

Рогожин Е. А., д-р геол.-минерал. наук, проф.,  
Лутиков А. И., вед. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук,  
Овсяченко А. Н., гл. науч. сотр., канд. геол.-минерал. наук,  
Донцова Г. Ю., науч. сотр.,  
Сысолин А. И., науч. сотр.

(Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН), г. Москва, ФИЦ Единая геофизическая служба (ЕГС) РАН, г. Обнинск, Калужская область)

## ДЕТАЛЬНОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА С УЧЕТОМ РЕЗУЛЬТАТОВ ПАЛЕОСЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Приводятся результаты нового обобщения данных о сейсмической опасности Северо-Западного Кавказа с учетом влияния результатов 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: палеосейсмогеологические исследования, сеймотектоническая основа, сейсмические воздействия, сейсмическая опасность региона, сейсмический риск*

### Введение

В последние годы по всей Земле быстро растет объем палеосейсмогеологических исследований [4] — [7]. Результатом таких исследований является выявление палеосейсмодислокаций, которые могут ассоциироваться с происшедшими 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 и на Северо-Западном и Центральном Кавказе [7].

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 [3]. В данной работе на примере Северо-Западного (С-З) Кавказа предпринята попытка использовать данные о палеоземлетрясениях для прямой оценки сейсмической опасности путем сопоставления в соответствии с законом повторяемости магнитуды сильного палеоземлетрясения с рас-

четным числом слабых сейсмических событий с магнитудой  $M_s = 3,3$ , используемой в качестве опорной магнитуды при оценке сейсмической активности [1], [3].

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

### Анализ сейсмического режима

Рассматриваемая территория Северо-Западного и частично Центрального Кавказа в плане имеет форму трапеции с координатами вершин  $42,5^\circ - 45,5^\circ \text{ N}$ ,  $37,0^\circ - 41,0^\circ \text{ E}$ . Для анализа сейсмического режима использовался Каталог землетрясений Кавказа с 1250 г. до РХ по конец 2018 г., созданный в ЕГС РАН (г. Обнинск), постоянно пополняемый текущей сейсмологической информацией из Оперативного сейсмологического каталога и Каталога службы срочных донесений ЕГС РАН (г. 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.

В соответствии с таблицей 1 нижней 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.

Здесь  $T_{rep}$  — 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, дающий представление о среднем периоде повторения землетрясений соответствующих магнитуд на всей рассматриваемой территории. В аналитическом виде график повторяемости имеет вид:

$$\lg(N/T_{rep}) = -(0,900 \pm 0,009) M_s + 3,532 \pm 0,056,$$

**Таблица 1** — Распределение числа событий в каталоге по годам и магнитудам

$T, \text{годы}/M_s$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	$N_0$
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
2011-2015	244	259	130	54	13	10	4	1	0	0	0	0	715
2016-2018	61	46*	37	30	12	4	0	0	0	0	0	0	190
$N_0$	330	413	449	397	171	71	42	20	11	2	4	3	1913
$N_{rep}$	0	305	334	393	141	53	35	17	9	0	0	0	1287

\* По 2016 г. включительно.

\*\* С 1962 г.

**Таблица 2** — Распределение числа событий по магнитудам в представительном каталоге

$M_s$	Годы	$T_{rep}, \text{лет}$	$N_{rep}$	$N_{rep}/T_{rep}$	$\lg(N_{rep}/T_{rep})$
2,0	2011-2016	6	305	50,83333	1,70615
2,5	2001-2016	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

$$R_c = 0,9997. \quad (1)$$

Здесь и далее  $R_c$  — коэффициент линейной корреляции.

Следует отметить, что на протяжении последних десятилетий (с конца 80-х гг. прошлого века) наклон графика повторяемости практически не изменялся [1], [3], [9], [11].

**Сейсмическая активность.** Для детального знания повторяемости землетрясений различных магнитуд на рассматриваемой территории строилась матрица сейсмической активности  $A_{3,3}$ , являющаяся аналогом сейсмической активности  $A_{10^7}$ , 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:

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

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 тыс. км<sup>2</sup>. Полученная матрица сейсмической активности, которая использовалась для расчета сейсмической сотрясаемости  $B_s$ , приведена в таблице 3.

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 и др. [7] 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.

Из таблицы 4 видно, что ПС на Новороссийском и Бабичевском разломах расположе-

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

φ/λ	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	<b>0,01</b>	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	<b>0,009</b>	<b>0,007</b>	0,001	0,01	0,021	0,012	0,001	0,005	0,009	0,01
44,65	0,129	0,07	0,013	<b>0,007</b>	<b>0,017</b>	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	<b>0,002</b>	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

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

Разлом	Новороссийский	Кузнецовский	Бабичевский	$T_{av}$ , лет
КПС	Φ = 44,78°; λ = 37,9°	Φ = 44,37°; λ = 38,63°	Φ = 44,76°; λ = 37,9°	
возраст ПС	490-312	—	—	—
	1403-1293	—	1500-1000	—
	—	2980	3000-2500	2827
	4870-4650	5210	—	4910
	6308-6120	6840	—	6423
	7927-7674	8600	—	8067

ны 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 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. Шибалина [11] для 36 землетрясений в интервале магнитуд  $4,1 \leq M_s \leq 6,9$  [12]. В результате была получена корреляционная зависимость:

$$\lg L = (0,521 \pm 0,046) M_s - 1,637 \pm 0,295, \\ R_c = 0,8893. \quad (3).$$

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.

Таким образом, мы выяснили, что в течение последних 8-9 тыс. лет в этом месте 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  $A_{3,3}$  (таблица 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  $S_o = \text{площадь ячейки} \times 6 = 2200 \text{ км}^2$ , получим оценку сейсмической активности в ячейках матрицы  $A_{3,3}$  (таблица 3), занимающих очаг палеоземлетрясения с  $M_s = 6,7$ :

$$A_{3,3} = N_{eq} / (T_{av} S_o) \approx 0,259. \quad (4)$$

Конечно, оценка (4) не является строгой, но может быть использована в качестве верхней оценки сейсмической опасности с учетом данных о палеоземлетрясениях. При расчете сейсмической сотрясаемости с учетом эффекта

палеоземлетрясений использовалась матрица сейсмической активности  $A_{3,3}$  (таблица 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 [4], [5], [7], [8]. Расчетные оценки  $M_{max}$  были проверены в процессе полевых сейсмотектонических исследований на ключевых участках. Важнейшие результаты этих исследований опубликованы ранее [7], [8]. В итоге была составлена сводная карта зон ВОЗ для Западного Кавказа (рисунок 2). Эта карта в корне отличается от карты сейсмолинеаментов региона [11], [14] своей детальностью, более высокой дробностью оценок  $M_{max}$  и приуроченностью зон ВОЗ к реальным тектоническим нарушениям разных рангов, проявляющим активность на новейшем этапе.

Именно эта карта положена в основу построения новой детальной карты сейсмической

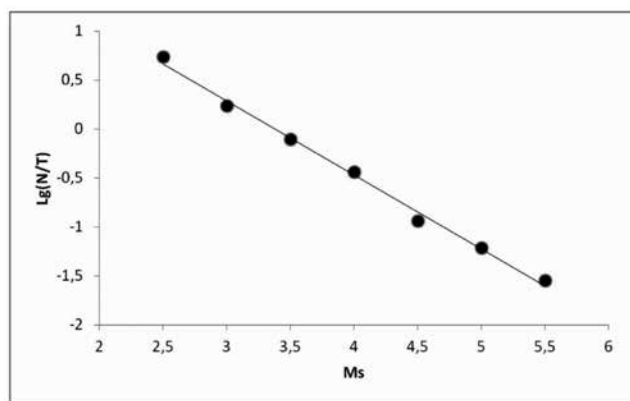


Рисунок 1 – График повторяемости землетрясений, построенный с использованием инструментальных и исторических сейсмологических данных для С-3 Кавказа с наклоном  $-0,90$  и коэффициентом корреляции  $R = 0,9997$

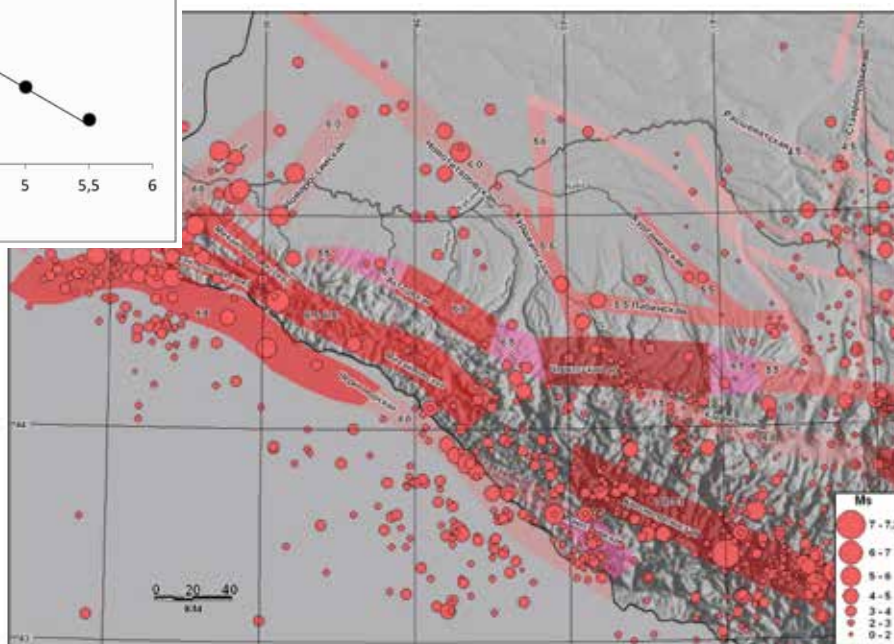


Рисунок 2 – Карта зон ВОЗ Западного Кавказа с эпицентрами землетрясений по инструментальным и историческим данным. Цифрами указаны  $M_{max}$  зон ВОЗ

опасности Северо-Западного и Центрального Кавказа. Характерной особенностью карты является то, что в пределах Михайловской, Черноморской и Ахтырской зон ВОЗ на центральном сегменте от меридиана  $38,1^\circ$  до  $39^\circ$  в. д. практически отсутствуют эпицентры землетрясений. То есть, здесь располагается зона долговременного сейсмического затишья (сейсмическая «брешь»). В пределах этой «бреши» в последние десятилетия были выполнены активные палеосейсмогеологические исследования [7].

#### Оценка сейсмической опасности Северо-Западного Кавказа

На основе карты зон ВОЗ (рисунок 2) были составлены карты сейсмической опасности в детальном масштабе для региона С-3 Кавказа в терминах и по методике [15] с учетом построения карт ОСР-97 А и В [11]. Карты сейсмической опасности были рассчитаны в двух вариантах — с учетом, описанных выше ПС и без него. При этом было признано оправданным при расчетах сейсмической опасности в баллах нормативной макросейсмической шкалы MSK-64 (в настоящий момент действует но-

вая макросейсмическая шкала ШСИ-2017, полностью унаследовавшая оценки воздействий в баллах от шкалы MSK-64) использовать непосредственно уравнение макросейсмического поля для Кавказского региона [4].

Для оценки сейсмического режима построен график повторяемости с использованием палеосейсмогеологических данных (рисунок 3).

Наклон графика  $b$  уменьшился до  $-0,94$ , что несколько увеличивает повторяемость сильных землетрясений по сравнению с получаемой в результате экстраполяции в область больших магнитуд графика, построенного

лишь по историческим и инструментальным данным.

Поясним общие принципы построения карт ДСР. Карты сейсмической опасности в детальном масштабе для региона Северо-Западного и Центрального секторов Большого Кавказа строились на основе расчета сейсмической сотрясаемости [10] по детальной сетке с размером ячеек  $10^\circ$  ( $0,165^\circ$ ) по широте  $\times 15^\circ$  ( $0,25^\circ$ ) по долготе. При расчетах использовалась матрица  $M_{max}$ , являющаяся цифровым аналогом карты зон ВОЗ, а также матрицы сейсмической активности (таблица 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 нижней представительной вплоть до  $M_{max}$ . При этом средняя частота повторения землетрясений с магнитудами  $M \leq M_{max}$  определяется

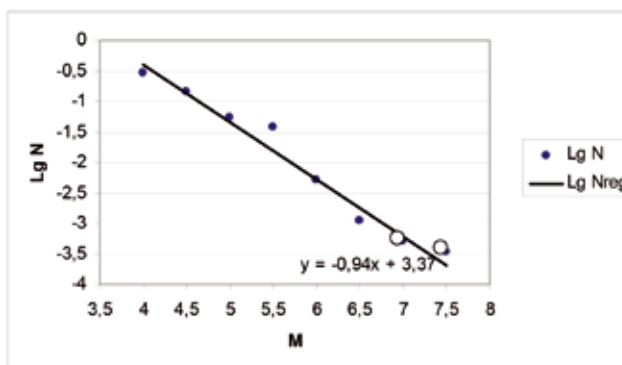


Рисунок 3 – График повторяемости землетрясений, построенный с использованием инструментальных, исторических (черные точки) и палеосейсмогеологических (белые кружки) данных для С-3 Кавказа с наклоном  $-0,94$  и коэффициентом корреляции  $R = 0,986$

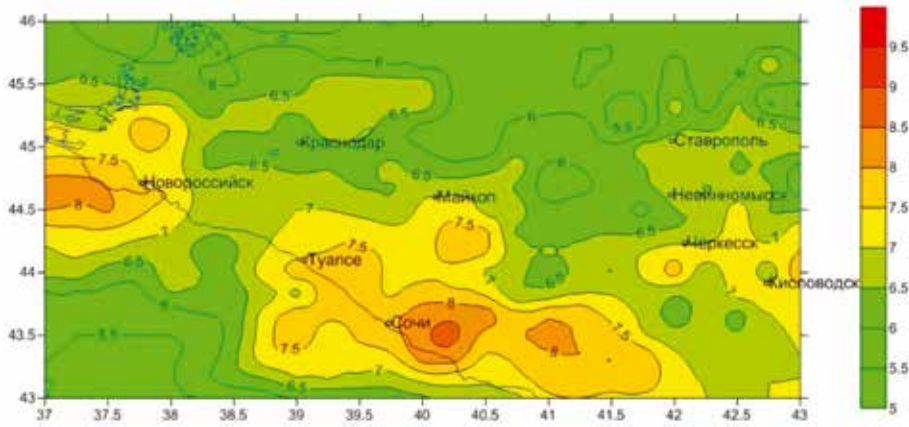


Рисунок 4а – Карта ДСР-А Северо-Западного Кавказа без учета палеосейсмодислокаций с 10 %-ной вероятностью превышения в течение 50 лет. Средний период повторения 500 лет. Шкала воздействий в баллах MSK-64

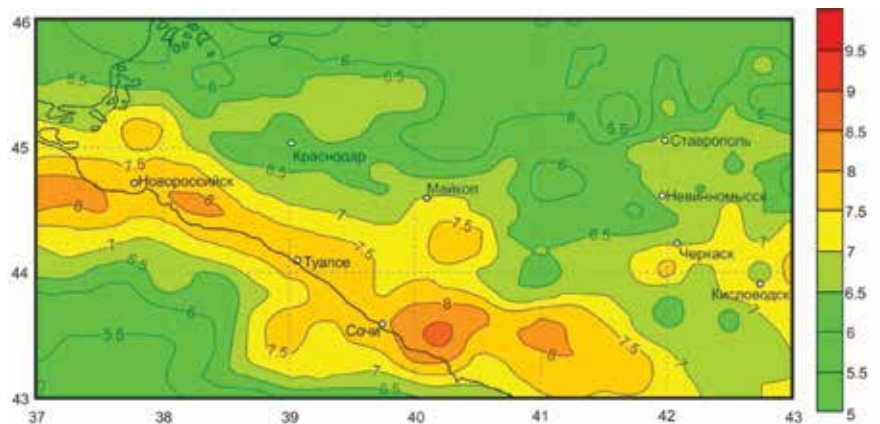


Рисунок 4б – Карта ДСР-А Северо-Западного Кавказа с учетом палеосейсмодислокаций с 10 %-ной вероятностью превышения в течение 50 лет. Средний период повторения 500 лет

в каждой ячейке матрицы  $M_{max}$  по величине сейсмической активности  $A_{3,3}$  в этой ячейке и наклону графика повторяемости  $b$  [1], [3]. При расчетах использовалось уравнение макросейсмического поля, применяемое для Кавказа

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

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

Расчет сейсмической сотрясаемости ( $B_r$ ) проводился по программе расчета сейсмической сотрясаемости (разработана Кучаем М. С., Лутиковым А. И.), 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  $M_{max}$  [15]. Ниже приводятся полученные карты сейсмической опасности для Северо-Западного Кавказа с учетом (рисунки 4, 5).

### Обсуждение результатов

Использование результатов палеосейсмогеологических исследований при реконструкции сейсмического режима региона позволило существенно уточнить и дифференцировать уровень сейсмических воздействий при составлении карт детального сейсмического районирования.

На составленных картах северо-западный сегмент Большого Кавказа выглядит сеймоопасной областью, где балльность 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 (рисунки 4а, 5а) отчетливо наблюдается зона пониженной балльности на отрезке от меридиана г. Новоросийска 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 (рисунки 4б, 5б) показал, что в этой части С-З Кавказа, напротив, возникает зона

существенного повышения уровня сейсмической опасности региона по сравнению с расположенными 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 особо ответственных объектов атомной энергетики и трассы магистральных трубопроводных систем. Однако при строительстве объектов нормальной степени ответственности такие работы не проводятся. А это очень важно с точ-

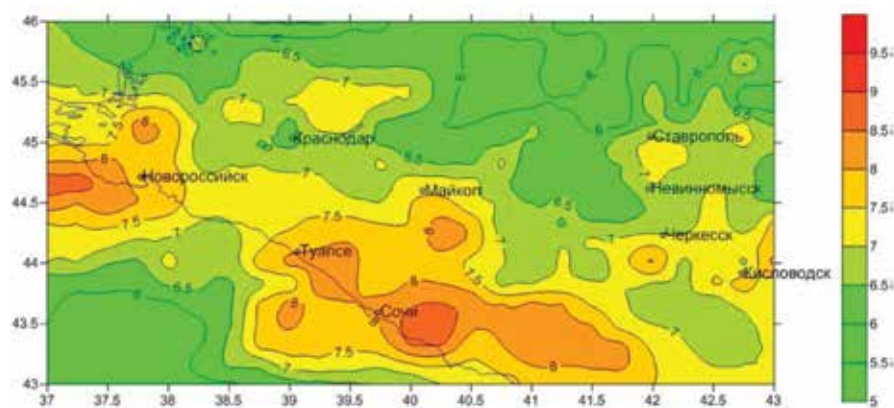


Рисунок 5а – Карта ДСР-В Северо-Западного Кавказа без учета палеосейсмодислокаций с 5 %-ной вероятностью превышения в течение 50 лет. Средний период повторения 1000 лет. Шкала воздействий в баллах MSK-64

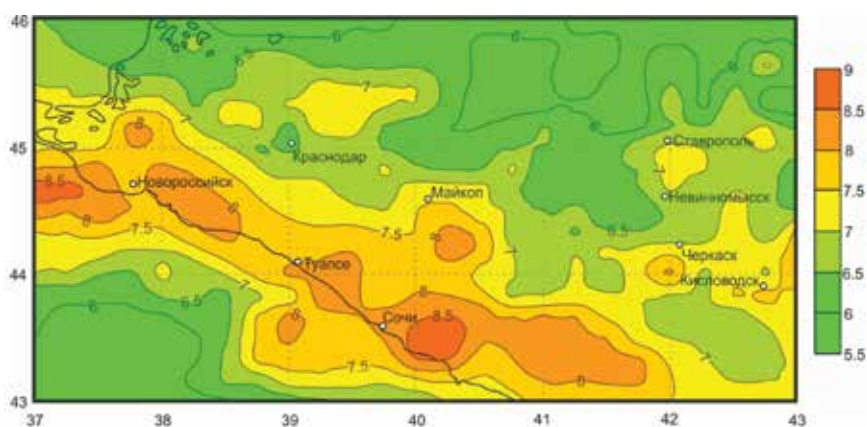


Рисунок 5б – Карта ДСР-В Северо-Западного Кавказа с учетом палеосейсмодислокаций с 5 %-ной вероятностью превышения в течение 50 лет. Средний период повторения 1000 лет

ки 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 ущерба 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.

#### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проектов КОМФИ 18-00-00344 и 18-00-00247).

#### Библиография

1. Лутиков А. И., Чебасова Е. В. Сейсмический режим южной части Северо-Западного Кавказа. Материалы по сейсмическому районированию Северо-Западного Кавказа. / Отв. ред. Антикаев Ф. Ф. — М.: Наука. 1991. С. 81-98.

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

3. Несмеянов С. А., Лутиков А. И., Аверьянова В. Н., Габсатарова И. П., Донцова Г. Ю., Захарова А. И., Мокрушина 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.

4. Никонов А. А. Палеосейсмодислокации в приосевой части Главного Кавказского хребта (Приэльбрусье). / Доклады АН СССР. 1991. Т. 319, № 5. С. 1183-1186.

5. Никонов А. А., Рейснер Г. И. Оценка сейсмического потенциала Кавказа с учетом палеосейсмических и сеймотектонических данных. / Катастрофические процессы и их влияние на природную среду. Т. 2. Сейсмичность. — М.: ИФЗ РАН. 2002. С. 38-401.

6. Палеосейсмология. В 2-х то-

мах. / Ред. Дж. П. Мак-Калтин. — М.: Научный Мир. 2011. 541 с., 387 с.

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

8. 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.

9. Сейсмическое районирование территории СССР. — М.: Наука. 1980. 308 с.

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

11. Уломов В. И., Шумилина Л. С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации — ОСР-97. Масштаб 1:8000000: Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных

в сейсмоопасных районах. — М.: ОИФЗ РАН. 1999. 57 с.

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

13. Шебалин Н.В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. — М.: Наука. 1974. С. 45.

14. Balasarian S., Ashirov T., Chelidze T., et al. Seismic hazard assessment for the Caucasus test area. // *Annali di Geofisica*. V. 42, No. 6,

1999, p. 1139-1152.

15. СП 408.1325800.2018 Детальное сейсмическое районирование и сейсмомикро-районирование для территориального планирования.

eng

Rogozhin E. A., Lutikov A. I., Ovsyuchenko A. N., Dontsova G. Yu., Sysolin A. I.

## DETAILED SEISMIC ZONING OF THE NORTH-WEST CAUCASUS TAKING INTO ACCOUNT THE RESULTS OF PALEOSEISMOGEOLOGICAL STUDIES

The results of a new generalization of data on the seismic hazard of the North-West Caucasus, taking into account the impact of paleoseismogeological studies on the level of seismic hazard. A fundamentally new seismotectonic framework (who zone map) has been prepared for detailed seismic hazard maps of the region. On the basis of this who zone map, seismic impacts are calculated on a probabilistic basis. On the maps, the North-Western and Central segments of the Greater Caucasus appear to be a seismically dangerous area, where the level of seismic impacts reaches 8.5 points on maps A and B. at the same time, compared with the data of the SRS-97 maps, the obtained results look more differentiated and in General significantly reduce the level of seismic danger in the region. The work is important from the methodological point of view in the light of seismic risk management in this densely populated and actively developed territory of Russia.

Keywords: paleoseismogeological studies, seismotectonic basis, seismic effects, seismic hazard of the region, seismic risk

### References

- Lutikov A.I., CHEBKASOVA E.V. Seismicheskij rezhim yuzhnoj chasti Severo-Zapadnogo Kavkaza. *Materialy po seismicheskomu rajonirovaniyu Severo-Zapadnogo Kavkaza.* / *Otv. red. Aptikaev F.F.* – М.: Nauka. 1991. Pp. 81-98. (in Russian)
- Nesmeyanov S.A. Neostrukturnoe rajonirovanie Severo-Zapadnogo Kavkaza. – М.: Nedra. 1992. 254 p. (in Russian)
- Nesmeyanov S.A., Lutikov A.I., Aver'yanova V.N., Gabsatarova I.P., Doncova G.YU., Zaharova A.I., Mokrushina N.T. Makrosejsmicheskoe pole, osnovnye zony VOZ i seismicheskaya sotryasaemost'. / *Kompleksnaya ocenka seismicheskoy opasnosti territorii g. Groznogo. (Utochnenie iskhodnoj seismichnosti. Seismicheskoe mikrorajonirovanie. Seismicheskij risk).* – М.: Minstroj Rossii. 1996. Pp. 48-57. (in Russian)
- Nikonov A.A. Paleosejmodislokacii v priosevoj chasti Glavnogo Kavkazskogo hrebta (Priel'brus'e). / *Doklady AN SSSR*. 1991. T. 319. № 5. Pp. 1183-1186. (in Russian)
- Nikonov A.A., Rejsner G.I. Ocenka seismicheskogo potenciala Kavkaza s uchetom paleosejsmicheskikh i sejsmotektonicheskikh dannyh. / *Katastroficheskie processy i ih vliyanie na prirodnyuyu sredu. T. 2. Seismichnost'*. – М.: IFZ RAN. 2002. Pp. 38-401. (in Russian)
- Paleosejsmologiya. V 2-h tomah. / *Red. Dzh.P. Mak-Kalpin.* – М.: Nauchnyj Mir. 2011. 541 s., 387 p. (in Russian)
- Rogozhin E.A., Ovsyuchenko A.N., Lutikov A.I., Sobisevich A.L., Sobisevich L.E., Gorbatikov A.V. Endogennye opasnosti Bol'shogo Kavkaza. – М.: IFZ RAN. 2014. 256 p. (in Russian)
- Rogozhin E.A., Rejsner G.I., Ioganson L.I. Ocenka seismicheskogo potenciala Bol'shogo Kavkaza i Apennin nezavisimymi metodami. / *Geofizika i matematika HKHI. Sovremennye matematicheskie i geologicheskie modeli v zadachah prikladnoj geofiziki.* – М.: OIFZ RAN. 2001. Pp. 279-299. (in Russian)
- Sejsmicheskoe rajonirovanie territorii SSSR. – М.: Nauka. 1980. 308 p. (in Russian)
- Sejsmicheskaya sotryasaemost' territorii SSSR. / *Otv. red. YU.V. Riznichenko.* – М.: Nauka. 1979. 190 p. (in Russian)
- Ulomov V.I., SHumilina L.S. Komplekt kart obshchego sejsmicheskogo rajonirovaniya territorii Rossijskoj Federacii – OSR-97. *Masshtab 1:8000000: Ob'yasnitel'naya zapiska i spisok gorodov i naseleennykh punktov, raspolzhenykh v sejsmoopasnykh rajonah.* – М.: OIFZ RAN. 1999. 57 p. (in Russian)
- Shebalin N.V. O predel'noj magnitудe i predel'noj ball'nosti zemletryasenij. // *Izv. AN SSSR. Fizika Zemli*. 1971. № 6. Pp. 12-20. (in Russian)
- Shebalin N.V. Ochagi sil'nykh zemletryasenij na territorii SSSR. – М.: Nauka. 1974. Pp. 45. (in Russian)
- Balasanian S., Ashirov T., Chelidze T., et al. Seismic hazard assessment for the Caucasus test area. // *Annali di Geofisica*. V. 42, No. 6, 1999, p. 1139-1152.
- SP 408.1325800.2018 Detal'noe sejsmicheskoe rajonirovanie i sejsmomikrorajonirovanie dlya territorial'nogo planirovaniya. (in Russian)