

УДК 550.348.436

Землетрясение 12 декабря 2020 г. в Анапской зоне с $M_w=3.8$, $I_0=4-5$ баллов

© 2021 г. А.С. Зверева¹, А.И. Клянчин², И.П. Габсатарова³

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь, Россия; ²ФИЦ ЕГС РАН, г. Санкт-Петербург, Россия;

³ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия

Поступила в редакцию 19.02.2021 г.

Аннотация. Приводятся инструментальные и макросейсмические данные о землетрясении 12.12.2020 г. в 14:54 с $M_w=3.8$, $h=30$ км. Эпицентр и параметры землетрясения определены по инструментальным данным сети региональных сейсмических станций западной зоны Северного Кавказа ФИЦ ЕГС РАН. Изучаемое землетрясение произошло в шельфовой зоне Восточного Причерноморья вблизи г. Анапы, в Анапском сейсмоактивном районе, в месте сочленения северного борта Туапсинского прогиба и надвигового фронта Большого Кавказа. Для землетрясения был рассчитан механизм очага. Решение механизма очага получено по поляризации в P -волнах на 29 сейсмических станциях. Получен тип движения взбросо-надвиг. Через сутки после землетрясения было организовано макросейсмическое обследование по районам Анапы и Новороссийска в социальной сети «ВКонтакте», по результатам которого были опрошены 144 респондента в 15 населённых пунктах за семь дней. Максимальная наблюдаемая интенсивность сотрясения составила $I=4-5$ баллов в посёлке Су-Псех и селе Варваровка. По результатам макросейсмического опроса была построена карта распределения пунктов-баллов. В программном комплексе SEISAN в порядке опытной эксплуатации рассчитаны спектральные параметры очага: сейсмический момент, угловая частота, уровень спектральной плотности и спектральная магнитуда M_w .

Ключевые слова: землетрясение, Анапская сейсмоактивная зона, сейсмичность Северного Кавказа, макросейсмический эффект, спектральные параметры очага, механизм очага.

Для цитирования: 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: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.2.03>

Введение

12 декабря 2020 г. в 14:54 (17:54 местного времени) в акватории Чёрного моря вблизи г. Анапы произошло ощутимое землетрясение с $M_w=3.8$, $h=30$ км. Положение эпицентра, полученного по инструментальным данным, оказалось в шельфовой части Черноморского побережья, вблизи посёлка Сукко (13 км).

Эпицентр землетрясения относится к Анапскому сейсмоактивному региону, являющемуся частью единой Анапско-Новороссийско-Геленджикской сейсмогенной зоны, расположенной в районе северо-западного сочленения структур Большого Кавказа с Туапсинским передовым прогибом и Восточно-Черноморской плитой.

Прилегающая к побережью территория имеет высокую плотность населения и является местом сосредоточения культурной и хозяйственной деятельности. Расстояние от эпицентра землетрясения до ближайших крупных курорт-

ных центров Сукко и Анапа составило не более 13 и 20 км соответственно. Поскольку Анапский сейсмоактивный район известен макросейсмическими проявлениями землетрясений ещё с XVII в., данная зона требует более детального изучения. Одна из последних оценок сейсмической опасности этой территории в масштабе карт детального сейсмического районирования с привлечением палеосейсмологических данных [Рогожин и др., 2014; Рогожин и др., 2019] показывает, что северо-западный сегмент Большого Кавказа является сейсмоопасной областью, где уровень сейсмических воздействий достигает 7.5 и даже 8 баллов по картам А и В [Рогожин и др., 2014]. «Это представляется очень существенным на фоне активного хозяйственного освоения территории в ходе проектирования, строительства и эксплуатации строительных объектов разной степени ответственности и, в частности, трубопроводных систем высокого давления» [Рогожин и др., 2014].

Немаловажно изучение умеренной и слабой сейсмичности в этом регионе, результаты которого дополняют данные по сильным землетрясениям и расширяют представление о сейсмичности района.

Инструментальные данные и методика обработки

Первичные параметры гипоцентра землетрясения были получены в Службе срочных донесений (ССД) ФИЦ ЕГС РАН [Виноградов и др., 2021], куда в режиме, близком к реальному времени, поступают записи более 50 сейсмических станций России и мира.

Уточнение параметров исследуемого землетрясения проводилось с использованием данных сети региональных станций. Запись волновых форм землетрясения представлена на рис. 1. Современный сейсмический мониторинг на Северном Кавказе производится региональной сетью ФИЦ ЕГС РАН в непрерывном режиме наблюдений. В настоящее время в западной зоне работают 20 сейсмических станций, записи которых передаются в центры сбора и обработки и сохраняются в архивах ФИЦ ЕГС РАН.

В 2018–2019 гг. в Анапском сейсмоактивном районе был открыт ряд новых сейсмических станций: «Сукко» (код станции SUKR), «Шапсуг» (SPGR), «Гладковская» (GLDR), «Геленджик» (GELR) и «Таманский» (TMNR) (рис. 2). Было обеспечено повышение чувствительности сети в этой зоне на территории Западного Кавказа до уровня регистрации $K_{pmin}=6.0$ [Маловичко и др., 2020].

Для определения параметров гипоцентров землетрясений в рутинной практике была использована программа HYPO71 [Lee, Valdes, 1985] с заданной скоростной моделью земной коры для Западного Кавказа по [Краснопецева, 1984]. Локация проводилась на основании времён вступлений P - и S -волн. Основными критериями для выбора лучшего решения являлись минимальные ошибки времени в очаге (RMS) и ошибки положения гипоцентра (ERH , ERZ), а также минимальные невязки по времени вступления сейсмических фаз на ближайших к эпицентру станциях: «Сукко» SUKR ($\Delta=13$ км), «Анапа» ANN ($\Delta=20$ км), «Гладковский» GLDR ($\Delta=43$ км), «Шапсуг» SPGR ($\Delta=59$ км). Кроме данных региональной сети сейсмических станций в обработке использовались записи волновых форм сейсмических станций Крымской сети, которые в настоящее время также поступают в центр сбора данных ФИЦ ЕГС РАН в непрерывном режиме. Это позволило существенно улучшить окружение эпицентра станциями в исследуемой зоне.

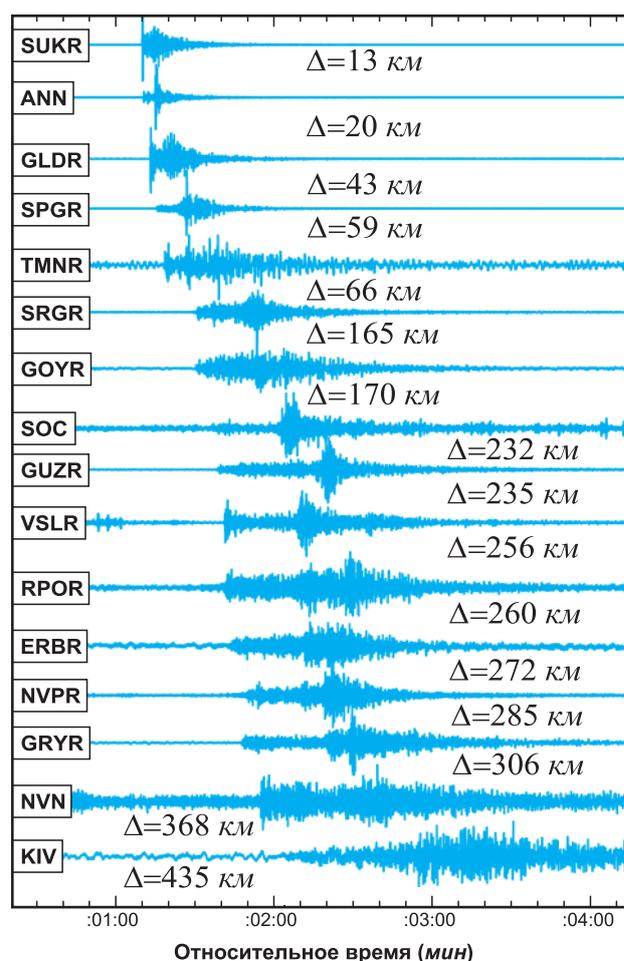


Рис. 1. Сейсмограммы (вертикальные компоненты) землетрясения 12 декабря 2020 г. по данным сейсмических станций региональной сети Западного Кавказа

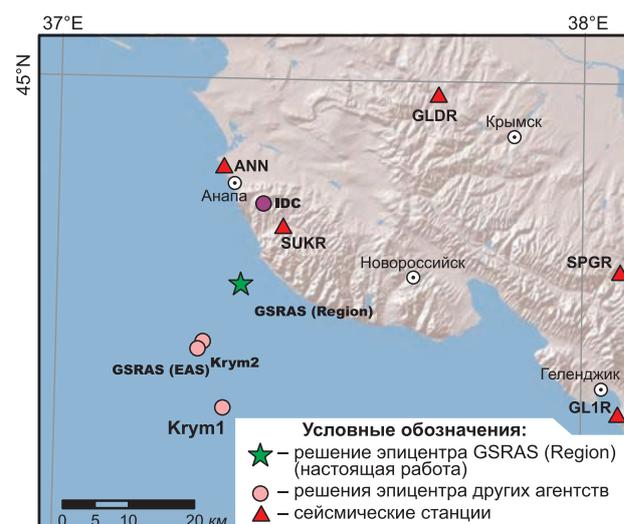


Рис. 2. Положение эпицентра землетрясения 12 декабря 2020 г. по данным разных агентств

На рис. 2 представлена карта положения эпицентра землетрясения 12.12.2020 г., а в табл. 1

Таблица 1. Основные параметры землетрясения 12 декабря 2020 г. по данным ФИЦ ЕГС РАН и других агентств

Код агентства	t_0 , чч:мин:сс	δt_0 , с	Гипоцентр			Магнитуда ¹	n ст.	Δ_{\min}	Δ_{\max}	GAP
			φ , °N	λ , °E	h , км					
GSRAS (EAS) [ССД ..., 2021]	14:54:23.0		44.63	37.27	10	$m_b=4.3/5$	22	0.2	28.22	159
GSRAS (Region) наст. раб.	14:54:24.4	0.4	44.72	37.35	30	$MPVA=4.5/18$ $K_p=10.1$ $M_w=3.8$	23	0.15	4.58	141
Krym1	14:54:23.8	0.6	44.55	37.32	21	$K_p=9.9/10$ $K_d=10.2/9$ $MSH=3.2/9$ $Md=3.3/9$	12	0.25	3.8	
Krym2	14:54:24.3	0.2	44.64	37.28	25	$K_p=9.9/10$ $K_d=10.2/9$ $MSH=3.2/9$ $Md=3.3/9$	12	0.25	3.8	
IDC [International ..., 2021]	14:54:19.59	0.78	44.83	37.39	$0f^2$	$m_b=3.7/12$ $ML=3.6/9$	24	3.9	73.93	87

Примечания – ¹ – в столбце «Магнитуда» после косой черты указывается число сейсмических станций, по которым вычислено среднее сетевое значение (например, $m_b=4.3/5$); ² – буквой f обозначена фиксированная глубина h гипоцентра; GSRAS (EAS) – Служба срочных донесений (Early Alert System) ФИЦ ЕГС РАН [ССД ..., 2021]; GSRAS (Region) настоящая работа – Сейсмологический бюллетень для территории Северного Кавказа, выпускаемый в ФИЦ ЕГС РАН на основании наблюдений станций Северного Кавказа; Krym1, Krym2 – Сейсмологический бюллетень Института сейсмологии и геодинамики Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского (Krym1 и Krym2 – два варианта локации, выполненные по различным программам); IDC (Reviewed Event Bulletin of the STBT_IDC) – Международный центр, Австрия, Вена (данные получены из бюллетеня Международного сейсмологического центра (ISC), Великобритания) [International ..., 2021].

– его параметры, полученные разными агентствами. Видно, что наблюдаются расхождения в определениях параметров эпицентра как в пространстве, так и по глубине.

Наибольшие отклонения наблюдаются для решения, полученного в Международном центре IDC в Австрии, причиной этого является отсутствие близких станций, используемых для локации в этом центре.

При сравнении результатов первичной локации, полученной в ССД и уточнённой с использованием данных региональной сети сейсмических станций Западного Кавказа, наблюдается смещение эпицентра на 12 км в северо-восточном направлении и увеличение глубины h с 10 до 30 км. Решение по данным региональной сети было выбрано как более точное, поскольку для его расчёта использовалось максимальное количество сейсмических станций, расположенных вблизи эпицентра с удовлетворительным значением азимутального створа ($GAP=141^\circ$), ближайшие станции (SUKR и ANN) были удалены на 13–20 км.

Тектоническая позиция очага

Анапско-Новороссийско-Геленджикская сейсмогенная зона в тектоническом отношении включает в себя следующие элементы [Несмеянов, 1991; Рогожин и др., 2014]:

– Азово-Кубанская впадина, сочленяющая структуры Большого Кавказа со Скифской плитой, южная часть Индоло-Кубанского краевого прогиба (часть впадины);

– Керченско-Таманская зона поперечного погружения;

– район Чёрного моря, лежащий между прогибом Сорокина, протягивающимся вдоль крымского побережья, и Туапсинским прогибом, вытянутым вдоль кавказского побережья;

– западные отроги Большого Кавказа;

– Туапсинский прогиб, отделяющий надвиг Большого Кавказа от Восточно-Черноморской плиты.

Отличительной особенностью сеймотектонических процессов в этой зоне является

сравнительно глубокое залегание очагов землетрясений – 20–50 км.

Результаты детальных сеймотектонических исследований, опубликованные в работе [Рогожин и др., 2014], дают представление об особенностях кинематики сеймотектонических процессов. Несмотря на многочисленные свидетельства сейсмоактивности поперечных структур, выявляется активность структур общекавказского простирания. Анапская флексура является крупнейшей активной структурой региона и имеет более глубокое заложение и поперечное простирание, чем исследованные активные разломы, представляющие собой очаги среднекоревых или мелкофокусных палеоземлетрясений продольной ориентировки. По сейсмологическим данным, основные движения, ответственные за формирование флексуры, происходят в нижней коре и, вероятно, в мантии, что сопровождается сжатием вдоль структур общекавказского простирания. Эти глубинные деформации в верхней коре могут вызывать растяжение и сдвиговые движения по верхнекоревым структурам продольного простирания [Рогожин и др., 2014].

Рассматриваемое землетрясение произошло в шельфовой зоне Восточного Причерноморья вблизи Анапы. Тектоническую позицию очага рассмотрим на основании представлений, изло-

женных в [Казьмин и др., 2004]. Известно, что сейсмические и структурные данные позволяют выделить Восточно-Черноморскую микроплиту с чётко выраженными границами. Северной границей микроплиты является крупнейший надвиговый фронт, отделяющий складчатый пояс Большого Кавказа от Закавказского массива. Фронт образован несколькими сближенными взбросами и надвигами, имеющими северо-западное (310°) простирание. В районе Сочи фронт пересекает береговую линию Чёрного моря вдоль верхней части континентального склона до Таманского полуострова. Перед надвиговым фронтом Кавказа в акватории Чёрного моря расположен передовой Туапсинский прогиб [Казьмин и др., 2004]. В месте сочленения северного борта Туапсинского прогиба и надвигового фронта Большого Кавказа и произошло исследуемое землетрясение.

История сейсмичности региона

Анапский сейсмоактивный район давно известен своей повышенной сейсмической активностью (рис. 3). По макросейсмическим данным, землетрясения в этой зоне, имевшие интенсивность 6–7 баллов и $M \approx 5$, известны с XVIII в. [Габсатарова и др., 2018; Новый каталог ..., 1977]. В данном районе в XIX–XX столетиях

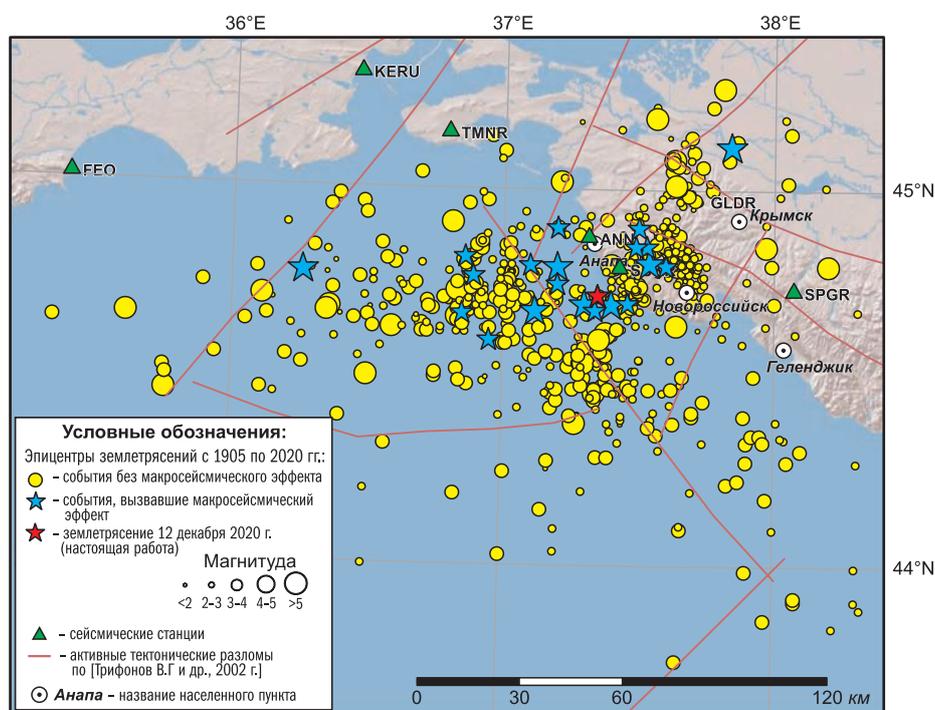


Рис. 3. Карта распределения эпицентров землетрясений в Анапском сейсмоактивном районе с 1905 по 2020 г. на фоне активных тектонических разломов по В.Г. Трифонову [Трифонов и др., 2002]

ощущалось большое количество 6-балльных толчков, наиболее представительные из них:

Нижнекубанское-I 1879 г. в нижнем течении реки Кубани, которое ощущалось на большой территории [Новый каталог ..., 1977]. Позже здесь произошли Анапское-III (1905 г., $M=5.1$, $I_0=6-7$ баллов) и Анапское-IV (12.07.1966 г., $M=5.3$, $I_0=7$ баллов) землетрясения [Габсатарова и др., 2018; Новый каталог ..., 1977].

Инструментальный период регистрации сейсмических событий в Анапском сейсмоактивном районе начался в 1905 году. На рис. 4 представлено распределение землетрясений во времени. Видно, что с 1968 г., с момента открытия сейсмической станции «Анапа», наблюдается рост числа зарегистрированных событий и увеличивается представительность событий с магнитудой $M=2.0-4.0$. Цифровое регистрационное оборудование было установлено в июле 2002 года.

В этот период времени в Анапской зоне 9 ноября 2002 г. зафиксировано Нижнекубанское-II

землетрясение [Габсатарова и др., 2008]. Его эпицентр располагался в пределах очаговой области 7-балльного исторического Нижнекубанского-I землетрясения 19 октября 1879 г. с магнитудой $M=5.7$, которое ощущалось на всей территории Нижнекубанской области вплоть до Крыма [Новый каталог ..., 1977]. Землетрясение 9 ноября 2002 г. также ощущалось на обширной территории Краснодарского края с интенсивностью от 5–6 баллов до 2 баллов. По оценке сейсмической опасности этой зоны, выделяется прибрежный участок, потенциально возможный для возникновения землетрясения с магнитудой $M_{\max}=7.0$ [Рогожин и др., 2019].

Ещё одно землетрясение (Су-Псехское) с ощущаемостью $I_0=5-6$ баллов и $M_{w\text{пер}}=4.3$ произошло 10 декабря 2012 года. Его эпицентр располагался между Черноморским разломом на юго-западе и Ахтырским разломом на севере, Керченским проливом на западе и Новороссийским поперечным разломом на востоке [Габсатарова и др., 2018].

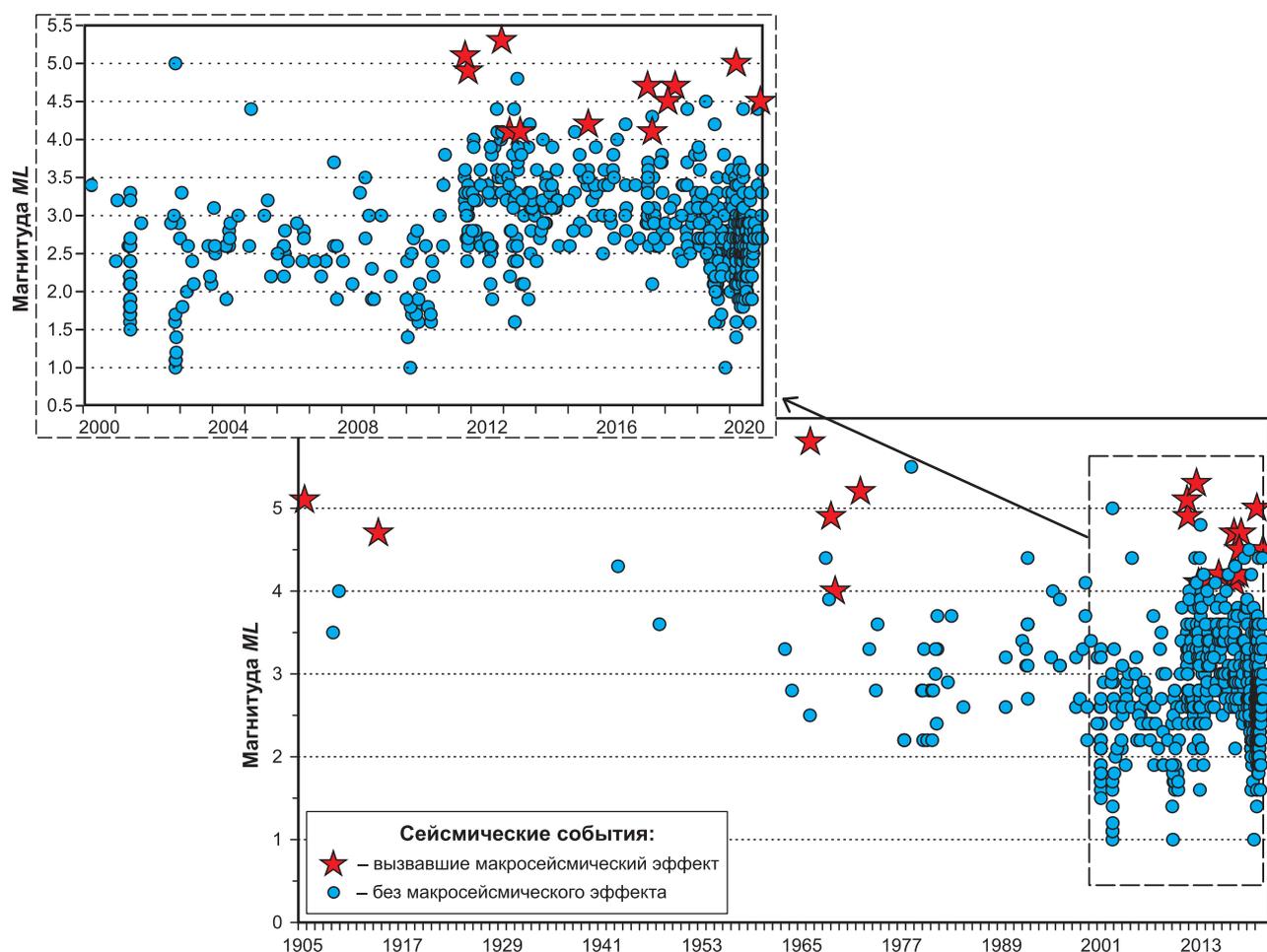


Рис. 4. Динамика распределения землетрясений в Анапском сейсмоактивном районе за период 1905–2020 гг.

Всего за инструментальный период наблюдений с 1968 по 2020 г. региональной сетью сейсмических станций Западного Кавказа ФИЦ ЕГС РАН зарегистрировано 691 землетрясение с $M=1.0-5.5$, $h=1-68$ км. С развитием сети сейсмических станций с 2018 г. стали регистрироваться события с низкой магнитудой и слабые роевые последовательности.

Механизм очага

Для землетрясения 12 декабря 2020 г. был рассчитан механизм очага. Решение механизма очага получено по знакам первого движения в P -волнах на 29 сейсмических станциях. Построение механизмов очагов проводилось по программе FA [Ландер, 2018] с учётом знаков в P -волне на региональных станциях не только Северного Кавказа, но и Крыма, Грузии, Армении, Азербайджана и Турции. Углы выхода на региональных расстояниях рассчитывались по

скоростной модели района [Краснопецева, 1984]. Получен тип движения взбросо-надвиг. В [Гобаренко и др., 2016] отмечается, что «для землетрясений Северо-Западного Кавказа характерны взбросовые деформации в сочетании со сдвиговыми смещениями, что объясняется косым вектором конвергенции Чёрного моря и Кавказа по отношению к главному Кавказскому надвигу».

Подобные типы механизмов получены в информационно-обрабатывающем центре ФИЦ ЕГС РАН (г. Обнинск) и для ряда других более ранних землетрясений в этой зоне (рис. 5). В целом, по нашим данным, в этой зоне преобладают взбросо-надвиги, иногда со сдвиговыми компонентами, в отдельных случаях (31.01.2018 г.) – чистые сдвиги. Это хорошо согласуется с кинематикой современных коллизионных процессов на северной окраине Чёрного моря, описанных в [Гобаренко и др., 2016; Казьмин и др., 2004].

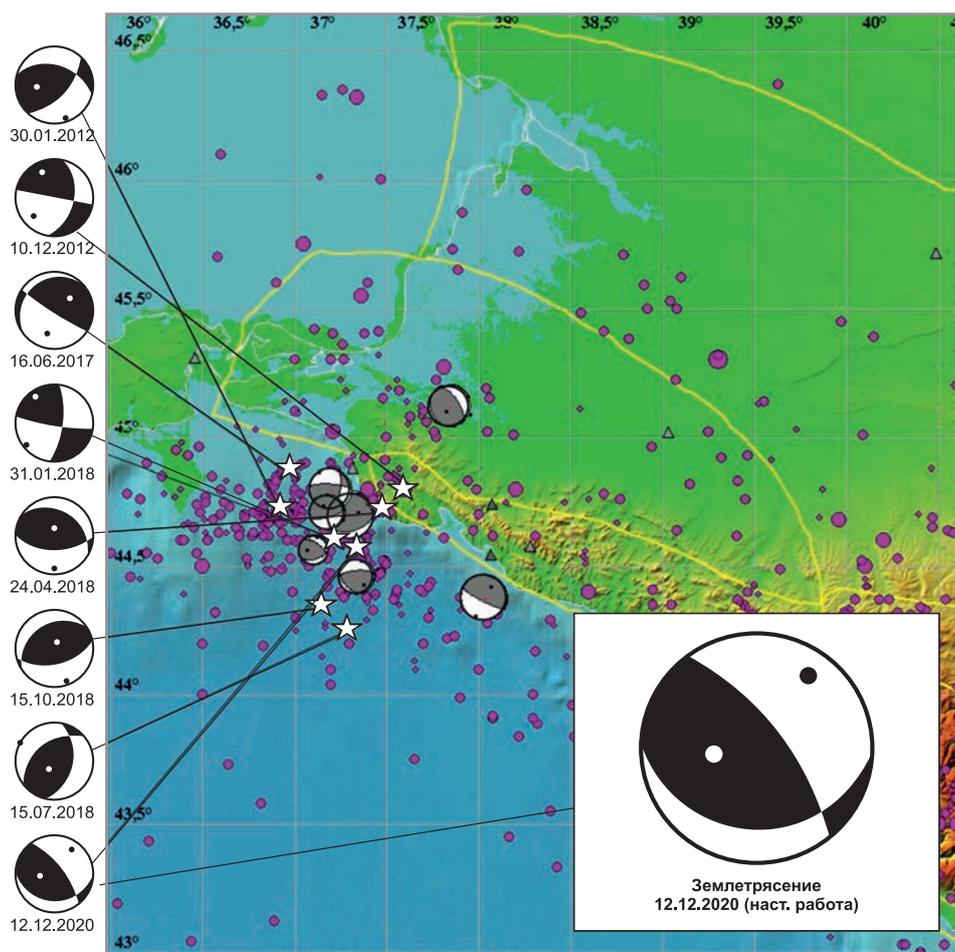


Рис. 5. Механизмы очагов сильных землетрясений Анапской сейсмоактивной зоны.

На карте кругами в бело-серой окраске показаны известные механизмы до 2000 г., слева на полях – механизмы землетрясений 2012–2020 гг., положение которых на карте показано белой звездой, на врезке – механизм землетрясения 12.12.2020 г.

Макросейсмические данные

По результатам макросейсмического исследования землетрясение 12 декабря 2020 г. ощущалось на территории Краснодарского края, в Анапско-Новороссийской зоне Черноморского побережья Кавказа. Об ощутимом землетрясении жители региона узнали через разные информационные источники, в том числе через социальную сеть «ВКонтакте» в группах «Подслушано в Анапе» [Группа «Подслушано в Анапе», 2020] и «Новороссийск» [Группа «Новороссийск», 2020], что явилось основой в проведении опроса. Сбор информации об ощутимости в населённых пунктах через социальные сети для землетрясений Крымской и Анапско-Новороссийской зон проводился ранее автором статей [Клянчин, 2019а; 2019б]. Такой способ удобен для сбора информации для умеренной магнитуды землетрясений, основную информацию об ощутимости для которых по шкале сейсмической интенсивности 2017 г. (ШСИ-17) [ГОСТ ..., 2017] даёт категория-сенсор «Люди». Однако, безусловно, были и определённые трудности в сборе информации таким образом, связанные с необходимостью в отдельных случаях уточнения полученных сведений. Многие люди охотно вступали

в переписку, но были и «несогласные» с продолжением общения. Из-за этого часть полученной информации не учитывалась.

Через сутки после землетрясения 12 декабря было организовано макросейсмическое обследование по районам Анапы и Новороссийска в социальной сети «ВКонтакте», по результатам которого были опрошены 144 респондента в 15 населённых пунктах за семь дней [Группа «Подслушано в Анапе», 2020; Группа «Новороссийск», 2020]. 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. 2. Расчёт интенсивности проводился как среднее значение по всем этажам, так как результаты на первом этаже и выше шестого этажа почти одинаковы и представлены реакцией людей. Поэтому интенсивность определялась в основном по реакции категории-сенсора «Люди» (столбец $I_{\text{л}}$ в табл. 2). Однако использовались «Прочие признаки», такие как «колебания, схожие с сотрясением от движения лёгкого или тяжёлого транспорта», особенно «сотрясение здания в целом», как например это было принято во внимание

Таблица 2. Результат вычисления интенсивности землетрясения

№	Ощутимость, балл, населённый пункт	Координаты		Δ , км	$I_{\text{л}}$	I^*	Количество респондентов
		φ, °N	λ, °E				
4–5 баллов							
1	пос. Су-Псех	44.86	37.37	16	4	4–5	3
6	с. Варваровка	44.83	37.37	14	4	4–5	6
4 балла							
4	г. Анапа	44.89	37.32	20	4, 3–4	4	51
3–4 балла							
5	пос. Сукко	44.79	37.40	11	4, 3–4	4	3
2	ст. Анапская	44.90	37.38	21	4	3–4	3
3	с. Северная Озереевка	44.70	37.63	23	4	3–4	2
7	г. Новороссийск	44.72	37.77	34	3–4	3–4	49
8	ст. Раевская	44.83	37.56	21	3	3–4	9
9	пос. Цемдолина	44.76	37.72	29	3	3–4	3
10	хут. Убых	44.82	37.64	25	3	3–4	2
11	пос. Гайдук	44.78	37.70	27	3	3–4	1
3 балла							
12	пос. Мысхако	44.66	37.76	33	3	3	3
не ощущалось							
13	пос. Горный	44.87	37.74	35	0	0	2
14	ст. Гостагаевская	45.02	37.50	35	0	0	6
15	г. Геленджик	44.56	38.08	61	0	0	1
							Всего
							144 человека

Примечание — I^* — интенсивность с учётом поведения предметов и «прочих признаков».

в Су-Псехе и Варваровке. В таких случаях значения интенсивности корректировались на 0.5 балла в большую (пос. Су-Псех, с. Варваровка, ст. Раевская, пос. Цемдолина, хут. Убых, пос. Гайдук) или меньшую (ст. Анапская, с. Северная Озереевка) стороны. Кроме городов Анапа (51 респондент) и Новороссийск (49 респондентов), число респондентов было невелико (от 1 до 9), поэтому I^* можно рассматривать как максимально возможное значение интенсивности I_{\max} , определённое с довольно большой погрешностью.

4–5 баллов (± 0.5) землетрясение ощущалось в пос. Су-Псех и с. Варваровка:

– *пос. Су-Псех*. Три человека смотрели фильм на втором этаже крупноблочного дома. Ощущали отчётливо. Встряхнуло дом один раз. Направление со стороны моря. Дрожание, вибрация всего здания и его отдельных частей, стен, дверей, окон длились несколько секунд (5–10 с). Ощущали один толчок;

– *с. Варваровка*. Ощущали отчётливо на третьем этаже трёхэтажного дома. Дом газобетонный, армокаркас, монолитные перекрытия. Диван, расположенный в спальне на восточной стороне дома, «балансирует». Со стороны юго-восточного угла дома был слышен «леденящий душу» гул, затем последовали удар и вертикальный толчок, дом подбросило. По времени длилось примерно 2 с. Разрушений никаких, испуга не было, так как понимали, что происходит. Коты метались приблизительно за час до этого.

4 балла (± 0) землетрясение ощущалось в отдельных районах г. Анапы. В районах г. Анапы, к востоку от центра в сторону Су-Псеха, зафиксированы 4-балльные сотрясения, например, четыре человека находились на втором этаже мелкоблочного четырёхэтажного здания, ощущали отчётливо, сильно испугались. «Чувство было, как будто езда в автобусе по плохой дороге». Была продолжительная тряска, с падением внизу на первом этаже тяжёлых предметов, на втором этаже открывались и закрывались зеркальные двери. Был слышан гул, длилось всё полминуты. Было два толчка.

В других районах Анапы в направлении от центра в сторону Витязево – 3–4 балла, 3 балла, в отдельных случаях не ощущалось, особенно людьми, находящимися на улице.

3–4 (± 0.5) балла:

– *пос. Сукко*. Ощущали отчётливо. Вода колыхалась в чайнике. Четыре раза качнуло из стороны в сторону. Продолжалось 5 с. Покачивание, как будто на лодке;

– *ст. Анапская*. Большинство людей ощущали отчётливо;

– *с. Северная Озереевка*. Два человека находились в бетонном трёхэтажном доме: один – на втором, другой – в цокольном этаже. Ощущали отчётливо по дрожанию пола и посуды. Колебания напоминали сотрясения от движения трамвая. На цокольном этаже слышался стук дверей. Колебания длились несколько секунд. Собака лаяла;

– *г. Новороссийск*. Так же, как и в Анапе, в этом мегаполисе сообщалась довольно разнородная информация. Чаще преобладали следующие признаки: большинство людей ощущали отчётливо; дрожали кровати, диваны, стулья, пол, слышался звон посуды; на нижних этажах зданий наблюдалась вибрация, а на верхних

– покачивание. Ожидали повторного толчка. Некоторые испугались. Продолжалось несколько секунд. Животные беспокоились;

– *ст. Раевская*. Некоторые люди ощущали отчётливо. Кровати шатались. Наблюдалось дрожание. Длилось несколько секунд. Животные беспокоились;

– *пос. Цемдолина*. Ощущали слабо. Наблюдался короткий и резкий удар. Продолжалось несколько секунд;

– *хутор Убых*. Два человека на горе слышали гул;

– *пос. Гайдук*. Люди ощущали отчётливо. Вибрация, как взрыв. Слышен гул из-под земли. Продолжалось несколько секунд.

3 балла:

– *пос. Мысхако*. Люди ощущали отчётливо. Кровати вибрировали, были слышны дребезжание посуды и гул. Продолжалось несколько секунд.

Землетрясение не ощущалось: в ст. Гостагаевской, пос. Горном и в г. Геленджике.

По результатам макросейсмического опроса была построена карта распределения пунктов-баллов (рис. 6). Построение карты изосейст и расчёт параметров уравнения макросейсмического поля были невозможны из-за недостаточного количества макросейсмических данных. Всего информация собрана по 15 пунктам, расстояния до которых варьируют от 11 до 61 км.

Несмотря на недостаточность данных для полного анализа макросейсмического поля, можно отметить, что характер распространения макросейсмического эффекта имеет продольную направленность, возможно связанную с геологическими структурами общекавказского простиранья, трассируемыми в шельфовую часть Черноморского побережья. Особенно это заметно

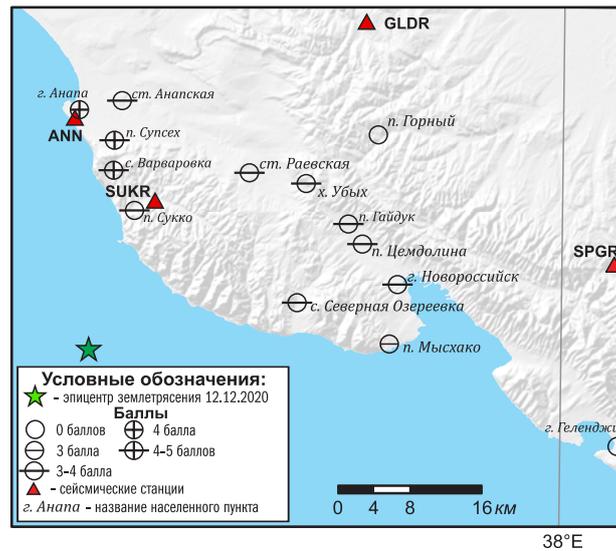


Рис. 6. Карта пунктов-баллов землетрясения 12 декабря 2020 г. по результатам опроса населения

по распределению пунктов с проявлением 3–4-балльного эффекта.

Спектральные параметры очага

Для землетрясения 12 декабря 2020 г. был проведён расчёт спектральных параметров в программном комплексе SEISAN [Havskov et al., 2020]. В настоящее время происходит процесс внедрения данного программного комплекса для анализа и интерпретации инструментальных данных западного сектора Северного Кавказа в ФИЦ ЕГС РАН.

В SEISAN спектральный анализ основан на стандартной модели Брюна [Brune, 1970] и различных предположениях о геометрическом расхождении и неупругом затухании.

Теоретический наблюдаемый спектр смещения $D(f)$ по Брюну определяется как:

$$D(f) = \frac{M_0 \cdot 0.6 \cdot 2.0}{\left[1 + \left(1 + \frac{f}{f_0}\right)^2\right] \cdot 4\pi\rho v^3} G(\Delta, h) e^{-\pi f t} e^{-\frac{\pi f t}{Q(f)}}, \quad (1)$$

где $G(\Delta, h)$ – геометрическое расхождение при эпицентральной дистанции Δ [м] и глубине гипоцентра h [м]; $\exp(-\pi f t) \cdot \exp(-\pi f t / Q(f))$ – затухание на пути распространения волн от источника к приёмнику; t – время распространения волны (равное отношению гипоцентрального расстояния к скорости); 0.6 – коэффициент, учитывающий средний эффект радиального расхождения лучей; 2.0 – коэффициент, учитывающий влияние эффекта свободной поверхности; ρ – плотность [$\text{кг}/\text{м}^3$], на практике в качестве

единиц измерения плотности чаще используют [$\text{г}/\text{см}^3$] и [$\text{км}/\text{с}$].

Из формулы (1) следует, что учёт потерь на приповерхностное затухание задаётся постоянным значением «каппа» κ . Параметр κ задаётся фиксированным числом, если нет рассчитанного значения для региона, то для расчёта в программе SEISAN в работе [Havskov et al., 2010] рекомендуется брать $\kappa=0.02$.

Предполагается, что неупругое затухание, определяемое через добротность среды Q , зависит от частоты в соответствии с соотношением $Q=Q_0 \cdot f^a$ (добротность на частоте 1 Гц). Для f менее 1 Гц предполагается, что Q по умолчанию не зависит от частоты.

На локальных и региональных расстояниях для S -волн геометрическое расхождение зависит от расстояния и глубины. На небольших расстояниях геометрическое расхождение описывается распространением объёмных волн и определяется через параметр георасстояния g_d как:

$$G(\Delta, h) = 1/g_d \text{ при } \Delta < 100 \text{ км и любых } h. \quad (2)$$

Характеристики затухания и скорости для спектрального анализа задавались в виде модели зависимости скоростей P - и S -волн и плотности ρ с глубиной [Электронное ..., 2013; Малянова, Габсатарова, 2020] (табл. 3). Добротность среды Q рассчитывалась в программном комплексе SEISAN по методике огибающих коды S -волн. Получено среднее значение добротности по записям сейсмических станций сети Западного Кавказа $Q=71f^{1.0}$, которое было использовано при дальнейших расчётах.

Таблица 3. Характеристики затухания и скорости для спектрального анализа

h , км	vP	vS	$Q_0 S^*$	α^*	ρ , кг/м ³
3	4.5	2.4	71	1.0	2.4
15	6.2	3.4	71	1.0	2.7
24	6.2	3.4	71	1.0	2.7
40	7.2	4.1	71	1.0	3.0

Примечание – * – значение параметров добротности Q_0 и параметра затухания α использовалось фиксированным, поскольку Q является средним для всей трассы между источником и приёмником и не представляется возможным точно оценить его значение на конкретной глубине.

Спектр с поправкой за эффект затухания называется D_c и используется для получения наблюдаемых параметров: угловой частоты f_0 и уровня плато Ω_0 [мс]:

$$D_c(f) = \frac{\Omega_0}{1 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^2} = \frac{M_0 \cdot 0.6 \cdot 2.0}{4\pi\rho v^3 \left[1 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right]} G(\Delta, h), \quad (3)$$

сейсмический момент вычисляется как:

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

Для расчёта сейсмического момента и других спектральных параметров в программе SEISAN используется спектр смещения S -волн, в который вносятся поправки за затухание и за калибровочные параметры аппаратуры. Спектры смещения рассчитывались по записям Z -компонент, поскольку для сейсмических станций нет достоверных стационарных поправок. Если для участков, сложенных скальными породами, наблюдаются незначительные изменения в амплитудах на всех трёх компонентах, то для рыхлых пород на горизонтальных компонентах возможно усиление амплитуд [Havskov et al., 2010].

На рис. 7 представлен пример вычисления спектральных параметров землетрясения 12 декабря 2020 г. на станции ANN. Аналогичным образом рассчитывались спектральные параметры на записях других сейсмических станций сети (рис. 8). Спектры смещения сейсмических станций с ненадёжным результатом аппроксимации моделью Брюна не использовались.

Результаты расчёта сейсмического момента, значения угловой частоты и спектральной магнитуды M_w представлены в табл. 4. Для сравнения полученного результата в программе SEISAN в ФИЦ ЕГС РАН в г. Обнинске по стандартной методике [Малянова, Габсатарова, 2020]

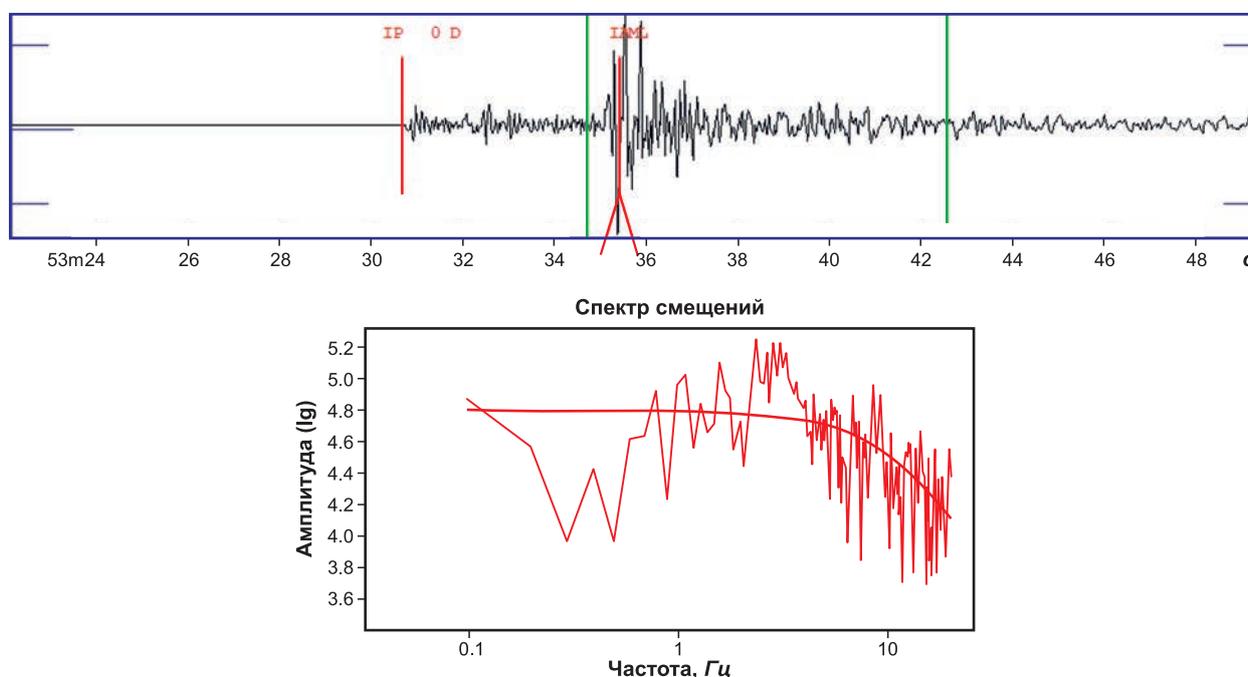


Рис. 7. Графическое изображение записи на вертикальной компоненте и спектра в рабочих окнах программы SEISAN при вычислении спектральных параметров землетрясения 12 декабря 2020 г. по записям сейсмической станции «Анапа» (ANN).

На сейсмограмме зелёными вертикальными линиями показан фрагмент записи S -волны, спользуемый для спектрального анализа

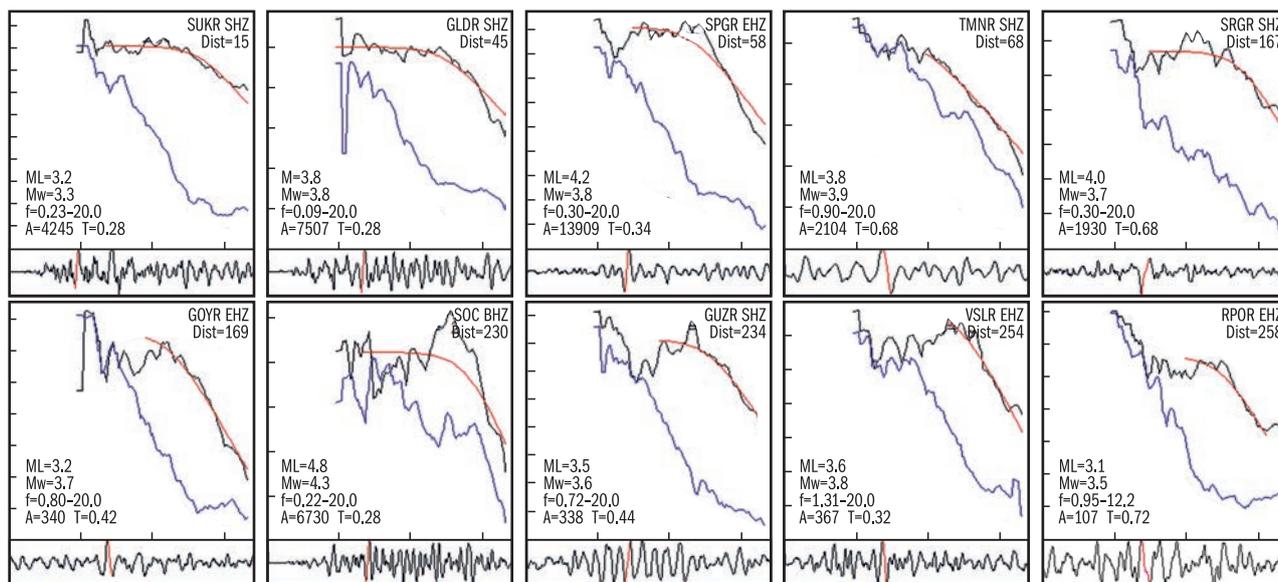


Рис. 8. Вычисление спектральных параметров землетрясения 12 декабря 2020 г. по записям региональной сети сейсмических станций Западного Кавказа.

Кривые синего цвета – спектр шума, чёрного цвета – спектр фрагмента S -волны по записи на вертикальной компоненте, красная линия – аппроксимация по модели Брюна [Brune, 1970], внизу каждого графика фрагмент записи S -волны, на котором отмечен красным место замера амплитуды и периода для расчёта локальной магнитуды ML

были определены спектральные параметры для сейсмической станции SOC с использованием добротности среды $Q=80f^{0.9}$, определённой в [Павленко, 2016], получено $M_0=1.6 \cdot 10^{15} \text{ Н}\cdot\text{м}$, $M_w=4.2$.

Таблица 4. Спектральные параметры очага землетрясения 12 декабря 2020 г. по спектрам смещения S -волн

Код станции	$M_0 \cdot 10^{15}$, Н·м	$\Omega_0 \cdot 10^{-6}$, м·с	f_0 , Гц	Mw
SOC	2.5	7.9	4.6	4.2
ANN	2.0	50.1	6.4	4.2
SUKR	0.1	3.2	4.7	3.3
GLDR	0.6	10.0	2.9	3.8
SPGR	0.8	10.0	2.0	3.9
GOYR	0.4	2.0	1.7	3.7
GUZR	0.3	1.0	3.5	3.6
VSLR	0.6	2.5	2.6	3.8
RPOR	0.2	0.6	3.2	3.5
Среднее	0.8	9.7	3.5	3.8

Результаты обоих методов по станции «Сочи» (SOC) сопоставимы, что позволяет в дальнейшем продолжить работы по исследованию возможностей использования программы SEISAN для расчёта спектральных параметров землетрясения, а также проведение дальнейшего сравнительного анализа обоих методов на большем количестве

землетрясений. В результате по девяти станциям магнитуда составила $M_w=3.8$.

Заключение

Для землетрясения 12 декабря 2020 г. удалось собрать макросейсмические данные, благодаря методике опроса респондентов через социальную сеть «ВКонтакте». Такой способ опроса оказался удобен и информативен для сбора информации, что даёт в будущем возможность его применения для подобных землетрясений с умеренными магнитудами. По результатам макросейсмического исследования интенсивность в эпицентре оценена как $I_0=4-5$ баллов.

Благодаря развитию сети сейсмических станций в западной зоне Северного Кавказа, повысилась регистрационная возможность сети и был проведён расчёт механизма очага по поляризации в P -волнах на 29 сейсмических станциях. Получен тип движения взбросо-надвиг.

Впервые в режиме опытной эксплуатации был применён программный комплекс SEISAN для расчёта спектральных параметров очага и спектральной магнитуды M_w по спектрам смещения S -волн записей сети сейсмических станций ($\Delta < 300 \text{ км}$). Для сравнения полученных параметров в программе SEISAN в ФИЦ ЕГС РАН в г. Обнинске по стандартной методике были также определены спектральные параметры для

сейсмостанции «Сочи». Результаты обоих методов сопоставимы, что позволяет в дальнейшем продолжить исследования возможностей программы SEISAN для расчёта спектральных параметров очага на постоянной основе.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00576-21) 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».

Литература

- Виноградов Ю.А., Рыжикова М.И., Петрова Н.В., Пойгина С.Г., Коломиец М.В. Сильные землетрясения земного шара во II полугодии 2020 г. по данным ФИЦ ЕГС РАН // Российский сейсмологический журнал. — 2021. — Т. 3, № 1. — С. 7–26. doi: 10.35540/2686-7907.2021.1.01
- Габсатарова И.П., Малянова Л.С., Селиванова Е.А., Якушева В.Н. Су-Псехское землетрясение 10 декабря 2012 г. с $K_p=11.5$, $M_w=4.3$, $I_0=5-6$ (Анапский сейсмоактивный район) // Землетрясения Северной Евразии. — Вып. 21 (2012). — Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. — С. 420–432.
- Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С., Бабкова Е.А. Нижнекубанское-II землетрясение 9 ноября 2002 года с $K_p=13.0$, $M_w=5.5$, $I_0=6$ (Северный Кавказ) // Землетрясения Северной Евразии. — Обнинск: ГС РАН, 2008. — С. 357–379.
- Гобаренко В.С., Муровская А.В., Егорова Т.П., Шеремет Е.Е. Современные коллизионные процессы на северной окраине Чёрного моря // Геотектоника. — 2016. — № 4. — С. 68–87. doi: 10.7868/S0016853X16040020
- ГОСТ Р 57546–2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. — Введ. 2017-07-19. — М.: Стандартинформ, 2017. — 28 с.
- Группа «Подслушано в Анапе» // Социальная сеть «ВКонтакте» [Сайт]. — URL: https://vk.com/pva_апара (дата обращения 20.12.2020).
- Группа «Новороссийск» // Социальная сеть «ВКонтакте» [Сайт]. — URL: <https://vk.com/nvrvk> (дата обращения 20.12.2020).
- ССД — Данные о землетрясениях, зарегистрированных на 2020-12-12. Информация Службы срочных донесений // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. — URL: http://www.gsras.ru/cgi-bin/new/ccd_quake.pl?dat=2020-12-12&l=0 (дата обращения 11.01.2021).
- Казьмин В.Г., Лобковский Л.И., Пустовитенко Б.Г. Современная кинематика микроплит в Черноморско-Южно-Каспийском регионе // Океанология. — 2004. — Т. 44, № 4. — С. 600–610.
- Клянчин А.И. Макросейсмические проявления двух ощутимых землетрясений 24 апреля 2018 г. и 13 сентября 2018 г. // Учёные записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. География. Геология. — 2019а. — Т. 5 (71), № 4. — С. 95–105. — URL: <http://sn-geography.cfuv.ru/wp-content/uploads/2019/12/UZ-Geografiya-Geologiya---4-2019-titul-nomer-ok-95-105.pdf>
- 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, 15–17 мая 2019 г.); Южный федеральный университет. — Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019б. — С. 207–213.
- Краснопецева 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 Р-волн (FA) / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018662004 от 25 сентября 2018 г.
- Маловичко А.А., Габсатарова И.П., Дягилев Р.А., Мехрюшев Д.Ю., Зверева А.С. Оценка регистрационных возможностей сейсмической сети в западной части Северного Кавказа через геометрию сети и локальный уровень микросейсмических шумов // Сейсмические приборы. — 2020. — Т. 56, № 3. — С. 35–60. doi: 10.21455/si2020.3-3
- Малянова Л.С., Габсатарова И.П. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Северного Кавказа // Землетрясения Северной Евразии. — Вып. 23 (2014). — Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. — С. 263–270. doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.26
- Несмеянов С.А. Приповерхностные новейшие структуры Северо-Западного Кавказа и смежных областей // Материалы по сейсмическому районированию Северо-Западного Кавказа. — М.: Наука, 1991. — С. 4–44.
- 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.
- Павленко О.В. Характеристики излучения и распространения сейсмических волн на Северном Кавказе, оценённые по записям сейсмостанций «Сочи» и «Анапа» // Вопросы инженерной сейсмологии. — 2016. — Т. 43, № 1. — С. 49–61.
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Лутиков А.И., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Горбатиков А.В.

Эндогенные опасности Большого Кавказа. — М.: ИФЗ РАН, 2014. — 256 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.

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

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.

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

International Seismological Centre (ISC). On-line Bulletin [Site]. — URL: http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/webdb-v4?event_id=619602407&out_format=IMS1.0&request=COMPREHENSIVE. — United Kingdom, Thatcher: Internat. Seismol. Centre, 2020. doi: 10.31905/D808B830

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.

Сведения об авторах

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

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

Габсатарова Ирина Петровна, канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия. ORCID: 0000-0001-8998-340X. E-mail: ira@gsras.ru

Earthquake on December 12, 2020 in the Anapa zone with $M_w=3.8$, $I_0=4-5$

© 2021 A.S. Zvereva¹, A.I. Klianchin², I.P. Gabsatarova³

¹GS RAS, Perm, Russia; ²GS RAS, St. Petersburg, Russia; ³GS RAS, Obninsk, Russia

Received February 17, 2021

Abstract The article presents instrumental and macroseismic data on the earthquake on 12.12.2020 at 14:54 with $M_w=3.8$, $h=30$ km. The epicenter and parameters of the earthquake were determined using instrumental data from the network of regional seismic stations in the western zone of the North Caucasus of the EGS RAS. This earthquake occurred in the shelf zone of the Eastern Black Sea coast near the resort town of Anapa, in the Anapa seismically active area. This area tectonically is the conjunction of the northern side of the Tuapse trough and the thrust front of the Greater Caucasus. The focal mechanism for the earthquake was calculated. The solution of the focal mechanism was obtained from the polarization in P-waves at 29 seismic stations. From the focal follows the type of source up thrust-thrust movement. The GS RAS organized a macroseismic survey in the Anapa and Novorossiysk regions on the “VKontakte” social network a day after the earthquake. According to the results of the study, 144 respondents in 15 settlements in 7 days were interviewing. The maximum observed intensity was $I=4-5$ points in Su-Psekh and Varvarovka according to the results of the macroseismic survey, a map of the distribution of intensity points was create. The SEISAN software package calculated the spectral parameters of the source: seismic moment, corner frequency, spectral density level and spectral magnitude M_w .

Keywords earthquake, Anapa seismically active zone, seismicity of the North Caucasus, macroseismic effect, spectral parameters of the source, focal mechanism.

For citation Zvereva, A.S., Klianchin, A.I., & Gabsatarova, I.P. (2021). [Earthquake on December 12, 2020 in the Anapa zone with $M_w=3.8$, $I_0=4-5$]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(2), 52-66. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.2.03>

References

- Alert Survey - Earthquakes located on 2020-12-12* (2021). GS RAS [site]. Retrieved from: http://www.gsras.ru/cgi-bin/new/ccd_quake.pl?dat=2020-12-12&l=1
- Brune, J.N. (1970). Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, 75(26), 4997-5009.
- 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). Electronic edition, St. Petersburg: VSEGEI Publ., 94 p. (In Russ.). Retrieved from: <https://vsegei.ru/ru/info/seismic/rukovodstvo.php>
- Gabsatarova, I.P., Chepkunas, L.S., & Babkova, E.A. (2008). [Nizhnokuban'-II Earthquake on November 9, 2002 with $K_R=13.0$, $M_w=5.5$, $I_0=6$ (Northern Caucasus)]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia] (pp. 357-379). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Gabsatarova, I.P., Malyanova, L.S., Selivanova, E.A., & Yakusheva, V.N. (2018). [Su-Psekh earthquake on December 10, 2012 with $K_R=11.5$, $M_w_{reg}=4.3$, $I_0=5-6$ (Anapa seismoactive area)]. *Earthquakes in Northern Eurasia*, 21(2012), 420-432. (In Russ.).
- Gobarenko, V.S., Murovskaya, A.V., Yegorova, T.P., & Sheremet, E.E. (2016). Collision processes at the northern margin of the Black Sea. *Geotectonics*, 50(4), 407-424. doi: 10.1134/S0016852116040026
- GOST R 57546-2017*. (2017). [State Standard 57546-2017. Earthquakes. Seismic intensity scale]. Moscow, Russia: Standartinform Publ., 28 p. (In Russ.).
- Group “Novorossiysk”. (2020). Social network “VKontakte”. Retrieved from <https://vk.com/nvrvk>
- Group “Overheard in Anapa”. (2020). Social network “VKontakte”. Retrieved from https://vk.com/pva_anapa
- Havskov, J., Vöss, P.H., & Ottemöller, L. (2020). Seismological Observatory Software: 30 Yr of SEISAN. *Seismological Research Letters*, 91(3), 1846-1852. doi: 10.1785/0220190313
- International Seismological Centre*. (2020). On-line Bulletin. Retrieved from: http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/webdb-v4?event_id=619602407&out_format=IMS1.0&request=COMPREHENSIVE. United Kingdom, Thatcham: Internat. Seismol. Centre. doi: 10.31905/D808B830
- Kaz'min, V.G., Lobkovskii, L.I., & Pustovitenko, B.G. (2004). Present-day microplate kinematics in the Black Sea-South Caspian Region. *Oceanology*, 44(4), 564-573.

- Klianchin, A.I. (2019a). [Macro seismic manifestations of two sensible earthquakes on April 24 and September 13, 2018]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Geografiia. Geologiya* [Scientific notes of the Crimean Federal University. V.I. Vernadsky. Geography. Geology], 5(4), 95-105. (In Russ.). Available at <http://sn-geography.cfuv.ru/wp-content/uploads/2019/12/UZ-Geografiya-Geologiya----4-2019-titul-nomer-ok-95-105.pdf>
- Klianchin, A.I. (2019b). [Macro seismic manifestations of earthquakes on April 24, 2018 in the coastal zone of the Krasnodar Territory]. In *X Vserossiyskaia Chernomorskaia shkola-seminar molodykh uchionyh, aspirantov, studentov i shkol'nikov. Issledovaniia i tvorcheskii proekty dlia razvitiia i osvoiniia problemnykh i pribrezhno-shelfovykh zon iuga Rossii, 15-17 maiya 2019. Sbornik trudov* [X All-Russian Black Sea school-seminar of young scientists, graduate students, students and school students. Research and creative projects for the development and development of problem and coastal-shelf zones of southern Russia. May 15-17, 2019. Collection of conference proceedings] (pp. 207-214). Rostov-na-Donu - Taganrog, Russia: Southern Federal University Publ. (In Russ.).
- Kondorskaya, N.V., & Shebalin, N.V. (Eds.). (1977). *Novyj katalog sil'nykh zemletryaseniy 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.).
- 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 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.).
- Lee, W.H.K., & Valdes C.M. (1985). HYP071PC: *A personal computer version of the HYPO71 earthquake location program*. U. S. Geological Survey Open File Report 85-749, 43 p.
- Malovichko, A.A., Gabsatarova, I.P., Dyagilev, R.A., Mekhryushev, D.Yu., & Zvereva, A.S. (2020). [Evaluation of detection and location capability of the seismic network in the western part of the North Caucasus using network layout and local micro seismic noise level]. *Seismicheskie pribory* [Seismic instruments], 56(3), 35-60. (In Russ.). doi: 10.21455/si2020.3-3
- Malyanova, L.S., & Gabsatarova, I.P. (2020). Spectral and focal parameters of Northern Caucasus earthquakes. *Earthquakes in Northern Eurasia*, 23(2014), 263-270. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.26
- Nesmeyanov, S.A. (1991). [Near-surface latest structures of the North-West Caucasus and related regions]. In *Materialy po seismicheskomu rayonirovaniu Severo-Zapadnogo Kavkaza* [Materials on seismic zoning of North-West Caucasus] (pp. 4-44). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
- Pavlenko, O.V. (2016). [Characteristics of radiation and propagation of seismic waves in the Northern Caucasus, estimated from seismic station records "Sochi" and "Anapa"]. *Voprosy inzhenernoi seismologii* [Engineering seismology issues], 43(1), 49-61. (In Russ.).
- Rogozhin, E.A., Ovsyuchenko, A.N., Lutikov, A.I., Sobisevich, A.L., Sobisevich, L.E., & Gorbatikov, A.V. (2014). *Endogennye opasnosti Bol'shogo Kavkaza* [Endogenous hazards of the Greater Caucasus]. Moscow, Russia: IPE RAS Publ., 256 p. (In Russ.).
- 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.).
- Trifonov, V.G., Soboleva, O.V., Trifonov, R.V., & Vostrikov, G.A. (2002). *Sovremennaia geodinamika Al'piisko-Gimalaiskogo kollizionnogo poiasa* [Modern geodynamics of the Alpine-Himalayan Collisional Belt]. Moscow, Russia: GEOS Publ., 225 p. (In Russ.).
- Vinogradov, Yu.A., Ryzhikova, M.I., Petrova, N.V., Poygina, S.G., & Kolomiyets, M.V. (2021). [Global earthquakes in the 2020 second half according to the GS RAS]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(1), 7-26. (In Russ.). doi: 10.35540/2686-7907.2021.1.01

Information about authors

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

Klianchin Andrei Igorevich, Engineer of the GS RAS, St. Petersburg, Russia. E-mail: astrogeolog@mail.ru

Gabsatarova Irina Petrovna, PhD, Leading Researcher of the GS RAS, Obninsk, Russia. ORCID: 0000-0001-8998-340X. E-mail: ira@gsras.ru