

**НИЖНЕКУБАНСКОЕ-II ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 9 ноября 2002 года с  $K_p=13.0$ ,**

**$M_w=5.5$ ,  $I_0=6$  (Северный Кавказ)**

**И.П. Габсатарова, Л.С. Чепкунас, Е.А. Бабкова**

Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, [ira@gstras.ru](mailto:ira@gstras.ru)

Нижнекубанское-II землетрясение с  $K_p=13.3$ ,  $I_0=6$  баллов произошло 9 ноября в 02<sup>h</sup>18<sup>m</sup> в Краснодарском крае на юго-западе России, в 40 км северо-восточнее г. Анапа, практически в том же месте, что и Нижнекубанское землетрясение 1879 г. [ 1]. Следуя установившейся традиции называть землетрясения в одной эпицентральной области одним и тем же именем, но с цифрами, настоящее землетрясение было названо Нижнекубанским-II.

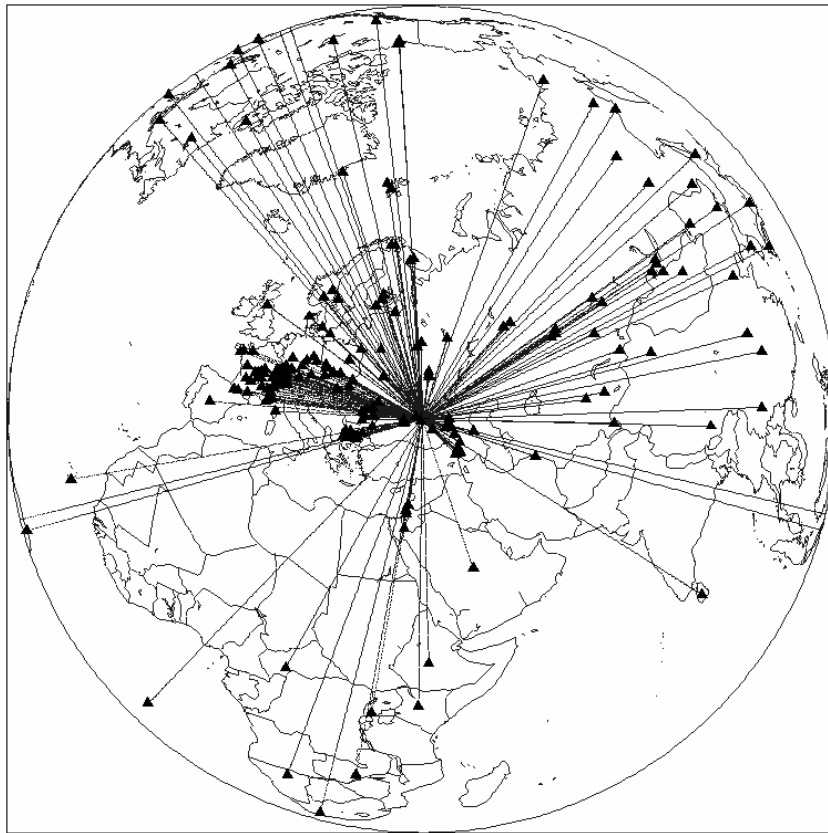
О нем уже опубликовано несколько работ [2–6], поэтому ниже, с одной стороны, эти публикации аккумулируются, с другой, вносятся дополнительные факты. Как было отмечено в [7], инструментальные [2] и макросейсмические [4, 5] данные о землетрясении, особенно оценки глубины его очага, различаются значительно: по инструментальным – очаг располагался в нижней части земной коры, по макросейсмическим – в верхней ее половине.

На карте общего сейсмического районирования ОСР-97-А [8] Нижнекубанское-II землетрясение попадает в восьмибалльную зону (рис. 1).



**Рис. 1.** Фрагмент карты общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97-А. Звездой показано положение эпицентра Нижнекубанского-II землетрясения 09.11.2002 г.

**Основной толчок** был зарегистрирован большим числом сейсмических станций практически на всех континентах Земного шара, кроме Антарктиды (рис. 2). Диапазон эпицентральных расстояний составил  $\Delta=0.3\text{--}120^\circ$  [9–11].



**Рис. 2.** Положение сейсмических станций, зарегистрировавших Нижнекубанское-II землетрясение 9 ноября 2002 г. с  $K_p=13.0$

Ближайшими ( $\Delta=46\text{--}230$  км) к эпицентру были следующие станции: станции ГС РАН [12] «Анапа» с  $\Delta=46$  км и «Сочи» с  $\Delta=230$  км, только что открывшаяся станция Краснодарского государственного университета «Краснодар» [12] с  $\Delta=90$  км и принадлежащая Крымской сети станция «Керчь» [13] с  $\Delta=109$  км. К моменту возникновения землетрясения на всех станциях, кроме «Сочи», было установлено цифровое оборудование SDAS [12]. Основные параметры землетрясения представлены в табл. 1 по данным разных источников.

**Таблица 1.** Основные параметры Нижнекубанского-II землетрясения по данным ГС РАН и других агентств

Агентство	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр					Магнитуда	Окружение эпицентра			Источ- ник		
			$\varphi^\circ$ , N	$\delta\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$ , E	$\delta\lambda^\circ$	$h$ , км		$\delta h$ , км	$n$ ст.	$\Delta_{\min}$		$\Delta_{\max}$	gap
<sup>1</sup> ГС РАН, ССД	02 18 13.0		44.99		37.77		2		$M_S=4.5/9$ $MPSP=4.9/7$	44				[9]
<sup>2</sup> ИФЗ	02 18		44.908 <sup>M</sup>		37.771 <sup>M</sup>		14 <sup>M</sup>							[4,5]
<sup>3</sup> ГС РАН, MOS	02 18 15.0	1.4	45.052	0.04	37.714	0.03	33 f		$MPSP=5.2/18$	131	1.46°	76.2°		[10]
<sup>4</sup> ГС РАН, NC	02 18 15.1	0.8	45.12		37.84		28		$K_p=13.3/4$	29	46 км	812 км	166°	[14]
<sup>5</sup> NEIC	02 18 11.5	1.09	45.003	0.03	37.768	0.03	10f		$M_S=4.6/6$ $m_b=5.0/96$	288	3.67°	120.97°	65	[11]
<sup>6</sup> IDC	02 18 16.8	1.01	44.9156	0.12	37.7998	0.10	33	28	$M_S=4.5/13$ $m_b=4.6/22$ $M_L=4.5/5$	30	8.39°	120.93°	75°	[11]
<sup>7</sup> ISC	02 18 14.9	0.1	44.9324		37.7614		33.8 d 34±4* <i>pP</i>		$M_S=4.8/27$ $m_b=5.0/141$	649	0.37°	98.16°		[11]

Агентство	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр						Магнитуда	Окружение эпицентра			Источ- ник	
			$\varphi^\circ, N$	$\delta\varphi^\circ$	$\lambda^\circ, E$	$\delta\lambda^\circ$	$h$ , км	$\delta h$ , км		$n$ ст.	$\Delta_{\min}$	$\Delta_{\max}$		гар
<sup>8</sup> MED_RCMT	02 18 11.5	0.2	44.85		37.80		18.4		$M_w=5.3/29$					[11]
<sup>9</sup> ZUR_RMT	02 18 11.0	0.2	45.003		37.768		33.0		$M_w=5.1/23$					[11]
<sup>10</sup> HRVD	02 18 15.2	1.5	44.77		37.21		15 f		$M_w=5.5/15$					[11]
<sup>11</sup> ВЛ	02 18 11.5	1.8	45.00		37.80		10.0		$M_s=5.1$ $m_b=5.3$	64				[11]
<sup>12</sup> ИГ НАНУ	02 18 15.0	0.6	44.82		37.70	0.34	29		$K_{II}=13.0/3$	31	370 км	319 км		[15]
ГС РАН, авторы статьи	02 18 17.0	0.2	45.044	0.04	37.766	0.02	33.8 35.2* <i>pP</i> 33.3* <i>sP</i>	2	$K_p=13.0/5$ $M_L=4.9$ $M_S=4.6$ $M_w=5.5$	172	0.34°	120.98°	29°	

Примечание. Буквами *f*, *d*, \**pP*, \**sP* обозначена глубина  $h$  гипоцентра: фиксированная, рассчитанная по программе локации в ISC, по фазе *pP* и *sP* соответственно; верхним индексом <sup>M</sup> помечены макросейсмические данные. <sup>1</sup>Служба срочных донесений ГС РАН; <sup>2</sup>Макросейсмический эпицентр по [4]; <sup>3</sup>Оперативный сейсмологический бюллетень ГС РАН; <sup>4</sup>Оперативный сейсмологический бюллетень для территории Северного Кавказа, выпускаемый в ГС РАН на основании наблюдений станций Северного Кавказа; <sup>5</sup>NEIC – Национальный центр информации о землетрясениях Геологической службы США; <sup>6</sup>IDC – Международный центр, Австрия, Вена; <sup>7</sup>ISC – Международный сейсмологический центр, Великобритания; <sup>8</sup>MED\_RCMT – Региональный Средиземноморский центр построения центра момента тензора, Италия; <sup>9</sup>ZUR\_RMT – Цюрихский центр построения момента тензора, Швейцарская сейсмологическая служба; <sup>10</sup>HRVD – Гарвардский центр (США); <sup>11</sup>ВЛ – Китайское Бюро исследования землетрясений Института геофизики АН Китая; <sup>12</sup>ИГ НАНУ – Отдел сейсмологии (г. Симферополь) Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины.

Положение эпицентров всех решений показано на рис. 3. Анализ основных параметров, полученных разными методами по разным источникам, показал, что наблюдаются значительные расхождения в инструментальных определениях как координат эпицентра (до 35 км), так и глубины гипоцентра  $h$  (от 10 до 34 км). Это послужило, как указано в [2], причиной предпринятого авторами уточнения параметров исследуемого землетрясения.

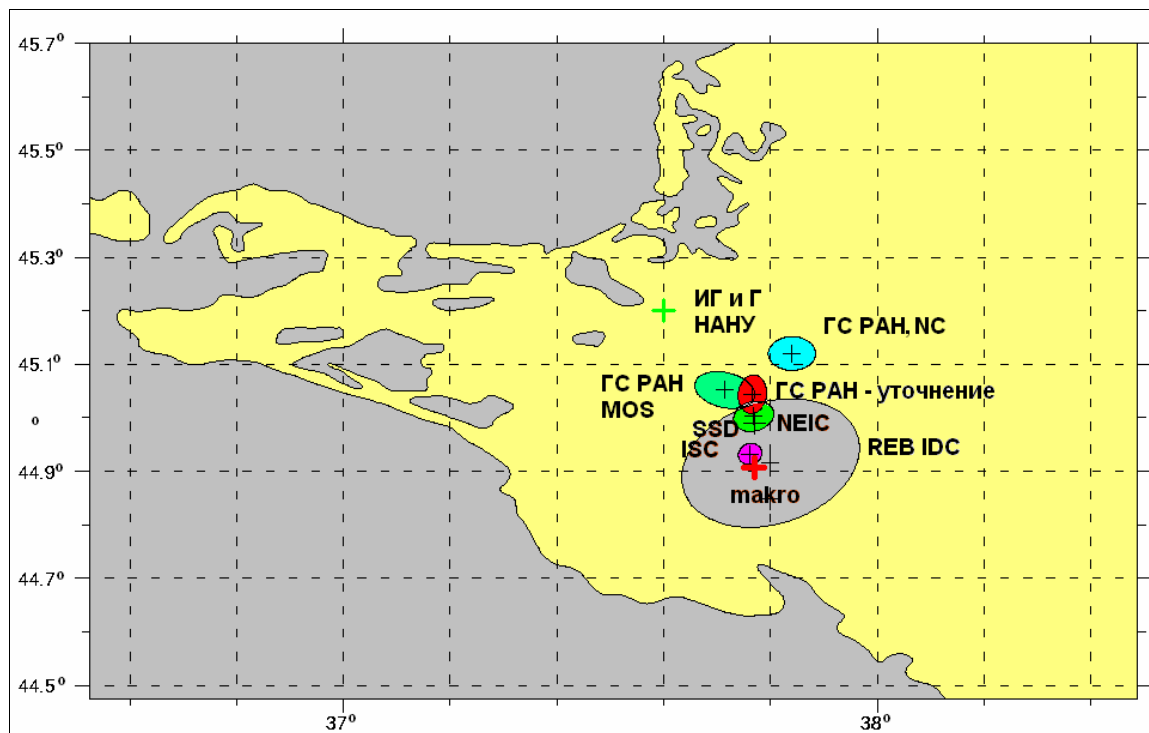
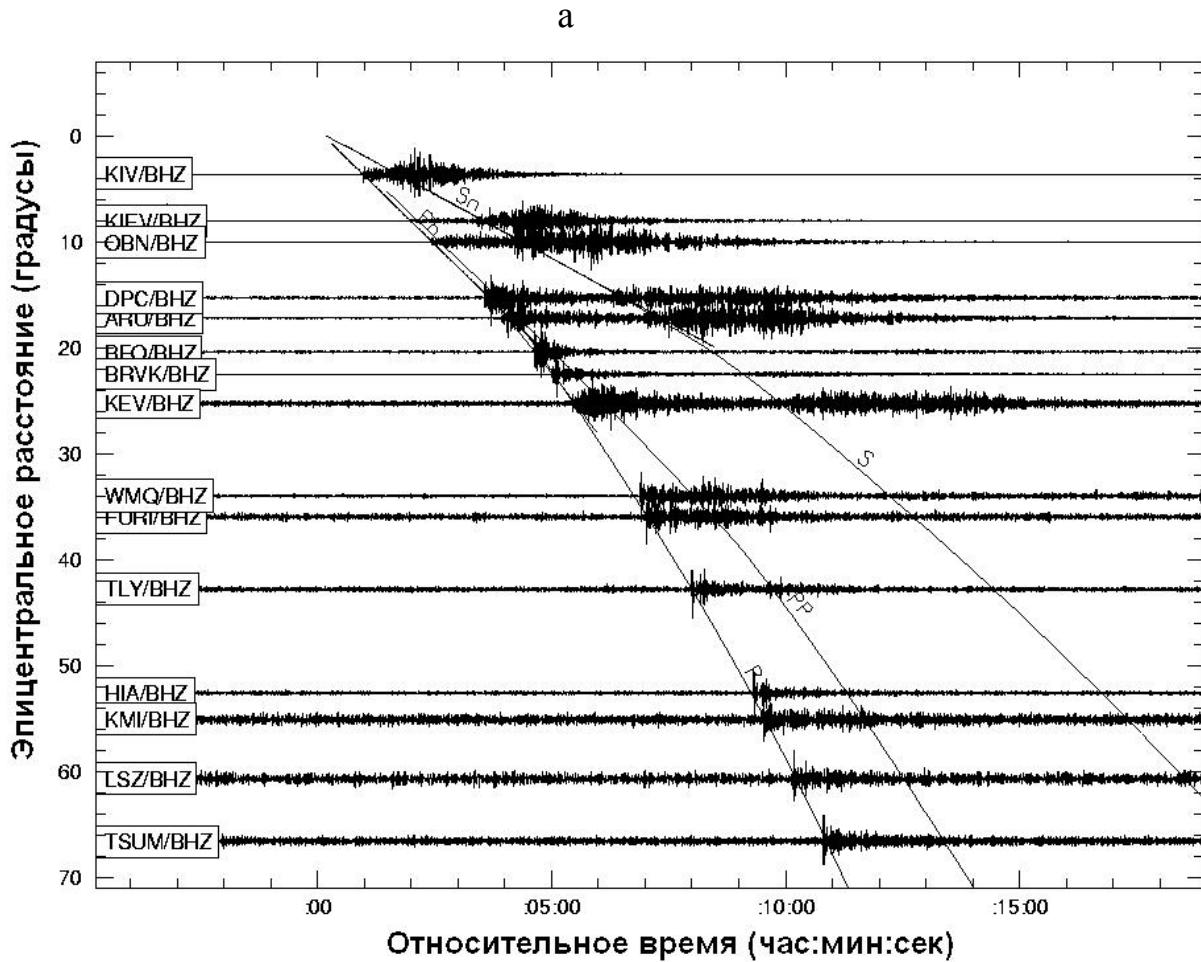


Рис. 3. Положение эпицентра Нижнекубанского-II землетрясения по данным разных центров

В табл. 1 следует отметить также разброс в оценках магнитуд землетрясения. На близких и телесеизмических расстояниях особенно отчетливо была записана группа *P*-волн (рис. 4).



б



**Рис. 4.** Записи вертикальных компонент отдельных станций на региональных и телесеismicических расстояниях, наложенные на кривые годографа IASPEI-91 (а); положение станций относительно эпицентра землетрясения 9 ноября 2002 г. (б)

Для уточнения эпицентра Нижнекубанского-II землетрясения использовались программа LocSat [16], позволяющая включать в локацию различные фазы, выделенные на региональных расстояниях, что особенно важно для получения глубины гипоцентра, и годограф IASPEI-91 [17]. Дополнительно к поступившим в ГС РАН (в г. Обнинск) результатам обработки записей в виде станционных бюллетеней и бюллетеней наблюдательных сетей, полученных различными центрами, были собраны цифровые записи, доступные средствами Интернет и поступившие в архив ГС РАН. Всего были использованы данные 172 станций с  $\Delta=0.34\text{--}120^\circ$ , достаточно равномерно распределенных по азимуту (максимальная азимутальная брешь  $\text{gap} \leq 30$ ).

Для оценки глубины гипоцентра осуществлен дополнительный поиск глубинных фаз по записям станций Глобальной сети, поступивших в Обнинск по обмену из NEIC. Как показано в [2], удалось обнаружить глубинные фазы на 10 станциях, удаленных от очага на телесеismicкие расстояния  $\Delta$  от 8 до 84° (табл. 2).

**Таблица 2.** Сведения о глубинных фазах, выделенных на записях Нижнекубанского-II землетрясения 9 ноября 2002 г. с  $K_p=13.0$

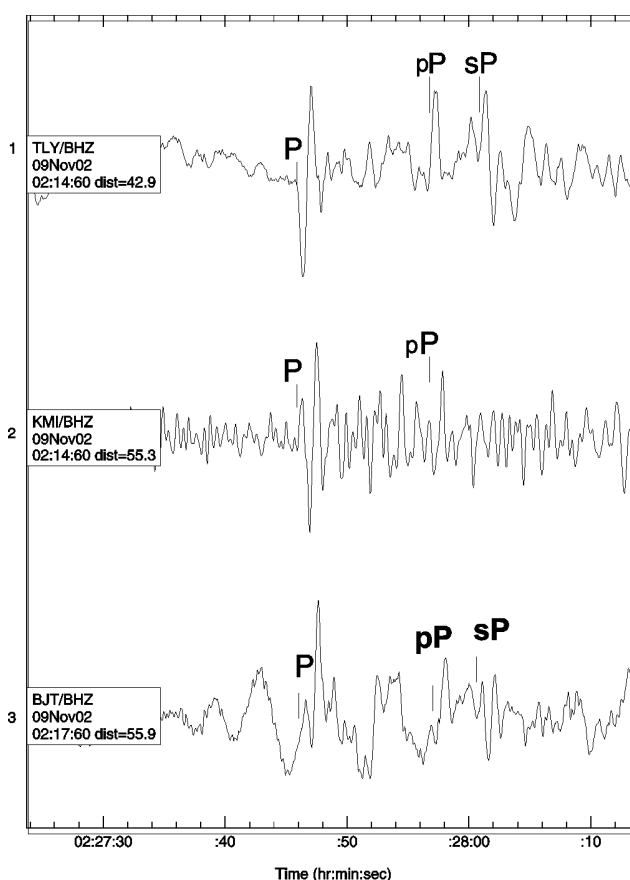
№	Код станции	$\Delta^\circ$	$AZM^\circ$	$t_P-t_{pP}$ , с	$h$ , км	$t_P-t_{sP}$ , с	$h$ , км
1	KIEV	8.06	318	—	—	10.2	27.7
2	BFO	20.40	290	7.8	29.3	11.9	29.8
3	RAYN	22.38	161	—	—	14.1	35.4
4	FURI	36.02	178	11.5	41.7	14.7	35
5	TLY	42.92	57	10.6	36.5	15.3	36.6
6	HIA	53.29	54	10.0	33.2	—	—

№	Код станции	$\Delta^\circ$	$AZM^\circ$	$t_P-t_{pP}$ , с	$h$ , км	$t_P-t_{sP}$ , с	$h$ , км
7	BJT	55.86	65	11.0	36.9	14.2	33
8	LSZ	60.66	191	—	—	15.4	36
9	TSUM	66.53	201	10.0	32.3	—	—
10	RSSD	84.95	333	11.5	36.7	—	—
	Среднее				35.2		33.3

Среднее значение глубины гипоцентра по годографу IASPEI-91 и выделенным глубинным фазам составило  $h^*=35.2$  км по фазам  $pP$  и  $h^*=33.3$  км — по  $sP$ , что в среднем  $\bar{h}^*=34.2$  км. Переопределенное при локации значение глубины очага  $h_n$  равно  $h_n=33.8$  км (табл. 1). На рис. 5 приведены записи  $P$ -волн и глубинных фаз на станциях «Талая» (TLY), «Кунминг (КМИ) и «Байджатан» (BJT) на расстояниях 42.9°, 55.3° и 55.9° соответственно. Записи BJT и TLY — нефильтрованные, к записи КМИ применена полосовая фильтрация Баттерворта 0.5–2 Гц, порядок 3-й, выделенная фаза по времени совпадает с имеющимися в бюллетене NEIC данными по этой станции. Отмеченные глубинные фазы соответствуют глубине  $h^*=36$  км для TLY и КМИ и глубине  $h^*=33$ –36 км для станции BJT. Запись станции КМИ приведена для сравнения в связи с неуверенным выделением глубинной фазы при фильтровании. Такие фазы не привлекались к определению глубины при локации и потому данных этой станции нет в табл. 2. Как правило, брались только отчетливо выделяемые глубинные фазы даже на нефильтованной записи. Таким образом, анализ волновых форм цифровых записей позволил выделить отдельные глубинные фазы и определить по ним глубину очага, равную 33.5 км. В бюллетене ISC [11] есть оценка  $\bar{h}^*=34\pm 4$  км по глубинным фазам на 11 других станциях, расположенных на телесеismicких расстояниях  $\Delta=28$ –85°.

Далее значения  $h^*$  по глубинным фазам использовались при уточнении параметров гипоцентра. В итоге получено статистически устойчивое решение гипоцентра, приведенное выше в последней строке табл. 1. Оценка погрешности локации эпицентра оценена 90%-м доверительным эллипсом ошибок с площадью  $S<27$  км<sup>2</sup>, при большой полуоси в 4.0 км и малой — 2.1 км.



**Рис. 5.** Фрагменты волновых форм с записью  $P$ -волны и глубинных фаз на трех станциях: «Талая» (TLY) с  $\Delta=42.9^\circ$ , «Кунминг» (КМИ) с  $\Delta=55.3^\circ$  и «Байджатан» (BJT) с  $\Delta=55.9^\circ$

Как видно, значение глубины гипоцентра при сводной обработке по программе LocSat согласуется со средним значением глубины  $\bar{h}^*=33\text{--}34\text{ км}$ , вычисленным по глубинным фазам, а также со значением  $h_{и}=28\text{ км}$ , опубликованным в сейсмологическом бюллетене по территории Северного Кавказа [14] по близким и региональным станциям с  $\Delta=0.4\text{--}7^\circ$ .

Таким образом, полученные двумя методами значения глубины очага  $h=34\text{ км}$ , наличие качественных признаков записи заглубленного землетрясения, отмеченных на региональных расстояниях, и, особенно, факт регистрации этого землетрясения Глобальной сетью станций на далеких (до  $120^\circ$ ) эпицентральных расстояниях дают основание принять глубину гипоцентра, равную  $h=34\text{ км}$ , за истину. Согласно [18], мощность земной коры в районе мегасвода Западного Кавказа составляет  $43\text{--}45\text{ км}$ . Следовательно, по инструментальным данным гипоцентр исследуемого землетрясения лежит в нижней части земной коры.

**Волновая картина** для Нижнекубанского-II землетрясения была исследована на различных расстояниях с выделением всех возможных сейсмических фаз, большая часть которых использовалась при определении гипоцентра землетрясения.

На локальных расстояниях ( $\Delta < 230\text{ км}$ ) в первых вступлениях регистрируются «прямые» волны  $Pg$  и  $Sg$ . Их отличительной чертой являются небольшие амплитуды  $Pg$ -волн на горизонтальных компонентах записи. Это особенно хорошо видно на записи станции «Краснодар» (рис. 6). Подобная картина может наблюдаться для «заглубленных» и глубоких землетрясений.

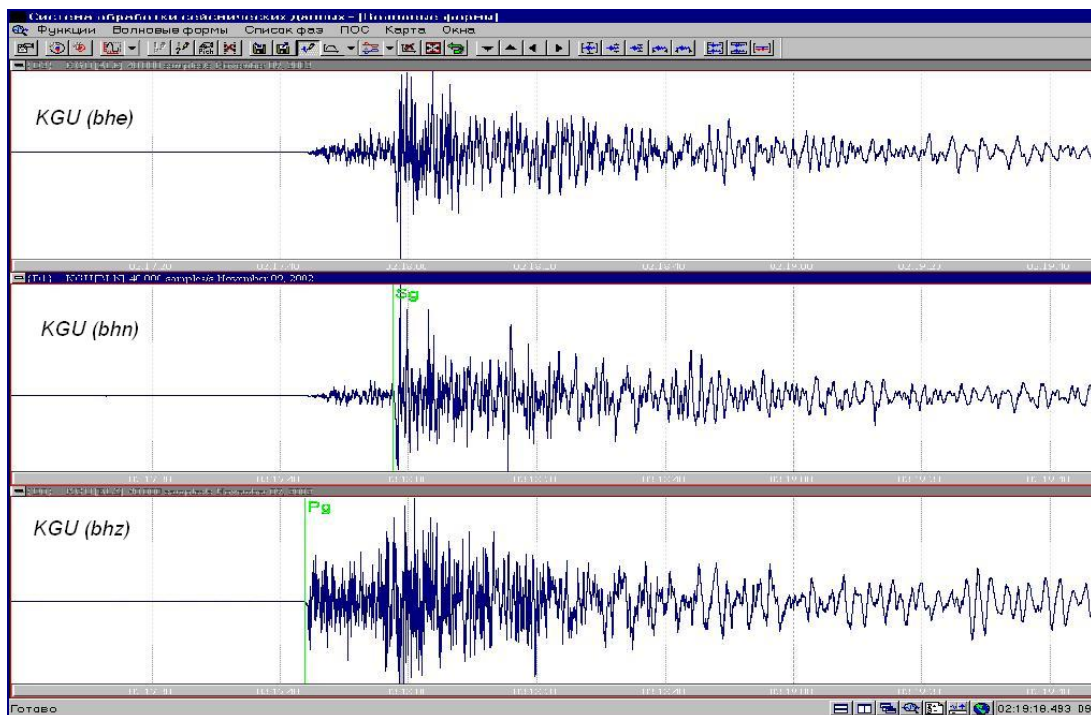


Рис. 6. Трехкомпонентные записи Нижнекубанского-II землетрясения 9 января 2002 г. станцией «Краснодар» (KGU),  $\Delta=96\text{ км}$

Записи телеметрических станций на Кавминводском полигоне из-за недостаточно широкого динамического диапазона регистрирующей аппаратуры дали информацию только о первых  $5\text{--}10\text{ с}$  записи, которые не были «зашкалены». На это следует обратить особое внимание, так как часть станций, являющихся на Северном Кавказе опорными, практически выпали из полного рассмотрения. Чаще всего, рассуждая о возможности сети, обращается внимание на способность записи слабых землетрясений. Однако существует реальная проблема обеспечения качественной записи сильных землетрясений на близких и региональных расстояниях. Пример исследуемого землетрясения показал, что сеть Северного Кавказа не достаточно готова к регистрации сильных толчков. Отметим, что лишь станции «Анапа», «Сочи» и «Краснодар», укомплектованные каналами пониженной чувствительности, зарегистрировали Нижнекубанское-II землетрясение на близких расстояниях без искажения.

На региональных расстояниях с  $\Delta=3-20^\circ$  отмечается волновая картина, также характерная для «заглубленного» очага: волна  $P_g$  не выделяется на тех расстояниях, где теоретически она должна быть довольно заметной при очаге в верхней части земной коры. На рис. 7 показаны записи станций «Кисловодск», «Киев», «Обнинск», удаленных от очага на расстояния  $\Delta=3.5-10^\circ$ .

Каналовые волны  $L_g$  на ряде станций выделялись неуверенно и не были максимальными на записи. Для иллюстрации этого факта на рис. 8 представлены записи одной и той же станции «Сторожевое», установленной в Воронежской области и оснащенной широкополосной аппаратурой SDAS [19], для двух землетрясений Западной части Северного Кавказа – исследуемого Нижнекубанского-II землетрясения с заглубленным гипоцентром  $h=34$  км и Сальского землетрясения 22.05.2001 г. [20] с меньшей глубиной  $h=12$  км. Соответствующие эпицентральные расстояния равны  $6.25$  и  $5.23^\circ$ , т.е. довольно близки.

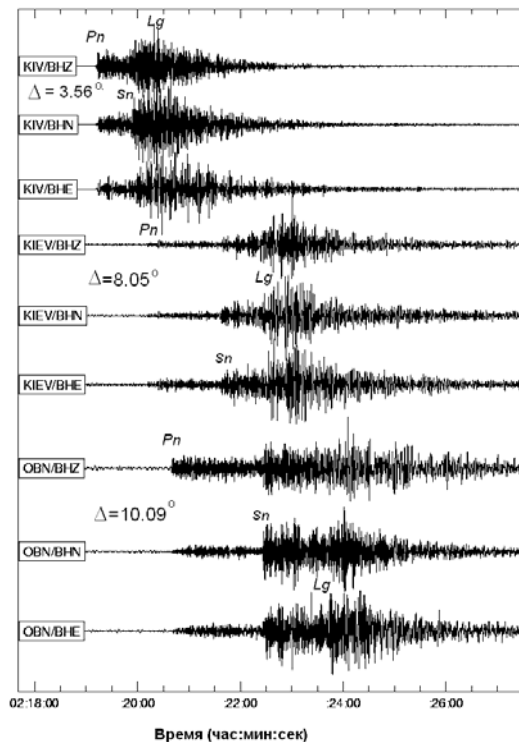


Рис. 7. Трехкомпонентные записи станций «Кисловодск», «Киев» и «Обнинск»

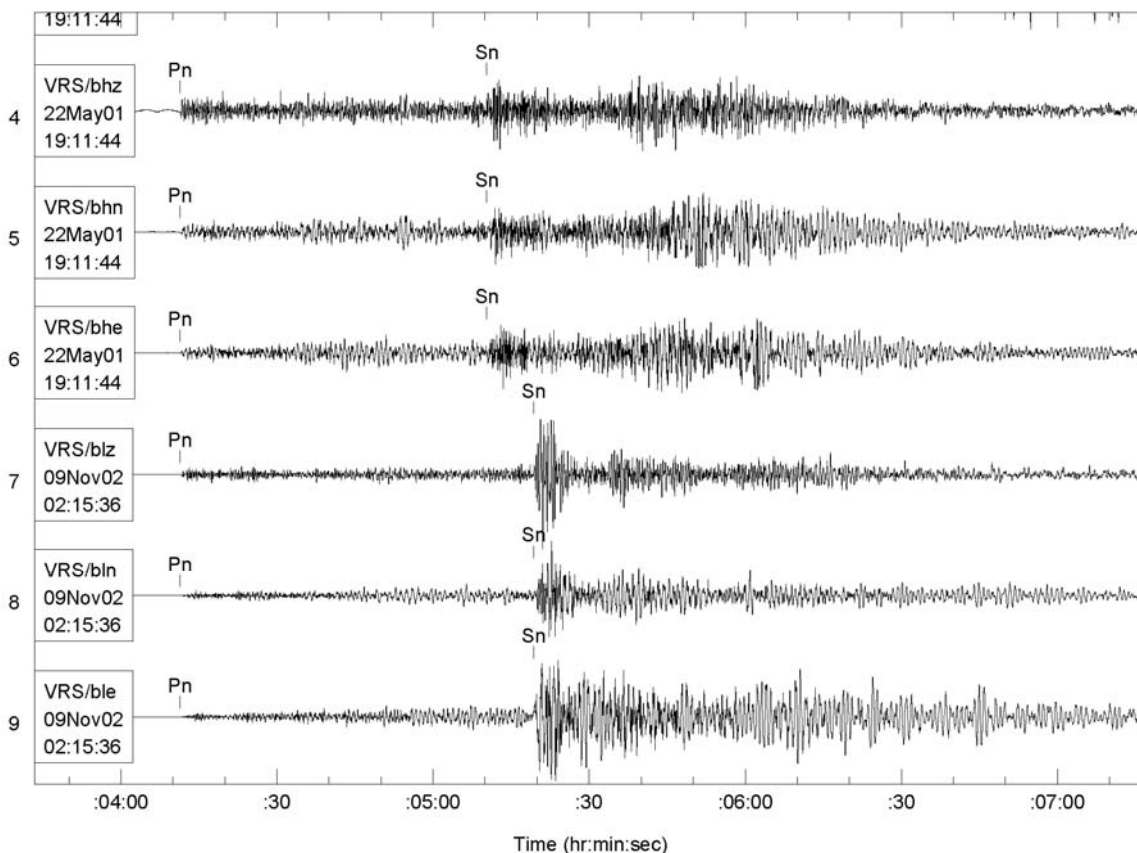


Рис. 8. Сравнение записей станции «Сторожевое» (VRS) двух землетрясений: Сальского [20] и Нижнекубанского-II, произошедших 22.05.2001 г. и 09.11.2002 г. соответственно

Напротив, на более удаленных ( $\Delta=16-17^\circ$ ) станциях, в отдельных случаях, например, на станциях «Арти» (ARU) и «Алибек» (ABKT), зарегистрирована достаточно характерная группа высокочастотных  $P$ -волн, которая, как видно на спектрограммах горизонтальных компонент этих станций (рис. 9), по энергии не уступает, а в случае АВКТ даже преобладает над группой  $S$ -волн.

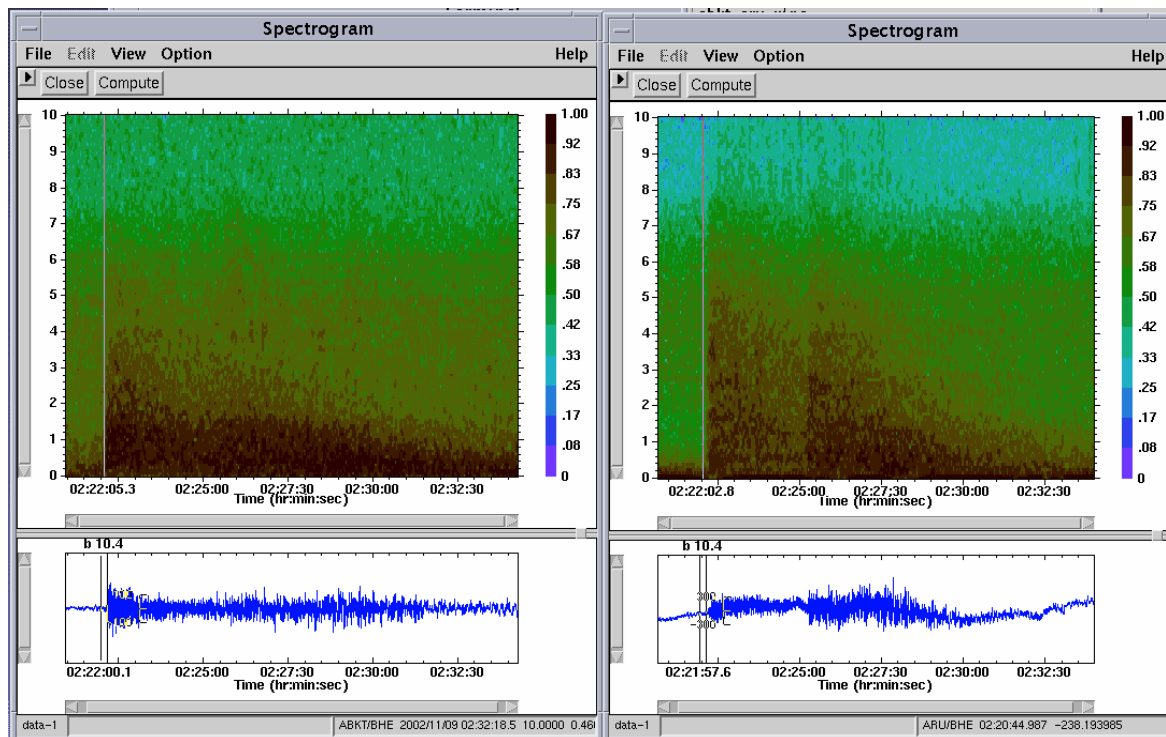


Рис. 9. Спектрограммы Нижнекубанского-II землетрясения по записям станций АВКТ и ARU, E-компонента

Таким образом, изучение волновой картины записей Нижнекубанского-II землетрясения на различных расстояниях не противоречит картине заглубленного очага. Более того, в данном случае нет особенностей близповерхностного очага.

**Сейсмотектоническая характеристика района землетрясения** свидетельствует о том, что Нижнекубанское-II землетрясение возникло в пределах альпийской геосинклинальной области Кавказа, характеризующейся сложной системой разновозрастных поднятий и прогибов кавказского запад-северо-западного простирания. Эти структуры разбиты продольными разломами и осложнены поперечными поднятиями и опусканиями, обуславливающими наряду с продольной зональностью и поперечную [21]. Сейсмическая активность в этой части Кавказа связывается чаще всего именно со структурами поперечной зональности [22, 23]. В более детальном плане ее можно охарактеризовать как зону сочленения северо-западных отрогов Большого Кавказа, предгорного передового Западно-Кубанского (Индоло-Кубанского) прогиба, отделяющего молодую Скифскую плиту от структур Большого Кавказа, и поперечной зоной Керченско-Таманской молодой складчатости [24–28].

Если смотреть на очаговую зону Нижнекубанского-II землетрясения со стороны Крыма, то на севере она окаймляется упомянутым выше Западно-Кубанским (Индоло-Кубанским) передовым прогибом в виде неогеновых моласс. На востоке этот прогиб продолжается вдоль северо-западного сегмента Большого Кавказа. Пограничная узкая полоса между Западно-Кубанским прогибом и поднятием Большого Кавказа имеет сложное строение, которое наводит на мысль о связи этой полосы с глубинным разломом [24, 28]. Такой разлом, под названием Ахтырский, установленный здесь еще 1960 г. А.Н. Шардановым [24] как предположительный, в дальнейшем присутствует на всех современных тектонических и сейсмотектонических схемах [21–23]. По сути дела по нему проходит юго-западная граница Скифской платформы. В работах [22, 23, 29] проявление сейсмичности в этой очаговой зоне связывается в основном



с поперечными разломами земной коры. Анализируя представленный ниже механизм очага Нижнекубанского-II землетрясения, можно сделать вывод, что Ахтырский разлом также ответственен за разрядку напряжений в этой зоне. Так или иначе, Нижнекубанское-II землетрясение 2002 г. произошло в пограничной области передового Западно-Кубанского (Индоло-Кубанского) прогиба и западных отрогов Большого Кавказа, на территории, ограниченной с севера Ахтырским, с запада – поперечным Анапским и с востока – Новороссийским разломами.

**Форшоковая активность** в очаговой зоне Нижнекубанского-II землетрясения выражена слабо (табл. 3). Это – лишь три землетрясения, два из которых произошли 20 сентября в 20<sup>h</sup>56<sup>m</sup> с  $K_p=9.2$ ,  $\Delta=30$  км и 23 октября в 02<sup>h</sup>31<sup>m</sup> с  $K_p=9.4$ ,  $\Delta=95$  км к юго-западу от эпицентра основного толчка. Третье локализовано по данным станции «Анапа» 4 ноября в 12<sup>h</sup>04<sup>m</sup> с  $K_p=6.8$  непосредственно в очаговой зоне. Их можно в некотором приближении отнести к форшокам.

**Афтершоки** также немногочисленны. Первый слабый афтершок с  $K_p=7.0$  произошел спустя восемь минут после основного толчка и с трудом выделялся на записи станций «Анапа» и «Сочи» из-за фона шумов. Еще один афтершок с  $K_p=5.8$  зарегистрирован 9 ноября в 08<sup>h</sup>15<sup>m</sup>. Кроме них 10–19 ноября зарегистрировано еще шесть толчков с  $K_p=6–7.1$ , которые лишь предположительно можно отнести к афтершокам, т.к. они не локализованы, поскольку записаны только на одной станции «Анапа». Согласно [30], малое число афтершоков или их отсутствие может быть также связано в какой-то мере с заглубленностью гипоцентра.

**Таблица 3.** Основные параметры форшоков, основного толчка и афтершоков Нижнекубанского-II землетрясения 2002 г.

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Гипоцентр			$K_p, K_{ВЭГИК}, K_{СКМ}$ $ML$	$\Delta^{\circ}_{ANN}$
			$\varphi^{\circ}, N$	$\lambda^{\circ}, E$	$h$ , км		
<b>Форшоки</b>							
1	20.09	20 56 08.0	44.71	37.46	38	9.2	
2	23.10	02 31 33.4	44.85	36.55	31	9.4	
3	04.11	12 04 12.0	45.12	37.84		6.8, $K_{ВЭГИК}=5.9$	0.22
4	04.11	12 05 07.0				$K_{ВЭГИК}=5.4(ANN)$	0.27
<b>Основной толчок</b>							
	<b>09.11</b>	<b>02 18 17.2</b>	<b>45.044</b>	<b>37.766</b>	<b>33.8</b>	<b><math>K_{ВЭГИК}=12.8 (ANN), K_{СКМ}=13.0 (ANN),</math> <math>K_{СКМ}=12.2 (SOC), ML_{ANN}=4.9, ML_{SOC}=4.8</math></b>	<b>0.30</b>
<b>Афтершоки</b>							
1	09.11	02 26 03.8				$K_{ВЭГИК}=7.0 (ANN)$	0.49
2	09.11	08 15 57.0				$K_{СКМ}=5.8$ (по аналоговой сейсмограмме ANN)	
3	10.11	02 20 05.5	45.14	37.61		$K_{ВЭГИК}=6.4, K_{СКМ}=6.4 (ANN)$	0.24
4	10.11	11 50 58.0				$K_{ВЭГИК}=5.9 (ANN)$	0.57
5	13.11	13 06 48.6				$K_{ВЭГИК}=6.1 (ANN)$	0.16
6	15.11	04 56 39.7				$K_{ВЭГИК}=6.8 (ANN)$	0.60
7	18.11	13 09 12.8				$K_{ВЭГИК}=5.7 (ANN)$	0.32
8	19.11	01 05 18.7				$K_{ВЭГИК}=5.8 (ANN)$	0.14

Примечание. Значения  $K_{ВЭГИК}$  и  $K_{СКМ}$  всех толчков, кроме 9 ноября в 08<sup>h</sup>15<sup>m</sup>, получены с помощью процедуры симуляции записей аналоговых приборов.

Перевод станции «Анапа» на цифровую регистрацию позволил провести процедуру симуляции записей аналоговых приборов, для чего была использована обрабатывающая программа WSG [31]. Для таких близких, но слабых событий, как форшоки и афтершоки Нижнекубанского-II землетрясения, оказалось, что вступления, особенно первые их фазы, на симулированных записях прибора ВЭГИК выделяются четче, чем на таковых для СКМ. Поэтому обработка землетрясений по ВЭГИК с оценкой расстояния и энергетического класса проводится увереннее, чем по СКМ. На рис. 10 показан один и тот же фрагмент записи афтершока 10 ноября в 11<sup>h</sup>50<sup>m</sup> с симуляцией аналоговой записи как прибора ВЭГИК (а), так и СКМ (б). В результате энергетические классы почти всех событий в табл. 3 вычислены по симулированным записям ВЭГИК и лишь для части из них – по симулированным записям СКМ.

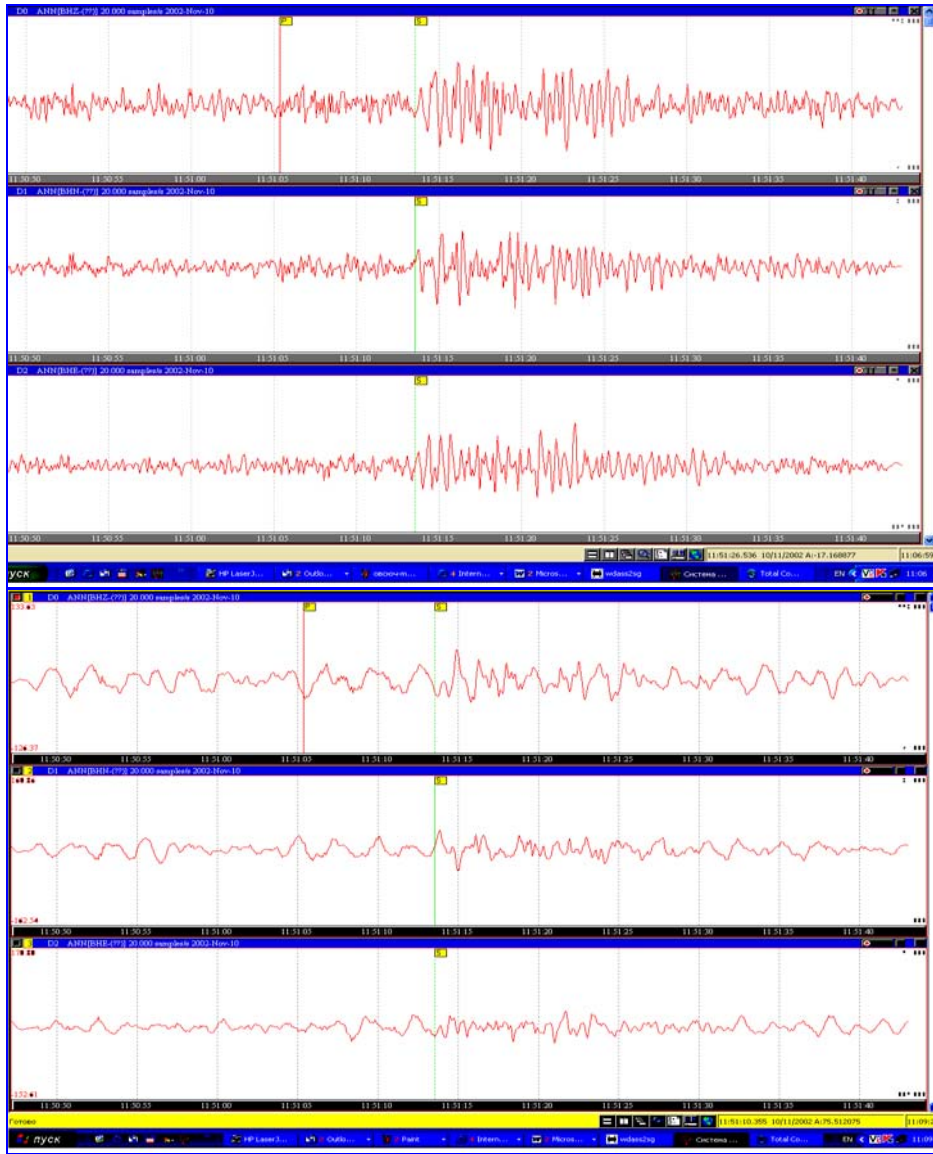


Рис. 10. Симулированная запись аналоговых приборов ВЭГИК (а) и СКМ (б) слабого ( $K_{\text{ВЭГИК}}=5.9$ ) события 10 ноября в 11<sup>h</sup>50<sup>m</sup>, который, возможно, является афтершоком

Механизм очага Нижнекубанского-II землетрясения получен разными способами и в разных сейсмологических центрах (табл. 4).

Таблица 4. Параметры механизма очага Нижнекубанского-II землетрясения 9 ноября с  $K_p=13.0$

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	$M_w/n$	$K_p$	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Агентство	Источ- ник
					T		N		P		NP1			NP2				
					PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP		
1	09.11	02 18 17.0	*5.7/1	13.0	48	213	14	41	10	113	240	50	148	352	66	44	ГС РАН	[2]
2	09.11	02 18 15.2	5.5/15		45	224	3	316	45	49	227	3	-180	136	90	-87	HRVD	[11]
3	09.11	02 18 11.5	5.3/29		47	224	7	321	42	57	208	7	156	321	87	83	MED_RCMT	[11]
4	09.11	02 18 11.0	5.1/23		73	222	5	329	16	61	159	29	101	326	62	84	ZUR_RMT	[11]

Примечание. Расчет магнитуды \* $M_w$  приведен ниже.

В ГС РАН механизм очага рассчитан [2] для модели источника в виде двойного диполя на основе знаков первых вступлений продольных  $P$ -волн [32, 33] на 108 сейсмических станциях  $\{n(+)=61, n(-)=47\}$  в диапазоне  $\Delta=0.34-70^\circ$ . Станции распределены во всех четырех квад-

рантах (рис. 11, из [2]), но в первом и четвертом их больше. Как видно, полученное решение согласуется с имеющимся распределением знаков относительно нодальных плоскостей и областей волн сжатия и разрежения. Землетрясение возникло под действием преобладающих сжимающих напряжений, ориентированных в юго-восточном направлении. Обе нодальные плоскости имеют достаточно крутое ( $DP_1=50^\circ$ ,  $DP_2=66^\circ$ ) падение, плоскость  $NP1$  ориентирована в юго-западном направлении,  $NP2$  – в северо-северо-западном. Подвижки по обеим плоскостям – типа взброс с компонентами сдвига, правостороннего по  $NP1$  и левостороннего – по  $NP2$ . На рис. 11 для ряда станций приведены также записи первых движений продольных волн в разных азимутах и на разном удалении. Заметим, что плоскость  $NP1$  определяется менее суверенно, чем  $NP2$ , из-за малого числа знаков по близким станциям в третьем квадранте. Характер записи первых вступлений зависит от эпицентрального расстояния, или от угла выхода  $P$ -волны. Как видим, четкие и резкие вступления  $P$ -волн отмечаются на станциях с  $\Delta > 30^\circ$ , когда в первых вступлениях регистрируются мантийные волны. Особенно это отчетливо видно на станциях «Боровое» (BRVK,  $\Delta=22.6^\circ$ ), «Талая» (TLY,  $42.9^\circ$ ), «Hailar» (HIA,  $53.3^\circ$ ), «Urumqi (Wulumuchi)» (WMQ,  $35.2^\circ$ ), «Kunming» (KMI,  $55.3^\circ$ ), «Furi» (FURI,  $36.0^\circ$ ), «Tsumeb» (TSUM,  $66.5^\circ$ ). Напротив, для станций на региональных расстояниях  $\Delta=3-20^\circ$ , таких, как «Кисловодск» (KIV,  $3.6^\circ$ ), «Киев» (KIEV,  $8.1^\circ$ ), «Обнинск» (OBN,  $10.1^\circ$ ), «Арти» (ARU,  $17.3^\circ$ ), «Алибек» (ABKT,  $16.8^\circ$ ), отмечаются «вялые» первые вступления, сформированные  $Pn$ -волнами, являющимися аналогами головных волн на границе кора-мантия.

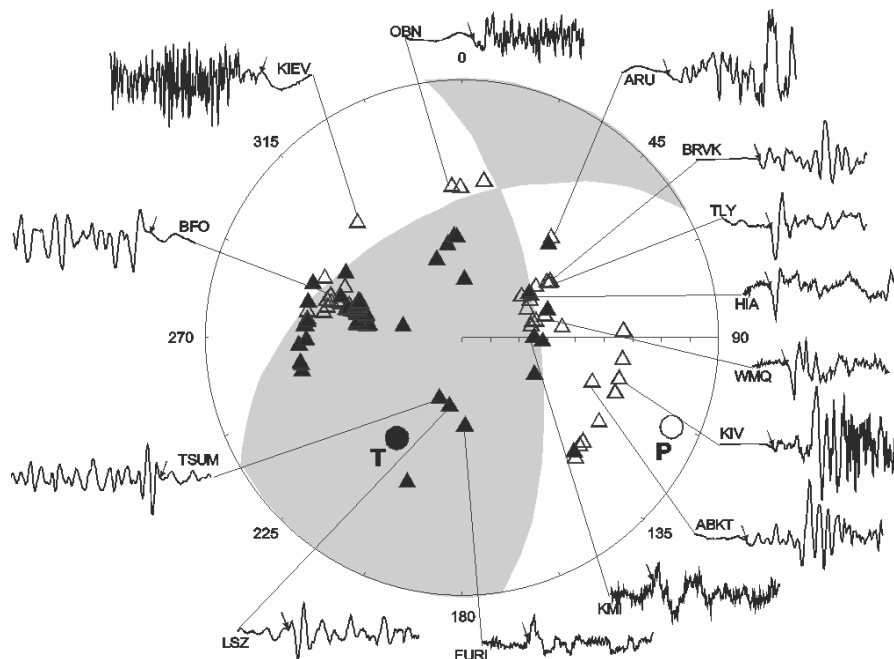


Рис. 11. Механизм очага Нижнекубанского-II землетрясения 9 ноября 2002 г. с  $M_w=5.5$

Черными треугольниками изображены станции, на которых в первых вступлениях зарегистрирована волна сжатия, светлыми – волна разрежения; серым фоном выделена область волн сжатия;  $T$  и  $P$  – оси растяжения и сжатия соответственно.

В бюллетене ISC [11] приведены параметры механизма очага Нижнекубанского-II землетрясения, полученные двумя методами: методом тензора момента центра в Гарвардском центре США (HRVD) [34] и методом тензора момента – в Швейцарском центре (ZUR\_RMT) и Средиземноморском центре (MED\_RCMT). Решения (HRVD), (MED\_RCMT) и (ZUR\_RMT) близки между собой (рис. 12). Движение в очаге произошло в основном под действием сжимающих напряжений, ориентированных в северо-восточном направлении. Во всех трех случаях выделяется крутопадающая плоскость  $NP2$  северо-западного простирания с подвижкой типа взброс, с компонентами левостороннего сдвига. Простирание пологой плоскости  $NP1$  в (HRVD) и (MED\_RCMT) северо-восточного направления подвижка представлена правосторонними сдвигами: практически «чистым» по (HRVD) и с компонентами надвига – по (MED\_RCMT). В случае (ZUR\_RMT)  $NP1$  имеет юго-восточное простирание плоскостей с подвижкой типа надвиг, с компонентами правостороннего сдвига.

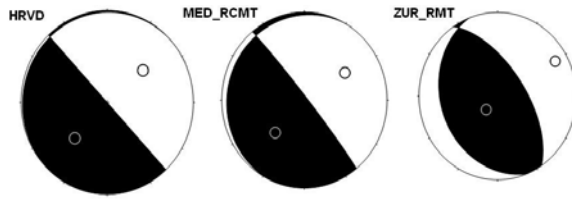


Рис. 12. Механизм очага Нижнекубанского-II землетрясения по данным разных центров из [11] в стереографической проекции нижней полусферы

Таким образом, решения механизма очага, полученные для Нижнекубанского-II землетрясения различными методами, имеют общие черты: во всех решениях присутствует крутопадающая ( $DP=66-90^\circ$ ) плоскость близкого северо-западного ( $STR=316-352^\circ$ ) простирания с преобладающим типом подвижки типа взброс, с компонентами левостороннего сдвига. Согласно всем решениям, движение в очаге произошло под действием сжимающих напряжений.

Поведение другой плоскости, более пологой, по различным методам неоднозначно. Это может быть обусловлено как использованием разного исходного материала, так и сложным характером разрыва в очаге из-за его расположения в зоне сочленения тектонических разломов различного простирания – продольного общекавказского (Ахтырский) и поперечного (Анапский и Новороссийский разломы). На рис. 13 на фоне тектонической схемы из [23] показаны два варианта решения механизма: по знакам первых движений и решение HRVD. Для выбора действующей плоскости разрыва в очаге можно использовать также, например, сведения о характере вытянутости первых изосейст [4, 5] и (рис.15). К направлению вытянутости системы изосейст более близко простирание плоскости разрыва северо-восточного направления.

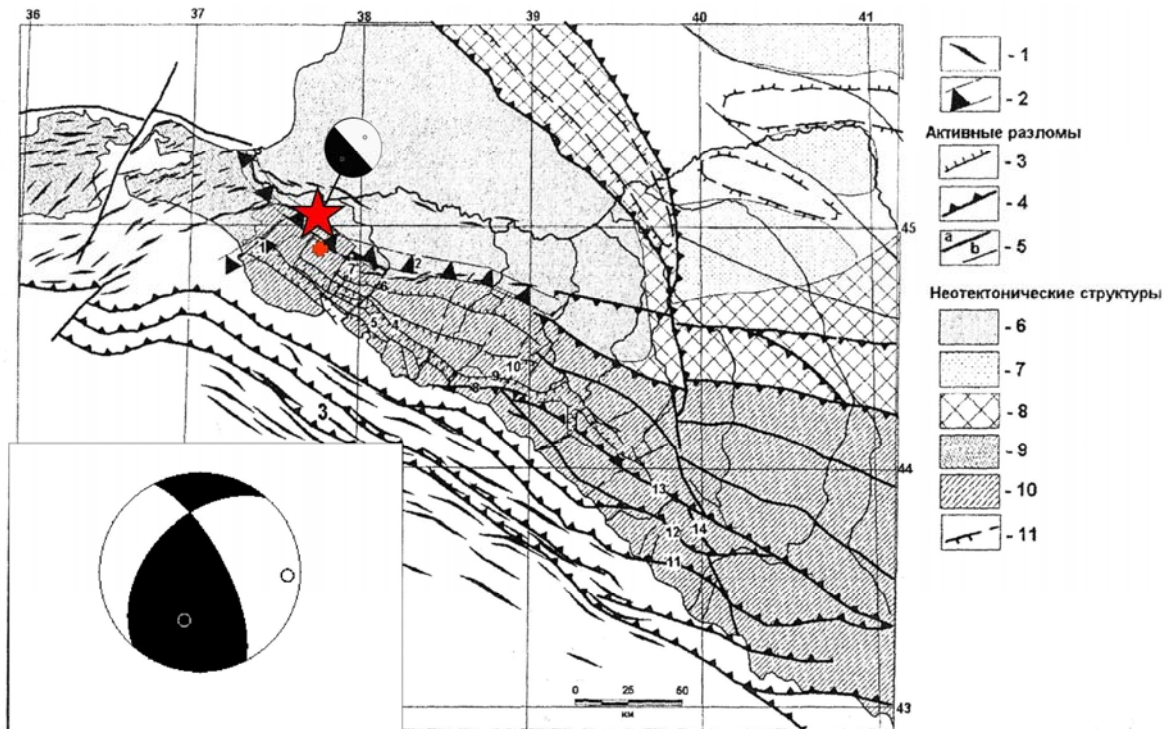


Рис. 13. Карта неотектоники Северо-Западного Кавказа и прилегающих территорий по [23] На врезке внизу дан механизм очага, построенный авторами по знакам первого движения в  $P$ -волнах авторами статьи; на самой карте – решение HRVD.

1 – оси антиклинальных складок в неоген-четвертичных отложениях; 2 – флексурно-разрывные зоны. Активные разломы: 3 – сброс (штрихи направлены в сторону опущенного крыла); 4 – взброс и надвиг (штрихи направлены в сторону поднятого крыла); 5 – разлом с неустановленной кинематикой: а-генеральный, б-локальный. Неотектонические структуры: 6 – Индоло-Кубанский предгорный массив; 7 – локальный платформенный прогиб; 8 – область умеренных поднятий; 9 – Керченско-Таманская область интенсивных складчатых дислокаций; 10 – орогенное сооружение Кавказа; 11 – локальный платформенный вал. Разломные структуры: 1 – Анапская зона; 2 – Ахтырская зона; 3 – Черноморская зона; 4 – Бабичевский разлом; 5 – Маркотхский; 6 – Малопанасенковский; 7 – Новороссийская поперечная зона; 8 – Кузнецовский; 9 – Полковничий; 10 – Белокаменная поперечная зона; 11 – Воронцовский; 12 – Краснодарский; 13 – Главный Кавказский разлом; 14 – Пшехско-Адлерская поперечная зона.

**Динамические параметры очага** рассматриваемого землетрясения уже опубликованы в работе [2]. Они получены по спектру *P*-волны (рис. 14), зарегистрированной широкополосной цифровой аппаратурой IRIS (канал bhz) на станции «Талая» (TLY) с  $\Delta=43^\circ$  и длительностью анализируемого интервала 100 с. Спектральные исследования записи с целью получения динамических параметров очага проводились традиционно, по принятой в ГС РАН методике [35, 36]. Радиус круговой дислокации  $r$ , длина разрыва ( $L=2r$ ) и средняя по нему подвижка ( $\bar{u}$ ) в очаге Нижнекубанского-II землетрясения, полученные из спектральных характеристик (угловой частоты  $f_0$  и уровня длиннопериодной части спектра  $\Sigma_0$ ), составили  $r=5$  км ( $L=10$  км) и  $\bar{u}=8$  см. Динамические параметры, включающие сейсмический момент  $M_0$ , сброшенное  $\Delta\sigma$  и кажущееся напряжение  $\eta\sigma$ , полученные согласно модели Брюна [37], соответственно равны:  $M_0=3.6\cdot 10^{17}$  Н·м,  $\Delta\sigma=4.6\cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>,  $\eta\sigma=3.0\cdot 10^4$  Н/м<sup>2</sup>.

По значению сейсмического момента  $M_0$  и формуле Н. Канамори [38] рассчитана моментная магнитуда исследуемого землетрясения:

$$M_w = 2/3 \log M_0 - 10.7.$$

По данным станции «Талая»  $M_w$  оказалось равным 5.7, что значительно выше оценок  $M_w$ , приведенных в табл. 1 агентствами MED\_RCMТ (5.3/29), ZUR\_RMT (5.1/23) и HRVD (5.5/15). Полученное завышенное значение  $M_w$  на станции TLY, вероятно, связано с записью этого землетрясения на фоне высокого уровня сезонных микросейсм с  $T \geq 5$  с. Ко всем перечисленным значениям  $M_w$  следует добавить еще одно –  $M_w=5.5/2$ , приведенное в наст. сб. [39] по спектрам этого землетрясения на двух станциях Крыма: «Судак» и «Симферополь» с  $\Delta=213$  и 283 км соответственно. В итоге общее среднее соответствует  $\bar{M}_w=5.5$ , которое приведено в последней строке табл. 1.

**Макросейсмические сведения.** Первые результаты об интенсивности сотрясений в населенных пунктах были получены сотрудниками сейсмической станции «Анапа» по данным макросейсмического обследования территории южной части Краснодарского края и базировалось в основном на результатах телефонного опроса и частных телефонных звонков на станцию. Макросейсмические наблюдения на этой станции включали в себя:

- быстрое получение данных об ощутимости на станции и ближайших населенных пунктах с целью сообщения в Службу срочных донесений ЦОМЭ ГС РАН;
- дополнительный сбор данных для уточненного положения макросейсмического эпицентра в последующие сутки для формирования Информационного сообщения [9] по землетрясению 9 ноября 2002 г.;
- расширенный сбор данных об ощутимости землетрясения для формирования зон балльности и уточнения положения макросейсмического эпицентра.

Оценки балльности сейсмической сотрясаемости при описываемом Нижнекубанском-II землетрясении были выполнены начальником станции В.Н. Якушевой в соответствии с инструкцией [40] с учетом наиболее типичных признаков по шкале MSK-64 [41]. Собранная информация была представлена в техническом отчете ЦОМЭ ГС РАН за 2002 г. [42]. В нем приведены оценки интенсивности сотрясений в 41 населенном пункте и их расстояния от инструментального эпицентра землетрясения по данным сейсмических станций Северного Кавказа. В [42] отмечено, что слабая заселенность территории предполагаемого эпицентра и наличие с юга акватории Черного моря не позволили уверенно оконтурить зону максимальной балльности и определить, соответственно, положение макросейсмического эпицентра.

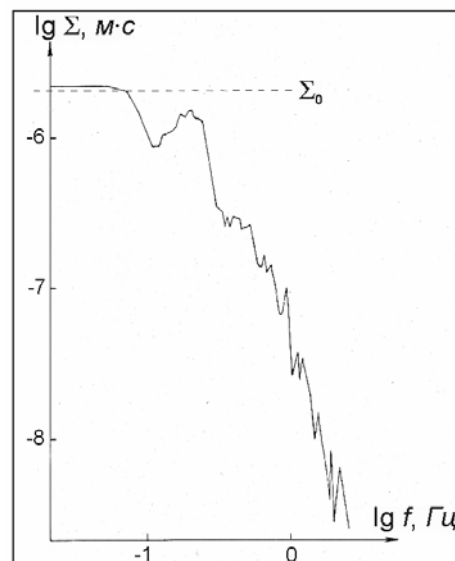


Рис. 14. Амплитудный спектр *P*-волны по записи станции TLY, канал bhz

Позднее детальное макросейсмическое обследование Нижнекубанского-II землетрясения было проведено сотрудниками Института физики Земли РАН и НИПИОкеангеофизика (Геленджик [4, 5]). Поэтому для дальнейшего анализа список обследованных населенных пунктов (табл. 5) и карта изосейст (рис. 13) замствованы авторами в основном из публикаций [4, 5]. Различия значений балльности, полученных в одних и тех же населенных пунктах разными авторами, не превышают в среднем 0.5 балла. И в [4, 5] также отмечалось, что сравнение оперативных и детальных данных показали, что в некоторых населенных пунктах оперативная оценка балльности не отличается от детального обследования. Однако в отдельных населенных пунктах они выше (0.5–1 балл). Для этих пунктов брались, как правило, значения балльности из [4, 5]. Поэтому в табл. 5 указаны источники информации балльности. Карта изосейст Нижнекубанского-II землетрясения на рис. 13 является сводной.

Максимальная интенсивность сейсмических сотрясений  $I_0=6$  баллов отмечена в шести населенных пунктах с  $\Delta=4-9$  км: Новокрымский, Нижнекубанская, Даманка, Саукдере, Прохладный и Молдаванский (табл. 5). Здесь отмечались массовые повреждения первой степени (волосяные трещины и выпадение небольших кусков штукатурки) в зданиях традиционной местной постройки (одно-двухэтажные дома из кирпича с цементным раствором или саманные). В хуторе Молдаванский в школе зафиксированы трещины по всей длине стыка потолочной панели со стеной [5]. Землетрясение ощущалось всеми людьми, все в испуге проснулись. Людей охватила паника, так как дрожали стены, потолки, слышался гул, раскачивались предметы, мебель, слышались треск, скрип, звон посуды.

Сотрясения с интенсивностью **5–6 баллов** отмечены на расстоянии от 9 до 36 км в восьми населенных пунктах (табл. 5). В них также наблюдалась паника среди населения, например, в Анапе, по [42], возникло сильное беспокойство и паника. Люди выбегали из домов. Слышался гул, треск. Сотрясались стены домов, полы, потолки. Сдвигалась мебель. Раскачивались всяческие предметы, слышался звон стекол, посуды. Особенно сильно ощущалось на верхних этажах, было впечатление, что обвалятся балконы. По [5], в этих пунктах (табл. 5) отмечались отдельные повреждения первой степени в зданиях традиционной местной постройки.

С интенсивностью в **5 баллов** землетрясение ощущалось в двенадцати населенных пунктах на расстояниях от 12 до 35 км, включающих и г. Новороссийск. Практически кругом люди в испуге просыпались, в отдельных местах возникала паника.

В этом же диапазоне расстояний от макросейсмического эпицентра в трех пунктах зарегистрированы сотрясения 4–5-балльной интенсивности (табл. 5). Колебания с интенсивностью в 4 балла ощущались на расстоянии от 31 до 61 км, 3–4 балла – от 35 до 94 км, 3 балла – в 14 населенных пунктах на расстояниях от 71 до 105 км, в 2–3 и 2 балла – в 19 населенных пунктах на расстояниях от 70 до 263 км.

**Таблица 5.** Макросейсмические данные о Нижнекубанском-II землетрясении 9 ноября 2002 г. в  $02^h18^m$  с  $K_p=13.0$ ,  $M_S=4.6$ ,  $M_w=5.5$

№	Пункт	$\Delta$ , км	Источник	№	Пункт	$\Delta$ , км	Источник
<u>6 баллов</u>				11	Южная Озереевка	28	[42]
1	Новокрымский	4	[4, 5]	12	Су-Псех	32	[42]
2	Нижнебаканская	6	[4, 5]	13	Анапа	36	[4, 5]
3	Даманка	7	[4, 5]	14	Варваровка	36	[4, 5]
4	Саукдере	8	[4, 5]	<u>5 баллов</u>			
5	Прохладный	8	[4, 5]	15	Верхнебаканский	12	[4, 5]
6	Молдаванский	9	[4, 5]	16	Неберджаевская	13	[4, 5]
<u>5–6 баллов</u>				17	Крымск	16	[4, 5], [42] – 5–6 баллов
7	Гладковская	9	[4, 5]	18	Киевское	16	[4, 5]
8	Садовый	12	[4, 5]	19	Натухаевская	16	[4, 5]
9	Абрау-Дюрсо	26	[42]	20	Павловский	18	[4, 5]
10	Варениковская	26	[4, 5]	21	Школьный	19	[4, 5]

№	Пункт	Δ, км	Источник	№	Пункт	Δ, км	Источник
22	Новороссийск	21	[4, 5], [42] – 5–6 баллов	52	Июльский	62	[4, 5]
23	Гостагаевская	25	[4, 5]	53	Вышестеблиевская	68	[4, 5]
24	Сукко	34	[4, 5]	54	Северская	71	[4, 5]
25	Цыбанская балка	35	[42]	55	Новомышастовская	71	[4, 5]
26	Большой Утриш	35	[4, 5]	56	Староджерелиевская	75	[4, 5]
	<u>4–5 баллов</u>			57	Нововеличковская	92	[4, 5]
27	Новоукраинский	23	[4, 5]	58	Калининская	95	[42]
28	Новотроицкая	24	[4, 5]	59	Старовеличковская	95	[4, 5]
29	Юровка	36	[4, 5] – 4 балла, [42] – 4–5 баллов	60	Ильич	97	[42]
	<u>4 балла</u>			61	Порт Кавказ	98	[42]
30	Абинск	31	[4, 5]	62	Новотитаровская	101	[4, 5]
31	Кабардинка	32	[4, 5]	63	Новониколаевская	105	[4, 5]
32	Троицкая	37	[4, 5]		<u>2–3 балла</u>		
33	Марьиная роща	38	[4, 5]	64	Пшада	70	[4, 5]
33-а	Курчанская	38	[4, 5]	65	Архипо-Осиповка	85	[4, 5]
34	Г180 (севернее Геленджика)	41	[4, 5]	66	Тамань	90	[4, 5]
35	Ахтырский	41	[4, 5]	67	Энеем	90	[4, 5]
36	Геленджик	46	[4, 5]	68	Джубга	99	[4, 5]
38	Славянск-на-Кубани	47	[4, 5]	69	Горячий Ключ	112	[4, 5] – 2 балла, [42] 2–3 балла
37	Мингрельская	47	[4, 5]	70	Тимашевск	120	[42]
39	Холмская	50	[4, 5]	71	Кореновск	145	[42]
40	Петровская	59	[4, 5]	72	Усть-Лабинск	154	[42]
41	Красноармейская	61	[42]		<u>2 балла</u>		
	<u>3–4 балла</u>			73	Молдавановка	101	[4, 5]
42	Анастасиевская	35	[4, 5]	74	Саратовская	116	[4, 5]
43	Джигинка	42	[42]	75	Приморско-Ахтарск	132	[42]
44	Темрюк	52	[4, 5] – 3 балла [42] – 3–4 балла	76	Каневская	160	[42]
45	Береговое	71	[4, 5]	77	Апшеронск	162	[42]
46	Марьянская	71	[4, 5]	78	Белореченск	167	[42]
47	Слабодка	84	[4, 5]	79	Гиагинская	181	[42]
48	Ачуево	90	[4, 5]	80	Павловская	207	[42]
49	Краснодар	94	[4, 5]	81	Тихорецк	211	[42]
	<u>3 балла</u>			82	Кропоткин	228	[42]
50	Благовещенская	50	[42]	83	Армавир	263	[42]
51	Михайловский перевал	60	[4, 5]		<u>Не ощущалось</u>		
				84	Керчь	113	[42]
				85	Майкоп	187	[4, 5] – не оц., [42] – 2 балла
				86	Феодосия	190	[42]

Как было показано в [4, 5], глубина макросейсмического эпицентра, равная  $h_M=14$  км, намного меньше инструментальной  $h_{ин}=33.8$  км. Это может означать, что начальная фаза разрыва находится в нижней части земной коры, в инструментальном гипоцентре, но максимальная его фаза реализовалась значительно выше. Такие эффекты, согласно Н.В. Шебалину [43], нередки. Наибольший радиус осязти, соответствующий интенсивности сотрясений 2 балла, составил  $r_{ощ}=116$  км (станция Саратовская) по [4, 5] и в среднем 175 км – по [42] (было обследовано более 10 населенных пунктов, осязти в которых была 2–3 и 2 балла). Таким образом, удалось, в отличие от карты изосейст в [4, 5], провести двухбалльную изосейсту (рис. 15). Второе значение  $r_{ощ}=175$  км было важно также для получения глубины очага другими способами, например, по формуле Б. Гутенберга и Ч. Рихтера из [44]:

$$r/h=(10^{(I_0/3-0.5)}-1)^{0.5},$$

откуда  $h_{ощ.}=32.5$  км, что уже близко к инструментальной. Если оценить макросейсмическую глубину очага землетрясения по радиусу зоны его осязтимости (номограмма [44], в том числе и для Европы), то получим  $h_{ощ.}=30-31$  км.

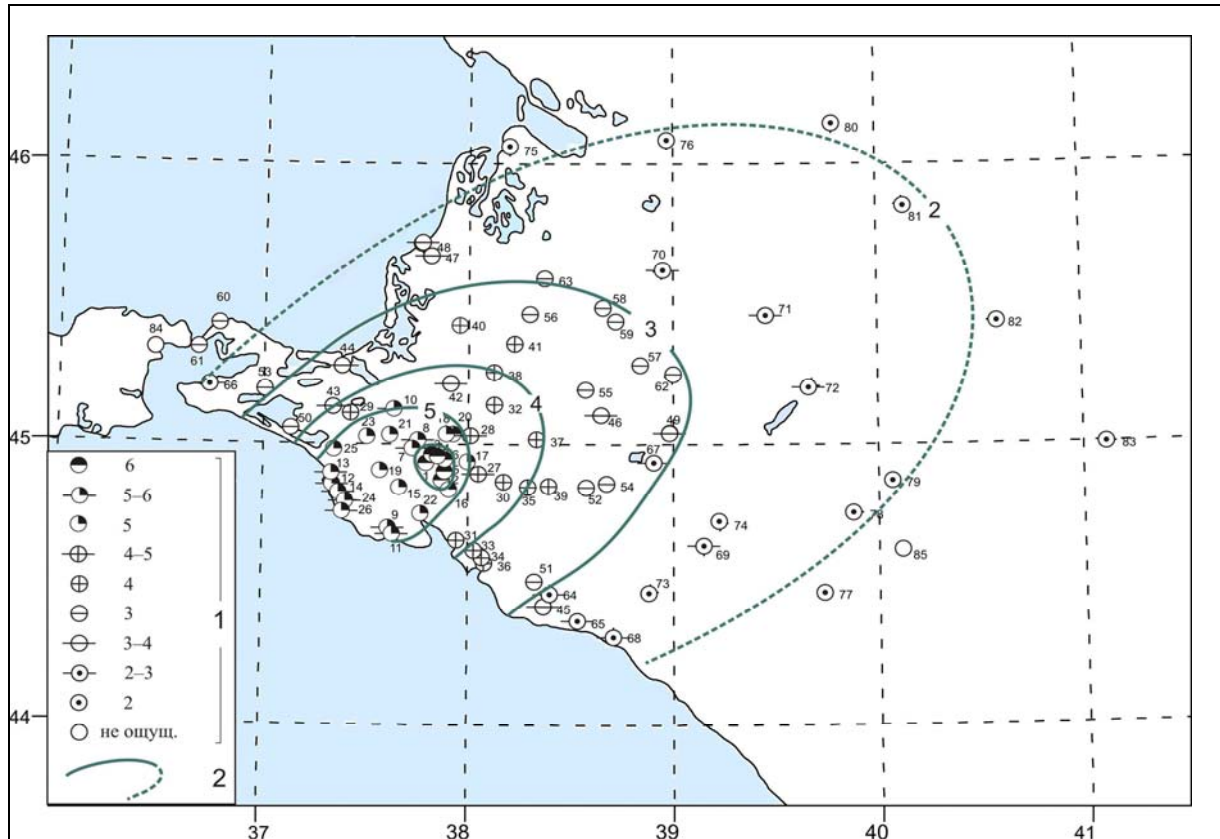


Рис. 15. Карта изосейст Нижнекубанского-II землетрясения 9 ноября 2002 г. с  $K_p=13.0$

1 – балльность по шкале MSK-64, 2 – изосейста.

В [45] Н.В. Шебалиным отмечено, что при составлении каталога землетрясений Северной Евразии для Юго-восточной Европы ( $<48^\circ\text{N}$ ) была использована формула:

$$I_0 = 1.5MS - 4.0 \lg h + 3.8.$$

Подставив значение полученной инструментальной глубины  $h_i=34$ , получим расчетное значение магнитуды  $MS=5.5$ , близкой к среднему значению моментной магнитуды  $M_w=5.5$ .

**Исторические сведения** о сейсмичности исследуемой очаговой зоны довольно обширны [1]. Для их конкретизации был выбран некий сеймотектонический район, расположенный между Черноморским разломом на юго-западе и Ахтырским на севере, и от Керченского пролива на западе до Новороссийского поперечного разлома на востоке. В него попадает большая часть Керченско-Таманской поперечной зоны молодой складчатости и Анапско-Новороссийский блок Большого Кавказа, ограниченный поперечными разломами одноименных названий. Координаты этого района исследований выбраны равными  $\varphi=43-47^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=36-40^\circ\text{E}$ , в пределах которых Нижнекубанское-II землетрясение 9 ноября 2002 г. показано совместно с другими землетрясениями, известными в этом районе за период с древнейших времен по настоящее время (рис. 16). Как видим, землетрясение 09.11.2002 г. произошло в очаговой области семибалльного Нижнекубанского землетрясения 09.10.1879 г. с  $M=5.7$  [1], которое ощущалось на всей Нижнекубанской территории, вплоть до Крыма. Именно поэтому во всей статье землетрясение 2002 г. индексировано как Нижнекубанское-II. В инструментальный период наиболее сильным в этой зоне было семибалльное Анапское землетрясение 12.07.1966 г. [1]. Список всех наиболее сильных и ощутимых землетрясений за 1799–2002 гг. представлен в табл. 6 по данным из [1, 45–50].



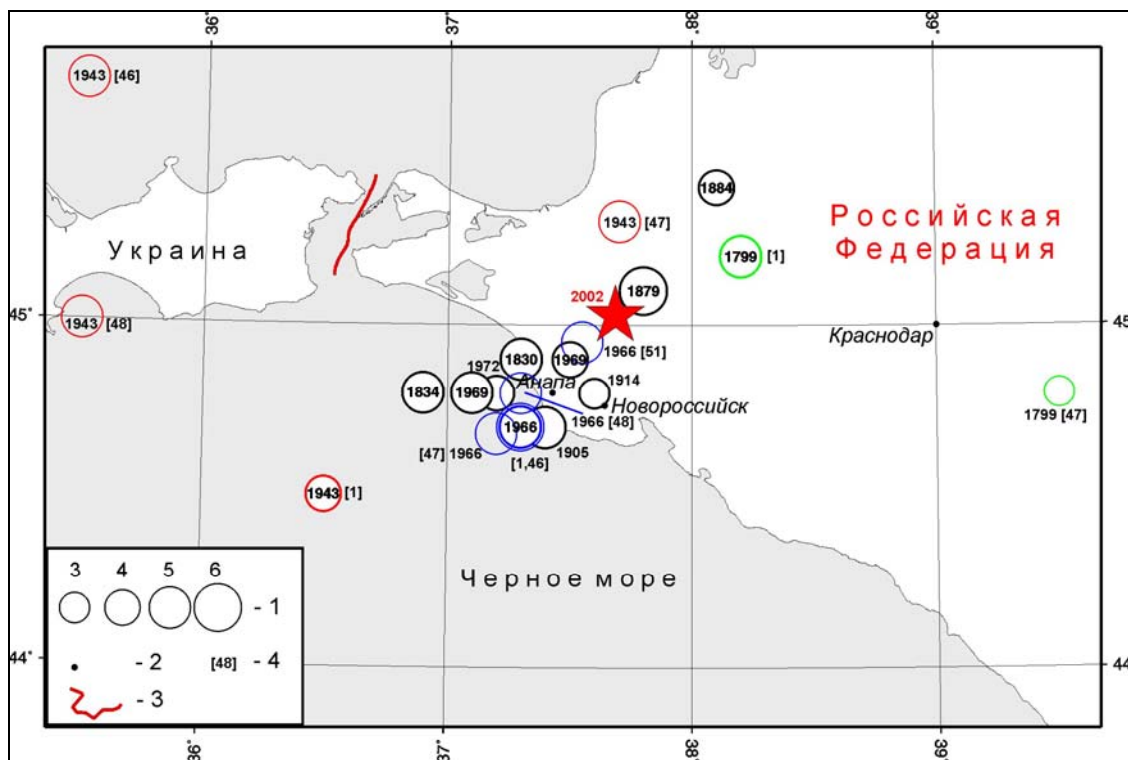


Рис. 16. Карта эпицентров землетрясений в очаговой зоне Нижнекубанского-II землетрясения и прилегающих районах за 1799–2002 гг.

1 – магнитуда; 2 – населенный пункт; 3 – государственная граница Российской Федерации; 4 – источник информации в соответствии с табл. 6. Звездой показано положение эпицентра землетрясения 9 ноября 2002 г.

Таблица 6. Основные параметры сильнейших и ощутимых землетрясений за 1799–2002 гг. в районе Нижнекубанского-II землетрясения

№	Дата	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$M$	$I_0$ , баллы	Источ- ник	Примечания
			$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1799 16 сентября	16 22 — $\pm 10$ мин	45.2 $\pm 0.1$	38.2 $\pm 0.1$	30 15–60	5.1 $\pm 0.7$	(5–6) $\pm 1$	[1]	Сотрясения «по всей Кубанской области», одновременное появление со взрывом нового острова в Азовском море против Темрюка
		17 — — $\pm 1$ час	(44.8) $\pm 0.7$	(39.5) $\pm 0.7$	(10) 5–15	(3.5) $\pm 0.5$	5 $\pm 0.5$	[47]	
2	1830 4 декабря	05 00 $\pm 1$ час	44.9 $\pm 0.2$	37.3 $\pm 0.2$	(12) 8–18	4.8 $\pm 0.5$	6–7 $\pm 0.5$	[1]	Анапское-I
3	1834 20 февраля	17 51 — $\pm 10$ мин	44.8 $\pm 0.5$	36.9 $\pm 0.5$	20 10–40	5.5 $\pm 0.5$	6–7 $\pm 1$	[1]	Анапское-II
4	1879 19 октября	19 30 $\pm 10$ мин	45.1 $\pm 0.2$	37.8 $\pm 0.2$	22 15–33	5.7 $\pm 0.5$	7 $\pm 0.5$	[1]	Нижнекубанское-I
5	1884 27 августа	12 55 — $\pm 1$ час	45.4 $\pm 0.5$	38.1 $\pm 0.5$	15 5–50	3.8 $\pm 0.7$	4–5 $\pm 1$	[1]	
6	1905 4 октября	22 29 — $\pm 10$ мин	44.7 $\pm 0.2$	37.4 $\pm 0.2$	15 7–30	5.1 $\pm 0.7$	6–7 $\pm 1$	[1]	Анапское-III
7	1914 16 августа	18 00 — $\pm 6$ час	44.8 $\pm 0.5$	37.6 $\pm 0.5$	30 20–45	3.5 $\pm 0.5$	5–6 $\pm 0.5$	[1]	
8	1943 7 июня	11 40 20 $\pm 10$ с	44.5 $\pm 0.5$	36.5 $\pm 0.5$	28 $\pm 15$	4.3 $\pm 0.5$		[1]	

№	Дата	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$M$	$I_0$ , баллы	Источ- ник	Примечания
			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		11 40 20 $\pm 10$ с	45.7 $\pm 0.5$	35.5 $\pm 0.5$	30 $\pm 20$	5.4 $\pm 0.5$		[46]	
		11 40 29 $\pm 2$ с	45.3 $\pm 0.2$	37.7 $\pm 0.2$	20 $\pm 15$	5.0 $\pm 0.2$		[47]	
		11 40 20 $\pm 3$ с	45.	35.5	15 $\pm$ 5	5.4 $\pm 0.2$		[48]	
9	1966 12 июля	18 53 08 $\pm 5$ с	44.7 $\pm 0.2$	37.3 $\pm 0.2$	55 36–85	$MPVA=5.8$ $\pm 0.1$ $MLH=5.3$	7 $\pm 0.5$	[1]	Анапское-IV
		18 53 12 $\pm 0.5$ с	44.7 $\pm 0.2$	37.3 $\pm 0.2$	22 11–44	5.3 $\pm 0.2$	7 $\pm 0.5$	[1]	Анапское-IV (вариант)
		18 53 08	44.8	37.3	36	5.25–5.5		[48]	
			44.7	37.4			6	[49]	макросейсмический эпицентр
		18 53 09	44.7	37.4	45	51/4–51/2		[50]	
		18 53 08 $\pm 5$ с	44.7	37.3 $\pm 0.2$	55 $\pm 30$	5.8 $\pm 0.1$		[46]	
		18 53 10 $\pm 2$ с	44.68 $\pm 0.1$	37.2 $\pm 0.1$	45 $\pm 10$	5.3–5.8	7 $\pm$ 0.5	[47]	
			44.95	37.55	30	5.3		[51]	макросейсмический гипоцентр
10	1969 8 января	23 48 33 $\pm 2$ с	44.8 $\pm 0.2$	37.1 $\pm 0.2$	18 9–36	4.9 $\pm 0.5$	7 $\pm 1$	[1]	
11	1969 12 июля	03 05 51.5 $\pm 2$ с	44.9 $\pm 0.2$	37.5 $\pm 0.2$	7 5–10	4.0 $\pm 0.3$	5–6 $\pm 0.5$	[1]	
12	1972 22 июля	04 10 40 $\pm 2$ с	44.8 $\pm 0.1$	37.2 $\pm 0.1$	2.5 1–4	$MPVA=5.2$ $MLH=3.9$ $\pm 0.3$	(5) $\pm 1$	[1]	

Примечание. Для землетрясения с №№ 1, 8, 9 приведены разные варианты решения, опубликованные в соответствующих источниках из графы 9.

Анапское-IV землетрясение 12.07.1966 г. (№ 9) более детально изучено в работе [47] с привлечением инструментальных данных, а также ранее не использованных макросейсмических сведений с перепроверкой известной информации. Эти сведения также включены в табл. 6, наряду с данными [45]. Наиболее неоднозначны и многовариантны решения в табл. 6 для землетрясений 07.06.1943 г. и 12.07.1966 г. Первое из них не имеет макросейсмической информации, но его параметры были уточнены по совместной обработке записей на девяти сейсмических станциях, часть сейсмограмм пересматривались при подготовке статьи [47]. Поэтому результаты этих авторов предпочтительнее. Для второго же существует несколько вариантов решения параметров очага (табл. 6). При этом положение его эпицентра варьирует от прибрежной части акватории Черного моря до горной местности, близкой к очагу землетрясения Нижнекубанского-I 1879 г. и затем Нижнекубанского-II 2002 г. В пользу континентального, а не морского положения эпицентра говорят макросейсмические данные. Параметры макросейсмического эпицентра 12.07.1966 г., по данным Н.В. Шебалина [51], подтвержденные впоследствии Р.Э. Татевосяном [4, 5], также приводятся в табл. 6. При пересмотре имеющейся информации по инструментальным данным в [47] было отдано предпочтение заглубленному очагу с  $h=45\pm 10$  км. Заглубленность этого очага подтверждают также данные Международного сейсмологического центра ISC [11], где для девяти станций на расстояниях  $\Delta=8.5^\circ-97^\circ$  опубликованы сведения по глубинным фазам  $sP$  и  $pP$  и найдена глубина  $h=41\pm 2$  км. Сведения о землетрясениях 19.10.1879 г., 07.06.1943 г. и 12.07.1966 г., без сомнения, наиболее важны, так как они являются по ряду версий самыми значительными и разрушительными в исследуемом сейсмогенном районе.

Развертка во времени моментов возникновения землетрясений в этом районе за прошедшие почти 200 лет, приведенная на рис. 17, свидетельствуют о некоторой цикличности, наметившейся для сильнейших землетрясений. Интервалы между землетрясениями с  $M=5\pm 0.3$  из-

меняется от 23 до 45 лет. Последнее землетрясение из этого ряда с  $M=5.0\pm 0.5$  произошло 08.01.1969 г. (№ 10), т.е. за 33 года до Нижнекубанского-II. Подобную цикличность примерно в 40 (35–47) лет отмечал еще И.В. Ананьин [29], анализируя сейсмичность Нижнекубанской области в более широких рамках, захватывая и среднее течение р. Кубань, вплоть до  $\lambda=39^\circ\text{E}$ . Кроме того, на рис. 17, начиная с 1968 г., заметно увеличение плотности реализации слабых землетрясений, что связано с открытием станции «Анапа».

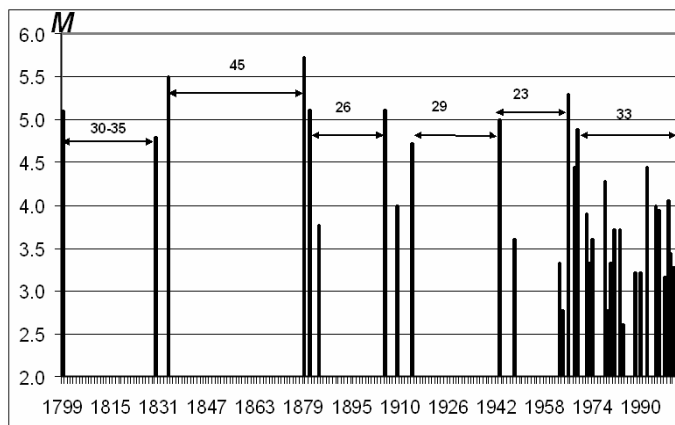


Рис. 17. Временной ряд сильнейших землетрясений в очаговой зоне Нижнекубанского-II землетрясения 9 ноября 2002 г. и в прилегающих районах

Стрелками и числами над ними показаны временные интервалы между землетрясениями с близкими значениями магнитуд.

Процесс накопления во времени высвобожденных сейсмических деформаций может быть выражен через кумулятивный график Г. Беньоффа [52], изображенный на рис. 18. При этом Г. Беньофф для пересчета магнитуд в энергию использовал формулу из [53]:

$$\lg E, \text{ эрг} = 11.8 + 1.5 M.$$

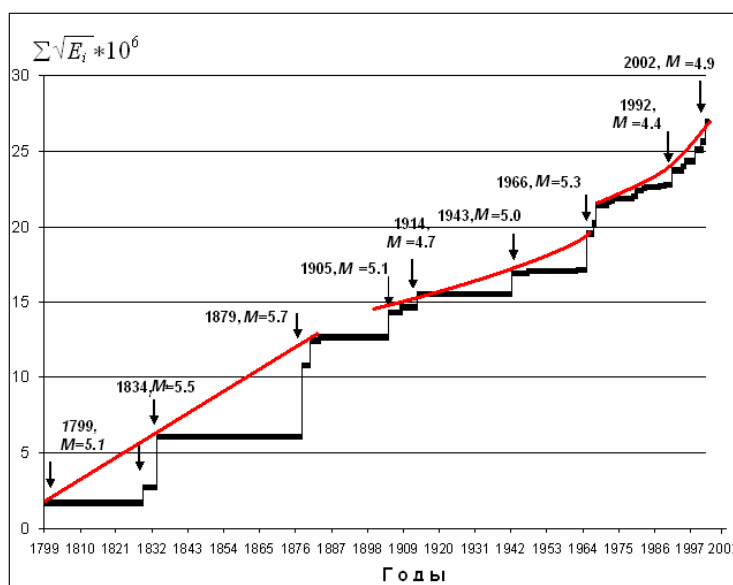


Рис. 18. Кумулятивный график Беньоффа для очаговой зоны Нижнекубанского-II землетрясения и прилегающих районов

Ступенчатость графика, наблюдаемая на рис. 18 для анализируемой территории, подчеркивает основные моменты активизации, после которых следуют периоды затиший, подтверждая наметившуюся цикличность. Особенностью приведенного графика является разный наклон огибающей в зависимости от периода наблюдений: достаточно крутой за 1799–1879 гг. (80 лет),

более пологий за 1905–1966 гг. (60 лет) и вновь более крутой за последний, почти сорокалетний интервал времени 1966–2002 гг. Не исключено, что это связано с подготовкой более сильного землетрясения, чем Нижнекубанское-I землетрясение 19.10.1879 г. с  $M=5.7$ . Ведь максимально возможные землетрясения с  $M_{\max}=6.0-6.5$ , прогнозируемые как по схеме Е.А. Рогожина, Г.И. Рейснера [54], так и по карте зон ВОЗ, прилагаемой к ОСР-97 [8], пока не реализовались в исследуемом сеймотектоническом районе. Ближайшее разрушительное Пантикапейское землетрясение с  $M\sim 6.4$ , произошедшее в Керченском проливе в 63 г. до н. э. [1, 45] примерно в 150 км к северо-западу от Нижнекубанских I-го и II-го землетрясений, относится более к Крымской, чем к Нижнекубанской очаговой зоне.

Следует заметить, что в самом конце XX в. и начале XXI в. в изучаемом районе периодически происходили ощутимые землетрясения небольшой энергии. Известно землетрясение с  $K_p=11.1$  [55], произошедшее 11.07.1996 г. в сопровождении двух афтершоков с  $K_p=9.5$ . (11 июля в 22<sup>h</sup>01<sup>m</sup> и 12 июля в 00<sup>h</sup>38<sup>m</sup>). Оно ощущалось с интенсивностью  $I=4$  балла в Новороссийске (40 км), Мысхако (50 км); 3 балла – в Верхнебаканском (25 км), Абрау-Дюрсо (50 км), Крымске (22 км); 2–3 балла – в Анапе (47 км). Координаты эпицентров этих землетрясений в пределах ошибок совпадают с таковыми для Нижнекубанского-II 2002 г.

В 2000 г. эта зона также не была спокойной, правда, землетрясения происходили в основном в Черном море. Так, 6 апреля 2000 г. в 13<sup>h</sup>55<sup>m</sup> зарегистрировано землетрясение с  $K_p=10.2$  в Черном море, южнее Анапы. Землетрясение ощущалось в Новороссийске (60 км) с  $I=2-3$  балла, Геленджике (45 км) и Анапе (85 км) с  $I=2$  балла. Вероятно, их можно рассматривать как некоторые предвестниковые события, говорящие о процессе подготовки более сильного землетрясения в этом блоке. Ведь ранее здесь в течение нескольких лет вообще не регистрировались землетрясения с  $K_p\geq 9$ .

В 2001 г. в Черном море наблюдалось повышение числа землетрясений и, как показано в [56], все они были приурочены к Черноморским глубинным разломам (рис. 19). Особое внимание следует обратить на проявление сейсмичности в Черном море, напротив Анапы, где 28 мая в 02<sup>h</sup>56<sup>m</sup> с толчка с  $K_p=8.6$  начался рой землетрясений. За три недели было зарегистрировано 25 землетрясений с  $K_p=6.7-9.9$ , «пик» роя пришелся на 17 июня, когда в 13<sup>h</sup>15<sup>m</sup> и в 14<sup>h</sup>38<sup>m</sup> произошли два толчка с  $K_p=9.9$  и 9.8 соответственно. Первое землетрясение ощущалось в Анапе (27 км) с интенсивностью  $I=2-3$  балла. Юго-восточнее этого роя 18 октября в 17<sup>h</sup>28<sup>m</sup> произошло также ощутимое землетрясение с  $K_p=9.2$  ( $I=2$  балла в Анапе с  $\Delta=36$  км).

Таким образом, Нижнекубанское-II землетрясение произошло в той части Северо-Западного Кавказа, где примерно раз в 30–40 лет происходят ощутимые до 6–7 баллов землетрясения умеренных магнитуд. При этом максимальная магнитуда из известных, равная  $M=5.7$ , все же меньше прогнозируемой  $M_{\max}=6.5$  [54]. Особенностью сейсмического процесса в этой части является заметное влияние поперечной структурной зональности на распределение сильной и слабой сейсмичности [22]. Сильные землетрясения здесь пока не сопровождались заметными сериями афтершоков, что, возможно, объясняется как заглубленностью очагов, так и повышенной прочностью пород, их вмещающих.

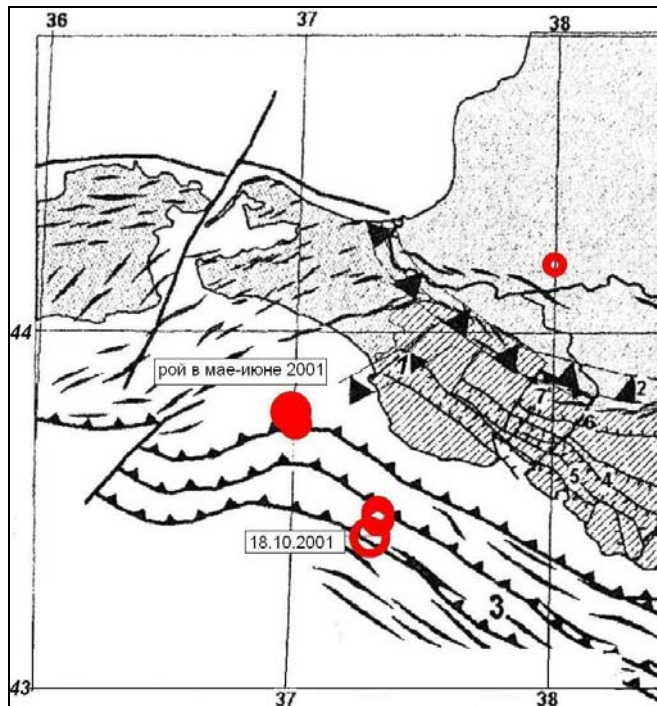


Рис. 19. Наложение эпицентров землетрясений западной части Северного Кавказа в 2001 г. на схему неотектоники Северо-Западного Кавказа и прилегающих территорий, составленную А.Н. Овсюченко [23]

## Л и т е р а т у р а

1. **Бабаян Т.О., Кулиев Ф.Т., Папалашвили В.Г., Шебалин Н.В., Вандышева Н.В. (отв. сост.).** П б. Кавказ [50–1974 г.,  $M \geq 4.0$ ,  $I_0 \geq 5$ ] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 69–170.
2. **Старовойт О.Е., Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С.** Землетрясение 9 ноября 2002 года на Нижней Кубани: параметры очага и его механизм // Сейсмологический бюллетень Украины за 2002 год. – Симферополь: ИГ НАНУ, КЭС, 2004. – С. 75–84.
3. **Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С.** Параметры уравнения макросейсмического поля для Северо-Западного Кавказа // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Второй Международной сейсмологической школы. г. Пермь, 13–17 августа 2007. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 83–88.
4. **Татевосян Р.Э., Плетнев К.Г., Бяков А.Ю., Шестопапов В.Л.** Нижнекубанское землетрясение 9 ноября 2002 г.: результаты макросейсмического обследования // Физика Земли. – 2003 г. – № 11. – С. 42–53.
5. **Татевосян Р.Э., Плетнев К.Г., Бяков А.Ю., Шестопапов В.Л.** Макросейсмическое обследование Нижнекубанского землетрясения 9 ноября 2002 г. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2002 год. – Симферополь: ОС ИГ НАНУ, КЭС, 2004. – С. 85–96.
6. **Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С.** Исследование параметров уравнения макросейсмического поля на примере Нижнекубанского землетрясения 9 ноября 2002 года // Уроки и следствия сильных землетрясений. Сборник материалов Международной конференции НАН Украины. г. Ялта, 25–28 сентября 2007 г. – Симферополь: ИГ НАНУ, 2007. – С. 20–22.
7. **Пустовитенко Б.Г.** Предисловие // Сейсмологический бюллетень Украины за 2002 год. – Симферополь: ИГ НАНУ, КЭС, 2004. – С. 3.
8. **Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97.** Масштаб 1: 8 000 000 / Гл. редакторы: академик РАН В.Н. Страхов, член-корр. АН Республики Узбекистан В.Н. Уломов – М.: ОИФЗ РАН, 1999.
9. **Информационное сообщение** о землетрясении 9 ноября 2002 года на юго-западе России. – [www.ceme.gsras.ru](http://www.ceme.gsras.ru).
10. **Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2002 год** / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2002–2003.
11. **Bulletin of the International Seismological Centre for 2002.** – Berkshire: ISC, 2003–2004.
12. **Габсатарова И.П., Девяткина Л.В., Селиванова Е.А.** Северный Кавказ. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
13. **Пустовитенко А.Н., Свидлова В.А.** Крым. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
14. **Габсатарова И.П. (отв. исп.).** Оперативный сейсмологический каталог (по территории Северного Кавказа) // Приложение к оперативному сейсмологическому каталогу ГС РАН). – Обнинск: Фонды ГС РАН, 2003. – 17 с.
15. **Свидлова В.А., Сыкчина З.Н., Козименко Н.М.** Каталог и подробные данные о землетрясениях Крымско-Черноморского региона за 2002 г. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2002 год. – Симферополь: ОС ИГ НАНУ, КЭС. 2004. – С. 12–27.
16. **Bratt S.R., Bache T.C.** Locating events with a space network of regional arrays // Bull. Seism. Soc. Am. – 1988. – 78. – № 2– P. 780–798.
17. **Kennet B.L.N. ed.** IASPEI 1991 Seismological Tables. Research School of Earth Sciences Australian National University.
18. **Бархатов И.И., Несмеянов С.А., Шмидт Г.А.** Геолого-геофизические материалы для выделения сейсмогенерирующих структур Северо-Западного Кавказа и смежных областей // Материалы по сейсмическому районированию Северо-Западного Кавказа. – М.: Наука, 1991. – С. 44–80.
19. **Надёжка Л.И., Орлов Р.А., Сафронич И.Н., Пивоваров С.П., Ипполитов О.М., Золототрубова Э.И.** Воронежский кристаллический массив. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
20. **Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С., Бабкова Е.А., Татевосян Р.Э., Плетнев К.Г.** Сальское землетрясение 22 мая 2001 года с  $MS=4.7$ ,  $I_0=6-7$  (Северный Кавказ) // Землетрясения Северной Евразии в 2001 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 301–316.
21. **Краснопевцева Г.В.** Глубинное строение Кавказского сейсмоактивного региона. – М.: Наука, 1984. – 111 с.

22. **Рогожин Е.А., Богачкин Б.М., Нечаев Ю.В.** Сейсмотектоническое значение поперечной зональности северо-западной части Большого Кавказа // Построение моделей развития сейсмического процесса и предвестников землетрясений. Вып. 1. – М.: ИФЗ РАН, 1993. – С. 139–148.
23. **Овсяченко А.Н.** Соотношение различных форм современных тектонических деформаций на Северо-Западном Кавказе // Исследования по сейсмотектонике и современной геодинамике. – М.: ИФЗ РАН, 2006. – С. 89–104.
24. **Милановский Е.Е., Хаин В.Е.** Геологическое строение Кавказа. – М.: МГУ, 1963. – 357 с.
25. **Милановский Е.Е.** Новейшая тектоника Кавказа. – М.: Недра, 1968. – 483 с.
26. **Ломизе М.Г.** Альпийская геосинклиналь Кавказа в глобальном контексте // Геотектоника. – 1987. – № 2. – С. 14–23.
27. **Шолпо В.Н., Рогожин Е.А., Гончаров М.А.** Складчатость Большого Кавказа. – М.: Наука, 1993. – 192 с.
28. **Хаин В.Е.** Тектоника континентов и океанов (год 2000). – М.: Научный мир, 2001. – 606 с.
29. **Ананьин И.В.** Сейсмичность Северного Кавказа. – М.: Наука, 1977. – 148 с.
30. **Пшенников К.В.** Механизм возникновения афтершоков и неупругие свойства земной коры. – М.: Наука, 1965. – 87 с.
31. **Красилов С.А., Коломиец М.В., Акимов А.П.** Организация процесса обработки цифровых сейсмических записей с использованием программного комплекса WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 77–83.
32. **Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С., Аптекман Ж.Я., Бармин М.П.** Об определении механизма очагов на ЭВМ ЕС-1030 // Физика сейсмических волн и внутреннее строение Земли. – М.: Наука, 1983. – С. 86–91.
33. **Ландер А.В.** Описание и инструкция для пользователя комплекса программ FA (расчет и графическое представление механизмов очагов землетрясений по знакам первых вступлений *P*-волн). – М.: Фонды автора, 2006. – 27 с.
34. **Dziewonski A., Chou T. and Woodhouse J.** Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity // J. Geophys. Res. – 1981. – **86**. – № B4. – P. 2825–2852.
35. **Аптекман Ж.Я., Дараган С.К., Долгополов Д.В., Захарова А.И., Зобин В.М., Коган С.Я., Корчагина О.А., Москвина А.Г., Поликарпова Л.А., Чепкунас Л.С.** Спектры *P*-волн в задаче определения динамических параметров очагов землетрясений. Унификация исходных данных и процедуры расчета амплитудных спектров // Вулканология и сейсмология. – 1985. – № 2. – С. 60–70.
36. **Аптекман Ж.Я., Белавина Ю.Ф., Захарова А.И., Зобин В.М., Коган С.Я., Корчагина О.А., Москвина А.Г., Поликарпова Л.А., Чепкунас Л.С.** Спектры *P*-волн в задаче определения динамических параметров очагов землетрясений. Переход от стационарного спектра к очаговому и расчет динамических параметров очага // Вулканология и сейсмология – 1989. – № 2. – С. 66–79.
37. **Brune J.N.** Tectonic stress and the spectrum of seismic shear waves from earthquake // J. Geophys. Res. – 1970. – **75**. – № 26. – P. 4997–5009.
38. **Hanks T.C., Kanamori H.** A Moment Magnitude Scale // J. Geophys. Res. – 1979. – **84**. – № 135. – P. 2348–2350.
39. **Пустовитенко Б.Г., Поречнова Е.И., Сыччина З.Н.** Очаговые параметры землетрясений Крыма. (См. раздел II (Очаговые спектры и параметры землетрясений) в наст. сб.).
40. **Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях ЕССН СССР.** – М.: Наука, 1982. – 272 с.
41. **Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага).** Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
42. **Результаты проведения комплексных сейсмологических и геофизических наблюдений и обработки данных на базе стационарных и мобильных сейсмических сетей / Отчет ЦОМЭ ГС РАН за 2003 год под ред. Мехрюшева Д.Ю.** – Обнинск: Фонды ГС РАН, 2004. – 175 с.
43. **Шебалин Н.В.** Очаги сильных землетрясений на территории СССР. – М.: Наука, 1974. – 54 с.
44. **Гутенберг Б., Рихтер Ч.** Магнитуда, интенсивность, энергия и ускорение как параметры землетрясений // Слабые землетрясения. – М.: Наука, 1961. – С. 45–119.
45. **Шебалин Н.В.** Количественная макросейсмика // Проблемы макросейсмики (Вычислительная сейсмология; Вып. 34). – М.: ГЕОС, 2003. – С. 55–200.

46. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Горячун А.В. // Землетрясения Крымско-Черноморского региона. — Киев: Наукова Думка, 1989. — 190 с.
47. Никонов А.А., Чепкунас Л.С. Сильные землетрясения в низовьях реки Кубани // Геофизический журнал. — 1996. — 18. — № 3. — С. 29–41.
48. Сейсмологический бюллетень сети опорных сейсмических станций СССР, июль—сентябрь 1966 г. — М.: АН СССР, 1967.
49. Ананьин И.В., Зыбина И.А. Анапское землетрясение 12 июля 1966 г. // Землетрясения в СССР в 1966 г. — М.: Наука. 1970. — С. 56–62.
50. Цхакая А.Д., Джибладзе Э.А., Папалашвили В.Г., Лебедева Т.М., Майсурадзе О.М., Табуцадзе Ц.А., Кахиани Л.А., Лабадзе В. Землетрясения Кавказа // Землетрясения в СССР в 1966 г. — М.: Наука. 1970. — С. 18–34.
51. Шебалин Н.В. Сильные землетрясения. Избранные труды. — М.: Академия горных наук, 1997. — 314 с.
52. Г. Беньофф. Накопление и высвобождение деформаций по наблюдениям сильных землетрясений // Слабые землетрясения. — М.: ИЛ, 1963. — С. 199–210.
53. Рихтер Ч.Ф. Элементарная сейсмология. — М.: ИЛ, 1963. — 670 с.
53. Рогожин Е.А. Современная геодинамика и потенциальные очаги землетрясений Кавказского региона // Современные математические и геологические модели природной среды. — М.: ОИФЗ РАН, 2002. — С. 244–254.
54. Габсатарова И.П., Амиров С.Р. (отв. сост.), Селиванов Е.А., Девяткина Л.В., Мусалаева З.А., Гамидов А.М., Сагателова Е.Ю., Абдуллаева А.Р. Северный Кавказ (включая Дагестан) // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. — Обнинск: ГС РАН, 2003. — (На CD).
55. Габсатарова И.П. Северный Кавказ // Землетрясения Северной Евразии в 2001 году. — Обнинск: ГС РАН, 2007. — С. 105–119.