

УДК 550.34

Об устойчивости параметров сейсмического режима во времени на примере востока центральной части Северного Кавказа

© 2021 г. А.И. Лутиков^{1,2}, И.П. Габсатарова³, Г.Ю. Донцова^{1,2}

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Москва, Россия; ²ИФЗ РАН, г. Москва; ³ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия

Поступила в редакцию 11.06.2021 г.

Аннотация. На основе новых каталожных данных проводится определение параметров сейсмического режима восточной зоны Центрального Кавказа. Подобное исследование проводится в третий раз: в 1996, 2015 и 2021 гг. Основа работ по детальному сейсмическому районированию (ДСР) и уточнению исходной сейсмичности (УИС) в районе, окружающем г. Грозный, заложена в 1996 г. комплексным исследованием геолого-геоморфологических, геофизических и сейсмологических материалов. При сопоставлении результатов установлена устойчивость параметров сейсмического режима: графика повторяемости b и сейсмической активности $A_{3,3}$ вблизи г. Грозного, столицы Чеченской Республики и крупного индустриального центра, в 2015 и 2021 гг. В обоих случаях оценки были выполнены на одной и той же территории, ограниченной координатами: 41.1–45.6°N и 42.6–48.8°E. Для расчётов использовался один и тот же базовый каталог землетрясений. Различие состояло в числе событий, которые произошли на этой территории с 2015 по 2020 г. включительно.

Ключевые слова: зона ВОЗ, сейсмический режим, каталог землетрясений, график повторяемости, сейсмическая активность.

Для цитирования: Лутиков А.И., Габсатарова И.П., Донцова Г.Ю. Об устойчивости параметров сейсмического режима во времени на примере востока центральной части Северного Кавказа // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 3. – С. 61–74. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.3.04>

Введение

Восток центральной части Северного Кавказа (область, прилегающая к г. Грозному) был выбран для исследования по причине активизации в нём в декабре 2020 г.: 12 декабря 2020 г. в 21^h29^m на территории Чеченской Республики произошло ощутимое землетрясение, «умеренное» по шкале ШСИ-17, с $M=4.9$ ($K_p=12.9$). Почти через 14 час, 13 декабря 2020 г. в 11^h34^m, произошёл второй толчок с $M=4.6$ ($K_p=12.3$). За ними последовали более слабые афтершоки – серия более чем из 200 землетрясений с $K_p=5.0–11.7$ произошла в районе сочленения южного борта Терско-Каспийского передового прогиба со структурами северного склона Большого Кавказа, в Терско-Сунженской сейсмогенной зоне, и связана с Даттых-Ахловской погребённой шовно-сдвиговой зоной [Несмеянов и др., 1996]. По данным ФИЦ ЕГС РАН [Информационное ..., 2020], землетрясения 12 и 13 декабря ощущались в населённых пунктах Чеченской Респуб-

блики с интенсивностью, достигающей 5 баллов по 12-балльной шкале ШСИ-17 [ГОСТ ..., 2017], в ближней к эпицентру зоне: в Урус-Мартане, Чечен-Ауле, Грозном, Ачхой-Мартане, Гой-Чу, Мартан-Чу, Танги-Чу, Рошни-Чу, Гехи, Валерике, Гикало, Старых Атагах, Катар-Юрте, Гойтах. Знаменательно, что проявление возросшей сейсмической активности в 2020 г. произошло вблизи очаговой зоны 8–9-балльного Черногогорского землетрясения 1976 г. с $M=6.2$ [Левкович и др., 1979].

Сейсмичность в выбранном районе и ранее являлась объектом исследования. Первое детальное изучение сейсмического режима этой территории было предпринято в середине 90-х годов прошлого века в связи с необходимостью оценки сейсмической опасности и проведения детального сейсмического районирования (ДСР) или уточнения исходной сейсмичности (УИС) для оценки исходного балла в г. Грозном и других населённых пунктах Чеченской Республики [Комплексная ..., 1996].

Впоследствии в 2015 г. была выполнена ещё одна детальная оценка сейсмического режима этой территории. Наконец в 2021 г. на новой каталожной базе проведено исследование сейсмического режима всё той же территории. В статье сопоставлены результаты этих двух последних оценок с целью выяснения степени их идентичности во времени.

Под сейсмическим режимом обычно понимается пространственно-временное распределение землетрясений различных энергий (магнитуд) [Ризниченко, 1958]. Представляет определённый интерес проследить, в какой мере могут изменяться основные параметры сейсмического режима (наклон графика повторяемости b и сейсмическая активность $A_{3.3}$) при их повторных определениях с интервалом в несколько лет на примере достаточно хорошо изученного в сейсмологическом отношении региона.

Зоны ВОЗ и среднесрочный прогноз сильных землетрясений

В уже упомянутой работе [Комплексная ..., 1996] по комплексу геолого-геоморфологических, геофизических и сейсмологических материалов, неотектонического и историко-тектонического районирования выделены сейсмогенерирующие структуры, на основе которых выделены зоны ВОЗ. Район нашего исследования относится к Терско-Сунженской сейсмогенной зоне, ближайшие зоны возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) – Черногорская и Даттых-Ахловская.

Черногорская зона ВОЗ своей северной частью непосредственно захватывает территорию г. Грозного. Она связана с субмеридиональной зоной поперечного дробления, имеющей глубокое заложение. Здесь происходит пересечение тектонических структур кавказского и антикавказского простирания. Максимальная наблюденная магнитуда принадлежит Черногорскому землетрясению 1976 г. ($M=6.2$) [Левкович и др., 1979], прогнозная $M_{\max}=6.5$. Даттых-Ахловская зона ВОЗ разделяется Черногорской на два участка: Западный Серноводский (максимальная наблюдаемая магнитуда $M=5.4$ в 1981 г.) и Восточный Аргунский (максимальная наблюдаемая магнитуда $M=5.2$ в 1933 г.). Обоим участкам зоны приписана магнитуда $M_{\max}=6.0$.

В 2007 г. коллективом авторов из ИФЗ РАН опубликована работа [Уломов и др., 2007], в которой «объектом исследований явились сопредельные с территорией Северного Кавказа сейсмогенные структуры Иран–Кавказ–Анато-

лийского и Центрально-Азиатского регионов, обуславливающие особенности региональной сейсмичности и геодинамическое взаимодействие с сопредельными областями Скифской и Туранской платформ. Определены наиболее вероятные места потенциальных очагов землетрясений с магнитудой $M=7.0$ и $M=7.5$ на Северном Кавказе». Среди них ожидаемый сейсмический эффект от одного из потенциальных очагов землетрясений с $M=7.0$ (интервал 6.8–7.2) был указан в восточной части Северного Кавказа, близко к месту исследуемого нами района. Было заявлено, что не исключено, что такое событие, произойдёт в интервале 2013–2036 гг.

В дополнение к этому приведём результаты, полученные в недавних исследованиях [Яковлев и др., 2021] для этого же района, которые явились продолжением начатых в 1989 г. [Захарова и др., 1989] работ по выделению блоковой структуры и обнаружения циклического поведения накопления сейсмической энергии и выделения её в виде реализации наиболее сильных землетрясений. В результате анализа каталогов землетрясений в восточной части Северного Кавказа было выделено несколько блоков, реализация сейсмичности в которых имеет определённый типовой характер, оптимальным из которых явился блок размером 300×300 км с центром примерно возле г. Грозного.

Для этого блока было выделено восемь циклов во времени. Последний незавершённый девятый цикл начался здесь в 2008 г. (пиковое $M=5.8$ при Курчалойском землетрясении 11.10.2008 г.). Оказалось, что произошедшие в этом цикле события 2020 и 2021 гг. ($M=4.9-4.6$) укладываются в выделенный «коридор». По поведению реализации сейсмичности в этом цикле в рамках среднесрочного прогноза в дальнейшем можно ожидать снижения уровня текущих событий до $M=4$ до ~2030 г. и роста до максимального уровня ($M=5.0-6.8$) в ~2033 году.

Полученные на новых данных результаты подтвердили существование закономерного изменения (цикличности) уровня сейсмичности в восточной зоне Северного Кавказа как природного явления. Данная закономерность может быть применена для среднесрочного прогноза и для тестирования моделей сейсмичности в этом регионе.

Все эти факты показывают на необходимость периодического исследования сейсмического режима в этой зоне. Можно предположить, что параметры сейсмического режима одного цикла во времени будут подобными в разное время внутри этого цикла, в разных циклах, возможно,

они будут различаться. Настоящее исследование может подтвердить или опровергнуть это предположение.

Характеристика современной сети Северного Кавказа на территории исследования

Непрерывный сейсмический мониторинг территории Северного Кавказа Российской Федерации в целом проводится на базе наблюдений станций четырёх сейсмических сетей ФИЦ ЕГС РАН: OBGSR (Центральное отделение), KMGSR (лаборатория сейсмического мониторинга Кавказских Минеральных Вод), DAGSR (Дагестанский филиал) и NOGSR (Северо-Осетинский филиал). Сейсмическая сеть на Северном Кавказе состоит из 63 сейсмических станций [Габсатрова и др., 2021]. Все станции оснащены цифровым оборудованием, подключены к сети Интернет и передают информацию в центры обработки в режиме, близком к реальному времени. Центры сбора и обработки оснащены высокотехнологичными программами интерпретации цифровых записей.

Оценка регистрационной возможности сети Северного Кавказа произведена с использованием подхода, изложенного в [Маловичко и др., 2020], и представлена на рис. 1 в виде изолиний K_{Pmin} . Настоящая оценка основана на результатах исследований уровней сейсмических шумов на станциях. Для построения карты взяты значения спектральной плотности мощности шума в дневное время. Как показано в [Маловичко и др., 2020], в ночное время оценки могут быть примерно на $0.5 K_{Pmin}$ ниже, однако по продолжительности «ночное» время меньше, чем дневное (в населённых пунктах поздно вечером заканчивается движение транспорта и рано утром возобновляется), поэтому для расчётов был взят уровень дневного шума.

Кроме того, для расчёта K_{Pmin} использовалось уравнение затухания амплитуд S -волн, построенное ранее для западной части Северного Кавказа [Маловичко и др., 2020] и распространённое как предварительное для всего Кавказа. В дальнейшем по мере уточнения этого уравнения в целом для региона и при открытии новых станций оценка регистрационных возможностей сети будет уточняться.

Согласно карте на рис. 1, на большей части территории региона сеть обеспечивала регистрацию землетрясения с $K_p=7.0$, в восточной частях региона должны регистрироваться землетрясения с $K_p=6.0$, в отдельных локальных зонах — с $K_p=5.5$.

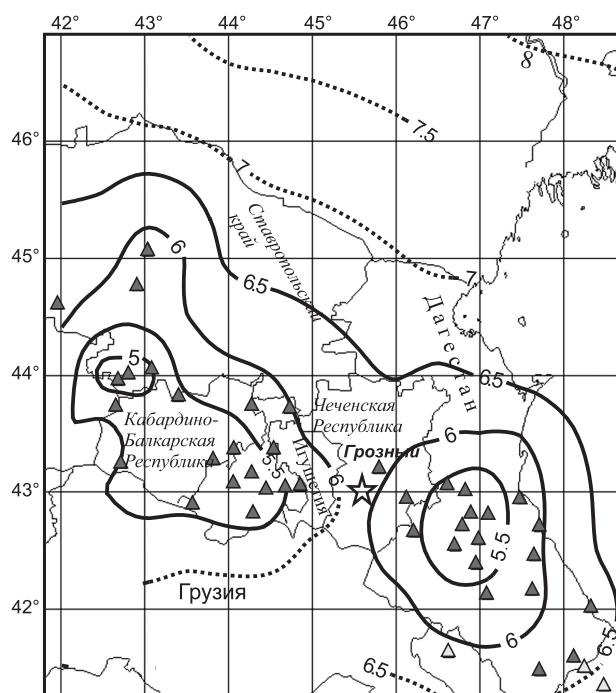


Рис. 1. Оценка возможности обнаружения сейсмических событий как минимум тремя сейсмическими станциями в единицах K_{Pmin} по анализу сейсмического шума на станциях.

Звездой показано положение серии землетрясений 12–30 декабря 2020 г.

Как видно из рис. 1, на территории Чеченской Республики установлены только две станции: в 15 км к юго-востоку от Грозного в пос. Чечен-Аул и в пос. Дышне-Ведено. Однако на территориях соседнего Дагестана и на территории Республики Северной Осетии–Алании развёрнуты сети из 16 и 12 станций соответственно. Это позволяет обеспечивать представительность землетрясений на территории Чеченской Республики с $K_{Pmin}=6.5$ и выше. Подтверждением этому является факт регистрации в декабре 2020 г. в районе очага Черногорского землетрясения 1976 г. серии землетрясений более чем из 150 толчков с $K_p=5.0\div 12.5$ (положение их эпицентров показано на рис. 1 звездой), из которой, согласно кумулятивному графику повторяемости землетрясений, события с $K_p=6.5$ являлись представительными, т.е. зарегистрированными сетью станций без пропусков.

В соответствии с решаемой в ходе выполнения работы задачей область сейсмологических исследований в работах 2014 и 2021 гг. была ограничена координатами $41.1\text{--}45.6^\circ\text{N}$ и $42.6\text{--}48.8^\circ\text{E}$. При этом следует отметить, что как южная, так и северная части этой территории уже не удовлетворяют уровню представительности $K_p=6.5$

($M_S=1.4$). Ниже будет показано, что там уровень представительности заметно выше.

Исходные сейсмологические материалы

Основным исходным материалом для анализа сейсмичности и изучения сейсмического режима служат каталоги землетрясений, которые составляются по данным сети сейсмических станций (инструментальные каталоги), а для доинструментального и раннеинструментального периодов привлекаются архивные, палео- и археосейсмологические, а также макросейсмические материалы (исторические каталоги). Сводные каталоги землетрясений при работах 2014 и 2021 гг. были составлены по одним и тем же источникам с той разницей, что при работах 2021 г. используемые при компиляции сводного каталога источники были продлены на шесть лет. При работах 2021 г. источниками для составления Сводного каталога землетрясений служили:

- Региональный каталог землетрясений Северного Кавказа (РКЗСК);
- Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времён до 1975 г. (НКЗ3) [Бабаян и др., 1977];
- ежегодники «Землетрясения России в 2003–2018 гг.» [Землетрясения России ..., 2006–2020];
- ежегодники «Землетрясения Северной Евразии в 1997–2013 гг.» [Землетрясения Северной Евразии, 2003–2019];
- Унифицированный каталог землетрясений Северной Евразии с древнейших времён до 1990 г. от магнитуды $M=3.5$ (УКЗСЕ) [Special ..., 2020];
- каталог по Единой сети сейсмологических наблюдений (ЕССН) СССР, создаваемый в г. Обнинске (OSC);
- каталоги National Earthquake Information Center (NEIC) [USGS. ..., 2021];
- СМТ-каталог [Global ..., 2021];
- данные Службы срочных донесений ФИЦ ЕГС РАН (ССД), привлекались для 2019 и 2020 гг. [Информация ..., 2021].

В рассматриваемых каталогах приводимые данные имели как разные магнитуды, так и разный класс. В сводном каталоге все данные мы постарались унифицировать по магнитуде M_S (для Кавказского региона). Для этого строились корреляционные зависимости между различными магнитудами и классом. Для слабых событий, у которых имелся класс K_p , он пересчитывался в магнитуду M_S по формуле Т.Г. Раутиана ($K_p=1.8 \cdot M_S+4$) [Раутиан, 1960]. Зависимость

между магнитудой mb_{NEIC} и магнитудой M_S пересчитывалась по корреляционной формуле для 69 событий:

$$M_S=1.3077 \cdot mb_{NEIC}-1.9025, R_C=0.8136. \quad (1)$$

Магнитуда $MPSP$ (ЕССН-каталог) пересчитывалась в магнитуду M_S по корреляционной формуле, полученной для 98 событий:

$$M_S=1.4199 \cdot MPSP-2.8522, R_C=0.8853. \quad (2)$$

Магнитуда mb_{CCD} пересчитывалась в магнитуду mb_{NEIC} по корреляционной формуле, полученной для 23 событий, а затем – в магнитуду M_S по выше приведённой формуле:

$$mb_{NEIC}=0.9381 \cdot mb_{CCD}+0.1931, R_C=0.8511. \quad (3)$$

Формулы (1)–(3), полученные методом ортогональной регрессии, а также формула Т.Г. Раутиана использовались для унификации сводных каталогов в работах 2015 и 2021 гг. по магнитуде M_S .

Сравнительный анализ сейсмического режима в 2015 и 2021 гг.

В работах 2021 г. для анализа сейсмического режима использовался Унифицированный сводный каталог, принципы построения которого были описаны выше. Он насчитывал 10611 сейсмических событий в интервале магнитуд $1.8 \leq M_S \leq 6.9$ и охватывал период времени с 453 г. по конец декабря 2020 года. Предварительно из него были исключены многочисленные афтершоки сильных и умеренных ($M_S \geq 4.5$) землетрясений, поскольку их учёт искажает параметры графика повторяемости и значения сейсмической активности [Сейсмическое районирование ..., 1980]. После исключения афтершоков Унифицированный сводный каталог насчитывал 8794 сейсмических события с магнитудами $M_S > 1.8$. Для сравнения отметим, что в работах 2015 г. Унифицированный сводный каталог насчитывал 8737 сейсмических событий в таком же, как и в работах 2021 г., интервале магнитуд ($1.8 \leq M_S \leq 6.9$), а период времени был естественным образом ограничен концом декабря 2014 года. После исключения афтершоков Унифицированный сводный каталог 2015 г. насчитывал 6921 сейсмическое событие с магнитудами $M_S > 1.8$.

На рис. 2 приведена карта эпицентров сильных и умеренных землетрясений ($M_S \geq 4.3$) за весь период времени до конца 2020 г. (вместе с афтершоками). Всего 383 землетрясения.

В табл. 1 дано распределение числа событий в очищенном от афтершоков каталоге по годам и магнитудам. Жирным шрифтом в таблице выделены периоды представительных наблюдений для различных магнитуд. Из таблицы следует, что для всей рассматриваемой территории низшей представительной магнитудой была признана $M_S=2.5$ (в период с 2001 г. по декабрь 2020 г. Видно, что в действительности низшая представительная магнитуда ($M_S=2.5$) оказалась заметно выше, чем в центральной части территории исследований, где $M_S=1.4$. В работах 2015 г. низшей представительной магнитудой была также признана $M_S=2.5$.

Таким образом, представительный каталог в работах 2021 г. насчитывал 6024 сейсмических события в интервале магнитуд $2.3 \leq M_S \leq 6.9$. Для сравнения отметим, что в работах 2014 г. представительный каталог насчитывал 5196 сейсмических событий в таком же интервале магнитуд. То есть представительный каталог 2021 г. превышает каталог 2014 г. на 828 сейсмических собы-

тий, то есть приблизительно на 16%. Каталоги 2014 и 2021 гг. использовались при построении соответствующих графиков повторяемости. Карта эпицентров слабых землетрясений рассматриваемого региона по каталогу 2021 г. ($2.3 \leq M_S \leq 4.2$) представлена на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что основные сгущения эпицентров вытянулись вдоль северного и южного склонов Большого Кавказа.

Графики повторяемости

Зависимость между числом событий и магнитудой землетрясения $N(M)$ носит название закона повторяемости Гутенберга-Рихтера, который относится к числу фундаментальных законов сейсмологии. В табл. 2 и 3 события сводных представительных каталогов землетрясений по работам 2015 и 2021 гг. разнесены по числу событий в соответствующих интервалах магнитуд с учётом периода их представительного наблюдения.

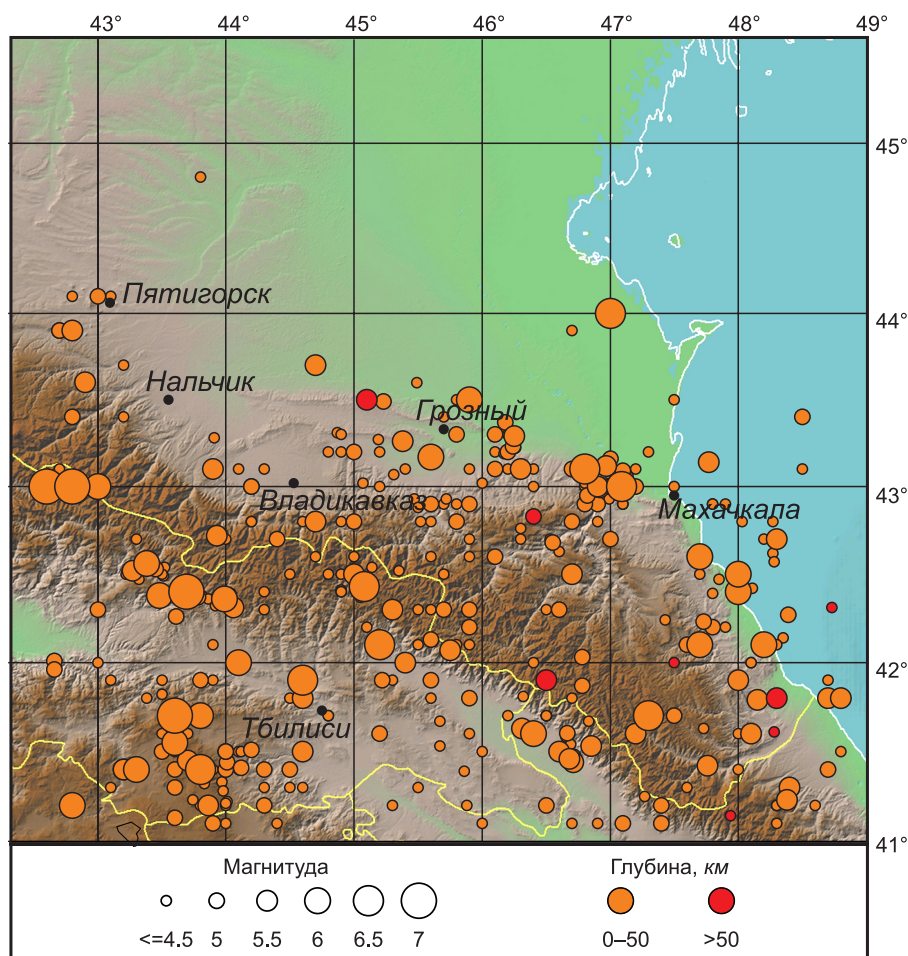


Рис. 2. Карта эпицентров сильных и умеренных землетрясений ($M_S \geq 4.3$) на конец декабря 2020 г.

Всего 383 землетрясения

Таблица 1. Распределение числа событий в каталоге по годам и магнитудам

Годы \ M_s	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	N
1–500	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
501–1000	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	3
1001–1500	0	0	0	0	0	1	0	4	1	2	1	9
1500–1600	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2
1601–1700	0	0	0	0	1	0	2	1	1	2	0	7
1701–1800	0	0	0	1	1	4	4	1	2	1	2	16
1801–1850	0	0	0	7	6	5	2	1	0	1	0	22
1851–1900	0	1	2	9	23	16	7	1	3	0	0	62
1901–1950	0	2	9	28	48	55	28	13	4	1	0	188
1951–1965	20	44	107	62	49	33	8	3	0	0	0	326
1966–1970	0	22	211	85	33	8	1	2	0	1	0	363
1971–1980	0	1	459	148	70	12	5	3	1	0	0	699
1981–1990	0	237	315	149	47	13	4	2	0	0	0	767
1991–1995	16	154	200	91	29	8	2	0	1	1	1	503
1996–2000	90	388	261	101	35	4	2	1	0	0	0	882
2001–2005	140	653	232	97	27	3	0	0	0	0	0	1152
2006–2010	186	759	232	84	24	3	2	1	1	0	0	1292
2011–2014	37	297	224	46	10	4	3	5	0	0	0	626
2015–2020	1047	536	215	50	18	4	3	1	0	0	0	1874
N	1536	3094	2467	958	421	175	74	40	16	9	4	8794
N_{repr}	0	2245	2349	851	342	147	58	32	10	7	3	6024

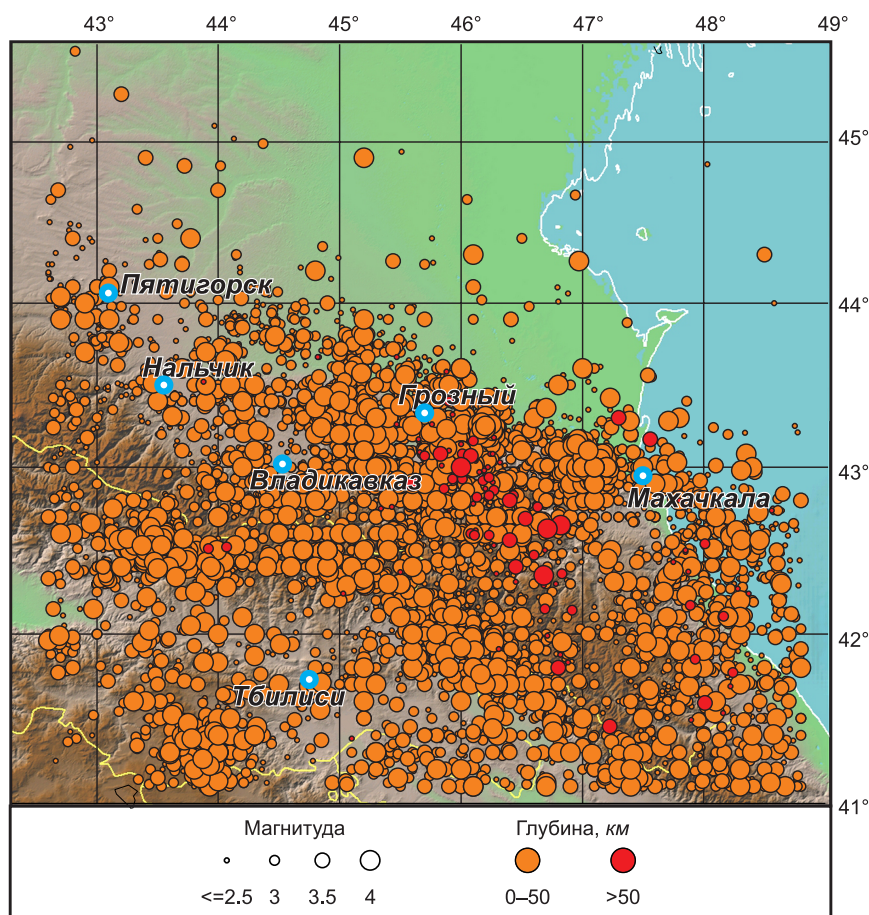
Рис. 3. Карта эпицентров слабых землетрясений региона по каталогу 2021 г. ($2.3 \leq M_s \leq 4.2$)

Таблица 2. Распределение числа событий по интервалам представительных наблюдений и магнитудам при работах 2015 г.

M_S	Годы	$T_{\text{регр}}, \text{лет}$	N	$N/T_{\text{регр}}$	$\lg(N/T_{\text{регр}})$
2.5	2001–2014	14	1709	122.0714	2.0866
3.0	1966–2014	49	2134	43.5510	1.6390
3.5	1962–2014	49	801	16.3469	1.2134
4.0	1951–2014	64	324	5.0625	0.7044
4.5	1901–2014	114	143	1.2544	0.0984
5.0	1901–2014	114	55	0.4825	-0.3165
5.5	1871–2014	144	31	0.2153	-0.6670
6.0	1851–2014	164	10	0.0610	-1.2148
6.5	1601–2014	414	7	0.0169	-1.7719
7.0	1501–2014	514	3	0.0058	-2.2338

Таблица 3. Распределение числа событий по интервалам представительных наблюдений и магнитудам при работах 2021 г.

M_S	Годы	$T_{\text{регр}}, \text{лет}$	N	$N/T_{\text{регр}}$	$\lg(N/T_{\text{регр}})$
2.5	2001–2020	20	2245	112.2500	2.0502
3.0	1966–2020	55	2349	42.7091	1.6305
3.5	1962–2020	59	851	14.4237	1.1591
4.0	1951–2020	70	342	4.8857	0.6889
4.5	1901–2020	120	147	1.2250	0.0881
5.0	1901–2020	120	58	0.4833	-0.3158
5.5	1871–2020	150	32	0.2133	-0.6709
6.0	1851–2020	170	10	0.0588	-1.2304
6.5	1601–2020	420	7	0.0167	-1.7782
7.0	1501–2020	520	3	0.0058	-2.2389

В табл. 2 и 3 $T_{\text{регр}}$ – период представительных наблюдений в годах, N – общее число событий в соответствующем интервале магнитуд, $N/T_{\text{регр}}$ – среднее число событий в год в соответствующих интервалах магнитуд.

На основании табл. 2 и 3 методом линейной ортогональной регрессии строились ненормированные графики повторяемости, дающие представление о средних периодах повторения землетрясений соответствующих магнитуд на всей рассматриваемой территории по каталогам 2014 и 2021 гг. (рис. 4 и 5).

В аналитической форме графики повторяемости по материалам 2015 г. (формула (4)) и 2021 г. (формула (5)) имеют вид:

$$\lg(N/T_{\text{регр}}) = -(0.964 \pm 0.013) \cdot M_S + 4.531 \pm 0.101, \\ R_C = 0.9992, \quad (4)$$

$$\lg(N/T_{\text{регр}}) = -(0.957 \pm 0.013) \cdot M_S + 4.484 \pm 0.097, \\ R_C = 0.9993. \quad (5)$$

Видно, что формулы (4) и (5) практически идентичны, некоторые различия по параметру b наблюдаются только в третьем знаке. Это свидетельствует о высокой устойчивости параметров сейсмического режима во времени, по крайней мере, за сравнительно небольшие временные интервалы (в данном случае за шесть лет), несмотря на то, что каталог 2021 г. приблизительно на 16% больше каталога 2014 года.

Отметим также, что в более ранних работах 1996 г. [Комплексная ..., 1996; Лутиков, 1996] параметры графика повторяемости значимо отличались от приведённых в формулах (4) и (5). В работах 1996 г. закон повторяемости был получен для территории: $41.5\text{--}45.0^\circ\text{N}$, $43.0\text{--}48.0^\circ\text{E}$ в интервале магнитуд $3.0 \leq M_S \leq 6.5$ со следующими параметрами:

$$\lg(N/T_{\text{регр}}) = (2.547 \pm 0.099) - (1.041 \pm 0.014) \cdot M_S. \quad (6)$$

Различие в величине параметра b в формулах (4), (5) и (6) обусловлено в первую очередь тем,

что они получены в разных магнитудных диапазонах, а величина параметра b (наклон графика повторяемости) чувствительна к интервалу магнитуд, в котором был построен график повторяемости. С другой стороны, 1996 г. входит в другой временной цикл, нежели 2015 и 2021 гг. [Яковлев, 2021], на характер проявления сейсмичности в котором оказало влияние Рачинское землетрясение 1991 г. с $M=6.9$, что отразилось и на параметрах сейсмического режима исследуемой территории в 1996 году.

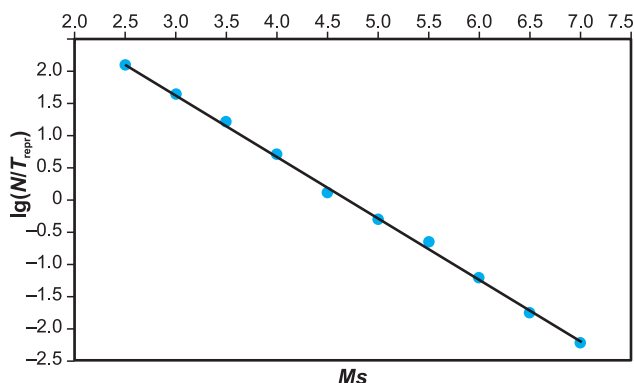


Рис. 4. Региональный график повторяемости в интервале магнитуд $2.5 < M_S < 7.0$ по материалам 2014 г.

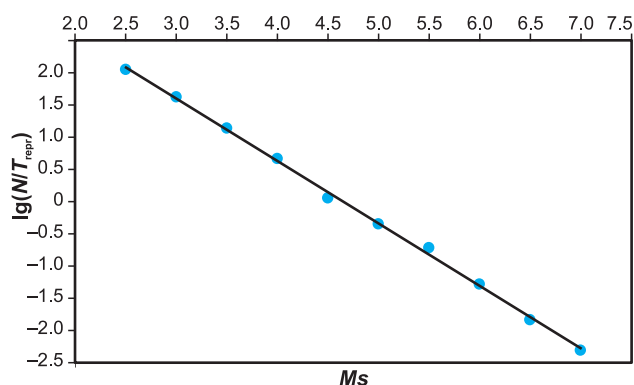


Рис. 5. Региональный график повторяемости в интервале магнитуд $2.5 < M_S < 7.0$ по материалам 2021 г.

Сейсмическая активность

Для детального знания повторяемости землетрясений различных магнитуд на рассматриваемой территории строилась матрица сейсмической активности $A_{3,3}$, являющаяся аналогом сейсмической активности A_{10} [Сейсмическая сотрясаемость ..., 1979], которая вместе с матрицей M_{\max} также используется для расчёта сейсмической сотрясаемости. В матрице сейсмической активности $A_{3,3}$ (магнитуда $M_S=3.3$ соответствует землетрясениям с энергетическим классом $K=10$, тем самым сохраняется преемственность

в оценках величины сейсмической активности к исследованиям прошлых лет и обеспечивается сопоставимость полученных результатов) значения сейсмической активности отнесены к центрам узлов координатной сетки. Расчёты велись для ячеек размером $10'$ (0.167°) по широте и $15'$ (0.25°) по долготе. Напомним, что сейсмическая активность определяется как [Сейсмическая сотрясаемость ..., 1979]:

$$A_0 = (1 - 10^{-b}) / 10^{-b(M_{\min} - M_0)} \cdot (T_0 \cdot S_0) / (T \cdot S) \cdot N_S, \quad (7)$$

где b – наклон графика повторяемости (в данном случае $b=0.957$ в соответствии с формулой (5) или $b=0.964$ в соответствии с формулой (4)); $M_{\min}=2.5$ – наименьшая представительная магнитуда (уровень представительности); $M_0=3.33$ – магнитуда землетрясений, которой соответствует рассчитываемая активность A_0 ; S – площадь площадки осреднения; T – период представительного наблюдения землетрясений; S_0 – принятая в соответствии с A_0 единица нормирования по площади (в данном случае $S_0=1000 \text{ км}^2$); T_0 – единица времени (1 год); N_S – общее число землетрясений различных магнитуд $M \geq M_{\min}$, наблюдаемых за время T на площади S .

По сути дела, сейсмическая активность A_0 имеет смысл среднего числа землетрясений с магнитудой M_0 в год на площади в 1 тыс. км^2 . Полученная матрица сейсмической активности (построенная по материалам 2021 г.), которая использовалась для расчёта сейсмической сотрясаемости B_1 , приведена в табл. 4. Аналогичная матрица сейсмической активности, построенная по материалам 2015 г., приведена в табл. 5. Ячейки матрицы, к которой относится территория площадки строительства в г. Грозном, выделены в табл. 4 жирным шрифтом. Видно, что сейсмическая активность в 2021 г. вблизи г. Грозного весьма высока – $A_{3,3} \approx 0.44-0.73$, что обуславливает небольшие средние периоды повторения землетрясений из ближних зон ВОЗ.

Ячейки матрицы в 2015 г., к которой относится территория площадки строительства в г. Грозном, также выделены в табл. 5 жирным шрифтом.

Видно, что объекты строительства 2015 и 2021 гг. расположены в одних и тех же координатных ячейках матрицы сейсмической активности.

Значения $A_{3,3}$ в выделенных ячейках табл. 5 весьма близки к таковым в табл. 4, хотя и оказались немного ниже: $A_{3,3}=0.403$ вместо $A_{3,3}=0.444$ и $A_{3,3}=0.673$ вместо $A_{3,3}=0.728$. Видно, что различие в величинах $A_{3,3}$ в выделенных ячейках по результатам 2015 и 2021 гг. составляет всего 8–10%, что

Таблица 4. Фрагмент матрицы сейсмической активности $A_{3,3}$, построенной по материалам работ 2021 г.

$\varphi \setminus \lambda$	45.00	45.25	45.50	45.75	46.00	46.25	46.50	46.75	47.00
42.17	0.043	0.064	0.078	0.04	0.011	0.019	0.013	0.015	0.019
42.33	0.239	0.210	0.188	0.144	0.092	0.092	0.073	0.059	0.040
42.50	0.282	0.292	0.310	0.268	0.282	0.294	0.185	0.109	0.064
42.66	0.133	0.205	0.353	0.346	0.404	0.490	0.378	0.218	0.146
42.83	0.143	0.235	0.461	0.483	0.441	0.552	0.459	0.378	0.547
42.99	0.314	0.470	0.550	0.586	0.631	0.647	0.412	0.491	0.832
43.16	0.483	0.608	0.579	0.820	1.151	1.159	0.505	0.367	0.423
43.32	0.507	0.418	0.444	0.728	0.963	0.659	0.321	0.095	0.032
43.49	0.387	0.356	0.462	0.525	0.368	0.165	0.036	0.003	0.003
43.65	0.265	0.329	0.229	0.178	0.079	0.024	0.007	0.001	0.003
43.82	0.142	0.206	0.129	0.066	0.018	0.011	0.011	0.002	0.001
43.98	0.029	0.050	0.040	0.017	0.006	0.008	0.004	0.016	0.014
44.15	0.022	0.016	0.017	0.016	0.011	0.004	0.002	0.017	0.015
44.31	0.014	0.002	0.004	0.009	0.007	0.001	0.001	0.002	0.002
44.48	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

Таблица 5. Фрагмент матрицы сейсмической активности $A_{3,3}$, построенной по материалам работ 2015 г.

$\varphi \setminus \lambda$	45.00	45.25	45.50	45.75	46.00	46.25	46.50	46.75	47.00
42.17	0.043	0.064	0.078	0.040	0.011	0.019	0.013	0.015	0.019
42.33	0.239	0.210	0.188	0.144	0.092	0.092	0.073	0.059	0.040
42.50	0.282	0.292	0.310	0.268	0.282	0.294	0.185	0.109	0.064
42.66	0.133	0.205	0.353	0.346	0.404	0.490	0.378	0.218	0.146
42.83	0.143	0.235	0.461	0.483	0.441	0.552	0.459	0.378	0.547
42.99	0.314	0.470	0.550	0.586	0.631	0.647	0.412	0.491	0.832
43.16	0.483	0.496	0.457	0.708	0.986	0.918	0.505	0.367	0.423
43.32	0.507	0.358	0.403	0.673	0.808	0.659	0.321	0.095	0.032
43.49	0.387	0.335	0.367	0.418	0.328	0.165	0.036	0.003	0.003
43.65	0.265	0.329	0.229	0.178	0.079	0.024	0.007	0.001	0.003
43.82	0.142	0.206	0.129	0.066	0.018	0.011	0.011	0.002	0.001
43.98	0.029	0.050	0.040	0.017	0.006	0.008	0.004	0.016	0.014
44.15	0.022	0.016	0.017	0.016	0.011	0.004	0.002	0.017	0.015
44.31	0.014	0.002	0.004	0.009	0.007	0.001	0.001	0.002	0.002
44.48	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

соответствует уровню ошибок в физических экспериментах. Максимальные значения $A_{3,3}$ в табл. 4 и 5 непосредственно соседствуют с выделенными ячейками с юго-востока и соответственно равны 1.151 и 1.159 (табл. 4) и 0.986 и 0.918 (табл. 5). В этом случае расхождение оказывается несколько более высоким – соответственно 16.7 и 26.3%. В целом можно констатировать, что и матрицы $A_{3,3}$ в 2015 и 2021 гг. хотя

и не идентичны, но довольно близки друг к другу, хотя в целом значения $A_{3,3}$ по материалам 2021 г. оказались несколько выше, чем по материалам 2015 года. Среднее отклонение значений $A_{3,3}$ в ячейках матрицы $A_{3,3}$ 2021 г. от таковых в ячейках матрицы $A_{3,3}$ в 2015 г. составило приблизительно 13%. Площадное распределение значений $A_{3,3}$ в 2021 г. и в 2015 г. приведено на рис. 6 и 7 соответственно.

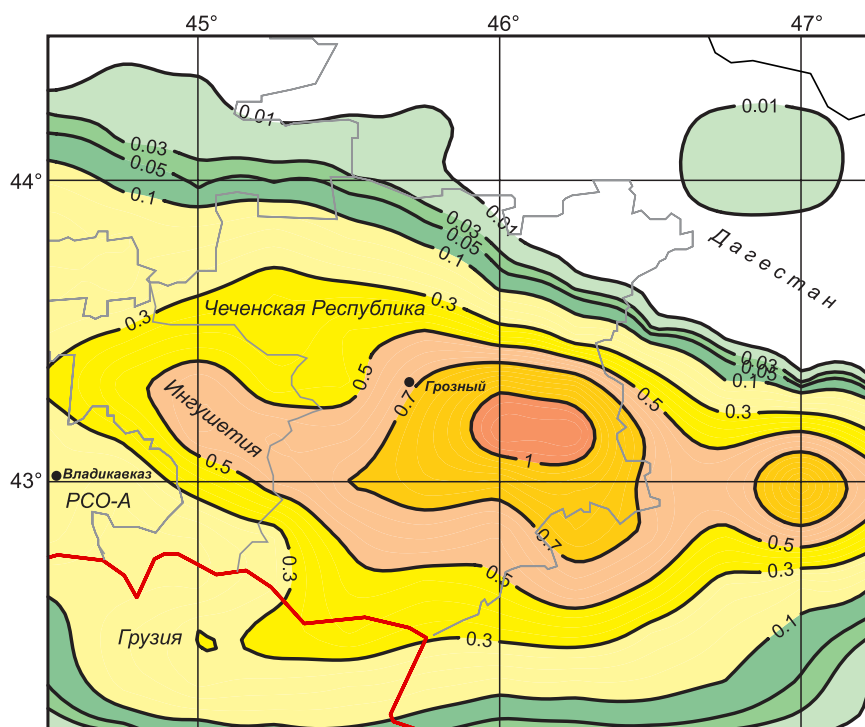


Рис. 6. Карта сейсмической активности $A_{3,3}$ по материалам работ в 2021 г.

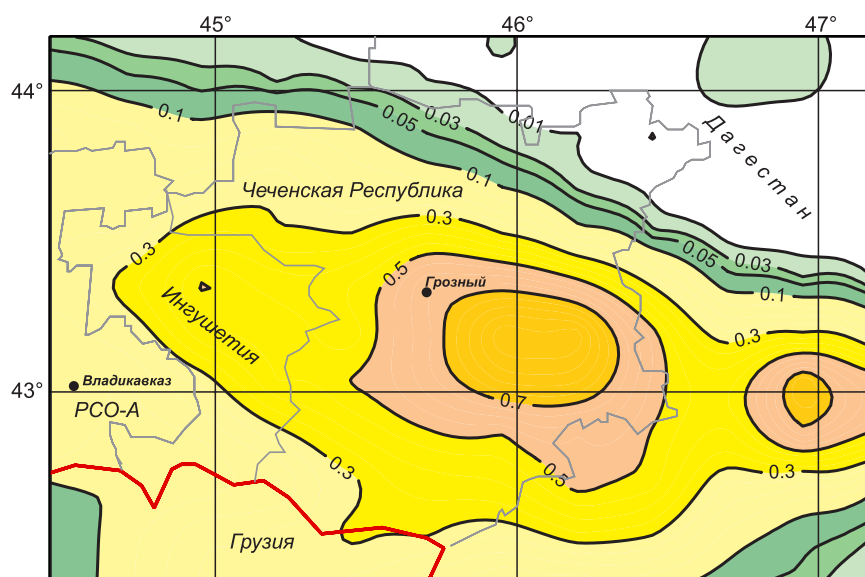


Рис. 7. Карта сейсмической активности $A_{3,3}$ по материалам работ в 2015 г.

Заключение

Проанализированы различия в основных параметрах сейсмического режима — наклона графика повторяемости (параметр b) и сейсмической активности $A_{3,3}$ — по результатам работ, проведённых на одной и той же территории (район г. Грозного) в 2015 и 2021 гг. При этом был использован один и тот же Сводный унифицированный каталог землетрясений, который был

дополнен событиями, произошедшими до конца 2020 года. Основная цель работ состояла в установлении степени идентичности оценок параметров сейсмического режима в 2015 и 2021 гг.

Было установлено, что параметр b при работах 2015 и 2021 г. остался практически неизменным: $b=0.964\pm 0.013$ (2015 г.) и 0.957 ± 0.013 (2021 г.). При этом среднее отклонение значений $A_{3,3}$ в ячейках матрицы $A_{3,3}$ 2021 г. от таковых в ячейках матрицы $A_{3,3}$ 2015 г. составило

приблизительно 13%. Небольшое увеличение средней сейсмической активности в матрице $A_{3,3}$ в 2021 г. по сравнению с матрицей $A_{3,3}$ 2015 г., вероятно, обусловлено повышением чувствительности сейсмической сети Восточного Кавказа в XXI в. и, соответственно, увеличением числа регистрируемых слабых землетрясений. Это, в свою очередь, улучшает наполняемость ячеек матрицы $A_{3,3}$, что и приводит к некоторому увеличению средней сейсмической активности.

В целом можно констатировать, что, несмотря на небольшие различия, основные параметры сейсмического режима практически не изменились в 2021 г. по сравнению с 2015 годом. Следовательно, внутри одного выделенного цикла сохраняются параметры сейсмического режима. 1996 г. входит в другой временной цикл, нежели 2015 и 2021 гг. [Яковлев, 2021], на характер проявления сейсмичности в котором оказало влияние Рачинское землетрясение 1991 г. с $M=6.9$, что отразилось и на параметрах сейсмического режима исследуемой территории в 1996 году.

Литература

- Бабаян Т.О., Кулиев Ф.Т., Папалашвили В.Г., Шебалин Н.В., Вандышева Н.В. (отв. сост.). П б. Кавказ [50–1974 гг., $M \geq 4.0$, $I_0 \geq 5$] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времён до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 69–170.
- Габсатарова И.П., Мехрюшев Д.Ю., Королецки Л.Н., Адилов А.З., Магомедов Х.Д., Саяпина А.А., Багаева С.С., Янков А.Ю., Иванова Л.Е. I. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Северный Кавказ // Землетрясения России в 2019 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 17–24.
- ГОСТ Р 57546–2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Введ. 2017-07-19. – М.: Стандартинформ, 2017. – 28 с.
- Захарова А.И., Старовойт О.Е., Яковлев Ф.Л. Блоковая сейсмичность Северного Кавказа // Дискретные свойства геофизической среды. – М.: Наука, 1989. – С. 137–148.
- Землетрясения России в 2003–2018 гг. – Обнинск: ГС РАН, 2006–2016; ФИЦ ЕГС РАН, 2017–2020.
- Землетрясения Северной Евразии, 1997–2013 гг. – Обнинск: ГС РАН, 2003–2015; ФИЦ ЕГС РАН, 2016–2019.
- Информационное сообщение об ощутимых землетрясениях в Чечне 12 и 13 декабря 2020 г. Информационные сообщения // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: <http://mseism.gsras.ru/EqInfo/faces/index.xhtml> (дата обращения 25.12.2020).
- Информация Службы срочных донесений // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: <http://www.gsras.ru/new/ssd.htm> (дата обращения 11.04.2021).
- Комплексная оценка сейсмической опасности территории г. Грозного (Уточнение исходной сейсмичности. Сейсмическое микрорайонирование. Сейсмический риск) / Науч. ред. С.И. Полтавцев. – М.: Минстрой России, 1996. – 106 с.
- Левкович Р.А., Крамынин П.И., Дейнега А.Г., Арефьев С.С. Некоторые результаты эпицентральных наблюдений Черногорского землетрясения 28 июля 1976 года // Геодинамика и сейсмичность территории Дагестана / Отв. ред. Г.И. Дейнега. – Махачкала: Даг. фил. АН СССР, Ин-т геологии, 1979. – № 3 (21). – С. 63–86.
- Лутиков А.И. Сейсмический режим Северо-Восточного Кавказа // Комплексная оценка сейсмической опасности территории г. Грозного (Уточнение исходной сейсмичности. Сейсмическое микрорайонирование. Сейсмический риск) / Науч. ред. С.И. Полтавцев. – М.: Минстрой России, 1996. – С. 23–38.
- 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
- Несмеянов С.А., Лутиков А.И., Шукун Ю.К., Донцова Г.Ю. Сейсмогенерирующие структуры // Комплексная оценка сейсмической опасности территории г. Грозного (Уточнение исходной сейсмичности. Сейсмическое микрорайонирование. Сейсмический риск) / Науч. ред. С.И. Полтавцев. – М.: Минстрой России, 1996. – С. 38–47.
- Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. Труды ИФЗ АН СССР; № 9(176). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
- Ризниченко Ю.В. Об изучении сейсмического режима // Известия АН СССР. Серия геофизическая. – 1958. – № 9. – С. 1057–1074.
- Сейсмическая сотрясаемость территории СССР / Отв. ред. Ю.В. Ризниченко. – М.: Наука, 1979. – 190 с.
- Сейсмическое районирование территории СССР / Отв. ред. В.И. Бунэ, Г.П. Горшков. – М.: Наука, 1980. – 308 с.
- Уломов В.И., Данилова Т.И., Медведева Н.С., Полякова Т.П., Шумилина Л.С. К оценке сейсмической опасности на Северном Кавказе // Физика Земли. – 2007. – № 7. – С. 31–45.
- Яковлев Ф.Л., Габсатарова И.П., Стаховская Р.Ю. Квазициклическая периодичность сейсмичности

восточной части Большого Кавказа за последние 200 лет и среднесрочный прогноз сейсмической активности региона // Разломообразование в литосфере и сопутствующие процессы: тектонофизический анализ: тезисы докладов Всероссийского совещания, посвящённого памяти профессора С.И. Шермана. Иркутск, 26–30 апреля 2021 г. / ФГБУН ИЗК СО РАН; ФГБОУ ВО «ИГУ»; отв. ред. К.Ж. Семинский. – Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. – С. 232–233.

Global CMT Catalog Search // Global CMT Web Page [Site]. – URL: <http://www.globalcmt.org>. – Lam-

ont-Doherty Earth Observatory (LDEO) of Columbia University, Columbia, SC, USA, 2021.

USGS. Search Earthquake Catalog. Earthquakes. [Site]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> (дата обращения 25.04.2021).

Special catalogue of earthquakes of the Northern Eurasia (to 1995) // Global Seismic Hazard Assessment Program. Global Seismic Hazard Map [Site] / Ed. N.V. Kondorskaya and V.I. Ulomov. – URL: <http://www.seismo.ethz.ch/static/gshap/neurasia/nordasiacat.txt> (дата обращения 15.05.2021).

Сведения об авторах

Лутиков Александр Иванович, канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. Федерального государственного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН), г. Москва, Россия; вед. науч. сотр. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. Шмидта О.Ю. Российской академии наук (ИФЗ РАН), г. Москва, Россия. E-mail: ail@ifz.ru

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

Донцова Галина Юрьевна, науч. сотр. ФИЦ ЕГС РАН, г. Москва, Россия; науч. сотр. ИФЗ РАН, г. Москва, Россия. E-mail: donzova@ifz.ru

On the stability of the seismic mode parameters in time by the example of the east of the central part of Northern Caucasus

© 2021 A.I. Lutikov^{1,2}, I.P. Gabsatarova³, G.Yu. Dontsova^{1,2}

¹GS RAS, Moscow, Russia; ²IPE RAS, Moscow, Russia; ³GS RAS, Obninsk, Russia

Received June 11, 2021

Abstract The parameters of the seismic regime of the eastern zone of the Central Caucasus are determined based on the new catalog data. A similar study is being carried out for the third time: in 1996, 2015 and 2021. The basis for work in the area surrounding Grozny was laid in 1996 by a comprehensive study of geological, geomorphological, geophysical and seismological materials. When comparing the results, the stability of the seismic regime parameters was established: the repetition schedule b and seismic activity $A_{3,3}$ near Grozny, the capital of the Chechen Republic and a large industrial center in 2015 and 2021. In both cases, the estimates were performed on the same territory bounded by coordinates: 41.1-45.6°N and 42.6-48.8°E. The same basic earthquake catalog was used for the calculations. The difference was in the number of events that took place in this territory from 2015 to 2020 inclusive.

Keywords PEE zone, seismic mode, earthquake catalog, recurrence schedule, seismic activity.

For citation Lutikov, A.I., Gabsatarova, I.P., & Dontsova, G.Yu. (2021). [On the stability of the seismic mode parameters in time by the example of the east of the central part of Northern Caucasus]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(3), 61-74. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.3.04>

References

- Babayan, T.O., Kuliev, F.T., Papalashvili, V.G., Shebalin, N.V., & Vandysheva, N.V. (Resp. comp.). (1977). [II b. Caucasus (50-1974, $M \geq 4.0$, $I_0 \geq 5$)]. In *Novyi katalog sil'nykh zemletriasenii na territorii SSSR s drevneishikh vremen do 1975 g.* [New catalog of strong earthquakes on the territory of the USSR from ancient times to 1975] (pp. 69-170). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
- Bune, V.I., & Gorshkov, G.P. (Exec. eds.). (1980). *Seismicheskoye rayonirovaniye territorii SSSR* [Seismic zoning of the territory of the USSR]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 308 p. (In Russ.).
- Earthquake Early Alert Service (EEAS)*. (2021). GS RAS [site]. Available at: <http://www.gsras.ru/new/eng/ssd.htm>
- Gabsatarova, I.P., Mekhryushev, D.Yu., Koroletski, L.N., Adilov, A.Z., Magomedov, Kh.D., Sayapina, A.A., Bagaeva, S.S., Yankov, A.Yu., & Ivanova, L.E. (2021). [I. Results of seismic monitoring of various regions of Russia. North Caucasus]. In *Zemletryaseniya Rossii v 2019 godu* [Earthquakes in Russia in 2019] (pp. 35-60). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Global CMT Web Page*. (2020). Global CMT Catalog Search. Retrieved from <http://www.globalcmt.org>
- GOST R 57546-2017* [State Standard 57546-2017. Earthquakes. Seismic intensity scale]. (2017). Moscow, Russia: Standartinform Publ., 28 p. (In Russ.).
- Information message on felt earthquakes in Chechnya on December 12 and 13, 2020*. (2020). GS RAS [site]. Available at: <http://mseism.gsras.ru/EqInfo/faces/imdetails.xhtml>
- Kondorskaya, N.V., & Ulomov, V.I. (Eds.). (2021). Special catalogue of earthquakes of the Northern Eurasia (to 1995). Global Seismic Hazard Assessment Program. Global Seismic Hazard Map. Retrieved from <http://www.seismo.ethz.ch/static/gshap/neurasia/nordasiacat.txt>
- Levkovich, R.A., Kramynin, P.I., Deynega, A.G., & Aref'yev, S.S. (1979). [Some results of epicentral observations of the Chernogorskoye earthquake on July 28, 1976]. In *Geodinamika i seysmichnost' territorii Dagestana* [Geodynamics and seismicity of Dagestan] (pp. 63-86). 3(21). Makhachkala, Russia: DB AS USSR, Institute of Geology Publ. (In Russ.).
- Lutikov, A.I. (1996). [Seismic regime of the North-East Caucasus]. In *Kompleksnaya otsenka seysmicheskoy opasnosti territorii g. Groznogo (Utochneniye iskhodnoy seysmichnosti. Seysmicheskoye mikrorayonirovaniye. Seysmicheskii risk)*. Nauch. red. S.I. Poltavtsev [Comprehensive assessment of the seismic hazard of the territory of Grozny (Clarification of the initial seismicity. Seismic microzoning. Seismic risk). Sci. ed. S.I. Poltavtsev] (pp. 23-38). Moscow, Russia: Ministry of Construction of Russia Publ. (In Russ.).
- Malovichko, A.A., Gabsatarova, I.P., Dyaghilev, 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
- Nesmeyanov, S.A., Lutikov, A.I., Shchukin, Yu.K., & Dontsova, G.Yu. (1996). [Seismogenic structures]. In *Kompleksnaya otsenka seysmicheskoy opasnosti territorii g. Groznogo (Utochneniye iskhodnoy seysmichnosti. Seysmicheskoye mikrorayonirovaniye. Seysmicheskyy risk)*. Nauch. red. S.I. Poltavtsev [Comprehensive assessment of the seismic hazard of the territory of Grozny (Clarification of the initial seismicity. Seismic microzoning. Seismic risk)]. Sci. ed. S.I. Poltavtsev] (pp. 38-47). Moscow, Russia: Ministry of Construction of Russia Publ. (In Russ.).
- Poltavtsev, S.I. (Sci. ed.). (1996). *Kompleksnaya otsenka seysmicheskoy opasnosti territorii g. Groznogo (Utochneniye iskhodnoy seysmichnosti. Seysmicheskoye mikrorayonirovaniye. Seysmicheskyy risk)* [Comprehensive assessment of the seismic hazard of the territory of Grozny (Clarification of the initial seismicity. Seismic microzoning. Seismic risk)]. Moscow, Russia: Ministry of Construction of Russia Publ., 107 p. (In Russ.).
- Rautian, T.G. (1960). [Energy of the Earthquakes]. In *Metody detal'nogo izucheniya seysmichnosti. Trudy IFZ ANSSSR*, 9(176). [Methods of Detailed Study of the Seismicity. Proceedings of the IPE AS USSR № 9(176)] (pp. 75-114). Moscow, Russia: IPE AS USSR Publ. (In Russ.).
- Riznichenko, Yu.V. (1958). [On the study of the seismic regime]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geofizicheskaya* [Izvestia of the AS USSR. Geophysical series], 9, 1057-1074. (In Russ.).
- Riznichenko, Yu.V. (Exec. ed.). (1979). *Seysmicheskaya sotryasayemost' territorii SSSR* [Seismic shaking of the territory of the USSR]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 190 p. (In Russ.).
- Ulomov, V.I., Danilova, T.I., Medvedeva, N.S., Polyakova, T.P., & Shumilina, L.S. (2007). Assessment of seismic hazard in the North Caucasus. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 43, 559-572.
- USGS. Search Earthquake Catalog. Earthquakes. (2021). U.S. Geological Survey National Earthquake Information Center, Federal Center Denver, Colorado. Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
- Yakovlev, F.L., Gabsatarova, I.P., & Stakhovskaya, R.Yu. (2021). [Quasi-cyclical frequency of seismicity of the eastern part of the Greater Caucasus over the past 200 years and the mid-term forecast of seismic activity in the region]. In *Razlomoobrazovaniye v litosfere i sopushtvuyushchiye protsessy: tektonofizicheskiy analiz: tezisy dokladov Vserossiyskogo soveshchaniya, posvyashchennogo pamyati professora S.I. Shermana. Irkutsk, 26-30 aprelya 2021 g. FGBUN IZK SO RAN; FGBOU VO "IGU"; otv. red. K. Zh. Seminskiy* [Fault Formation in the Lithosphere and Associated Processes: Tectonophysical Analysis: Abstracts of the All-Russian Meeting dedicated to the memory of Professor S.I. Sherman. Irkutsk, April 26-30, 2021. FGBUN IZK SB RAS, FGBOU VO "ISU", resp. ed. K.Zh. Seminsky] (pp. 232-233). Irkutsk, Russia: IGU Publ. (In Russ.).
- Zakharova, A.I., Starovoi, O.E., & Yakovlev, F.L. (1989). [Block seismicity of the North Caucasus]. In *Diskretnye svoystva geofizicheskoi sredy* [Discrete properties of the geophysical environment] (pp. 137-148). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
- Zemletriaseniia Rossii v 2003-2018 gg.* (2020). [Earthquakes in Russia in 2003-2018]. Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Zemletryaseniia Severnoi Evrazii, 1997-2013.* (2003-2019). [Earthquakes of the Northern Eurasia, 1997-2013]. Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).

Information about authors

Lutikov Alexander Ivanovich, PhD, Leading Researcher of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (GS RAS), Moscow, Russia; Leading Researcher of the Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences (IPE RAS), Moscow, Russia. E-mail: ail@ifz.ru

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

Dontsova Galina Yurievna, Researcher of the GS RAS, Moscow, Russia; Researcher of the IPE RAS, Moscow, Russia. E-mail: donzova@ifz.ru