
23	Верхневеденеевский (2)	27
24	Апшеронск (4)	32
25	Безводная (2)	34
26	Ярославская (2)	35
27	Великовечное (3)	37
28	Каменномостский (3)	43
29	Даховская* (1)	50
30	Мемзай (2)	52
31	Михайлово* (1)	58
	3—4 балла	••••••
32	Васюринская (2)	70
33	Краснодар (25)	93
34	Кореновск (3)	100
	3 балла	
35	Горячий Ключ (3)	70
36	Динская (11)	88
37	Армавир (4)	95
38	Кропоткин* (1)	95
	2 балла	
39	Кошехабль (2)	46
40	Туапсе (2)	99
41	Сочи (2)	120
42	Невинномыск* (1)	152
	0 баллов	
43	Новомихайловский (1)	104
	Ощущали	
44	Северный (1)	7
45	Грушевый (1)	12
46	Подгорный (1)	13
47	Клермесская (1)	16
48	Совхозный (1)	17
49	Гурийская (1)	32
50	Абадзехская (1)	33
51	Бжедуховская (1)	33
52	Лазаревское (2)	100

Примечание: *- показаны населённые пункты, интенсивность сотрясений в которых уточнялась на основании попадания в область, оконтуренную теоретически рассчитанными изосейстами. В скобках показано количество респондентов в каждом населённом пункте.

для присвоения ей некоторого дробного значения, как это можно сделать по шкале ШСИ-17 [*ГОСТ* ..., 2017], было недостаточно, и поэтому изолиния со значением *I*=4–5 баллов проведена условно и лишь отражает неопределённость этой оценки между *I*=4 балла и *I*=5 баллов.

Характеристики очага и локальные грунтовые условия совместно определяют особенности макросейсмического поля. В связи с этим, в сравнении с теоретическими изосейстами, определёнными законом затухания макросейсмического поля, экспериментальные имеют более вытянутую форму в северо-западном направлении, особенно заметно данный эффект проявляется для изосейст *I*=4 и *I*=4-5 баллов. Вытянутость 4-5-балльной изосейсты вдоль реки Курджипс может быть связана с локальным усилением сотрясений из-за особенностей грунтов и, возможно, их обводнённости, так как большая часть населённых пунктов находится в поймах рек Курджипс и Пшеха. В тектоническом плане отмеченная вытянутость изосейст может быть связана с простиранием Курджипского разлома. Положение инструментального и макросейсмического очага землетрясения также связано с Курджипской зоной ВОЗ (рис. 6).



Рис. 5. Карта изосейст землетрясения 10 апреля 2024 г. и распределения пунктов-баллов

РОССИЙСКИЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ. 2024. Т. 6. № 4



Рис. 6. Карта зон ВОЗ по данным [*Рогожин и др.*, 2014; 2019] с отметкой инструментального и макросейсмического эпицентра землетрясения 10 апреля 2024 г. и наложенными изосейстами

Заключение

Выполнено детальное изучение землетрясения 10 апреля 2024 г. вблизи г. Белореченска по инструментальным и макросейсмическим данным, что позволило собрать обобщённую информацию и выделить его характерные особенности. Проведён расчёт спектральных параметров сейсмического момента M_0 , величины сброшенных напряжений $\Delta \sigma$ и радиуса разрыва R, а также получено значение моментной магнитуды Mw. По знакам первого вступления P-волн рассчитан механизм очага землетрясения, который характеризуется как сдвиго-сброс, что согласуется с кинематикой возможных подвижек в Курджипской зоне ВОЗ по данным [*Рогожин и др.*, 2014; 2019].

Материалы настоящей статьи показывают возможность использования для анализа макросейсмических данных в регионах с умеренной сейсмичностью и высокой плотностью населения информации, полученной «пассивным» онлайн способом сбора из социальных сетей и мессенджеров. Предложен подход для обработки и интерпретации таких данных, включающий в себя предварительный этап разбраковки исходных данных и присвоение населённым пунктам балльности с использованием теоретических изосейст, рассчитанных согласно уравнению макросейсмического поля.

Используя такой подход, для землетрясения 10 апреля 2024 г. удалось присвоить определённые значения балльности в 42 населённых пунктах и построить карту изосейст макросейсмического поля. Интенсивность колебаний в эпицентре оценена в 5 баллов, выявлено, что положение инструментального и макросейсмического очага землетрясения связано с Курджипской зоной ВОЗ.

В дальнейшем для изучаемой территории планируется использовать результаты «пассивного» метода сбора совместно с данными других способов получения макросейсмической информации через Интернет. Безусловно, в качестве основного и предпочтительного источника макросейсмических данных в случае землетрясений с $M \le 5$ будет приниматься информация, собранная по непосредственному опросу населения и/или с помощью онлайн-анкеты, разработка которой и её продвижение через социальные сети и мессенджеры является ближайшей задачей сейсмологического центра ФИЦ ЕГС РАН. Также для вовлечения в процесс сбора макросейсмических данных более широких кругов населения необходимо расширение работ по популяризации информации о землетрясениях среди местного населения.

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

Акимов А.П., Красилов С.А. Программный комплекс WSG «Система обработки сейсмических данных» / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020664678 от 16.11.2020. – EDN: IJOVUE

Габсатарова И.П., Зверева А.С. Сейсмический мониторинг Северного Кавказа в первую четверть XXI века // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Том XIII. – М.: ИИЕТ РАН, 2023. – С. 257–264. – DOI: 10.26200/GSTOU.2023.81.74.035. – EDN: KRSENW Габсатарова И.П., Коломиец Ю.Н., Королецки Л.Н., Адилов А.З., Магомедов Х.Д., Саяпина А.А., Багаева С.С., Походенко В.П., Иванова Л.Е. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов

России. Северный Кавказ // Землетрясения России в 2022 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2024. – С. 23–30. – EDN: IFQFOM

ГОСТ Р 57546—2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. — Введ. 2017-07-19. — М.: Стандартинформ, 2017. — 28 с. — URL: https:// docs.cntd.ru/document/1200146265

Зверева А.С., Клянчин А.И. Землетрясение 24 января 2024 г. в районе г. Краснодара с *Мw*=4.1, *I*₀=5 баллов // Российский сейсмологический журнал. – 2024. – Т. 6, № 2. – С. 70–81. – DOI: 10.35540/2686-7907.2024.2.05. – EDN: WPLUZT Зверева А.С., Клянчин А.И., Габсатарова И.П. Землетрясение 12 декабря 2020 г. в Анапской зоне с Mw=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: СВССРЕ

Институт сейсмологии и геодинамики (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» [сайт]. – URL: https://cfuv.ru/strukturnye-podrazdeleniyai-filialy-2/institut-sejjsmologii-i-geodinamiki

Информация Службы срочных донесений // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: http://www.gsras.ru/ new/ssd.htm (дата обращения 11.04.2024).

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. – 2019. – Т. 5, № S4. – С. 95–105. – EDN: IIVCQA

Клянчин А.И., Зверева А.С., Габсатарова И.П. Землетрясение 24 апреля 2018 г. с K_p =10.5, Mw=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

Королецки Л.Н., Габсатарова И.П., Клянчин А.И. Туапсинская активизация в мае 2023 г. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XVII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2023. – С. 56. – EDN: CLLCMI

Краснопевцева Г.В. Глубинное строение Кавказского сейсмоактивного региона. – М.: Наука, 1984. – 108 с.

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

Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.

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., Овсюченко А.Н., Донцова Г.Ю., Кучай М.С., Акимов В.А., Раджендран С.П. Опыт детального сейсмического районирования Северо-Западного Кавказа с учётом результатов палеосейсмогеологических исследований // Предупреждение чрезвычайных ситуаций: Опыт. Реалии. Перспективы. Материалы XXIV Международной научно-практической конференции по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2019. – С. 288–294. – EDN: ZFNQDN

Рогожин Е.А., Овсюченко А.Н., Лутиков А.И., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Горбатиков А.В. Эндогенные опасности Большого Кавказа. – М.: ИФЗ РАН, 2014. – 256 с. – EDN: ZPKBCV

Татевосян Р.Э. Макросейсмические исследования. – М.: ООО «Наука и образование», 2013. – 384 с. – EDN: WIVADF

Фролова Н.И., Габсатарова И.П., Сущев 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

Хаин В.Е. Кавказ. Тектоническая карта. – М: 1:5 500 000 // Большая Советская Энциклопедия. Т. 11. – М.: «Советская энциклопедия», 1973. – С. 112–114.

Шебалин Н.В. Количественная макросейсмика (фрагменты незавершенной монографии) // Магнитное поле Земли: математические методы описания. Проблемы макросейсмики: Сб. науч. тр. – М.: ГЕОС, 2003. – С. 57–200. (Вычислительная сейсмология. Вып. 34).

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/JB0751026P04997

Euro-Mediterranean Seismological Centre (EMSC). Earthquake contributions [Site]. – URL: https://www. emsc-csem.org/Earthquake_data/ (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, Iss. 3. – P. 1846–1852. – DOI: 10.1785/0220190313

Ilia State University - Seismic Monitoring Centre of Georgia. National Seismic Network of Georgia // International Federation of Digital Seismograph Networks. – DOI: 10.7914/1ух9-8844 (дата обращения 15.03.2024).

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

Lee W.H.K., Valdes C.M. HYP071PC: A personal computer version of the HYPO71 earthquake location program // Open File Report 85-749. – U.S. Geological Survey, 1985. – 43 p. – DOI: 10.3133/ofr85749

Malovichko A.A., Gabsatarova I.P., Dyagilev R.A., Mekhryushev D.Yu., Zvereva A.S. Evaluation of the detection and location capability of the seismic network in the western part of the North Caucasus using network layout and local microseismic noise level // Seismic Instruments. – 2021. – V. 57, N 2. – P. 209–230. – DOI: 10.3103/S0747923921020274. – EDN: SFCIWL

National Earthquake Information Center (NEIC) [Site]. – URL: https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/national-earthquake-information-center-neic (дата обращения 15.05.2024).

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

Габсатарова Ирина Петровна, канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия. E-mail: ira@gsras.ru

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

Instrumental and macroseismic parameters of the earthquake on April 10, 2024 with Mw=3.9 in Krasnodar region

© 2024 A.S. Zvereva, I.P. Gabsatarova, A.I. Klyanchin

GS RAS, Obninsk, Russia

Received November 18, 2024

Abstract On April 10, 2024, an earthquake with Mw=3.9 occurred in the Krasnodar Territory, causing a macroseismic effect. The epicenter of the earthquake was located in a densely popu-lated area and its consequences had a wide response among the population. As a result of a de-tailed study of the earthquake using instrumental data, the parameters of its source were deter-mined, including the position of the hypocenter and spectral parameters, such as the seismic moment M_0 , the magnitude of the discharged stresses $\Delta \sigma$ and the rupture radius R. A macroseis-mic survey was conducted through online Internet sources on the website of seismological agen-cies, VKontakte social network groups and the Telegram messenger group. Using the example of analyzing macroseismic information from an earthquake, the process of interpreting data col-lected by various Internet and mobile communication means is described, which allowed ex-panding knowledge about the nature of the macroseismic field. For the earthquake of 10.04.2024, the intensity values were determined in 42 populated areas of the Krasnodar Territo-ry and the Republic of Adygea, a map of isoseismic fields of the macroseismic field was con-structed. The intensity at the epicenter was estimated at 5 points and it was revealed that the po-sition of the instrumental and macroseismic source of the earthquake is associated with the Kur-dzhip zone of the ESZ.

Keywords seismicity, macroseismic data, ESZ zones, intensity isolines, spectral parameters of the source, source mechanism.

For citation Zvereva, A.S., Gabsatarova, I.P., & Klyanchin, A.I. (2024). [Instrumental and macroseismic parameters of the earthquake on April 10, 2024 with Mw=3.9 in Krasnodar region]. Rossiiskii seismologicheskii zhurnal [Russian Journal of Seismology], 6(4), 39-52. (In Russ.). DOI: https://doi. org/10.35540/2686-7907.2024.4.03. EDN: SRSKHZ

References

Akimov, A.P., & Krasilov, S.A. (2020). [WSG software package "Seismic data processing system"]. Certificate of state registration of a computer program No. 2020664678. (In Russ.). – EDN: IJOVUE

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/ JB0751026P04997

Earthquake contributions. (2024). *Euro-Mediterranean* Seismological Centre (EMSC). Retrieved from https://www. emsc-csem.org/Earthquakedata/

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*. EDN: IUTQNT

Gabsatarova, I.P., Kolomiets, Yu.N., Koroletski, L.N., Adilov, A.Z., Magomedov, Kh.D., Saiapina, A.A., Bagaeva, S.S., Pokhodenko, V.P., & Ivanova, L.E. (2024). [Results of seismic monitoring of various regions of Russia. North Caucasus]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2022 godu* [Earthquakes in Russia in 2022] (pp. 23-30). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.). EDN: IFQFOM

Gabsatarova, I.P., & Zvereva, A.S. (2023). [Seismic monitoring of the North Caucasus in the first quarter of the 21st century]. In *Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza. Materialy XIII Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Tom XIII* [Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus. Materials of the XIII All-Russian Scientific and Technical Conference with international participation. Vol. XIII] (pp. 257-264). Moscow, Russia: IIET RAS Publ. (In Russ.). DOI: 10.26200/GSTOU.2023.81.74.035. EDN: KRSENW

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., & Ottem ller, L. (2020). Seismological observatory software: 30 Yr of SEISAN. *Seismological Research Letters*, *91*(3), 1846-1852. DOI: *10.1785/0220190313*

РОССИЙСКИЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ. 2024. Т. 6. № 4

Ilia State University - Seismic Monitoring Centre of Georgia. (1988). *National Seismic Network of Georgia* [Data set]. International Federation of Digital Seismograph Networks. DOI: 10.7914/1yx9-8844

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-sejjsmologii-i-geodinamiki

Kanamori, H. (1977). The energy release in great earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, *82*(20), 2981-2987. DOI: *10.1029/JB0821020P02981*

Khain, V.E. (1973). [Caucasus. Tectonic map. M: 1:5 500 000]. In *Bol'shaia Sovetskaia Entsiklopediia*, *T. 11* [Great Soviet Encyclopedia, V. 11] (pp. 112-114). Moscow, Russia: Soviet Encyclopedia Publ. (In Russ.).

Klyanchin, A.I. (2019). [Macroseismic manifestations of two sensible earthquakes on April 24 and September 13, 2018]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiia. Geologiia* [Scientific notes of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology], *5*(S4), 95-105. (In Russ.). EDN: IIVCQA

Klyanchin, A.I., Zvereva, A.S., & Gabsatarova, I.P. (2023). [Earthquake of April 24, 2018, $K_R=10.5$, Mw=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). *Novyj* katalog sil'nyh zemletryasenij 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).

Koroletski, L.N., Gabsatarova, I.P., & Klyanchin, A.I. (2023). [Tuapse activation in May 2023]. In *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh. Tezisy XVII Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly. Otv. red. A.A. Malovichko* [Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Abstracts of the XVII International Seismological Workshop. Resp. ed. A.A. Malovichko] (pp. 56-56). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.). EDN: CLLCMI

Krasnopevtseva, G.V. (1984). *Glubinnoe stroenie Kavkazskogo seismoaktivnogo regiona* [Deep structure of the Caucasus seismically active region]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 108 p. (In Russ.).

Lander, A.V. (2018). [Program for calculating and graphically representing earthquake focus mechanisms based on the signs of the first arrivals of P-waves]. Certificate of state registration of a computer program No. 2018662004. (In Russ.). EDN: GTRUYE Last Earthquake (by Alert Service). (2024). GS RAS. Retrieved from http://www.ceme.gsras.ru/new/eng/ssdnews.htm

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

Malovichko, A.A., Gabsatarova, I.P., Dyagilev, R.A., Mekhryushev, D.Yu., & Zvereva, A.S. (2021). Evaluation of the detection and location capability of the seismic network in the western part of the North Caucasus using network layout and local microseismic noise level. *Seismic Instruments*, 57(2), 209-230. DOI: 10.3103/ S0747923921020274. EDN: SFCIWL

Medvedev, S.V., Sponheuer, W., & Karnik, V. (1965). *Shkala seismicheskoi intensivnosti MSK-64* [Seismic Intensity Scale MSK-64]. Moscow, Russia: Interdepartmental Geophysical Commission of the USSR Acad. Sci. Publ., 11 p. (In Russ.).

National Earthquake Information Center (NEIC). (2024). Retrieved from *https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/national-earthquake-information-center-neic*

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., & Gorbatikov, A.V. (2014). *Endogennye opasnosti Bol'shogo Kavkaza* [Endogenuos hazards of the Greater Caucasus]. Moscow, Russia: IPE RAS Publ., 256 p. (In Russ.). EDN: ZPKBCV

Shebalin, N.V. (2003). [Quantitative macroseismics (fragments of an unfinished monograph)]. In *Magnitnoe pole Zemli: matematicheskie metody opisaniia. Problemy makroseismiki: Sb. nauch. tr.* [The Earth's magnetic field: mathematical methods of description. Problems of macroseismics: Coll. scientific works] (pp. 57-200). Moscow, Russia: GEOS Publ. (Computational Seismology; Iss. 34). (In Russ.).

Tatevosyan, R.E. (2013). *Makroseismicheskie issledovaniia* [Macroseismic research]. Moscow, Russia: LLC "Science and Education" Publ., 384 p. (In Russ.). EDN: WIVADF Zvereva, A.S., Klyanchin, A.I., & Gabsatarova, I.P. (2021). [Earthquake on December 12, 2020 in the Anapa zone with Mw=3.8, I_0 =4–5 points]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Seismological Journal], *3*(2), 52-66. (In Russ.). DOI: *10.35540/2686-7907.2021.2.03*. EDN: CBCGPE

Zvereva, A.S., & Klyanchin, A.I. (2024). [Earthquake on January 24, 2024 in the area of Krasnodar with Mw=4.1, $I_0=5$ points]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Seismological Journal], 6(2), 70-81. (In Russ.). DOI: 10.35540/2686-7907.2024.2.05. EDN: WPLUZT

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

Gabsatarova Irina Petrovna, PhD, Leading Researcher of the GS RAS, Obninsk, Russia. E-mail: ira@gsras.ru **Klyanchin Andrei Igorevich**, Researcher Engineer of the GS RAS, Obninsk, Russia. E-mail: astrogeolog@mail.ru