

УДК 550.34

Опыт детального сейсмического районирования Северо-Западного Кавказа с учетом результатов палеосейсмогеологических исследований

Аннотация

Приводятся результаты нового обобщения данных о сейсмической опасности Северо-Западного Кавказа с учетом влияния материалов палеосейсмогеологических исследований на уровень сейсмической опасности. Подготовлена принципиально новая сеймотектоническая основа (карта зон ВОЗ) для составления детальных карт сейсмической опасности региона. На базе этой карты зон ВОЗ проводятся расчеты сейсмических воздействий на вероятностной основе. На составленных картах северо-западный и центральный сегменты Большого Кавказа выглядят сейсмоопасной областью, где уровень сейсмических воздействий достигает 8.5 баллов по картам А и В. В то же время, по сравнению с данными карт ОСР-97 полученные результаты выглядят более дифференцировано и в целом заметно понижают уровень сейсмической опасности региона. Работа важна с методической точки зрения в свете управления сейсмическим риском этой плотно заселенной и активно осваиваемой территории России.

Ключевые слова: закон повторяемости, зоны ВОЗ, карты сейсмической опасности, палеоземлетрясения, сейсмическая активность, сейсмическая сотрясаемость, сейсмический режим.

Индекс в системе PACS: 91.30.Дк

Введение

В последние годы по всей Земле быстро растет объем палеосейсмогеологических исследований [Никонов, 1991; Никонов, Рейснер, 2002; Палеосейсмология, 2011; Рогожин и др., 2014]. Результатом таких исследований является выявление палеосейсмодислокаций, которые могут ассоциироваться с происходившими в далеком прошлом сильными землетрясениями. Грубая датировка таких сейсмических событий производится с использованием радиоуглеродного, термолюминисцентного и др. методов, а их магнитуда также, весьма приближенно, оценивается по амплитуде смещения горизонтов молодых отложений и палеопочв. Значительный объем палеосейсмогеологических исследований был выполнен в последние 10 – 15 лет на Северо-Западном и Центральном Кавказе [Рогожин и др., 2014].

До сих пор полученные в результате анализа палеосейсмодислокаций данные о сильных древних землетрясениях использовались только для уточнения оценок максимальной магнитуды (M_{max}) выделенных на территории исследований зон ВОЗ [Никонов, Рейснер, 2002; Рогожин и др., 2014]. В данной работе на примере Северо-Западного (СЗ) Кавказа предпринята попытка использовать данные о палеоземлетрясениях для прямой оценки сейсмической опасности путем сопоставления в соответствии с законом повторяемости магнитуды сильного палеоземлетрясения с расчетным числом слабых сейсмических событий с магнитудой $M_s = 3.3$, используемой в качестве опорной магнитуды при оценке сейсмической активности [Сейсмическое ..., 1980].

Работы проведены на методической основе нового СП 408.1325800.2018 «Детальное сейсмическое районирование и сейсмомикрорайонирование для территориального планирования».

Анализ сейсмического режима

Рассматриваемая территория Северо-Западного и частично Центрального Кавказа в плане имеет форму трапеции с координатами вершин 42.5° - 45.5° N, 37.0° - 41.0° E. Для анализа сейсмического режима использовался Каталог землетрясений Кавказа с 1250 г. до РХ по конец 2018 г., созданный в ЕГС РАН (Обнинск), постоянно пополняемый текущей сейсмологической информацией из Оперативного сейсмологического каталога и Каталога службы срочных донесений ЕГС РАН (Обнинск). После очистки от афтершоков каталог в указанных выше координатах насчитывал 1913 событий в интервале магнитуд $1.3 \leq M_s \leq 7.2$.

В таблице 1 дано распределение числа событий в каталоге по годам и магнитудам. Темным фоном выделены периоды представительных наблюдений для различных магнитуд.

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

T, годы/ M_s	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	N0
до н.э.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3
0 - 1000	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2
1001-1500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
1501-1700	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
1701-1800	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	0	1	5
1801-1850	0	0	1	0	5	0	2	2	0	0	0	0	10
1851-1900	0	0	0	0	6	7	3	4	1	1	0	0	22
1901-1950	0	0	0	4	12	11	10	8	4	0	1	0	50
1951-1960	0	0	1	0	5	3	8	1	2	0	0	0	20
1961-1970	0	28	7	52**	22	8	1	2	1	0	1	0	122

1971-1980	0	1	0	68	18	9	5	0	1	0	0	0	102
1981-1990	0	0	23	47	17	8	2	0	0	0	0	0	97
1991-2000	12	26	83	87	35	9	3	0	0	0	0	0	255
2001-2005	3	34	97	25	15	1	2	1	0	0	0	0	178
2006-2010	10	19	70	30	9	1	0	0	0	0	0	0	139
2011-15	244	259	130	54	13	10	4	1	0	0	0	0	715
2016-18	61	46*	37	30	12	4	0	0	0	0	0	0	190
N0	330	413	449	397	171	71	42	20	11	2	4	3	1913
Nrep	0	305	334	393	141	53	35	17	9	0	0	0	1287

*) По 2016 г. включительно.

**) С 1962 г.

В соответствии с таблицей 1 низшей представительной магнитудой была признана $M_s = 2.0$ (в период с 2011 по 2016 год включительно). Данные по $M_s = 2.0$ за 2017 – 2018 гг. пока отсутствуют, т.к. события с малыми магнитудами обрабатываются в ФИЦ ЕГС РАН с опозданием. Поскольку также не было гарантии, что все события с высокими магнитудами ($M_s \geq 6.0$) фиксировались в прошлые века без пропусков, мы ограничились $M_s = 5.5$ в качестве верхней границы по магнитуде представительного каталога. В таблице 2 события представительного каталога землетрясений разнесены по числу событий в соответствующих интервалах магнитуд с учетом периода их представительного наблюдения.

Таблица 2. Распределение числа событий по магнитудам в представительном каталоге

M_s	Годы	T_{rep} , лет	N_{rep}	N_{rep}/T_{rep}	$lg(N_{rep}/T_{rep})$
2.0	2011-16	6	305	50.83333	1.70615
2.5	2001-16	16	334	20.875	1.31963
3.0	1962-2018	57	393	6.894737	0.83852
3.5	1962-2018	57	141	2.473684	0.39334
4.0	1951-2018	67	53	0.791045	-0.10180
4.5	1901-2018	118	35	0.29661	-0.52781
5.0	1851-2018	168	17	0.10119	-0.99486
5.5	1801-2018	218	9	0.041284	-1.38421

T_{rep} – период представительных наблюдений соответствующей магнитуды; N_{rep} – число событий соответствующей магнитуды за время ее представительных наблюдений.

По данным таблицы 2 методом линейной ортогональной регрессии строился ненормированный график повторяемости (рис. 1), дающий представление о среднем периоде повторения землетрясений соответствующих магнитуд на всей рассматриваемой территории.

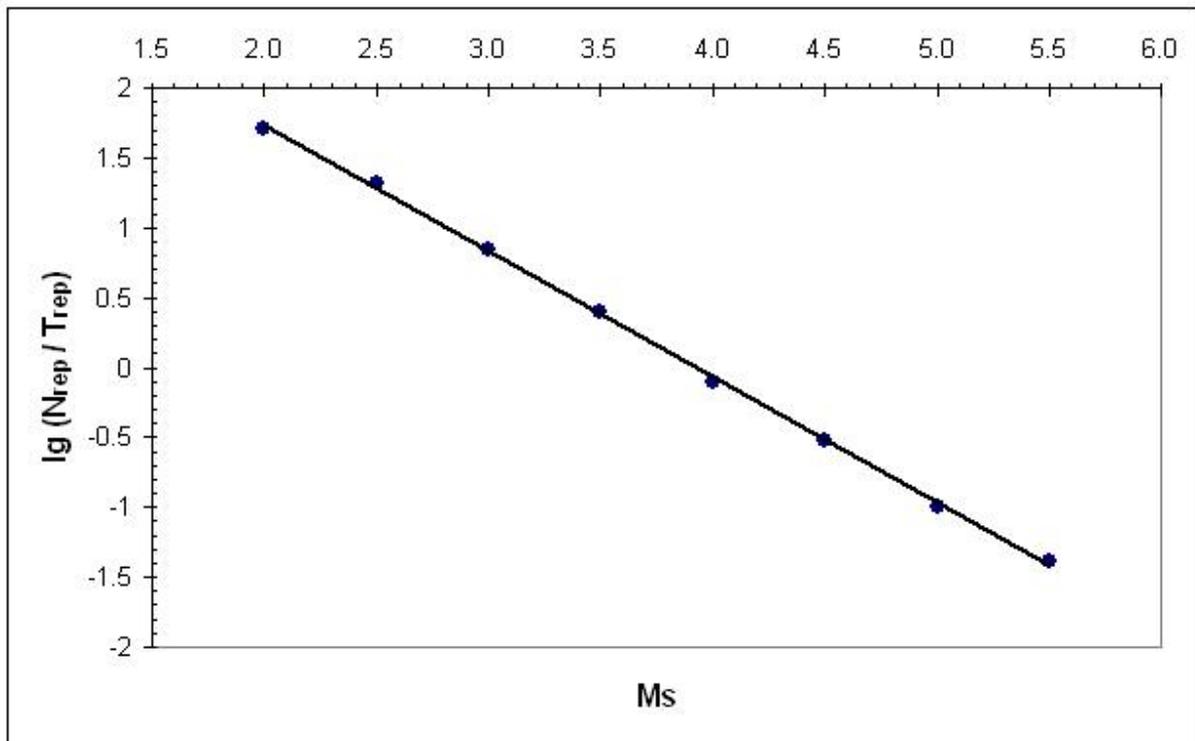


Рис. 1. График повторяемости в интервале магнитуд $2.0 \leq M_s \leq 5.5$

В аналитическом виде график повторяемости имеет вид:

$$Lg (N / T_{\text{rep}}) = -(0.900 \pm 0.009) \cdot M_s + 3.532 \pm 0.056, R_c = 0.9997, (1)$$

Здесь и далее R_c – коэффициент линейной корреляции.

Следует отметить, что на протяжении последних десятилетий (с конца 80^х годов прошлого века) наклон графика повторяемости практически не изменялся [Лутиков, Чебкасова, 1991; Лутиков и др., 2013]

Сейсмическая активность.

Для детального знания повторяемости землетрясений различных магнитуд на рассматриваемой территории строилась матрица сейсмической активности A_{33} , являющаяся аналогом сейсмической активности A_{10} [Сейсмическая ..., 1979], которая вместе с матрицей M_{max} также используется для расчета сейсмической сотрясаемости. Расчеты велись для ячеек размером 10' (0.167°) по широте и 15' (0.25°) по долготе. Напомним, что сейсмическая активность определяется как

$$A_0 = (1 - 10^{-b}) / 10^{-b(M_{min} - M_0)} \times (T_0 S_0) / (TS) \times N_s, (2)$$

где b - наклон графика повторяемости (в данном случае $b = -0.900$); $M_{min} = 2.0$ - 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 отражает среднее число землетрясений с магнитудой M_0 в год на площади в 1 тысячу квадратных километров. Полученная матрица сейсмической активности, которая использовалась для расчета сейсмической сотрясаемости B_1 , приведена в таблице 3.

Таблица 3. Матрица сейсмической активности $A_{3,3}$

$\varphi \backslash \lambda$	37.25	37.50	37.75	38.00	38.25	38.50	38.75	39.00	39.25	39.50	39.75	40.00	40.25	40.50
42.83	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003
43.00	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	0.022
43.16	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.004	0.004	0.003	0.002	0.003	0.01	0.022
43.33	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.006	0.026	0.052	0.033	0.029	0.03	0.013
43.49	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.007	0.015	0.06	0.105	0.07	0.053	0.055	0.027
43.66	0.001	0.007	0.007	0.001	0.001	0.001	0.011	0.026	0.053	0.086	0.073	0.059	0.099	0.074
43.82	0.001	0.007	0.007	0.004	0.005	0.009	0.023	0.037	0.048	0.066	0.076	0.057	0.075	0.055
43.99	0.003	0.001	0.007	0.011	0.005	0.015	0.047	0.073	0.062	0.042	0.058	0.042	0.007	0.006
44.15	0.017	0.011	0.017	0.023	0.018	0.016	0.03	0.053	0.042	0.03	0.035	0.027	0.065	0.057
44.32	0.06	0.079	0.053	0.03	0.018	0.01	0.003	0.014	0.03	0.032	0.018	0.012	0.067	0.059
44.48	0.12	0.118	0.052	0.02	0.009	0.007	0.001	0.01	0.021	0.012	0.001	0.005	0.009	0.01
44.65	0.129	0.07	0.013	0.007	0.017	0.023	0.01	0.003	0.005	0.003	0.009	0.011	0.007	0.012
44.81	0.083	0.028	0.011	0.002	0.008	0.016	0.01	0.001	0.002	0.009	0.015	0.008	0.003	0.006
44.98	0.038	0.022	0.023	0.007	0.001	0.008	0.008	0.001	0.003	0.01	0.007	0.003	0.003	0.001
45.14	0.014	0.02	0.018	0.009	0.003	0.008	0.009	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.003
45.31	0.011	0.01	0.002	0.003	0.003	0.001	0.008	0.008	0.004	0.004	0.003	0.003	0.001	0.003

Жирным шрифтом в таблице выделены ячейки с палеосейсмодислокациями.

В целом, рассматриваемая территория характеризуется умеренной или низкой сейсмической активностью: максимальные ее значения отмечены на западе и востоке территории исследований и составляют соответственно $A_{3,3} \approx 0.129$ и $A_{3,3} \approx 0.099$.

Параметризация палеоземлетрясений

В монографии Е.А. Рогожина [Рогожин и др., 2014] были обобщены результаты палеосейсмогеологических исследований последних лет на С-З Кавказе. В частности, там были описаны палеосейсмодислокации, выявленные на северо-западной оконечности горного сооружения Большого Кавказа между Новороссийском и Туапсе, на Новороссийском, Кузнецовском и Бабичевском разломах. Их магнитуда была оценена как 6.5–6.7. Причем в одном и том же месте выявлялось несколько палеосейсмодислокаций (ПС), датированных разным возрастом. В таблице 4 приведены возрасты и координаты (КПС) этих палеосейсмодислокаций.

Таблица 4. Возраст и координаты палеосейсмодислокаций на С-З Кавказе

Разлом	Новороссийский	Кузнецовский	Бабичевский	Тав, лет
КПС	$\Phi=44.78^\circ; \lambda=37.9^\circ$	$\Phi=44.37^\circ; \lambda=38.63^\circ$	$\Phi=44.76^\circ; \lambda=37.9^\circ$	
Возраст ПС	490-312	—	—	—
	1403-1293	—	1500-1000	—
	—	2980	3000-2500	2827
	4870-4650	5210	—	4910
	6308-6120	6840	—	6423
	7927-7674	8600	—	8067

Из таблицы 4 видно, что ПС на Новороссийском и Бабичевском разломах расположены близко (~2 км) друг от друга, тогда как ПС на Кузнецовском разломе отстоят от таковых на Новороссийском и Бабичевском разломах на ≈ 73 км. В то же время, сопоставляя датировки ПС, можно заключить, что с точностью до погрешностей оценки возраста ПС на Новороссийском разломе, имеющие возраст 7927-7674, 6308-6120 и 4870-4650 лет могут рассматриваться как практически одновременные с ПС на Кузнецовском разломе с возрастом 8600, 6840 и 5210 лет. То же касается и ПС с возрастом 2980 лет на Кузнецовском и 3000-2500 лет на Бабичевском разломах.

Таким образом, закономерно предположить, что на протяжении голоцена здесь могли произойти 4 сильных землетрясения, протяженность очага которых оценивается приблизительно в 73 км.

Ранее для землетрясений Кавказа была выполнена оценка протяженности очага землетрясения по макросейсмическим данным от магнитуды M_S . Размеры очагов оценивались по методике Н.В. Шебалина [Шебалин, 1974] для 36 землетрясений в интервале магнитуд $4.1 \leq M_S \leq 6.9$ [Несмеянов и др., 1996]. В результате была получена корреляционная зависимость:

$$Lg L \text{ (км)} = (0.521 \pm 0.046) \cdot M_S - 1.637 \pm 0.295, R_c = 0.889 \quad (3)$$

В соответствии с (3) протяженность очага в 73 км приблизительно соответствует землетрясению с магнитудой $M_S = 6.7$. Таким образом, оценки магнитуды по палеосейсмогеологическому методу и по линейным размерам очага совпадают.

В результате, с некоторой долей вероятности мы выяснили, что в течение последних 8-9 тысяч лет в этом месте, вероятно, произошло 4 сильных землетрясения с $M_S \approx 6.7$. Их средний период повторения 1 раз в 2000 лет. Очаг такого землетрясения занимает 6 ячеек матрицы $A_{3.3}$ (табл. 3, соответствующие ячейки выделены жирным шрифтом). В соответствии с графиком повторяемости (1) с землетрясением с $M_S = 6.7$ можно сопоставить $N_{eq} \approx 1151$ землетрясение с $M_S = 3.3$. Учитывая средний период повторения $T_{av} = 2016.75$ лет и площадь очага $S_s = \text{площадь ячейки} \times 6 = 2200 \text{ км}^2$, получим оценку сейсмической активности в ячейках матрицы $A_{3.3}$ (табл. 3), занимающих очаг палеоземлетрясения с $M_S = 6.7$:

$$A_{3.3} = N_{eq} / (T_{av} S_s) \approx 0.259 \quad (4)$$

Конечно, оценка (4) не является строгой. Однако, учитывая, что землетрясения с $M_S = 3.3$ являются представительными только с 1961 года, и в период с 1961 по 2018 год включительно в соответствии с законом повторяемости (1) на территории выделенных 6 ячеек можно было бы ожидать возникновения в среднем 33 землетрясений такой магнитуды. Но с учетом наступления возможной фазы сейсмического затишья, которая при среднем периоде повторения событий с $M_S = 6.7$ в 2000 лет может продолжаться десятилетиями, такие события здесь и, вообще, в этот период могли не наблюдаться. Поэтому, оценка (4) может быть использована в качестве верхней оценки сейсмической активности с учетом данных о палеоземлетрясениях. При расчете сейсмической сотрясаемости с учетом эффекта палеоземлетрясений использовалась матрица сейсмической активности $A_{3.3}$ (табл. 3), где значения $A_{3.3}$ в выделенных жирным шрифтом ячейках заменены в соответствии с формулой (4).

Зоны ВОЗ

При построении карты зон ВОЗ Западного Кавказа определение и регионализация сейсмического потенциала (M_{max}) проводились тремя взаимодополняющими методами - палеосейсмогеологическим, традиционным и формализованным [Никонов, 1991; Несмеянов, 1992; Рогожин и др., 2001]. Расчетные оценки M_{max} были проверены в процессе полевых сеймотектонических исследований на ключевых участках. Важнейшие результаты этих исследований были опубликованы ранее [Палеосейсмология, 2011; Рогожин и др., 2014]. В итоге была составлена сводная карта зон ВОЗ для Западного Кавказа (рис. 2). Эта карта в корне отличается от карты сейсмолинеаментов региона [Уломов, Шумилина, 1999; Balasanian et al., 1999] своей детальностью, более высокой дробностью оценок M_{max} и приуроченностью зон ВОЗ к реальным тектоническим нарушениям разных рангов, проявляющим активность на новейшем этапе.

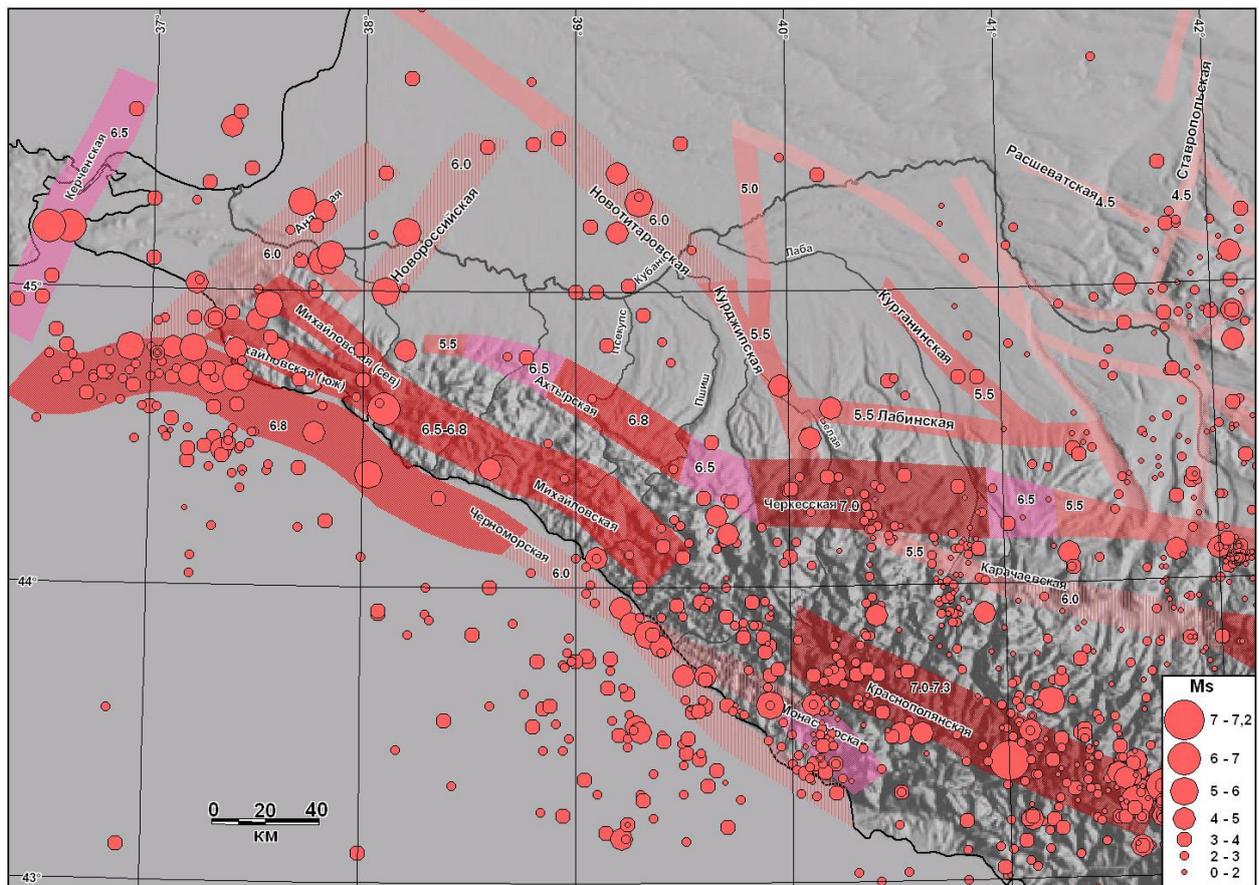


Рис. 2. Карта зон ВОЗ Западного Кавказа с эпицентрами землетрясений по инструментальным и историческим данным. Цифрами указаны M_{max} зон ВОЗ

Именно эта карта положена в основу построения новой детальной карты сейсмической опасности Северо-Западного и Центрального Кавказа.

Оценка сейсмической опасности Северо-Западного Кавказа

На основе карты зон ВОЗ (рис. 1) были составлены карты сейсмической опасности в детальном масштабе для региона СЗ Кавказа в терминах и по методике [Свод..., 2018] с учетом построения данных карт ОСР-97 А и В [Уломов, Шумилина 1999]. Карты сейсмической опасности были рассчитаны в 2^x вариантах – с учетом, описанных выше ПС и без оно. При этом было признано оправданным при расчетах сейсмической опасности в баллах нормативной макросейсмической шкалы MSK-64 (в настоящий

момент действует новая макросейсмическая шкала ШСИ-2017, полностью унаследовавшая оценки воздействий в баллах от шкалы MSK-64) использовать непосредственно уравнение макросейсмического поля для Кавказского региона [Сейсмическое..., 1980].

Поясним общие принципы построения этих карт. Карты сейсмической опасности в детальном масштабе для региона Северо-Западного и Центрального секторов Большого Кавказа строились на основе расчета сейсмической сотрясаемости [Сейсмическая..., 1979] по детальной сетке с размером ячеек $10'$ (0.165°) по широте \times $15'$ (0.25°) по долготе. При расчетах использовалась матрица M_{max} , являющаяся цифровым аналогом карты зон ВОЗ, а также матрицы сейсмической активности (табл. 3) для Северо-Западного Кавказа.

Расчет сейсмической сотрясаемости в каждой данной точке (ячейке матрицы сотрясаемости) осуществляется путем численного интегрирования сейсмических воздействий в этой точке от всех сейсмических источников (ячейки матрицы M_{max}) на рассматриваемой территории с учетом средней частоты повторения в них землетрясений различных магнитуд (ячейки матрицы сейсмической активности) от низшей представительной вплоть до M_{max} . При этом средняя частота повторения землетрясений с магнитудами $M \leq M_{max}$ определяется в каждой ячейке матрицы M_{max} по величине сейсмической активности $A_{3.3}$ в этой ячейке и наклону графика повторяемости b . При расчетах использовалось уравнение макросейсмического поля, применяемое для Кавказа

$$I = 1.5 M_S - 3.5 \lg R + 3.0, (5)$$

где R – расстояние между гипоцентром землетрясения и точкой наблюдения, то есть $R = \sqrt{(\Delta^2 + h^2)}$. Здесь Δ и h - соответственно эпицентральный расстояние и глубина очага в километрах.

Расчет сейсмической сотрясаемости (B_I) проводился по программе расчета сейсмической сотрясаемости (Кучай, Лутиков), в которой используются матрица M_{max} ; матрица сейсмической активности $A_{3.3}$; наклон графика повторяемости b и средняя глубина сейсмоактивного слоя, выбиравшаяся в соответствии с региональными распределениями гипоцентров по глубине и из соображений предельной (наименьшей возможной) глубины очага для соответствующих магнитуд M_{max} [Шебалин, 1969]. Ниже приводятся полученные карты сейсмической опасности для Северо-Западного Кавказа с учетом и без учета ПС (рис. 3, 4).

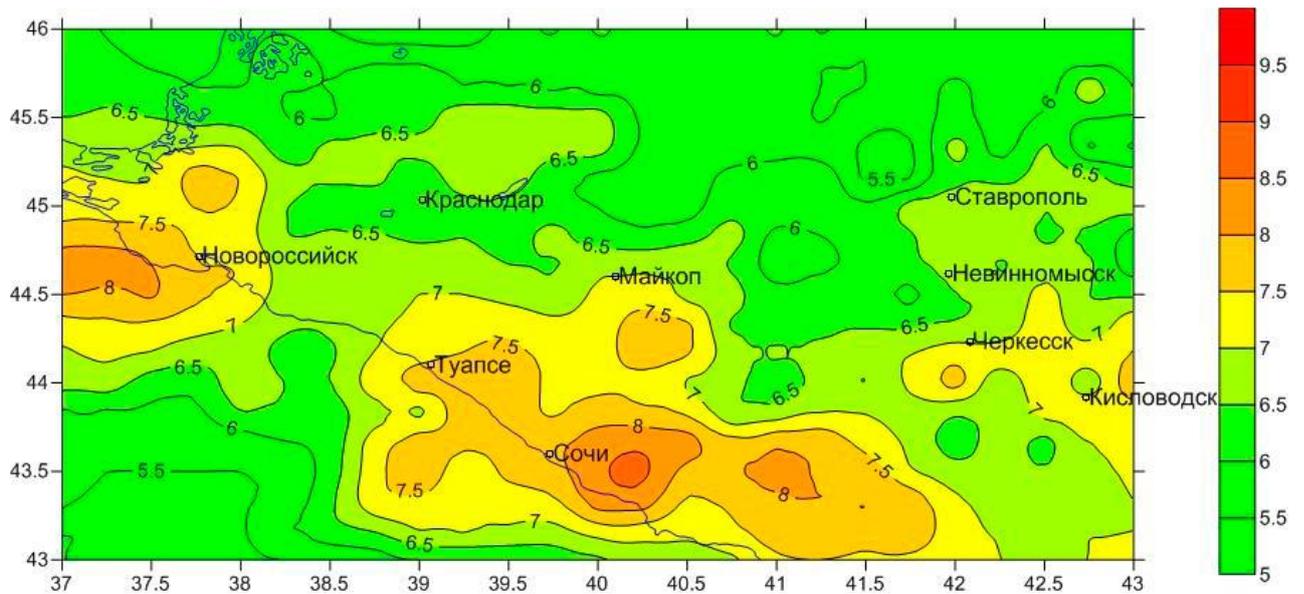


Рис. 3а. Карта ДСР-А Северо-Западного Кавказа без учета палеосейсмодислокаций с 10% вероятностью превышения в течение 50 лет. Средний период повторения 500 лет. Шкала воздействий в баллах MSK-64.

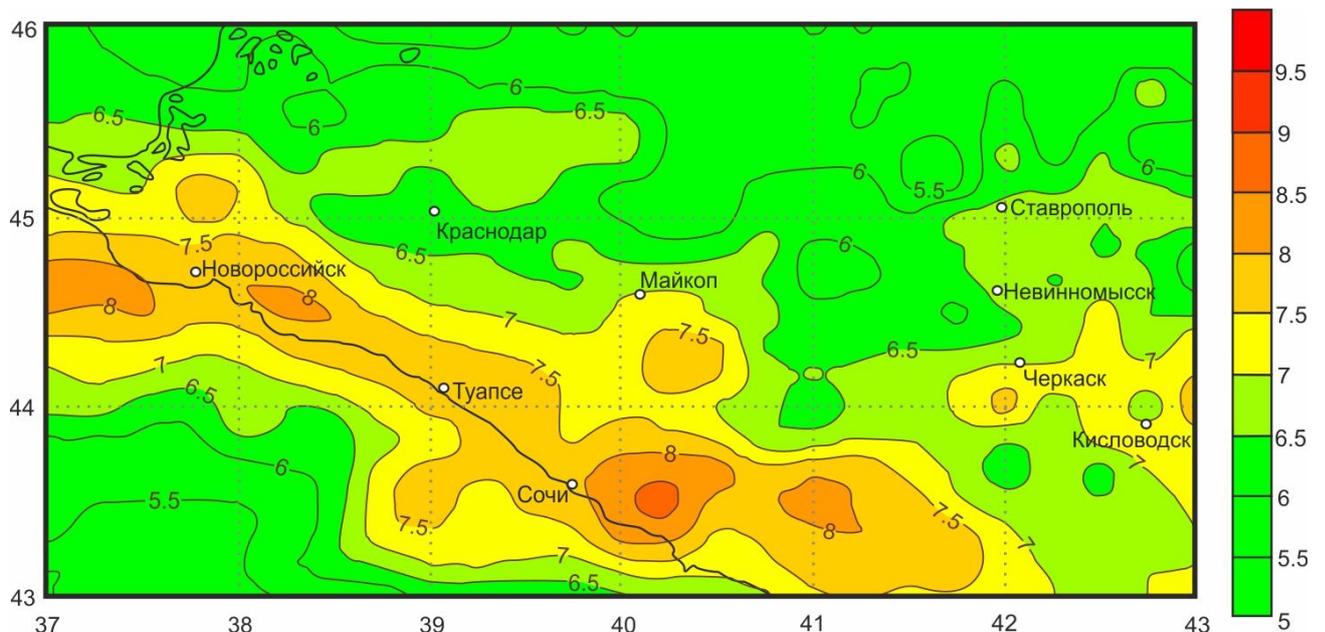


Рис. 3б. Карта ДСР-А Северо-Западного Кавказа с учетом палеосейсмодислокаций с 10% вероятностью превышения в течение 50 лет. Средний период повторения 500 лет.

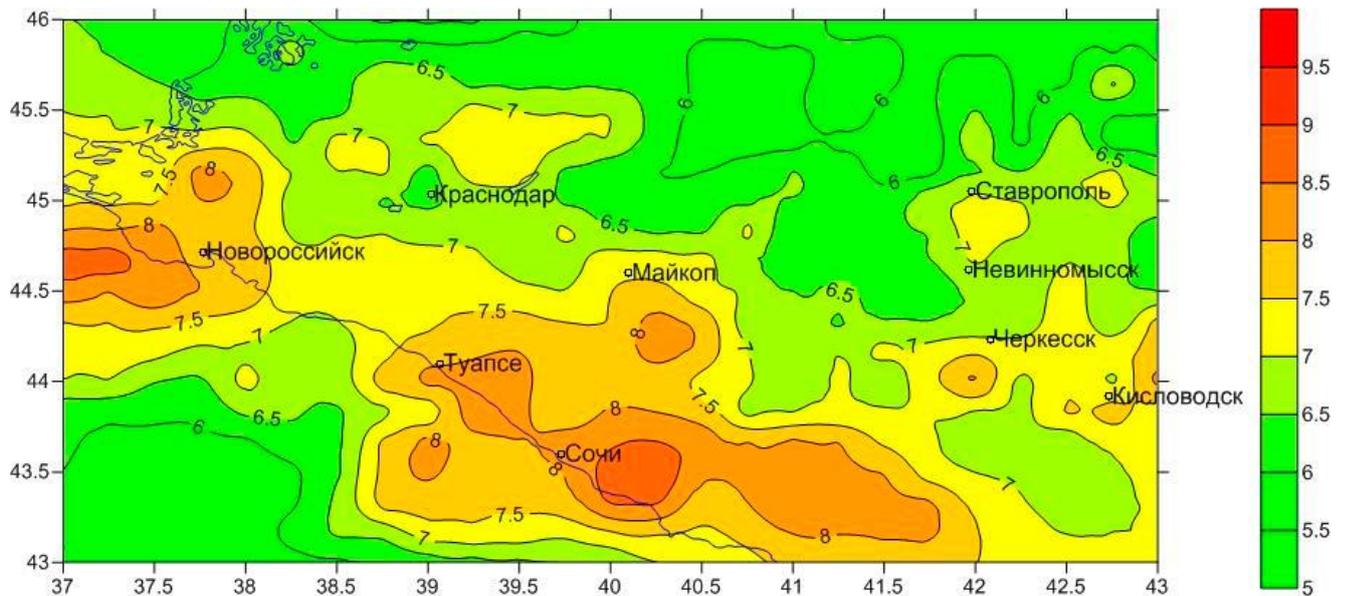


Рис. 4а. Карта ДСР-В Северо-Западного Кавказа без учета палеосейсмодислокаций с 5% вероятностью превышения в течение 50 лет. Средний период повторения 1000 лет. Шкала воздействий в баллах MSK-64.

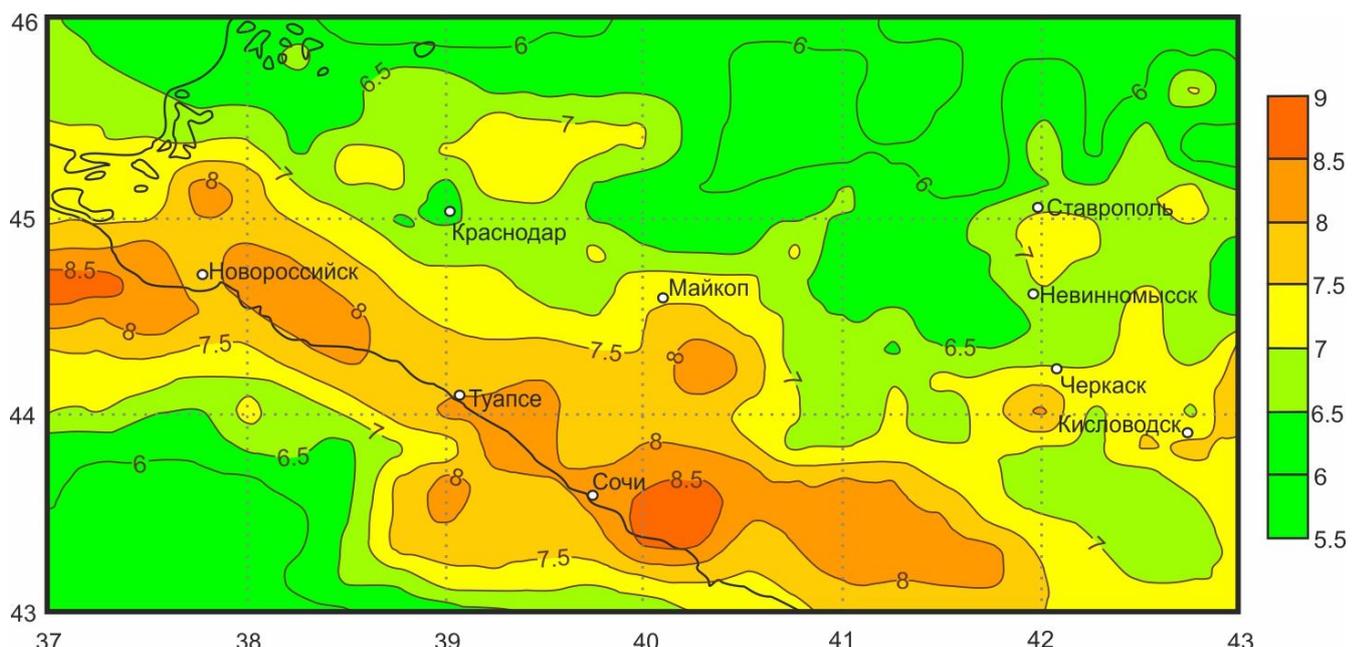


Рис. 4б. Карта ДСР-В Северо-Западного Кавказа с учетом палеосейсмодислокаций с 5% вероятностью превышения в течение 50 лет. Средний период повторения 1000 лет.

Обсуждение результатов

На составленных картах северо-западный сегмент Большого Кавказа выглядит сейсмоопасной областью, где уровень сейсмических воздействий достигает 7.5 баллов по картам А и В (в терминах карты ОСР-79). Напомним, что карта А традиционно составляется для оценки сейсмической опасности для строительных объектов нормальной и пониженной ответственности, а карта В – для объектов повышенной ответственности. На картах (рис. 3а и рис. 4а) отчетливо наблюдается зона пониженной балльности на отрезке от меридиана г. Новороссийска до меридиана г. Туапсе, где ее значения снижаются по сравнению с соседними сегментами мегантиклинория до 6.5 и

7 баллов соответственно. Учет результатов палеосейсмогеологических исследований (рис. 3б и рис. 4б) показал, что в этой части С-З Кавказа возникает зона существенного повышения уровня сейсмической опасности региона по сравнению с располагающимися восточнее и западнее сегментами подвижной системы (до 7.5 и даже 8 баллов соответственно). 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.

Заключение

Результаты проведенных исследований важны с методической точки зрения. Выяснилось, что проведение палеосейсмогеологических исследований позволяет существенно уточнить уровень сейсмической опасности того или иного региона. Такие исследования уже много лет осуществляются при проведении изыскательских работ под площадки объектов атомной энергетики и трасс магистральных трубопроводных систем. Однако при строительстве объектов нормальной степени ответственности такие работы не проводятся. А это очень важно с точки зрения безопасности населения.

В свете управления сейсмическим риском плотно заселенной и активно осваиваемой территории России – С-З Кавказа в рамках проекта фундаментальных исследований «Оценка экономического и социального ущербов от опасных природных процессов для Северо-Западного и Центрального Кавказа на основе разработки новых карт детального сейсмического районирования и риска» КОМФИ 18-00-00344 получение вышеописанных результатов имеет прорывное значение.

Литература

Лутиков А.И., Чебкасова Е.В. Сейсмический режим южной части Северо-Западного Кавказа // *Материалы по сейсмическому районированию Северо-Западного Кавказа*. М.: Наука, 1991. С. 81-98.

Лутиков А.И., Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности Северо-Западного Кавказа в детальном масштабе // *Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений*. Н-Т журнал . ISSN 2221-5638. 2013, № 1. С. 31–41.

Несмеянов С.А. Неоструктурное районирование Северо-Западного Кавказа. М.: Недра, 1992. 254 с.

Несмеянов С.А., Лутиков А.И., Аверьянова В.Н., Габсатарова И.П., Донцова Г.Ю., Захарова А.И., Макрушина Н.Т. Макросейсмическое поле, основные зоны ВОЗ и сейсмическая сотрясаемость // *Комплексная оценка сейсмической опасности территории г. Грозного. (Уточнение исходной сейсмичности. Сейсмическое микрорайонирование. Сейсмический риск)*. М.: Минстрой России, 1996. С. 48-57.

Никонов А.А. Палеосейсмодислокации в приосевой части Главного Кавказского хребта (Приэльбрусье) // *Докл. РАН*. 1991. Т. 319, № 5. С. 1183–1186.

Никонов А.А., Рейснер Г.И. Оценка сейсмического потенциала Кавказа с учетом палеосейсмических и сейсмотектонических данных // *Катастрофические процессы и их влияние на природную среду*. Т. 2. Сейсмичность. М.: ИФЗ РАН, 2002. С. 381–401.

Палеосейсмология. / Ред. Дж. Мак-Калпин. М.: Научный Мир, 2011. Т. 1. 541 с., Т. 2 387 с.

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., Рейснер Г.И., Иогансон Л.И. Оценка сейсмического потенциала Большого Кавказа и Апеннин независимыми методами // Геофизика и математика XXI. Современные математические и геологические модели в задачах прикладной геофизики. М.: ОИФЗ РАН, 2001. С. 279-299.

Свод правил СП 408.1325800.2018 «Детальное сейсмическое районирование и сейсмомикрорайонирование для территориального планирования». 2018.

Сейсмическое районирование территории СССР / Отв. ред.: д. ф-м. наук В.И. Бунэ, д. г.-м. наук Г.П. Горшков. М.: Наука, 1980. 308 с.

Сейсмическая сотрясаемость территории СССР / Отв. ред. Ю.В. Ризниченко. М.:Наука, 1979. 190 с.

Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1:8 000 000: Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ РАН, 1999. 57 с.

Шебалин Н.В. О предельной магнитуде и предельной балльности землетрясений // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1971. № 6. С. 12-20.

Шебалин Н.В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. М.: Наука, 1974. 54 с.

Balasanian S., Ashirov T., Chelidze T., et al. Seismic hazard assessment for the Caucasus test area // *Annali di Geofizica.* 1999. V. 42, N 6. p. 1139-1152.