

## СЕВЕРНЫЙ КАВКАЗ

И.П. Габсатарова, Л.В. Девяткина, Е.А. Селиванова

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

В 2002 г. на Северном Кавказе, включающем административные территории Краснодарского, Ставропольского краев и пяти автономных республик России (Карачаево-Черкесской, Кабардино-Балкарской, Чеченской, Ингушетии, Северной Осетии–Алании), продолжались наблюдения, как и в 2001 г. [1], сетью сейсмических станций состоящей:

- из аналоговых станций «Анапа», «Махачкала», «Пятигорск», «Сочи», «Цей-1», «Гофицкое» Центральной опытно-методической экспедицией (ЦОМЭ) ГС РАН, оснащенных короткопериодными сейсмографами СКМ-3;
- цифровой станции «Кисловодск», оборудованной широкополосным сейсмометром STS-1;
- четырехкомпонентной микрогруппы «Кисловодск»;
- радиотелеметрических пунктов «Кисловодск», «Гумбаши», «Шиджатмаз», «Куба-Таба», «Нагутская» лаборатории сейсмического мониторинга ГС РАН на полигоне Кавказских Минеральных Вод;
- станций Альфа-Геон («Владикавказ», «Ардон», «Заманкул», «Чикола», «Фиагдон», «Цей-2») Северо-Осетинской опытно-методической сейсмологической партией (С-О ОМСП) ГС РАН совместно с Владикавказским научным центром РАН Северной Осетии–Алании.

Существенных изменений в составе сети сейсмических наблюдений на Северном Кавказе, по сравнению с таковым в 2001 г. [1], не произошло. Лишь в ноябре 2002 г. была открыта сейсмическая станция «Краснодар», принадлежащая Краснодарскому университету, и произошло переоснащение аналогового оборудования на цифровое на двух станциях: «Сочи» и «Анапа».

На станции «Сочи» 16-разрядная цифровая сейсмическая аппаратура SDAS (разработки НПО «Геотех», г.Обнинск) с широкополосными сейсмометрами СМЗ-ОС [1] была введена в опытную эксплуатацию еще 17 июня 2001 г. До конца 2001 г. и в начале 2002 г. сохранялась аналоговая регистрация сейсмографами СКМ и СКД параллельно с цифровой. После проведения сравнительной обработки записей землетрясений на той и другой аппаратуре аналоговую регистрацию в Сочи прекратили 3 марта 2002 г.

На станции «Анапа» введение в опытную эксплуатацию той же цифровой аппаратуры SDAS и с теми же широкополосными сейсмометрами СМЗ-ОС реализовано 11 июля 2002 г. До конца года персонал станции освоил обработку цифровых записей землетрясений, проводя параллельную обработку.

Эти меры несколько повысили возможности сейсмической сети на территории Краснодарского края, что было как нельзя кстати, так как именно в этом районе 9 ноября произошло самое сильное ( $M_p=13.0$ ) землетрясение этого года на Северном Кавказе.

Представляет интерес оценить эффективность работы каждой станции в отдельности, например, с помощью так называемого «процента участия» (рис. 1) в составлении сводного каталога землетрясений Северного Кавказа. Как видим, наиболее часто в обработке землетрясений

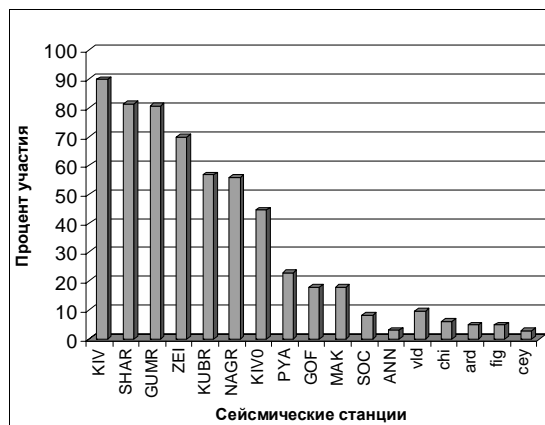


Рис. 1. График участия сейсмических станций ЦОМЭ ГС РАН и С-О ОМСП ГС РАН в составлении сводного каталога Северного Кавказа в 2002 г.

(от 70 до 90 % событий) использовались следующие шесть станций: «Кисловодск», «Шиджатмас», «Гум-Баши», «Цей», «Куба-Таба» и «Нагутская». По этой причине их можно считать опорными. Эффективность станций «Махачкала», «Пятигорск» и «Гофицкое», находящихся в менее благоприятной ситуации по уровню сейсмического шума, примерно одинакова и составляет около 20 %. Прибрежные станции «Анапа» и «Сочи» регистрировали события лишь в ближайших ( $\Delta < 200$  км) очаговых зонах. Особенно это относится к «Анапе», на которой большую часть года обработка землетрясений проводилась только по аналоговым сейсмограммам. Цифровое оборудование работало вторую половину года в экспериментальном режиме, и обработка осваивалась штатом станции. Но в «Сочи», благодаря применяемой полосовой фильтрации, удавалось выделять вступления поперечных волн от землетрясений и на расстояниях от 200 до 580 км. Замыкают график на рис. 1 станции Северной Осетии с эффективностью до 10%, что в значительной степени вызвано их триггерным режимом работы.

Для восточной зоны Северного Кавказа использованы результаты обработки дагестанских станций в виде предварительных бюллетеней землетрясений Дагестанской ОМСП ГС РАН [2]. Сеть из 17 станций Дагестана принадлежит Дагестанской опытно-методической сейсмологической партии (ДОМСП) ГС РАН [3].

Описанная сеть станций, как следует из карты  $K_{min}$  (рис. 2), обеспечила регистрацию без пропусков слабых землетрясений  $K_{min}=6$  на двух небольших участках: Кавминводском полигоне и в Дагестане на участке повышенной плотности сети Дагестана в окрестностях станций «Дылым», «Дубки», «Унцикуль», «Хунтах» и других, расположенных вблизи ГЭС Сулакского каскада. На значительной части территории Северного Кавказа представительны землетрясения лишь с  $K_p=8$ , а на всей территории не должны быть пропущены события, начиная с  $K_p=9.0$  или с  $K_p=9.5$ .

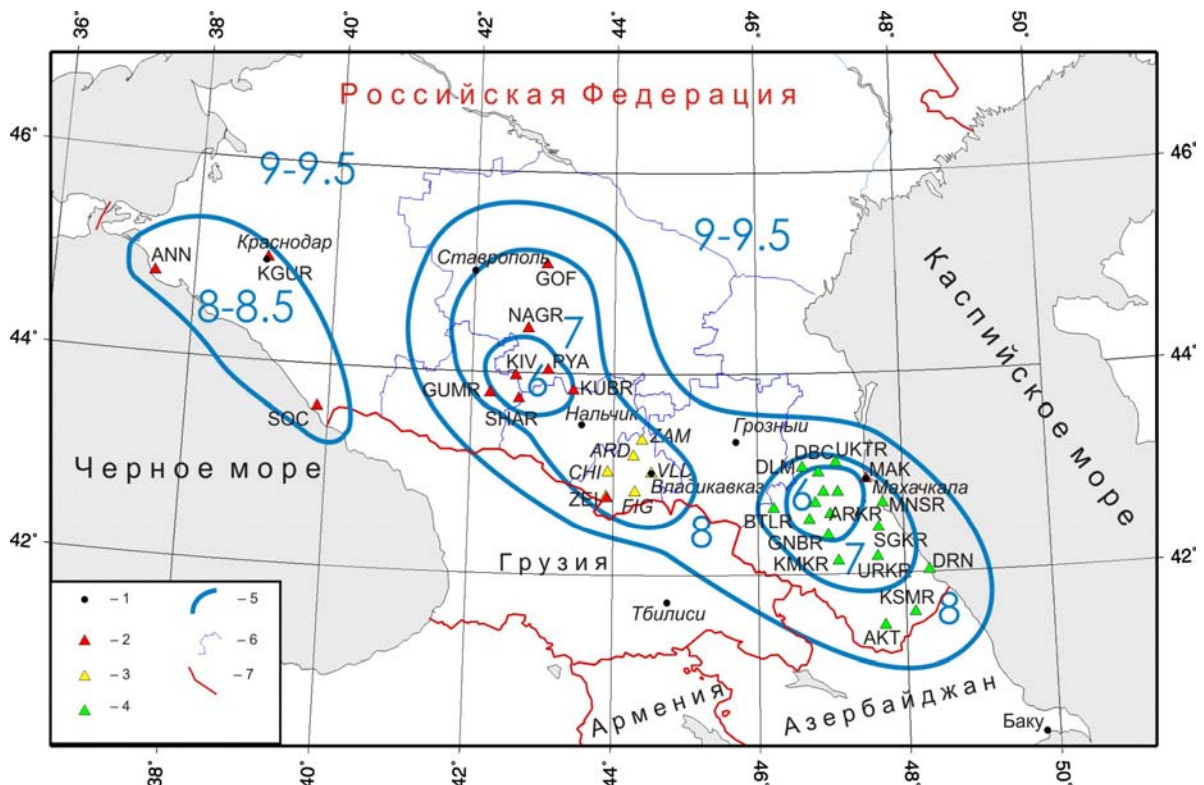


Рис. 2. Карта энергетической представительности  $K_{min}$  на территории Северного Кавказа за 2002 г.

1 – населенный пункт; 2 – сейсмическая станция сети ЦОМЭ ГС РАН; 3 – сейсмическая станция сети С-ОМСП ГС РАН; 4 – сейсмическая станция сети ДОМСП ГС РАН; 5 – изолиния  $K_{min}$ ; 6 – административная граница республик Северного Кавказа; 7 – государственная граница.

Кроме того, в г. Обнинск регулярно поступали из Азербайджана бюллетени станций «Гянджа», «Шемаха», «Шеки», из Грузии – «Тбилиси», а с Украины – Сейсмологический бюллетень с данными станций Крымской сети [4]. Все перечисленные выше данные были использованы при составлении сводного каталога землетрясений Северного Кавказа [5] в наст. сб.

В результате сводной обработки на территории Северного Кавказа (включая Дагестан), внутри государственных границ России, а также в приграничной полосе с Грузией и Азербайджаном шириной 30 км были локализованы 945 сейсмических событий с  $K_p=4.5-13.0$  [5]. Из них 112 толчков отнесены к категориям «взрыв» или «возможно, взрыв». Они записаны в основном локальной сетью Кавказских Минеральных Вод. Большая их часть приурочена к карьерам вблизи пос. Усть-Джегута в Карачаево-Черкессии. Зарегистрировано также несколько взрывов, произведенных на профилях глубинного сейсмического зондирования ГСЗ. Эти работы ведутся с 1999 г. [6] организацией «ГЕОН» с целью изучения строения земной коры Северного Кавказа.

Исключив взрывы, получим суммарное годовое число землетрясений  $N_\Sigma = 833$ . Их распределение по классам приводится, как и в [1], по районам административного деления Северного Кавказа и отдельно в акваториях Черного и Каспийского морей (табл. 1).

**Таблица 1.** Распределение числа землетрясений Северного Кавказа по энергетическим классам  $K_p$  и суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  по районам в 2002 г.

№	Район	$K_p$									$N_\Sigma$	$\Sigma E,$ <i>Дж</i>
		5	6	7	8	9	10	11	12	13		
1	Черное море	–	–	–	3	6	1	–	–	–	10	$0.223 \cdot 10^{11}$
2	Краснодарский край	–	6	13	17	6	–	–	1	1	44	$120.996 \cdot 10^{11}$
3	Ставропольский край	10	27	25	17	6	1	–	–	–	86	$0.293 \cdot 10^{11}$
4	Карачаево-Черкесия	3	21	14	11	1	–	–	–	–	50	$0.025 \cdot 10^{11}$
5	Кабардино-Балкария	3	20	28	19	6	–	–	1	–	77	$5.093 \cdot 10^{11}$
6	Северная Осетия	–	4	28	26	7	1	–	–	–	66	$0.165 \cdot 10^{11}$
7	Ингушетия и Чечня	–	1	25	35	30	10	1	–	–	103	$2.567 \cdot 10^{11}$
8	Дагестан	12	70	82	82	37	17	6	–	–	305	$6.064 \cdot 10^{11}$
9	Каспийское море	–	–	4	22	11	6	3	–	–	46	$3.441 \cdot 10^{11}$
	Сопредельные территории Азербайджана и Грузии	–	1	13	20	5	6	1	–	–	46	$2.16 \cdot 10^{11}$
	Всего без Дагестана и Каспийского моря и сопредельных территорий	16	79	133	128	62	13	1	2	1	435	$129.139 \cdot 10^{11}$
	Всего	28	150	232	252	115	42	11	2	1	833	$141.027 \cdot 10^{11}$

В настоящей статье в основном анализируется сейсмичность западной и центральной частей Северного Кавказа, исключая территорию Дагестана, сейсмичность которой описана в отдельной статье [3] наст. сб. Выделившаяся на этой территории суммарная сейсмическая энергия равна  $\Sigma E = 129 \cdot 10^{11}$  Дж, что в три раза выше таковой в 2001 г. ( $\Sigma E = 41 \cdot 10^{11}$  Дж [1]) и значительно выше, чем в 2000 г. ( $\Sigma E = 4.7 \cdot 10^{11}$  Дж [7]). Основная причина – сильное Нижнекубанское-II землетрясение с  $K_p = 13.0$  и, соответственно, энергией  $E = 100 \cdot 10^{11}$  Дж, что составляет 77.5% от всей энергии. В целом в регионе, как и ранее [1, 7, 8], сейсмичность в 2002 г. имела мозаичный характер, связанный с отдельными сеймотектоническими блоками и зонами их сочленения (рис. 3).

Далее более детально рассматривается проявление сейсмичности в каждом районе с привлечением отдельных элементов карты потенциальных очагов Северного Кавказа и глубинных разломов (рис. 4), составленной Г.И. Рейснером, Е.А. Рогожиным [9] по данным [9, 10]. На эту схему наложены эпицентры более сильных ( $K_p \geq 10$ ) землетрясений.

В западной части Северного Кавказа ситуация с проявлением сейсмичности, как и в предыдущие несколько лет, остается, как подмечено в [11], таковой, что эпицентры концентрируются в двух районах – Сочинском и Анапском и практически полностью отсутствуют в центральной части побережья Черного моря (рис. 3). При этом землетрясения приурочены к известным активным разломам [9, 10], имеющим как продольное, так и поперечное простирание. В 2002 г. наибольшая активность проявилась в Анапском блоке, включающем Анапский и Новороссийский поперечные разломы [6], в пределах которого произошло упомянутое выше ошутимое землетрясение 9 ноября.

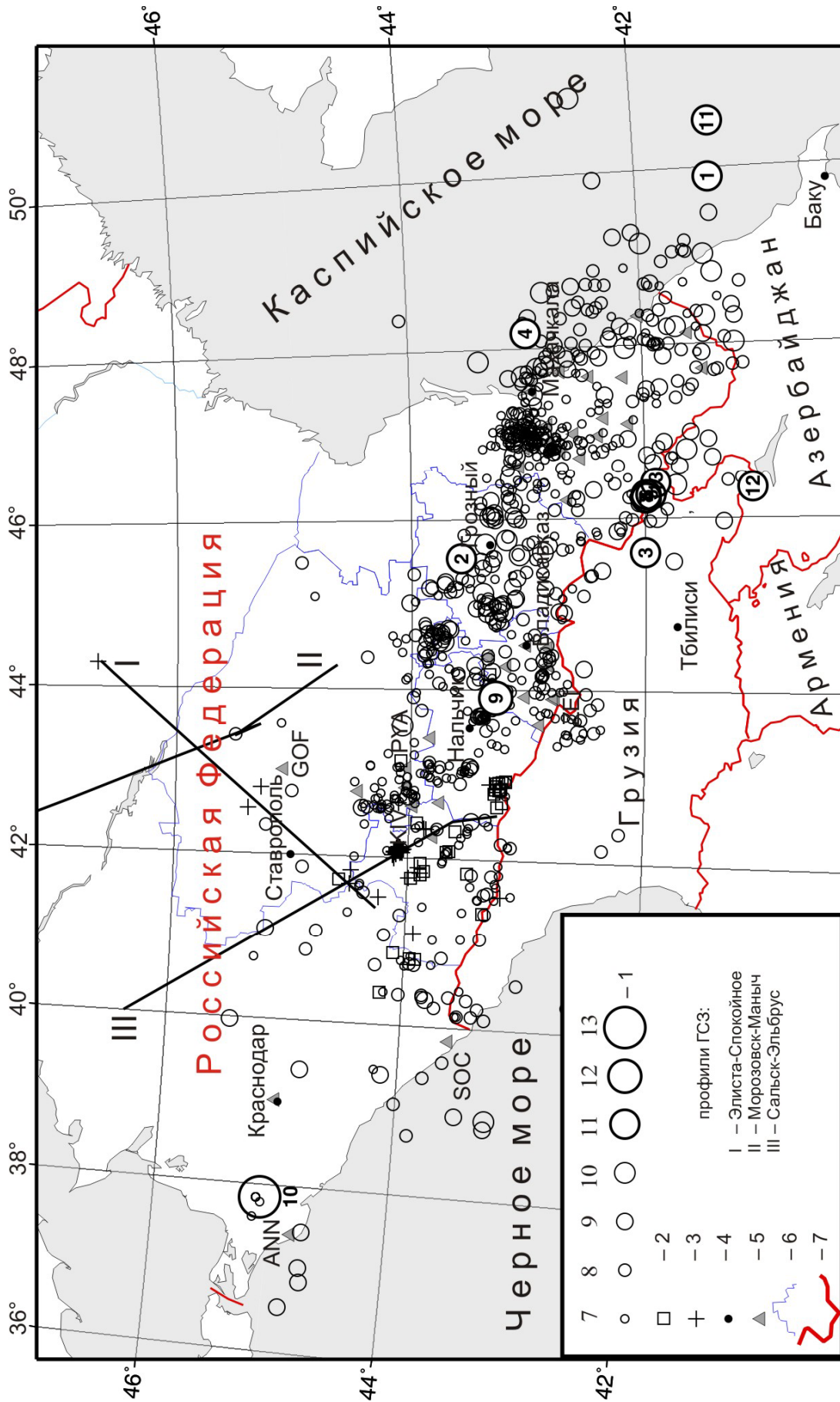


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений Северного Кавказа за 2002 г. с  $K_p \geq 6.6$

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – событие типа «возможно, взрыв»; 3 – взрыв в промышленных карьерах; 4 – населенный пункт; 5 – сейсмическая станция; 6 – граница республик Северного Кавказа; 7 – государственная граница. Номера землетрясений (1–17) соответствуют таковым в графе 1 каталога землетрясений [5]



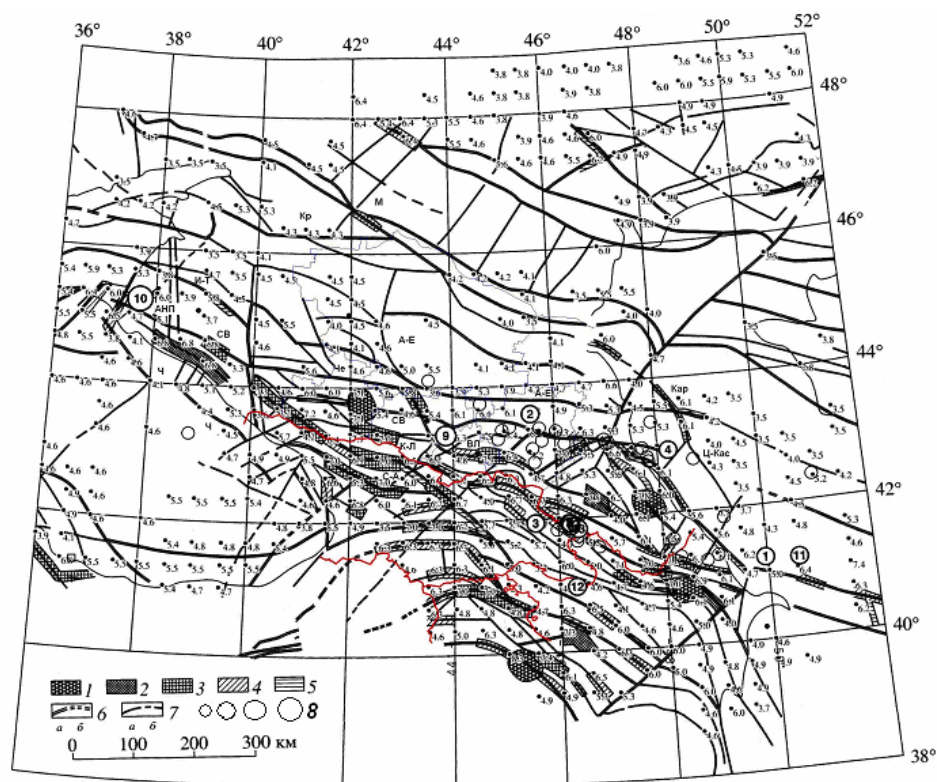


Рис. 4. Карта вычисленных значений учебных и прогнозируемых оценок  $M_{\max}$  по [9] в сопоставлении с разрывной тектоникой Кавказского региона

1–5 –  $M_{\max}$ , равные 8.0, 7.5, 7.0, 6.5 и 6.0 соответственно; 6 – разлом I-го порядка, реальный (а) и предполагаемый (б); 7 – разлом II-го порядка, реальный (а) и предполагаемый (б); 8 – энергетический класс  $K_p=10-13$ .

Обозначение и название некоторых разломов I-го порядка: И-Т – Индоло-Томашевский, АНП – Анапский, СВ – Северский, Ч – Черноморский, К-Л – Кахетино-Лечхумский, Че – Черкесский, А-Е – Армави́ро-Ессенту́кский, Ц-К – Центрально-Казбекский, А-К – Адайком-Казбекский, П-Т – Пшекиш-Тырнаузский, С-А – Северо-Аджарский, Цх-К – Цхинвали-Казбекский, ВЛ – Владикавказский, Кар – Карабогазский; М – Манычский (Новочеркасский); Кр – Красногвардейский; Ц-Кас – Центрально-Каспийский.

В Черном море (№ 1) зарегистрировано десять землетрясений, включая два около грузинской территории. Все они, как и в 2001 г., приурочены к зоне Черноморских глубинных разломов, протягивающихся, согласно [11], вдоль береговой линии на расстоянии 30–70 км от берега. Землетрясения произошли в марте, июне–сентябре в южной части, ближе к Сочи, а в сентябре–октябре и декабре – на севере, близ Анапы. Самое сильное ( $K_p=10.1$ ) землетрясение локализовано возле Сочи и произошло 8 сентября в 15<sup>h</sup>15<sup>m</sup>. Оно ощущалось в населенных пунктах курорта Большого Сочи и в городах Туапсе, Лазаревское и пос. Магри с интенсивностью  $I=3$  балла. Землетрясения в Анапском районе не превышали  $K_p=9.4$ . Два из них ощущались в Анапе: 20 сентября в 20<sup>h</sup>56<sup>m</sup> с  $K_p=9.2$  – с  $I=2-3$  балла и 31 декабря в 14<sup>h</sup>32<sup>m</sup> с  $K_p=8.9$  – с  $I=2$  балла. Первое из них произошло в прибрежной зоне и может быть отнесено как к Черноморской зоне, так и к Краснодарскому краю.

На территории Краснодарского края (№ 2) в 2002 г. продолжалась сейсмическая активизация с той лишь разницей, по сравнению с таковой в 2001 г. [1], что теперь землетрясения локализованы в юго-западной части края. Анапский разлом, секущий в поперечном направлении структуры Большого Кавказа и Предкавказья, уже неоднократно становился сейсмоактивным. Последним сильным землетрясением в его зоне было Анапское, зарегистрированное 12.07.1966 г. [12, 13]. После него через непродолжительное время (3 марта 1968 г. [1]) была открыта сейсмическая станция «Анапа». С тех пор проводятся детальные наблюдения за слабой сейсмичностью этой зоны, правда, по записям только этой станции. В 2002 г., 20 сентября в 20<sup>h</sup>56<sup>m</sup>, в 10 км от Анапы отмечено землетрясение с  $K_p=9.2$ , ощущавшееся с  $I=2-3$  балла. Оно зарегистрировано также всеми станциями Крымской сети [14]. Это землетрясение можно отнести к Анапскому поперечному разлому, к южной его части и, возможно, его следует считать

форшоком Нижнекубанского-II землетрясения 9 ноября в 02<sup>h</sup>18<sup>m</sup> с  $K_p=13.0$  [15], несмотря на удаление в 50 км от эпицентра.

Всего в Краснодарском крае зарегистрировано 33 землетрясения, 8 из которых локализованы в одной очаговой области и отнесены к форшокам и афтершокам Нижнекубанского-II землетрясения [15]. Еще 13 сейсмических событий зарегистрированы в 30–50 км от Сочи, в приграничной области с Грузией (рис. 3). Они возникли в основном в двух очаговых зонах с координатами  $\varphi=43.52-43.83^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=40.14-40.35^\circ\text{E}$  и  $\varphi=43.76-43.99^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=40.71-40.83^\circ\text{E}$ . Природа второй группы вызвала сомнение, т.к. половина из них записана с 8 до 11<sup>h</sup> по Гринвичу (т.е. 11–15<sup>h</sup> московского времени), хотя их календарные даты существенно различаются (с февраля по декабрь). В условиях отсутствия априорной информации о взрывных работах в этом месте сказать что-то определенное об их природе не представлялось возможным. Для выяснения природы событий обеих групп были специально исследованы волновые формы записи на сейсмической станции «Сочи» и станций Кавминводского полигона, а также проведено сопоставление спектров *P*- и *S*-волн.

В итоге для событий первой группы по записям ближайшей станции «Сочи» установлено, что по виду волновых форм и спектральным особенностям все они скорее землетрясения, чем взрывы. При этом события за период с 26 по 28 декабря (26 декабря в 20<sup>h</sup>21<sup>m</sup> с  $K_p=7.9$ , 27 декабря в 02<sup>h</sup>08<sup>m</sup> и в 11<sup>h</sup>09<sup>m</sup> с  $K_p=8.2$  и 6.0, 28 декабря в 18<sup>h</sup>14<sup>m</sup> с  $K_p=6.8$  [6]) имеют подобную волновую картину, что дает возможность отнести их к рою с достаточно большими глубинами очагов ( $h=18-22$  км). Вероятно, этот рой мог быть более многочисленным по числу событий, однако чувствительность станции «Сочи» и сети в целом не позволяют регистрировать здесь более слабые (с  $K_p<6$ ) события. Как характерно для роевых последовательностей, а это отмечается, например, Н.В. и А.В. Солоненко для Байкальской рифтовой зоны [16], землетрясения, входящие в рой, представляют собой генетически однородную группу событий. Опыт исследования на Северном Кавказе также подтверждает это. Действительно, трехкомпонентные записи указанных роевых землетрясений 26–28 декабря разной энергии имеют большое сходство между собой (рис. 5), из чего можно предположить идентичный механизм их очагов.

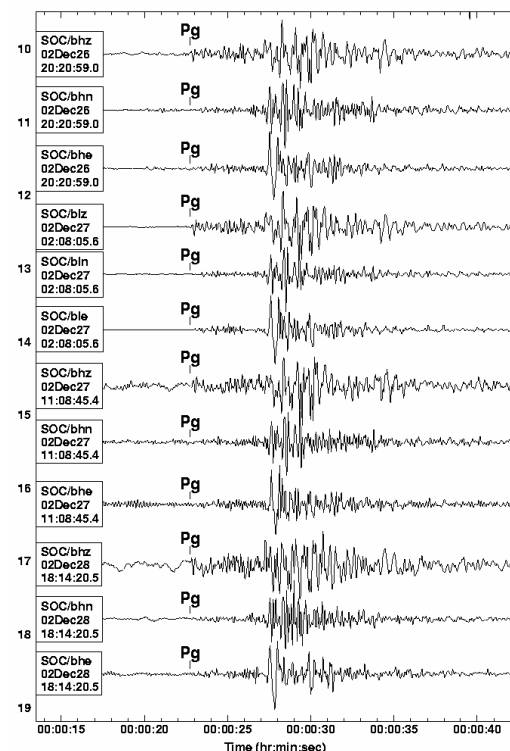


Рис. 5. Сравнение трехкомпонентных записей роевых землетрясений 26–28 декабря 2002 г. в 30 км от «Сочи»

Схожи и их спектры, особенно толчков 26 и 27 декабря (рис. 6). Следует лишь отметить, что все они по соотношению спектров сейсмических фаз, согласно методике [17], отнесены к землетрясениям.

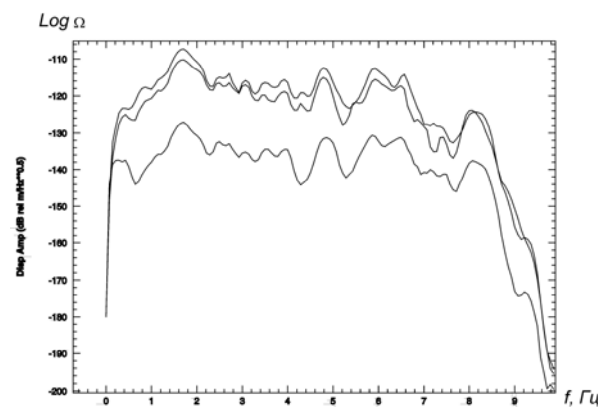


Рис. 6. Сглаженные спектры записей (*Z*-компонента) землетрясений 26–27 декабря 2002 г.

В январе 2001 г. [1], также в 30 км от «Сочи», но западнее, проявился другой рой землетрясений, причем с большими классами ( $K_p=8.0-10.4$ ), и некоторые толчки были ощутимы. Следует, по-видимому, отметить, что серией этих землетрясений активизировалась очаговая зона известного семибального Краснополянского землетрясения 21.12.1955 г. с  $M=4.3$  [18].

События второй группы имели также похожие волновые картины на станциях Кавминводского полигона, но, в отличие от первой группы, – это, скорее всего, взрывы.

Действительно, исследование особенностей волновой картины и спектрального состава сейсмических фаз показало, что они имеют типичные для взрывов характерные черты: на вертикальных компонентах спектры *P*-волны более высокочастотны, нежели *S*-волны, поэтому спектральные отношения *P/S* существенно превышают 1.0 в частотном интервале от 10 Гц вплоть до 20 Гц.

Особенно это проявилось на записях станции «Гумбаши», удаленной на расстояние около 140 км (рис. 7) и «Шиджатмаз» – 180 км (рис. 8, 9). На рис. 8 представлены записи вертикальной компоненты всех пяти событий (табл. 2) из этой зоны. Полученные спектральные отношения, время реализации и близкие энергетические классы позволили классифицировать эти толчки как «возможно, взрывы». Следует отметить, что знак первого движения в *P*-волне у всех событий был «вверх», т.е. характеризовал волну сжатия, характерную для взрывов.

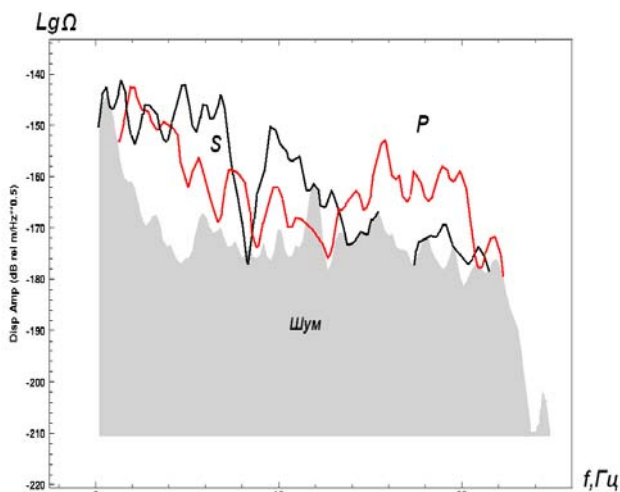


Рис. 7. Сравнение спектров шума, фрагмента *P*- и *S*-волн на станции «Гумбаши» для события типа «возможно, взрыв» 20 февраля 2002 г. в 10<sup>h</sup>06<sup>m</sup>

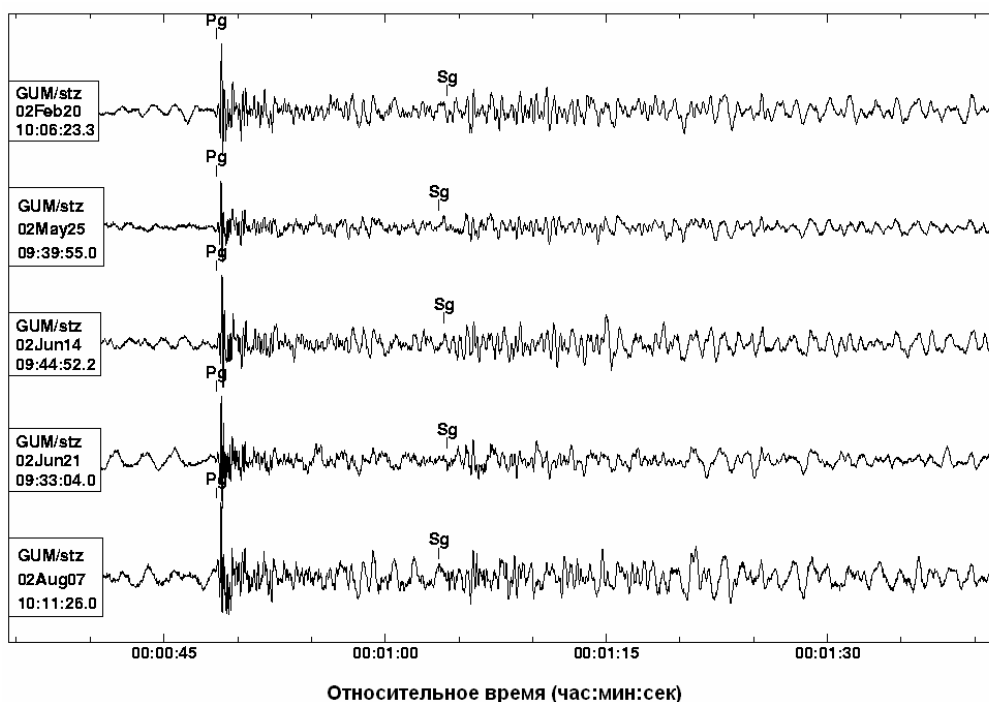


Рис. 8. Записи Z-компонент сейсмических событий типа «возможно, взрыв»

Таблица 2. События типа «возможно, взрыв» в горах, в 90 км от «Сочи»

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$	№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$
			$\varphi$ , N	$\lambda$ , E						$\varphi$ , N	$\lambda$ , E		
1	20.02	10 06 32.2	43.99	40.71	14	7.2	4	21.06	09 33 54.6	43.76	40.73	13	7.4
2	25.05	09 41 00.0	43.94	40.83	10	7.1	5	07.08	10 11 44.4	43.91	40.72	10	8.0
3	14.06	09 46 09.2	43.95	40.74	15	7.6							

Частотно-временные диаграммы (спектрограммы) для этих событий также подтверждают классификацию их как «возможно, взрывы» (рис. 10). Спектрограммы записей события 7 августа показывают типичную картину взрывного события, когда энергия в продольных волнах на высоких частотах значительно превышает энергию поперечных волн на записи вертикальной компоненты [19].

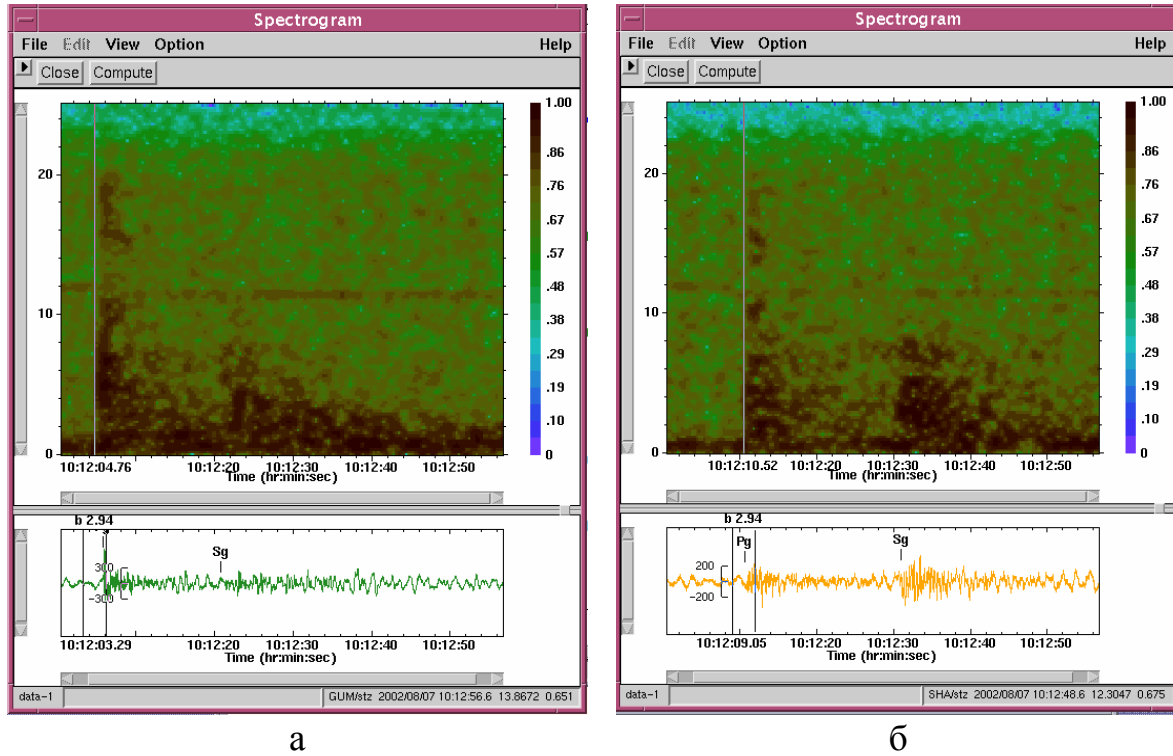


Рис. 9. Спектрограммы Z-компонент записей события 7 августа в 10<sup>h</sup>11<sup>m</sup> на станциях «Гумбаши» (а) и «Шиджатмаз» (б)

Для построения спектрограмм здесь и далее использована программа Geotool [20].

Таким образом, подобие волновых форм и спектров в одном случае говорит о принадлежности событий к рою землетрясений, в другом – к «возможно, взрывам».

Настораживает факт редкого проявления в течение последних лет сейсмичности в прибрежной части между городами Архипо-Осиповка и Туапсе. Хотя современные возможности сети [7] позволяют регистрировать здесь без пропусков землетрясения с  $K_p=8-9$ , такие землетрясения были отмечены лишь в 1997 г.: 25.01.1997 г. с  $K_p=9.3$ , 07.07.1997 г. с  $K_p=8.9$ , 24.11.1997 г. с  $K_p=8.3$  [21]. Первое из них ощущаось в Туапсе с  $I=2-3$  балла. Еще ранее [18] в этом районе известны семи- и шестибалльные землетрясения, несмотря на их небольшие магнитуды (табл. 3).

Таблица 3. Сильнейшие землетрясения вблизи Туапсе, Северный Кавказ

№	Дата, д м год	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$M$	$I_0$ , балл	Примечание
			$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E				
1	18.10.1935	10 38 11.0	44.00	39.30	4	3.4	6	Туапсинский рой
2	07.21.1936	04 48 41.0	44.10	39.10	12	4.4	6-7	
3	14.12.1936	18 15 38.0	44.10	39.10	7	4.3	7	Туапсинский рой
4	04.06.1937	20 33 44.0	44.40	38.60	7	4.0	6	Развитие Туапсинского роя к северо-западу
5	22.02.1963	22 00 00.0	44.20	39.40		2.0	6	Форшок Верхне-Птишского
6	06.03.1963	07 16 21.0	44.30	39.60	1	3.3	7	Верхне-Птишское землетрясение
7	15.02.1994	22 29 25.8	44.24	39.66	10	4.4	4	Даховское землетрясение



Итак, с периодичностью, близкой к 30 годам, в прибрежной зоне курорта Большого Сочи от Архипо-Осиповки до Туапсе возникали землетрясения со значительной интенсивностью сотрясений, что существенно в этом оползнеопасном районе. Три последних землетрясения, включенных в табл. 3, произошли в 60–70 км от прибрежной части и от Туапсе, но они также ощущались в Туапсе и Лазаревском с интенсивностью до 3 баллов [22].

В 2002 г. вблизи Туапсе зарегистрировано три землетрясения: 8 февраля в 01<sup>h</sup>52<sup>m</sup> с  $K_p=9.5$  и два более слабых – 23 мая в 02<sup>h</sup>53<sup>m</sup> с  $K_p=7.2$  и 8 июня в 21<sup>h</sup>14<sup>m</sup> с  $K_p=7.9$ .

В Ставропольском крае (№ 3) локализовано 92 землетрясения (рис. 3). Самое сильное ( $K_p=10.3$ ) землетрясение зарегистрировано 7 апреля в 01<sup>h</sup>42<sup>m</sup>, в 12 км от Георгиевска и 40 км от Пятигорска. По положению эпицентра (рис. 4) его можно отнести к узлу пересечения Армави́ро-Ессенту́кского и Черкесского разломов [9, 10]. В зоне Кавминводского геодинамического полигона ГС РАН по-прежнему наблюдается слабая сейсмичность в зоне сочленения Черкесского и Армави́ро-Ессенту́кского разломов I порядка. Здесь зарегистрировано более 40 землетрясений с  $K_p=5-8$ .

На территории Ставропольского края в 2002 г. были продолжены работы ФГУП ЦРГГИ ГЕОН им. В.В. Федынского (Центр ГЕОН). Комплексные геолого-геофизические исследования земной коры методами ГСЗ, МОВЗ, ОГТ и КМПВ в полосе регионального профиля г. Морозовск–гора Эльбрус почти полностью проходили по территории Ставропольского края. Цель исследований – изучение глубинного строения мезозойско-кайнозойского осадочного чехла, палеозойского комплекса, земной коры Северного Кавказа и Предкавказья на материалах трех профилей: г. Морозовск–пос. Дивное, г. Элиста–пос. Спокойное и г. Сальск–гора Эльбрус [6] (рис. 3).

При зондировании методом ГСЗ использовались взрывы мощностью до 2000 кг, распределенные вдоль профиля на расстоянии от 30 до 50 км. Чаще всего Центром ГЕОН сведения о дате и примерном месте взрыва сообщались в Обнинск или Кавминводский локальный центр [6]. Всего в 2002 г. было зарегистрировано восемь взрывов (табл. 4).

**Таблица 4.** Данные Центра ГЕОН о взрывах на профилях ГСЗ в 2002 г.

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Координаты взрыва		$h$ , км
			$\varphi$ , N	$\lambda$ , E	
1	12.02	13 01 00.75	45°16.03'	42°34.08'	0.36
2	08.03	15 01 01.06	45°02.90'	42°15.03'	0.0
3	10.03	13 01 00.51	44°34.98'	41°45.18'	0.0
4	12.03	13 01 01.46	44°18.90'	41°26.48'	0.57
5	07.04	13 01 02.39	46°39.63'	44°17.81'	0.15
6	08.04	15 01 02.35	46°19.06'	43°51.79'	0.15
7	22.04	13 01 01.52	44°00.31'	41°03.67'	1.13
8	07.09	15 01 00.84	44°34.61'	41°45.11'	0.0

Следует отметить, что результаты этих исследований имеют большое значение для решения задач сейсмического мониторинга на Северном Кавказе, так как позволяют улучшать методику составления региональных каталогов в следующих аспектах.

Во-первых, введением в процесс обработки новых моделей земной коры Северного Кавказа, так как сводная обработка основывается на использовании местных скоростных разрезов земной коры для различных в тектоническом отношении зон. В частности, до сих пор используются в рутинной практике, как правило, разрезы земной коры, полученные Г.В. Краснопевцевой при интерпретации материалов ГСЗ до 80-х годов прошлого века. Эти скоростные модели относятся в основном к зонам Большого Кавказа, Восточного Кавказа и Закавказья [23]. Для центральной части Предкавказья используется модель района Тырнауз [24]. В табл. 5 представлены вместе с этой моделью скоростные модели земной коры для двух достаточно сейсмичных районов Предкавказья из [6] и для еще двух других районов (Минераловодского выступа и Приэльбрусья) в виде рисунка глубинного разреза (рис. 10). Как видно, они значительно отличаются по скоростям  $P$ -волн от модели, применяемой в рутинной практике. Особенно это различие видно в самой верхней части верхней мантии, где, по данным [6], между

корой и верхней мантией отмечается слой с промежуточными скоростными параметрами. Немаловажно проверить также правильность использования при обработке отношения скоростей  $v_p/v_s$ . Обычно в рутинной практике используется значение  $v_p/v_s=1.73$ , и материалы [6] подтвердили правильность этого для районов Предкавказья. В дальнейшем модели земной коры из [6] будут использованы при составлении каталога Северного Кавказа.

Таблица 5. Скоростные разрезы некоторых участков центральной части Северного Кавказа

Район Тырнауза по [17]		Ставропольский свод, на участке профиля Морозовск–Дивное по [6]				Предкавказский прогиб, профиль Элиста–Спокойное по [6]			
$v_p$ , км/с	$h$ , км	$v_p$ , км/с	$h$ , км	$v_s$ , км/с	$v_p/v_s$	$v_p$ , км/с	$h$ , км	$v_s$ , км/с	$v_p/v_s$
3.2	0.0	2.64	0.0	1.34	1.97	2.60–3.18	0.0	1.31–1.56	2.01
5.9	1.0	5.66	3.0	3.24	1.74	5.82–5.92	1–3	3.40–3.45	1.71
6.0	15.0	6.18	6.0	3.58	1.73	6.21–6.34	6–8	3.58–3.70	1.72
6.4	24.0	6.98	26.0	4.02	1.74	6.37–6.53	20		
7.0	29.0	7.71	45.0	4.48	1.72	6.64–6.75	26–28		
8.1	44.0	8.1	50.0			6.88	4–35		
						7.70	42		
						8.1	52		

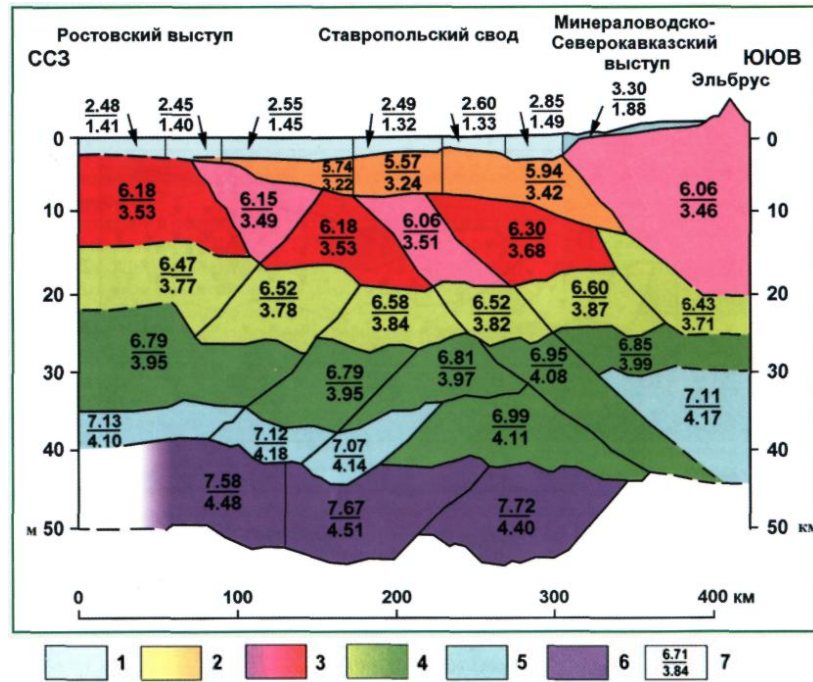


Рис. 10. Глубинный разрез земной коры Предкавказья и северного склона Большого Кавказа по данным ГСЗ на профиле Элиста – Спокойное из [5]

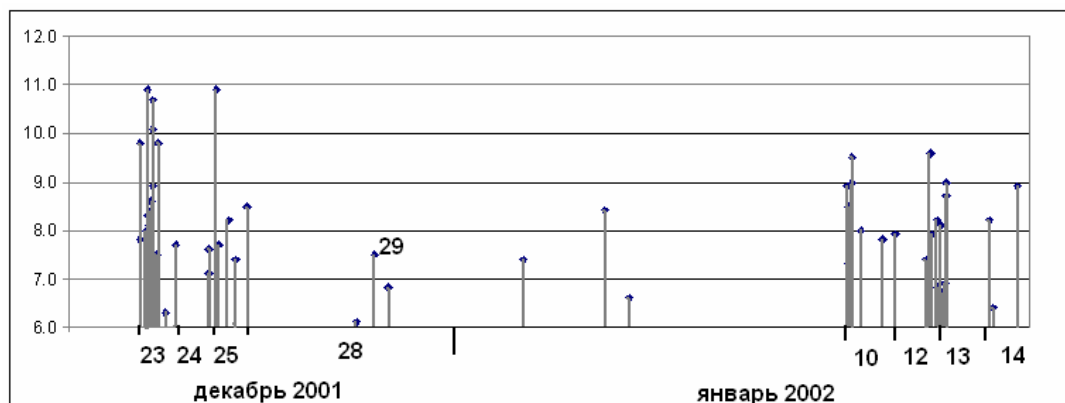
1 – мезозойско-кайнозойский осадочный чехол; 2 – палеозойский комплекс; 3 – верхняя «гранитогнейсовая» кора; 4 – средняя кора; 5 – нижняя кора; 6 – слой между корой и верхней мантией с промежуточными скоростными параметрами; 7 – скорости  $v_p$  км/с (числитель) и  $v_s$  км/с в знаменателе соответственно; черные линии – сейсмические границы и границы между скоростными неоднородностями.

Во-вторых, зная априорные сведения о произведенных взрывах, можно оценить точность, с которой определяются параметры гипоцентров землетрясений или взрывов в этих зонах с такого же уровня энергетических классов. В табл. 6 представлены результаты сравнения  $t_0$  и координат  $\varphi, \lambda$  эпицентров для семи взрывов. Как видно, существующая сеть станций – очень «негустая» (пустой азимутальный угол  $GAP=300-350^\circ$ ) и «неблизкая» ( $\Delta_{min}=75-275$  км до ближайшей станции) – позволяет достичь погрешностей  $\delta t_{max} \leq 2.66$  с, и  $\delta_{эпиц} \leq 20^\circ$  км, а среднеквадратичные оценки  $\sigma$  отклонений равны  $\sigma_t=1.3$  с и  $\sigma_\varphi, \sigma_\lambda=6-8$  км,  $\sigma_h=11$  км (табл. 6).

**Таблица 6.** Сравнение сведений о семи взрывах 2002 г. по данным Центра ГЕОН\* и результатов их обработки в Кавминводском центре ГС РАН

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Эпицентр				$\delta_{\text{эпц.}}$ км	$h$ , км	$K_p$
				$\varphi^\circ$ , N	$\delta\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$ , E	$\delta\lambda^\circ$			
1	12.02	13 01 00.75*	1.15	45.267*	-0.003	42.568*	-0.232	20	0.36*	7.1
		13 00 59.60		45.27		42.80			0.00	
2	08.03	15 01 01.06*	2.56	45.048*	-0.082	42.251*	0.081	11	0.00*	8.6
		15 00 58.50		45.13		42.17			0.00	
3	10.03	13 01 00.51*	-0.49	44.583*	0.093	41.753*	0.083	12	0.00*	7.4
		13 01 01.00		44.49		41.67			0.00	
4	12.03	13 01 01.46*	-1.74	44.315*	0.075	41.441*	-0.079	10	0.57*	8.7
		13 01 03.20		44.24		41.52			0.00	
5	07.04	13 01 02.39*	-0.01	46.661*	-0.020	44.297*	-0.003	3	0.15*	8.2
		13 01 02.40		46.68		44.30			0.00	
6	22.04	13 01 01.52*	0.54	44.005*	0.075	41.061*	-0.039		1.13*	
		13 01 01.00		43.93		41.10			0.00	
7	07.09	15 01 00.84*	-2.66	44.577*	0.097	41.752*	-0.078	12	0.00*	7.3
		15 01 03.50		44.48		41.83			0.00	
$\sigma$			1.32		0.059°		0.079°	11		

В Терско-Кумской низменности, приграничной с Северной Осетией–Аланией, пролонгировался рой землетрясений, начавшийся 23.12.2001 г. [1] заметной группой из 25 землетрясений, имеющей в своем составе три землетрясения 11-го класса: 23.12.2001 г. в  $12^{\text{h}}41^{\text{m}}$  с  $K_p=10.9$ , 23.12.2001 г. в  $15^{\text{h}}12^{\text{m}}$  с  $K_p=10.7$  и 25.12.2001 г. в  $06^{\text{h}}03^{\text{m}}$  с  $K_p=10.9$  [25]. Два из них были ощутимыми в Русском [1] до  $I=4-5$  баллов. В январе 2002 г. рой продолжился, т.к. было записано более 20 землетрясений с  $K_p=6.8-9.6$ , в основном в первую половину месяца. Далее, в течение года здесь же зарегистрировано еще 13 толчков с  $K_p=6.1-9.2$ . Это один из многочисленных роев на Северном Кавказе за последние 10 лет. Реализация роя во времени имела неоднородный характер. Выделяются две группы со значительным числом землетрясений: 23–25 декабря 2001 г. и 10–13 января 2002 г. (рис. 11). На рис. 12 показано пространственное положение роя в декабре 2001 г. и январе 2002 г.

**Рис. 11.** Временной ряд землетрясений вблизи г. Моздока, на приграничной территории Ставропольского края и Северной Осетии–Алании

Как отмечено в [1], зафиксированная сейсмическая активизация приурочена к Терско-Сунженской складчатой зоне, находящейся в пределах Терско-Каспийского передового прогиба. Проявления сейсмичности здесь связаны как с глубинными разломами «кавказского» направления (Срединным, Сунженским), так и с активными в новейшее время диагональными шовными зонами. Свидетельством тому является землетрясение 03.08.1989 г. с  $MLH=5.0$ ,  $I_0=7$  баллов [26], приуроченное к диагональной Бенойско-Эльдаровской шовной зоне, эпицентр которого с координатами  $43.49^\circ\text{N}$ ,  $45.23^\circ\text{E}$ ,  $h=13$  км был расположен в 30–50 км восточнее эпицентров описанного роя землетрясений.

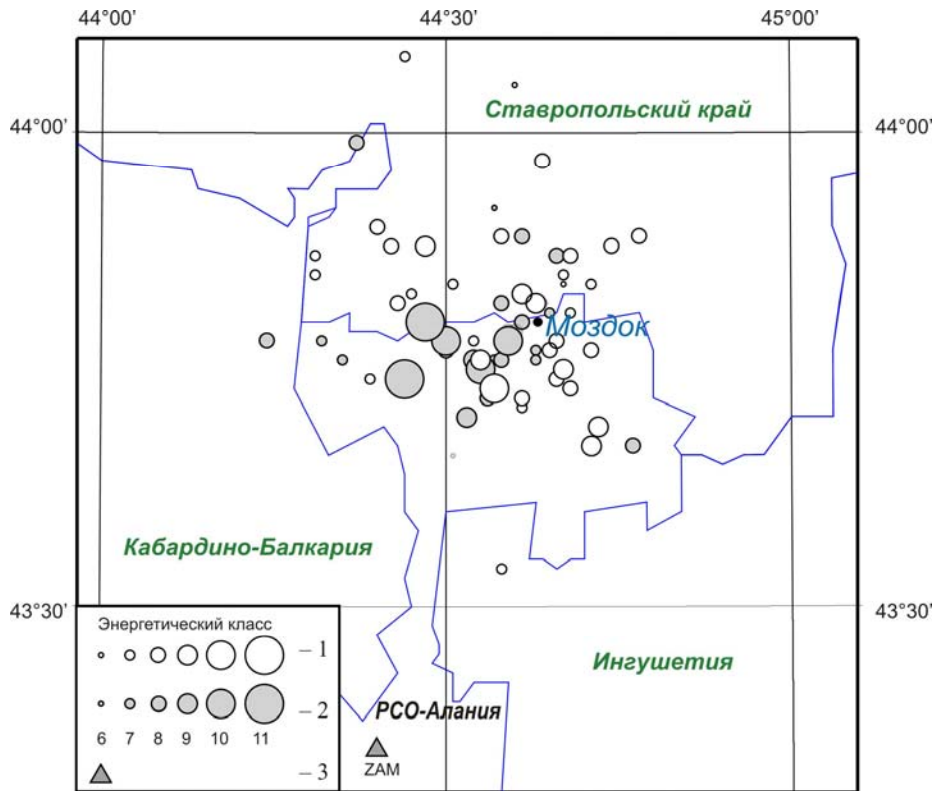


Рис. 12. Положение эпицентров землетрясений Моздокского роя в 2001–2002 гг.

1, 2 – энергетический класс землетрясений 2002 г. и 2001 г. соответственно; 3 – ближайшая сейсмическая станция «Заманкул».

В Карачаево-Черкесской Республике (№ 4) зарегистрировано 49 землетрясений, наиболее значительное ( $K_p=9.0$ ) из которых локализовано 21 сентября в 17<sup>h</sup>10<sup>m</sup> вблизи юго-восточной границы с Кабардино-Балкарией (рис. 3). Землетрясение предварял толчок 27 августа в 23<sup>h</sup>34<sup>m</sup> с  $K_p=6.0$ , а после отмечены три афтершока (табл. 7).

Таблица 7. Основные параметры форшока, основного толчка и афтершоков землетрясения 21 сентября в 17<sup>h</sup>10<sup>m</sup> с  $K_p=9.0$  на границе Карачаево-Черкесии и Кабардино-Балкарии

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$
			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$		
Форшок						
1	27.08	23 34 43.69	43.55	42.25	4	6.0
Основной толчок						
	<b>21.09</b>	<b>17 10 42.60</b>	<b>43.47</b>	<b>42.45</b>	<b>4</b>	<b>9.0</b>
Афтершоки						
1	21.09	17 17 12.30	43.50	42.30	14	7.4
2	21.09	17 21 38.96	43.50	42.34	13	7.2
3	23.09	09 25 33.04	43.49	42.37	13	6.3

На юге территории Карачаево-Черкесии произошла серия из 20 землетрясений с  $K_p=5.8-8.3$ . Особенно активным был август месяц. Эти землетрясения приурочены к Пшекиш-Тырныаузской зоне разломов.

Кроме того, на этой территории локализовано 65 событий типа «взрыв» и «возможно, взрыв». Идентифицированные взрывы произошли в карьерах «Джеганах» и «Цемзавод» вблизи Усть-Джегута. Их энергетический класс составил  $K_p=6.9-8.7$ . По времени взрывы производились в интервале 8–13 часов (рис. 13).

Еще 10 событий идентифицированы как взрыв и «возможно, взрыв» в районе г. Карачаевска. Они происходили также в этом временном интервале суток. Эти события имели иной частотный состав и волновую картину. Для идентификации взрывов использовалась методика, изложенная в [17].

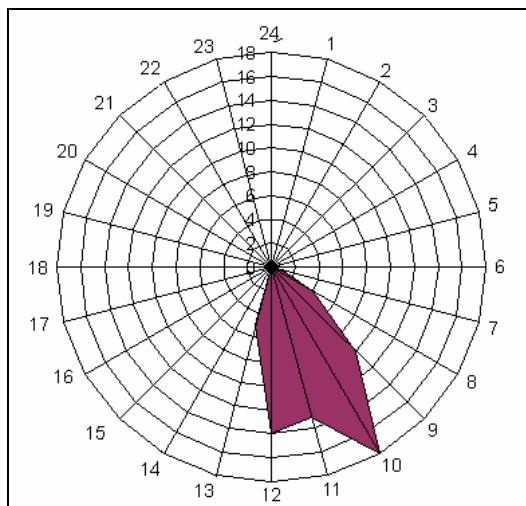


Рис. 13. Диаграмма распределения по времени взрывов в карьерах Усть-Джегуты в 2002 г.

рывном режиме. Названное землетрясение ощущалось в Нальчике и Пятигорске с интенсивностью  $I=3$  балла, Владикавказе – 2–3 балла.

За два месяца до этого сильного землетрясения в 10 км к северо-западу от его эпицентра, примерно в долине р. Черек произошел рой слабых землетрясений (табл. 8), сильнейшим из которых был толчок 21 июня в 13<sup>h</sup>51<sup>m</sup> с  $K_p=9.3$ . Значительная часть этих землетрясений приурочена к Кабардинскому участку Армавино-Невинномысского разлома в направлении на Нальчик (рис. 3).

Таблица 8. Черекский рой землетрясений в июне 2002 г.

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$
			$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E		
1	21.06	05 42 10.20	43.37	43.70	20	6.8
2	21.06	06 06 00.10	43.37	43.68	14	7.2
3	21.06	06 32 17.20	43.36	43.69	15	6.7
4	21.06	06 34 50.50	43.42	43.68	12	8.3
5	21.06	06 55 37.80	43.36	43.68	15	6.5
6	21.06	07 04 02.40	43.38	43.70	19	6.8
7	21.06	07 40 29.20	43.40	43.68	3	8.1
8	21.06	08 47 24.90	43.40	43.68	13	8.1
9	21.06	09 52 08.30	43.42	43.69	5	8.7
10	21.06	12 31 26.60	43.36	43.71	19	6.7
11	21.06	13 51 48.10	43.40	43.70	10	9.4
12	21.06	13 54 50.20	43.30	43.74	28	6.8
13	21.06	14 58 56.40	43.40	43.67	13	6.3
14	21.06	16 11 29.20	43.36	43.70	14	6.3
15	21.06	16 40 08.60	43.40	43.71	15	7.9
16	21.06	17 19 39.20	43.39	43.67	19	6.3
17	21.06	17 42 32.90	43.38	43.71	19	7.1
18	30.06	00 33 06.40	43.39	43.66	19	6.7
19	30.06	00 34 06.80	43.36	43.65	18	6.5

Эпицентры вблизи известных карьеров Тырнаузского горнообогатительного комбината (16 сейсмических событий с  $K_p=5.9-8.8$ ) отнесены к событиям типа «возможно, взрыв». Несмотря на то, что официально этот комбинат был закрыт, события в этом районе продолжали регистрироваться в 2002 г. Время суток их возникновения отличалось от прежнего известного, когда комбинат работал и имелась априорная информация о производимых взрывах, но оно также было в узком интервале – от 18 до 21 часов по Гринвичу. Все эти события имели характерную запись на станции «Кисловодск». Утвердительно классифицировать их природу не представлялось возможным.

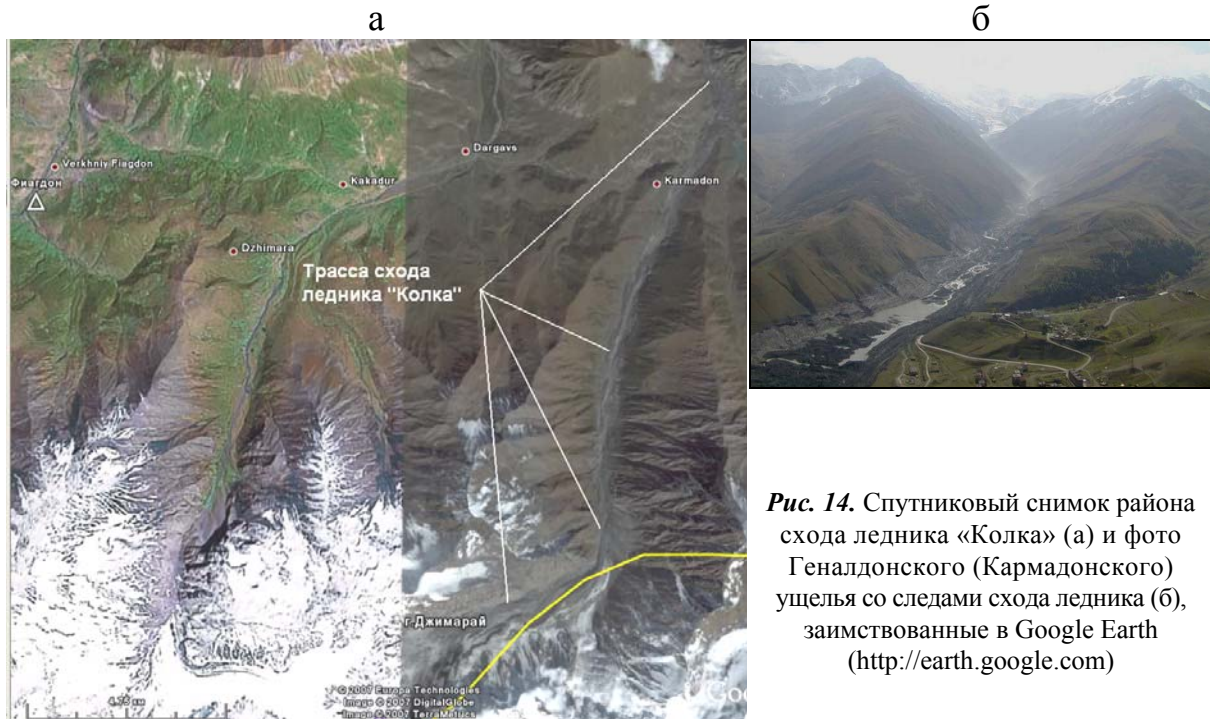
На территории Северной Осетии (№ 6) зарегистрировано свыше 60 землетрясений, самое сильное ( $K_p=9$ ) из которых произошло 12 января в 07<sup>h</sup>57<sup>m</sup>. Оно относилось к описанному выше Моздокскому рою.

20 сентября в 16<sup>h</sup>08<sup>m</sup> по Гринвичу в южной части Республики произошло катастрофическое природное явление, не имеющее прямого отношения к землетрясениям, но зарегистриро-

На территории Кабардино-Балкарии (№ 5) зарегистрировано 45 слабых землетрясений с  $K_p=4.1-8.9$ . Самым сильным ( $K_p=11.7$ ) было землетрясение 22 августа в 08<sup>h</sup>25<sup>m</sup> в приграничной с Северной Осетией территории. Оно зарегистрировано при достаточно хорошем окружении – 14 сейсмических станций,  $\Delta AP=111^\circ$ ,  $\Delta_{\min}=41$  км для станции С-О ОМСП ГС РАН «Заманкул», станция «Цей» была удалена на 50 км. К сожалению, триггерный режим записи не позволил зарегистрировать это землетрясение всем осетинским станциям, нестабильно они работали и по службе времени. Однако данное землетрясение было зарегистрировано всеми станциями Кавминводского полигона, станцией «Гофицкое» и четырьмя станциями Дагестанской сети («Хунзах», «Гуниб», «Кармакар» и «Махачкала»), ведущими запись в непре-



ванное многими сейсмическими станциями. Речь идет о сходе гигантского ледника под названием «Колка» в Геналдонском (Кармадонском) ущелье с вершины г. Джимарай-Хох (рис. 14). Эта катастрофа унесла жизни 30 человек, разрушила ряд поселений в Кармадонском ущелье, в котором располагались в том числе санатории и туристические базы. Относительно ущерба, нанесенного сходом этого ледника, известного как пульсирующий, в свое время много писалось в прессе и в научных статьях [27–29]. Анализу причин кармадонской катастрофы 20 сентября 2002 г. посвящен специальный выпуск «Вестника Владикавказского научного центра» [30]. В дополнение к уже опубликованным данным остановимся лишь на дополнительных сейсмических данных, полученных по записям станций ЦОМЭ и С-О ОМСП ГС РАН.



**Рис. 14.** Спутниковый снимок района схода ледника «Колка» (а) и фото Геналдонского (Кармадонского) ущелья со следами схода ледника (б), заимствованные в Google Earth (<http://earth.google.com>)

Итак, к моменту схода ледника на территории Северной Осетии–Алании работало шесть сейсмических станций, ближайшая к горе Джимарай–Хох станция «Фиагдон» находилась в 16 км к северо-западу. Они, как ранее говорилось, были оснащены оборудованием Альфа-Геон и работали в триггерном режиме, т.е. начинали запись только при достижении определенного уровня сигнала, превышающего установленный порог. Согласно [30], все осетинские станции записали это явление. Наиболее полно процесс записан на станциях «Фиагдон» и «Чиколла», удаленной на 30 км (рис. 15). Станции «Владикавказ», «Ардон», «Заманкул» и «Цей» записали только фрагменты события с максимальными амплитудами возмущений [29].

В соответствии с [30], колебания, записанные станциями Альфа-Геон составили по длительности 3–4<sup>м</sup>. Ясно, что по триггерным записям говорить о длительности всего процесса не представляется возможным, т.к., как только было установлено снижение уровня колебаний, процесс записи прекратился в соответствии с алгоритмом LTA/STA. Спектральный состав колебаний говорит о достаточно широком его спектре с частотой  $f=0.2–6$  Гц. Это показано на спектрограмме (рис. 16) в сравнении с таковой для регионального землетрясения. Наиболее темный цвет характеризует наибольшую мощность спектра сигнала. Следует заметить, что сейсмическая запись схода ледника «Колка» осложнена наложением ее на запись удаленного сильного ( $M_S=6.0$ ) землетрясения в Индонезии, в районе Западного Ириана, с  $t_0=15^h43^m$ , а вступление его  $P$ -волны на этих станциях  $t_p=15^h56^m$ . Несмотря на все эти факты, в [29] производится реконструкция сценария схода ледника по имеющимся записям и их анализу. В результате выделены этапы и скоростные характеристики движения ледника. Ниже рассмотрены некоторые дополнительные факты.

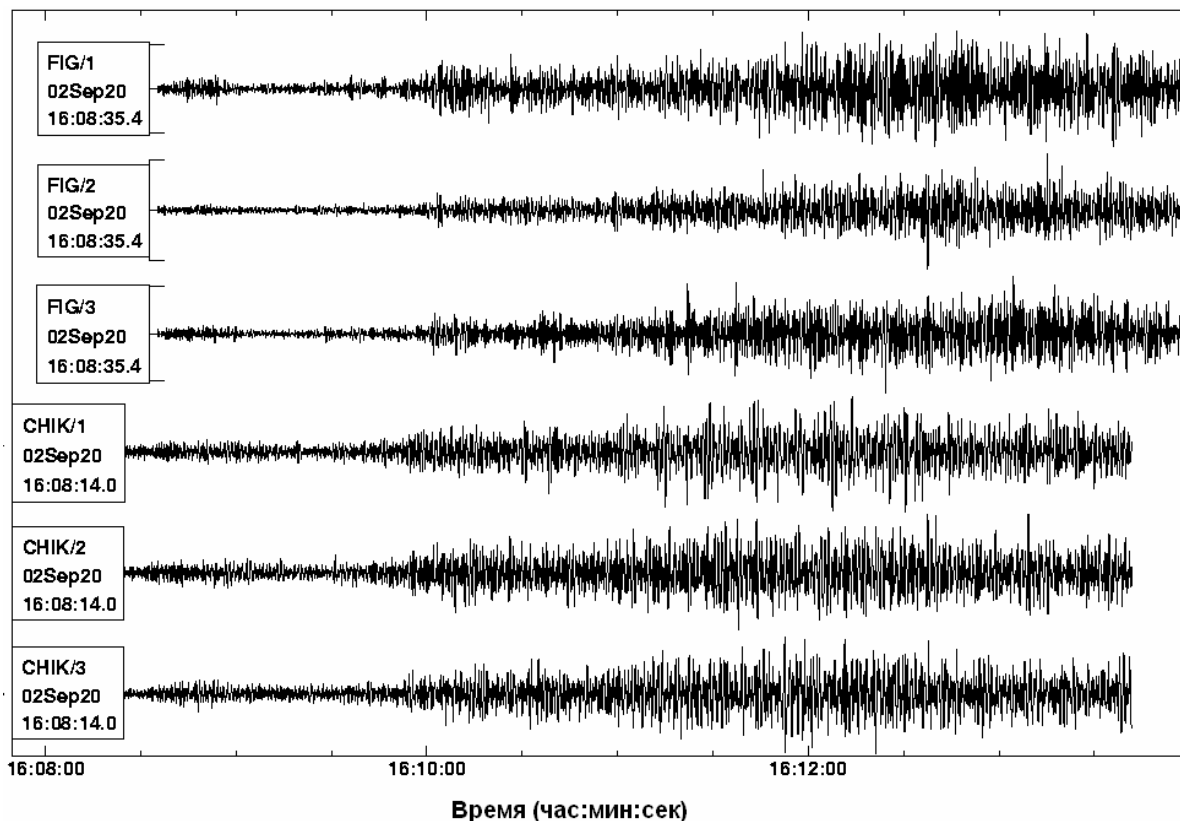
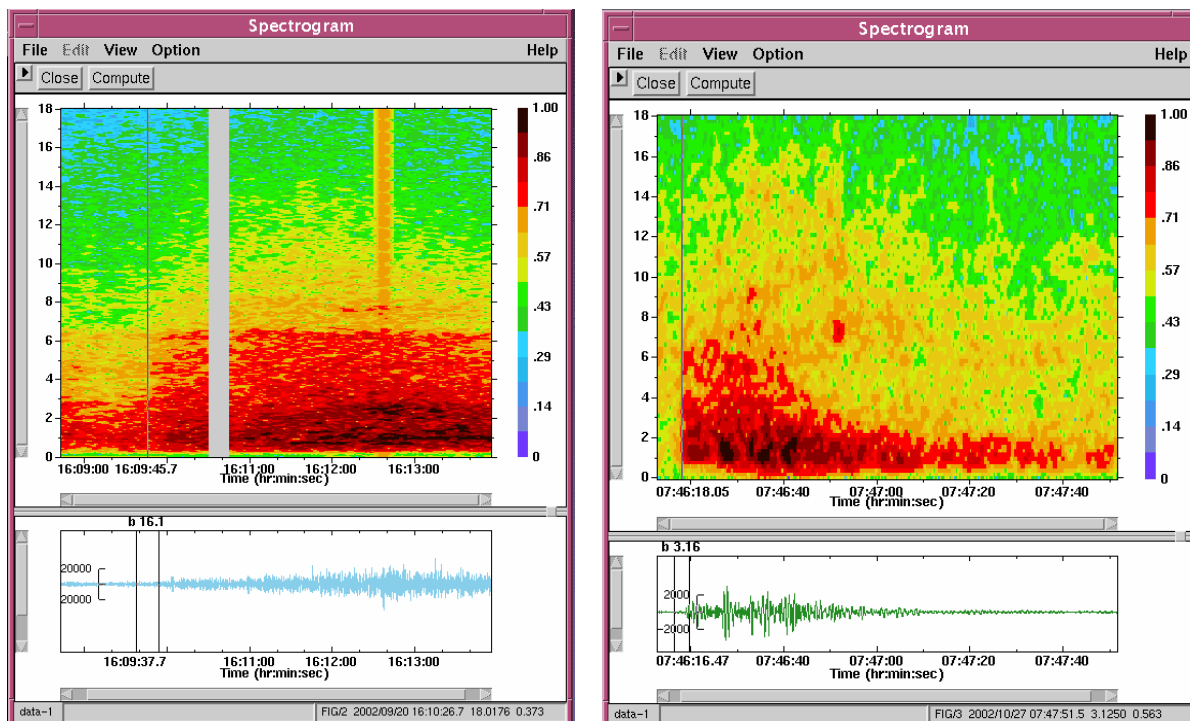


Рис. 15. Трехкомпонентные записи схода ледника «Колка» станциями «Фиагдон» и «Чикола» СОМСП ГС РАН и Владикавказского научного центра

1 – вертикальная компонента, 2 и 3 – горизонтальные компоненты.



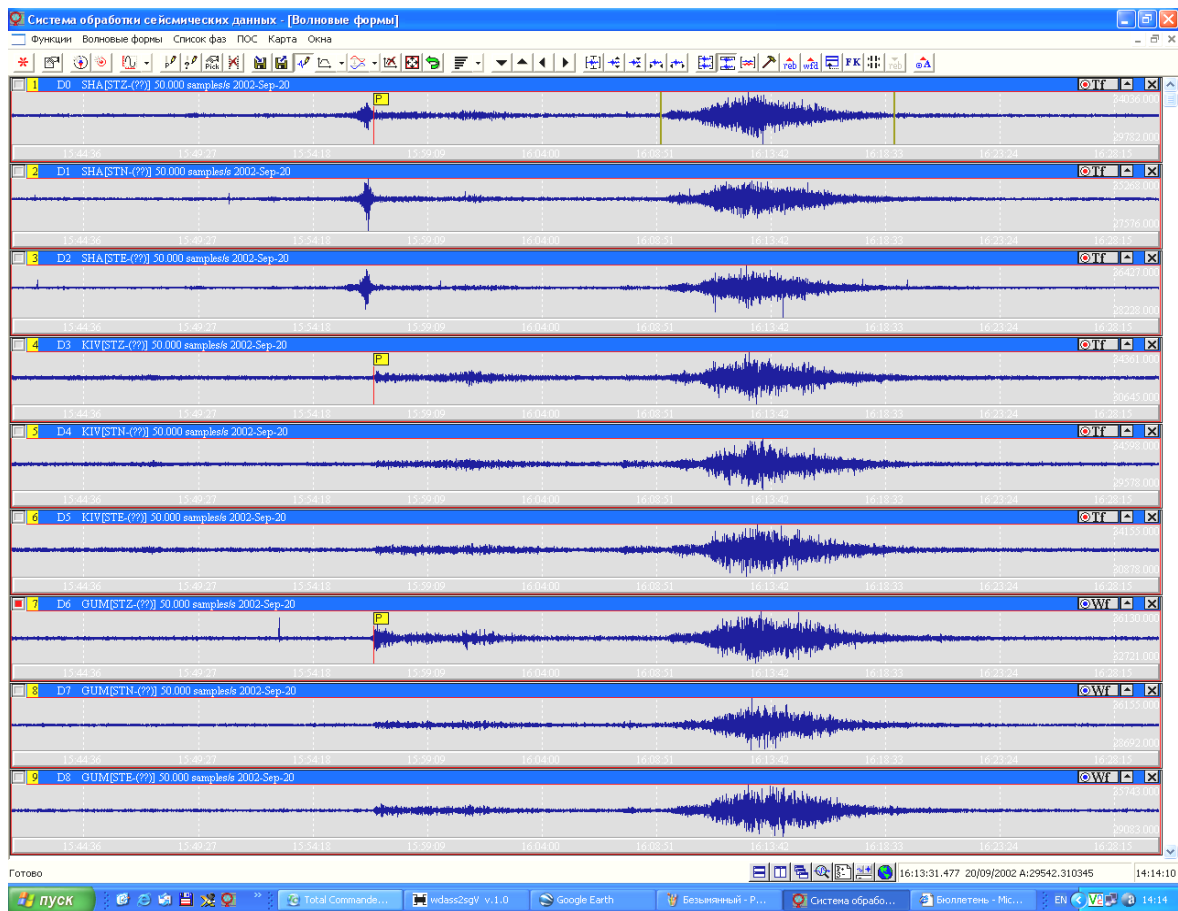
а

б

Рис. 16. Спектрограммы схода ледника «Колка» (а) (сквозные вертикальные полосы обусловлены разрывами в записи) и близкого землетрясения 27 октября 2002 г. в 07<sup>h</sup>46<sup>m</sup> с  $K_p=8.8$  (б) по записям горизонтальной компоненты на станции «Фиагдон»

Согласно [29], ледник прошел путь 30.6 км, трижды меняя направление и соударяясь, то с другим ледником Майлинским через 80<sup>с</sup> после начала движения, что отмечено на спектрограмме тонкой черной линией, то «тормозя» на «Кармадонских воротах», где, вероятно, еще через 3<sup>м</sup> выделилась наибольшая упругая энергия – на спектрограмме это наиболее темное место на частоте  $f=2.5$  Гц. Спектрограмма схода ледника заметно отличается от спектрограммы близкого землетрясения (рис. 16 а, б). Если энергия первого возрастает только на 5<sup>м</sup>-интервале, то у землетрясения она практически затухает уже через 1.5<sup>с</sup>.

Какова длительность  $\tau$  движения ледника? По триггерным записям станций Альфа-Геон можно судить лишь о части процесса. Непрерывные записи схода ледника получены на станциях Кавминводской локальной сети, удаленной от горы Джимарай-Хох примерно на 195–225 км. Все станции удачно записали это явление (рис. 17). Раньше всего фиксируется отчетливое начало в 16<sup>h</sup>09<sup>m</sup>17<sup>s</sup> на записи станции «Шиджатмаз» с общей длительностью  $\tau \sim 12^m$ .



**Рис. 17.** Записи схода ледника «Колка» (рабочее окно программы WSG [31]) станциями Кавминводской локальной сети – «Шиджатмаз» ( $\Delta=195$  км), «Кисловодск» (205 км) и «Гум-Баши» (225 км) Флажком отмечено вступление удаленного землетрясения в Индонезии.

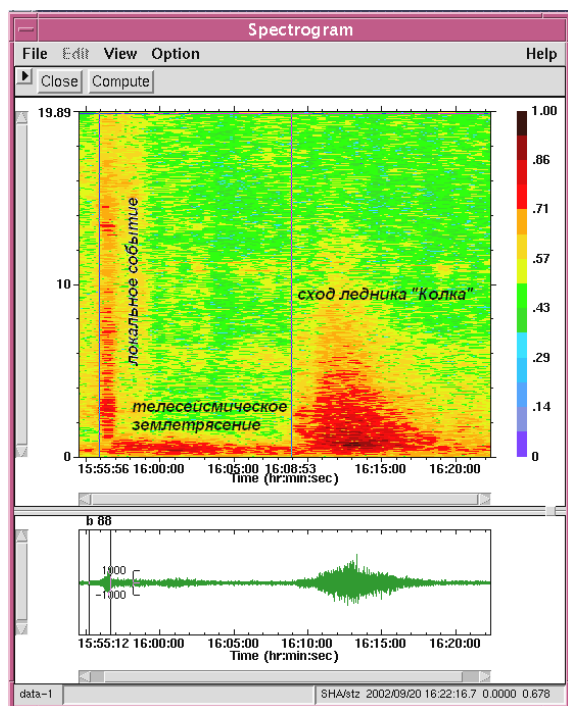
В [29] отмечается, что за 12<sup>м</sup> до основного схода произошло некое локальное событие, природа которого не ясна. На записях станций Кавминводской сети «Куба-Таба» (160 км) и «Шиджатмаз» (195 км) это событие также видно. Особенно отчетливо его можно различить по спектральному составу на спектрограмме (рис. 18).

В работе [32] интерпретируются записи двух других станций: «Цей», оснащенной комплектом аналогового оборудования, и цифровой станции АЦРСС<sup>1</sup> № 11 (ЦСГНЭО<sup>2</sup>, филиал ОАО, «Инженерный центр ЕЭС»), расположенной в 36–38 км к западу от ущелья р. Геналдон,

<sup>1</sup> АЦРСС – аналого-цифровая полевая сейсмическая станция.

<sup>2</sup> ЦСГНЭО – Центр службы геодинамических наблюдений в электроэнергетической отрасли.

работавшей в триггерном режиме, также как и станции Северной Осетии. Отмечается, что на сейсмограмме СКМ-3 станции «Цей» первое четкое вступление волн, возбужденных движением ледника, наблюдается на всех трех компонентах в  $16^{\text{h}}09^{\text{m}}05^{\text{s}}$ , а самая большая длительность колебаний  $\tau$  на составляющей N-S составила  $\tau=15\text{--}16^{\text{m}}$ . На записи АЦРСС № 11 есть заметное увеличение амплитуды в  $16^{\text{h}}09^{\text{m}}05^{\text{s}}$  на составляющей N-S, что совпадает с четким вступлением волн на всех трех составляющих на региональной станции «Цей». Однако на записи АЦРСС № 11 отмечаются два вступления на более ранних временах: в  $16^{\text{h}}08^{\text{m}}13.11^{\text{s}}$  и в  $16^{\text{h}}08^{\text{m}}27^{\text{s}}$ . Спектр сейсмической записи в интервале времени от  $16^{\text{h}}08^{\text{m}}13.11^{\text{s}}$  (время вступления) до  $16^{\text{h}}10^{\text{m}}47.6^{\text{s}}$  (время окончания регистрации) имеет значительные максимумы на частотах  $f=2.5\text{--}3.7$  Гц. Эти частоты очень близки к частотам  $f=2.7\text{--}4.3$  Гц максимумов в спектре участка записи, который предшествует первому визуально выделенному вступлению в  $16^{\text{h}}08^{\text{m}}13.11^{\text{s}}$ .



**Рис. 18.** Спектрограмма фрагмента записи станцией «Шиджатмаз» с локальным событием, телесеismicким землетрясением и сходом ледника «Колка»

Каспийскому) передовому прогибу, находящемуся между эпигерцинской платформой на севере и мегаантиклинорием Большого Кавказа – на юге. Осевая полоса прогиба следует вдоль нижнего течения р. Терек на его широтном отрезке и далее к устью р. Сулак. По [33], здесь протягивается глубинный Терский разлом. Именно на широтном участке Терского разлома в декабре 2001 г. [1] возник описанный выше Моздокский рой, который завершился практически в первой половине января 2002 г. [5]. В конце января в Терско-Сунженской антиклинальной зоне произошли землетрясения (30 января в  $04^{\text{h}}01^{\text{m}}$  с  $K_p=11.1$  и в  $06^{\text{h}}43^{\text{m}}$  с  $K_p=9.6$ ) с глубокими очагами в верхней мантии ( $h=137$  и  $140$  км соответственно [5]). А 22 августа в  $08^{\text{h}}25^{\text{m}}$  происходит довольно сильное ( $K_p=11.7$ ) землетрясение в Северной Осетии–Алании [5], связанное территориально с долиной р. Терек, но теперь уже с ее субмеридиональной частью. Встает естественный вопрос о возможной связи этих землетрясений с «внеплановым» сходом ледника «Колка» в долину р. Геналдон, притока р. Терек. Реки в горах приурочены, как правило, к разломным зонам, вдоль которых затухание интенсивности сотрясений в несколько раз меньше, чем поперек их [34].

В целом здесь зарегистрировано 103 землетрясения, четыре из них с  $K_p>10.0$ . Ощутимым в ближайших населенных пунктах Дагестана было лишь одно – 20 августа в  $01^{\text{h}}21^{\text{m}}$  с  $K_p=10.4$  в Ботлихе с  $I=2\text{--}3$  балла.

Анализируя землетрясения, зарегистрированные на территории **Ингушетии и Чеченской Республики** (№ 7), отметим, что здесь точность их локации не удовлетворительна, т.к. нет близких станций. Ближайшие из них располагались на расстояниях 50, 100, 150 км, к тому же не было оптимальным и окружение эпицентров станциями. Поэтому ошибки локации  $\delta$  могли достигать 15–20 км, а в отдельных случаях и 30 км. Некоторая рассеянность эпицентров (рис. 19) объясняется отчасти отсутствием станций в этом районе. С другой стороны, на этой территории продолжают «работать» отдельные очаговые зоны и появляются новые. Представительными на значительной части этой территории являются лишь землетрясения с  $K_{\text{min}}=8\text{--}9$ . В целом сейсмичность территории Чеченской Республики находилась, по-видимому, под влиянием некоторой разрядки напряжений в широкой области между Армави́ро-Невинномысским разломом – на севере, Черкесским и Нальчикским – на западе, Владикавказским – на юге, и, вероятно, имела продолжение в активности центральной части Дагестана и прибрежной к нему части Каспия. Большая часть этой территории в структурно-тектоническом плане относится к известному [33] Терскому (Терско-



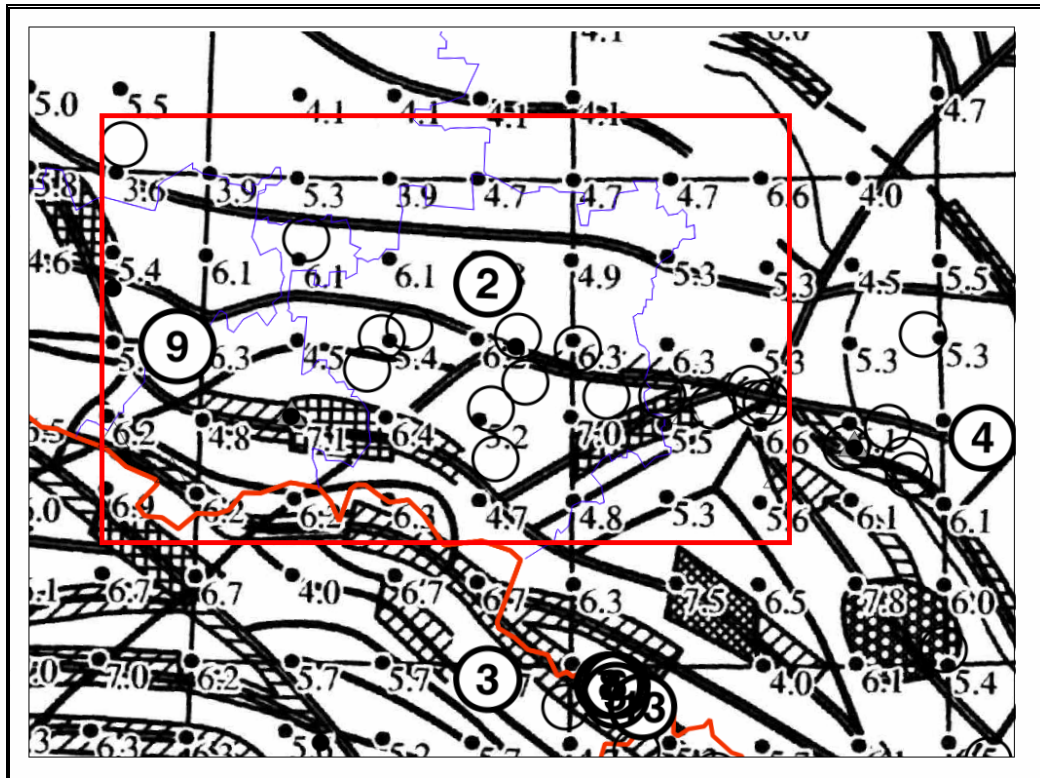


Рис. 20. Фрагмент рис. 4 прогнозируемых  $M_{max}$  [9] с наложением эпицентров землетрясений с  $K_p \geq 10$  на основные разрывные нарушения

Условные обозначения см. на рис. 4; прямоугольником выделена зона, испытавшая активизацию сейсмичности в течение всего 2002 г.; землетрясения 30 января в  $04^h01^m$  и 22 августа в  $08^h24^m$  отмечены цифрами 2 и 9 соответственно.

Знаменательным событием 2002 г. было одно из самых сильных ( $K_p=11.1$ ) из известных на этой территории мантийных землетрясений, произошедшее 30 января в  $04^h01^m$  и записанное многими станциями Европы и мира. В ряде международных центров были определены его параметры (табл. 9). Оно локализовано в долине р. Терек, в центральной части территории Чечни, в 35 км севернее г. Грозный. Это один из немногих районов Кавказа с исторически известными глубокими ( $h=50-125$  км) землетрясениями. Всего в 2002 г. здесь зарегистрировано восемь землетрясений с инструментально определенными глубинами  $h > 50$  км (табл. 10).

Таблица 9. Основные параметры землетрясения 30 января 2002 г. с  $K_p=11.1$  по данным различных агентств

Агентство	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр				$h$ , км	Энергетический класс, магнитуды	Характеристика используемой сети			
			$\varphi^\circ, N$	$\delta\varphi^\circ$	$\lambda^\circ, E$	$\delta\lambda^\circ$			$n$ с/ст	$\Delta_{min}$ град.	$\Delta_{max}$ град.	GAP $^\circ$
Региональный каталог Северного Кавказа [5]	04 01 40.9	0.6	43.58		45.54		137	$K_p=11.1/8$	26	1.0	2.67	171
Оперативный сейсмологический бюллетень ГС РАН [35]	04 01 40.00	0.80	43.69	0.08	45.63	0.06	151	$MPSP=4.2/4$	55	1.1	73.0	34
REB EIDC [36]	04 01 35.01	0.69	43.4822	0.13	45.5403	0.11	95.8	$m_b=3.8/15$	16	15.4	73.18	115
EDR NEIC [36]	04 01 39.81		43.649		45.663		154	$m_b=3.8/5$	40	2.18	73.03	33
ISC [36]	04 01 35.86	0.26	43.7480		45.8190		95.8	$m_b=4.6/21$	73	1.04	72.95	34
ВЛ [36]	04 01 39.80	1.60	43.6000		45.7000		153.0	$m_b=4.3$				
TIF [36]	04 01 45.30		43.1100		45.2900		2.3	$MPVA=5.1$				



**Таблица 10.** Землетрясения на территории Чеченской Республики в 2002 г. с глубинами очагов в верхней мантии

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$	№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$
			$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E						$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E		
1	30.01	04 01 40.9	43.58	45.54	137	11.1	5	04.04	09 07 55.2	43.19	45.76	77	10.2
2	30.01	06 43 21.9	43.57	45.53	140	9.6	6	02.09	13 55 08.2	43.18	46.27	68	8.2
3	04.02	23 59 16.2	43.00	45.71	57	7.7	7	18.10	22 28 55.4	42.78	46.10	60	8.5
4	05.02	23 40 09.0	42.96	46.27	68	8.0	8	04.12	09 38 30.8	43.37	45.71	95	10.2

Как видно из табл. 9, результаты локации различны, а порой противоречивы, особенно большие расхождения по глубине. Так, центр Грузинской сейсмической службы TIF вообще не признал это землетрясение как глубокое, определив ему глубину в  $h=2$  км. Характерно, что в определении параметров гипоцентра в IDC и NEIC участвовали глубинные фазы (табл. 11), полученные практически на одних и тех же станциях, но глубины у них различаются примерно на  $\delta h=50$  км ( $h_{IDC}=95.8$  км,  $h_{NEIC}=154$  км (табл. 9)). По данным REB EIDC, на 11 станциях выделены глубинные фазы на расстояниях  $\Delta$  от  $21.4^\circ$  до  $73.18^\circ$ . В основном они интерпретированы как  $sP$ . Эти же глубинные фазы приводятся и в бюллетенях EDR NEIC, но в них лучшим принято решение с глубиной  $h=154$  км.

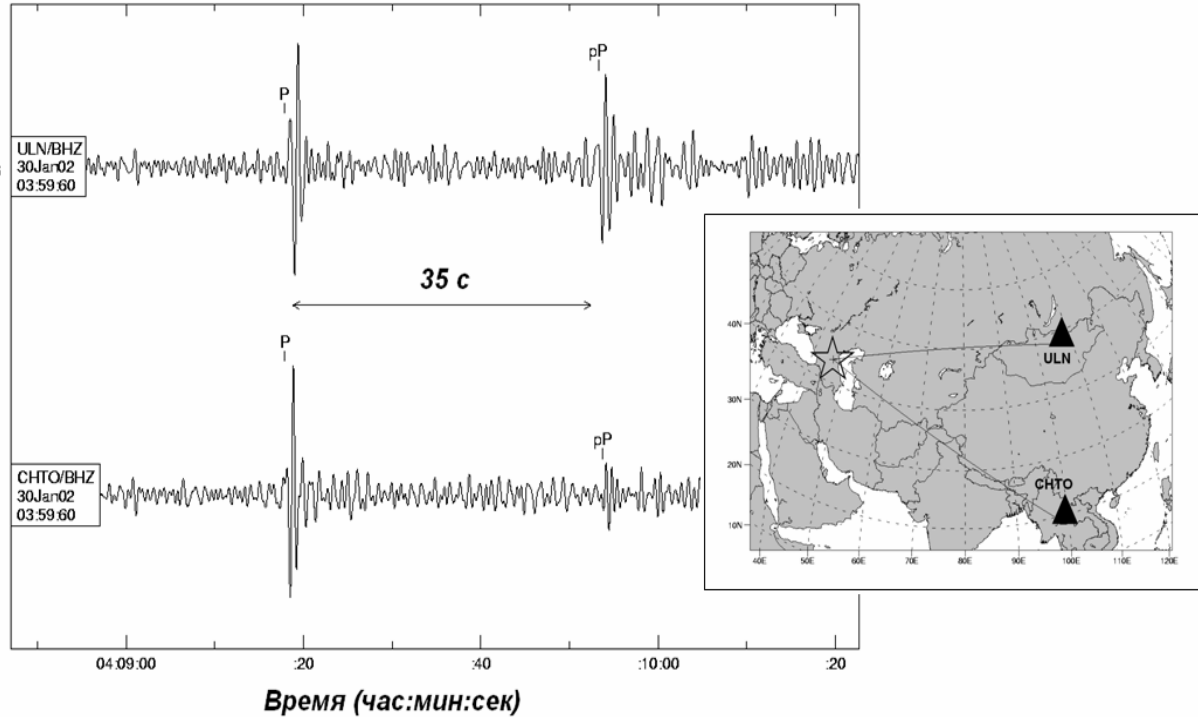
**Таблица 11.** Список глубинных фаз, приведенных в REB EIDC и EDR NEIC, для землетрясения 30 января в  $04^h01^m$  и с  $K_p=11.1$ 

Станция		$\Delta^\circ$	Фаза	Время вступления ч мин с	$t_{sp-p}$	$t_{rp-p}$
Название	Код					
FINESS Array, Финляндия	FINES	21.39	$P$	04 06 14.6	29.151	
	FINES		$sP$	04 06 43.751		
GERESS Array, Германия	GERES	22.59	$P$	04 06 29.025	29.975	
	GERES		$sP$	04 06 59		
Hagfors, Швеция	HFS	25.43	$P$	04 06 53.207	32.53	
	HFS		$sP$	04 07 25.737		
NORSAR Array, Норвегия	NOA	26.93	$P$	04 07 06.815	33.185	
	NOA		$sP$	04 07 40		
ARCES Array, Норвегия	ARCES	28.07	$P$	04 07 17.163	34.107	21.482
	ARCES		$pP$	04 07 38.645		
	ARCES		$sP$	04 07 51.27		
Spitsbergen Array, Норвегия	SPITS	36.68	$P$	04 08 32.732	33.125	
	SPITS		$sP$	04 09 05.857		
Inuvik, Канада	INK	68.53	$P$	04 12 25.575	37.65	
	INK		$sP$	04 13 03.225		
Eielson Array, Аляска, США	ILAR	71.65	$P$	04 12 46.25	34.1	
	ILAR		$sP$	04 13 20.35		
Yellowknife Array, Канада	YKA	73.18	$P$	04 12 54.345	34.3	
	YKA		$sP$	04 13 28.645		

Дополнительно на записях широкополосного канала (фильтрация в полосе  $f=0.7-2$  Гц) станций «Улан-Батор» (ULN), Монголия ( $\Delta=42^\circ$ ,  $AZM=62.5^\circ$ ) и «Чанг Мэй» (СНТО), Таиланд ( $\Delta=56.6^\circ$ ,  $AZM=96.6^\circ$ ) были обнаружены отчетливые глубинные фазы, которые лучше интерпретировать как  $pP$  (рис. 21). Временная задержка  $t_{rp-p}$  относительно первого вступления  $P$ -волны составила  $t_{rp-p}=35.4$  с и 35.5 с соответственно. В пользу их интерпретации, как  $pP$ , говорит факт схожести сигналов, с точностью до противоположной полярности. Причем сохраняется период колебаний, в отличие от волны  $sP$ , в которой, как правило, период колебания заметно увеличен относительно первого сигнала волны  $P$  [37].

Определен механизм этого землетрясения [38] по данным о знаках первых вступлений в  $P$ -волне на 15 станциях, 13 из которых имели знаки « $\leftarrow$ » в первом движении в  $P$ -волне, т.е. в большинстве случаев на станциях региональной сети были зарегистрированы волны расши-

рения и только на двух Дагестанских станциях были зарегистрированы волны сжатия. Несмотря на недостаточно представительную выборку по знакам в *P*-волне, был построен механизм с использованием программы [39]. Получен сбросовый тип подвижки по обеим нодальным плоскостям. Лучшее по статистическим оценкам решение показано на схеме (рис. 22) геокинематической модели предполагаемой кинематики новейшей деформации М.Л. Коппа [40]. Из рисунка видно, что полученный сбросовый тип подвижки согласуется с представлениями о предполагаемой кинематике новейшей деформации в этом районе, так как землетрясение произошло вблизи отмечаемого здесь крупного сброса.



**Рис. 21.** Глубинные фазы на записях Z-компоненты станций «Улан-Батор и «Чанг Мэй»

На врезке показано их положение относительно очага землетрясения 30 января 2002 г.

В соответствии с полученным механизмом можно полагать, что землетрясение произошло под действием преобладающих напряжений растяжения, ось которых направлена в юго-западном направлении. Одна нодальная плоскость *NP1* имеет северо-западное простирание и наклонена к горизонту под углом  $DP=64^\circ$ , тип движения – сброс с левосторонней сдвиговой компонентой. Вторая нодальная плоскость *NP2* субширотна и наклонена к горизонту под углом  $DP=29^\circ$ , тип движения – сброс с правосторонней сдвиговой компонентой.

Землетрясение предварялось серией толчков (табл. 12) с очагами в земной коре, произошедших несколько западнее, они были также, как и Моздокский рой декабря 2001 г.– января 2002 г., приурочены к Терскому разлому. Это были землетрясения с  $K_p=7.4-9.2$ , они произошли 4–12 января.

**Таблица 12.** Землетрясения с очагами в земной коре с  $h=9-30$  км, произошедшие в январе 2002 г.

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$	№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$
			$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E						$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E		
1	04.01	02 00 51.2	43.50	45.19	25	7.4	5	12.01	05 52 52.2	43.72	45.24	13	8.7
2	09.01	04 14 10.8	43.71	45.27	9	8.6	6	12.01	05 56 47.7	43.67	45.15	9	8.2
3	09.01	09 34 41.4	43.85	45.20	8	9.2	7	12.01	12 19 09.0	43.60	45.22	30	7.4
4	11.01	04 14 01.3	43.57	45.31	16	8.0	8	12.01	12 20 30.3	43.63	45.18	26	8.6

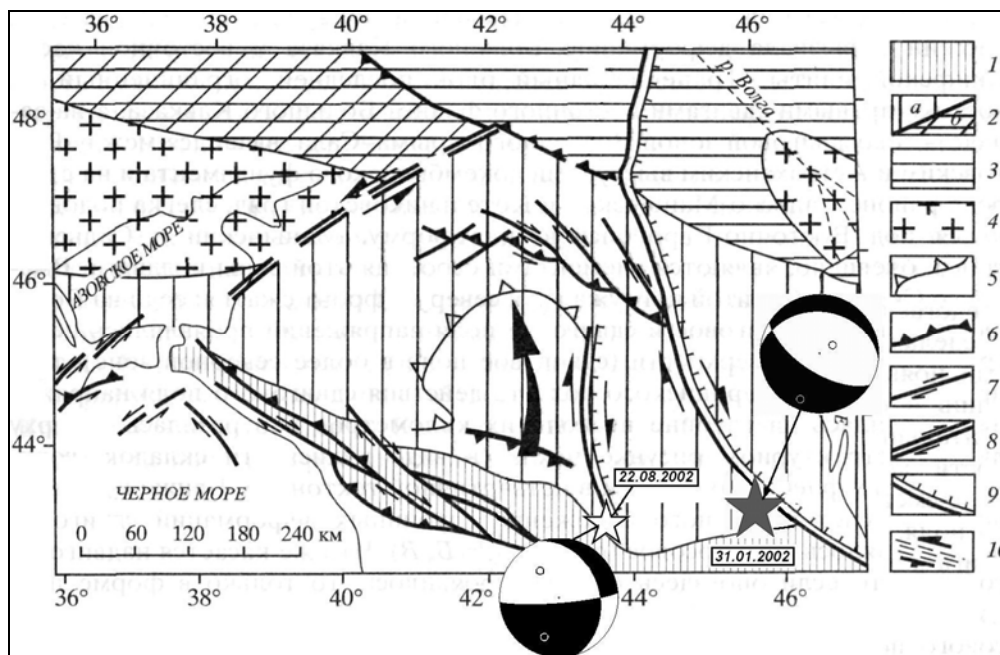


Рис. 22. Геокинематическая модель новейшей структуры зоны сочленения Скифской плиты и структур Кавказа [40]

Условные обозначения из [40]: 1 – Большой Кавказ; 2 – области палеозойской складчатости (а – Скифская плита, б – Донбасс); 3 – Восточно-Европейская платформа; 4 – поднятые блоки (антеклизы) докембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы; 5 – контур Ставропольского свода; 6 – молассовые прогибы; 7 – надвиги и взбросы; 8 – сдвиги; 9 – зоны простого сдвига в горизонтальной плоскости; 10 – крупные сбросы; 11 – направление общего простого сдвига в вертикальной плоскости, вызванного подвигом Аравийской плиты; звездами показано положение эпицентров землетрясений 31 января и 22 августа 2002 г., для которых определены механизмы очагов.

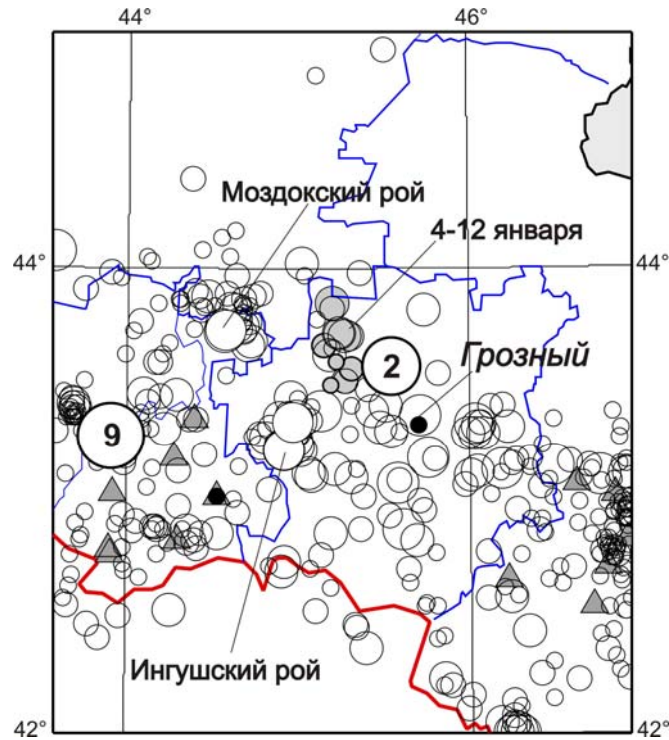
Следом за сильнейшим толчком 30 января в 04<sup>h</sup>01<sup>m</sup> с  $K_p=11.1$  в 06<sup>h</sup>43<sup>m</sup> последовал другой, с  $K_p=9.6$ , также глубокий, с  $h=140$  км. К концу марта активизация коровых землетрясений переместилась к юго-востоку, где умеренно (с  $K_p=7.5-9.5$ ) продолжалась вплоть до конца года, как бы обходя с юга глубокий очаг (табл. 13, рис. 23).

Таблица 13. Коровые землетрясения ( $h=9-30$  км), произошедшие вблизи глубокого очага

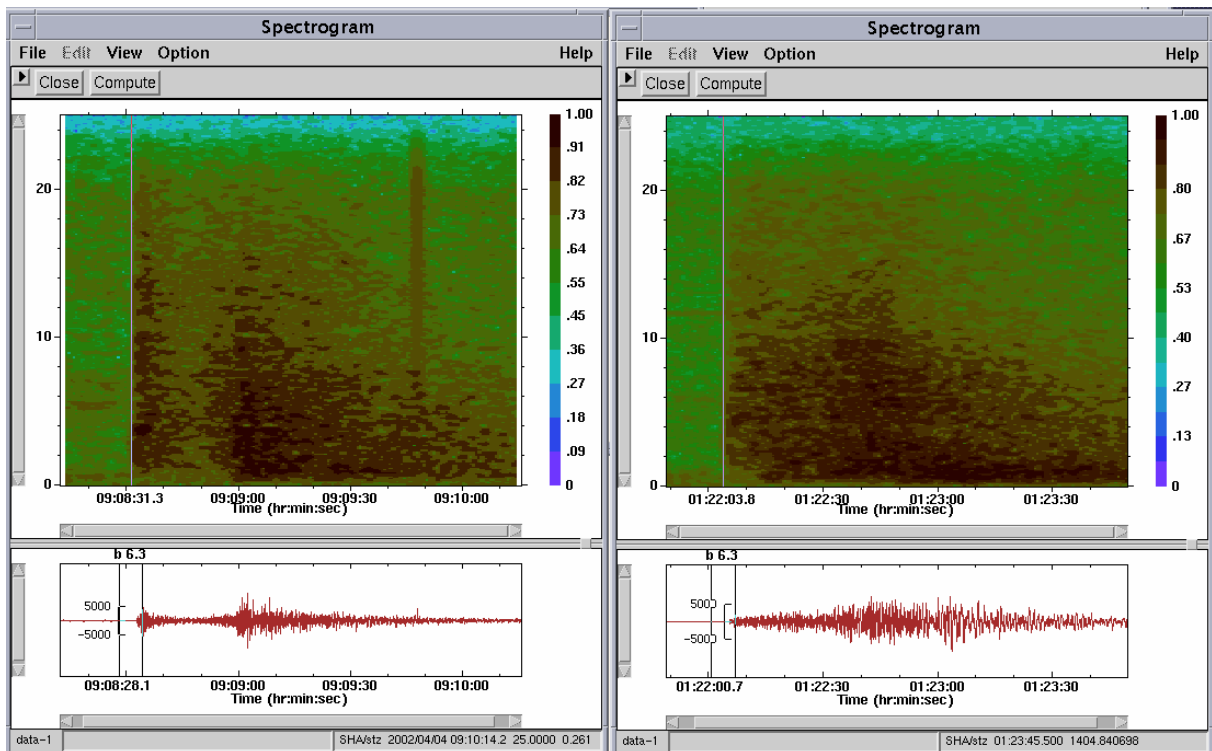
№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$	№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$
			$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E						$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E		
1	05.05	18 15 11.0	43.29	45.30	8	7.5	6	25.09	02 57 28.4	43.30	45.59	29	7.5
2	11.06	14 07 54.9	43.41	45.51	32	9.0	7	30.09	07 55 56.5	43.48	45.41	23	8.2
3	22.07	19 28 57.3	43.30	45.54	15	9.4	8	01.10	00 57 24.9	43.41	45.31	5	7.5
4	28.07	20 25 04.5	43.39	45.43	17	8.8	9	08.12	21 30 04.3	43.18	45.80	5	7.6
5	04.08	05 11 24.9	43.32	45.48	12	8.7							

Записи глубоких землетрясений, кроме более упрощенной волновой картины по составу выделяемых сейсмических фаз<sup>3</sup>, имеют отличия по форме огибающей, более высокочастотному спектру колебаний и меньшей кодовой длительности, нежели записи коровых землетрясений на том же расстоянии и, как правило, даже визуально могут быть опознаны. Например, это хорошо видно на сравнении спектрограмм и записей (внизу рисунка) вертикальной компоненты станции «Шиджатмаз» глубокого ( $h=77$  км) 4 апреля в 09<sup>h</sup>07<sup>m</sup> с  $K_p=10.2$  и корового 8 августа в 01<sup>h</sup>21<sup>m</sup> с  $K_p=10.4$  (рис. 24).

<sup>3</sup> При очаге в верхней части земной коры на записях в зависимости от удаления станции от эпицентра наблюдаются прямые и дифрагированные на границах внутрикоровых слоев и границе Мохо продольные волны  $P_g$ ,  $P_b$  и  $P_n$  и поперечные  $S_g$ ,  $S_b$  и  $S_n$ . Если очаг залегает ниже подошвы коры, то на сейсмограмме будут наблюдаться только дифрагированные на нижней границе земной коры  $P$ - и  $S$ -волны.



**Рис. 23.** Землетрясения на территории Ингушской и Чеченской республик в 2002 г. Землетрясения 30 января в  $04^{\text{h}}01^{\text{m}}$  и 22 августа в  $08^{\text{h}}24^{\text{m}}$  отмечены цифрами 2 и 9 соответственно.



**Рис. 24.** Спектрограммы записи Z-компоненты станции «Шиджатмаз» двух землетрясений – глубокого ( $h=77$  км) 4 апреля в  $09^{\text{h}}07^{\text{m}}$  с  $K_p=10.2$  и корового 8 августа в  $01^{\text{h}}21^{\text{m}}$  с  $K_p=10.4$

У западной границы Ингушской Республики с Республикой Северной Осетией–Аланией выделяется еще один очаг, активность в котором не ослабевала в течение года (рис. 23) – Ингушский рой. Землетрясения, произошедшие в нем, были с  $K_p=9.6-9.7$ . Его активизация также началась в январе и продолжалась вплоть до ноября (рис. 25).

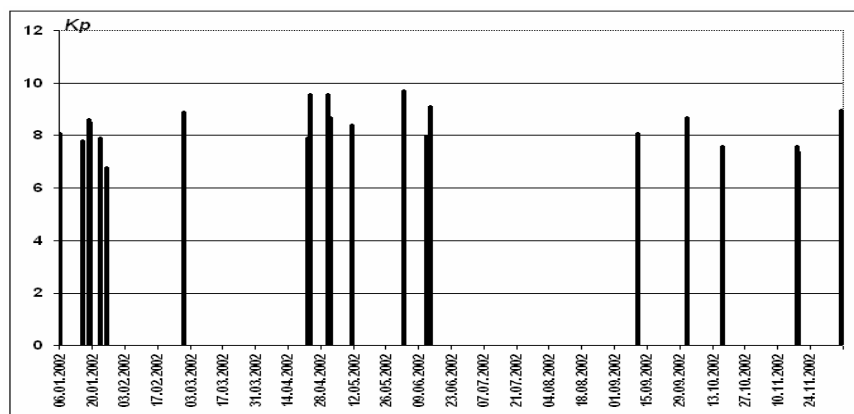


Рис. 25. Временной ряд землетрясений Ингушского роя вблизи границы Ингушской Республики с Республикой Северная Осетия–Алания

В целом район Чеченской и Ингушской республик потенциально чрезвычайно опасен. Тем более, что уже известно сочетание землетрясений заглубленных очагов с последующими сильными коровыми. Так, в 1976 г. вначале был зарегистрирован ряд глубоких землетрясений (11.06.1976 г. с  $K_p=10.2$ , 11.07. с  $K_p=9.8$  и 17.06. с  $K_p=10.8$ ), которые произошли в пределах координат  $\varphi=43.16-43.9^\circ N$  и  $\lambda=45.4-45.5^\circ E$  и имели глубины  $h=80-120$  км. О них в свое время писала А.А. Годзиковская [41] по данным анализа сейсмограмм станции «Белый Уголь». А 28.07.1976 г. произошло сильнейшее ( $M=6.4$ ) в этом районе за весь прошлый век восьмибалльное Черногорское землетрясение с очагом в земной коре ( $h=28\pm 5$  км) [42], после которого землетрясения с глубокими очагами отмечались в 1976 г. и в сентябре и декабре [41]. Отметим также в этом районе сильное ( $M=5.2$ ) землетрясение, произошедшее 04.03.1984 г. [43].

Восточная зона Северного Кавказа, как и в прежние годы, была сейсмически активной. Это прежде всего район, относящийся к территории **Республики Дагестан (№ 8)**, более подробно о сейсмичности которой изложено в статье [3] наст. сб. Здесь отметим лишь наиболее сильные и ощутимые землетрясения в Махачкале (21 апреля в  $07^h17^m$  с  $K_p=10$ ,  $\Delta=12$  км,  $I=2-3$  балла; 16 июня в  $17^h05^m$  с  $K_p=9.7$ ,  $\Delta=12$  км,  $I=2-3$  балла; 29 июня в  $10^h15^m$  с  $K_p=9.0$ ,  $\Delta=12$  км,  $I=2-3$  балла; 29 июня в  $10^h56^m$  с  $K_p=9.7$ ,  $\Delta=12$  км,  $I=3$  балла); в Каспийске (10 км) и Манасе (20 км) с  $I=2-3$  балла (15 июня в  $11^h51^m$  с  $K_p=10.2$ ); в Дубках (9 км) с  $I=3-4$  и Махачкале (40 км) – 2–3 балла (15 июня в  $21^h35^m$  с  $K_p=10.2$ ); в Кизилюрте (15 км) с  $I=4$  и в Махачкале (40 км) – 3–4 балла (24 ноября в  $11^h53^m$  с  $K_p=9.7$ ); в Избербаше (7 км) с  $I=3-4$  балла (3 декабря в  $16^h51^m$  с  $K_p=9.6$ ); в Белоканах (20 км)  $I=4$ , Закаталах (38 км) –  $I=3$ , в Грозном (168 км) –  $I=2-3$  балла (23 декабря в  $12^h15^m$  с  $K_p=10.6$ ) [5]. Ряд землетрясений Восточного Кавказа отмеченно в приграничной зоне Дагестана и Азербайджана, где выделяются несколько активных разломов Кавказского простирания, включая Кахетино-Лечхумский разлом I порядка.

## Л и т е р а т у р а

1. Габсатарова И.П. Северный Кавказ // Землетрясения Северной Евразии в 2001 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 105–119.
2. Ежемесячный предварительный бюллетень землетрясений Дагестана по данным Дагестанского филиала ГС РАН. – Махачкала-Обнинск: Фонды ГС РАН, 2002–2003. Электронный вариант: [ftp.gsras.ru/Regional\\_catalog\\_2002](ftp.gsras.ru/Regional_catalog_2002). Dagestan.
3. Амиров С.Р., Асманов О.А., Даниялов М.Г., Левкович Р.А., Мирзалиев М.М., Осокина А.Ш. Дагестан. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
4. Сейсмологический бюллетень Украины за 2002 год. – Симферополь: ОС ИГ НАНУ, КЭС, 2004. – 132 с.
5. Габсатарова И.П., Амиров С.Р. (отв. сост.), Селиванова Е.А., Девяткина Л.В., Иванова Л.Е., Мусалаева З.А., Гамидова А.М., Сагателова Е.Ю., Абдуллаева А.Р. Северный Кавказ. (См. раздел VI (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).



6. Костюченко С.Л., Морозов А.Ф., Солодилов Л.Н., Егоркин А.В., Золотов Е.Е., Федоров Д.Л., Гречишников Г.А., Овчинников В.И., Ракитов В.А. Глубинное строение и геодинамические аспекты эволюции европейского юга России // Разведка и охрана недр. – 2004. – № 4. – С. 4–9.
7. Габсатарова И.П. Северный Кавказ // Землетрясения Северной Евразии в 2000 году. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 85–94
8. Захарова А.И., Старовойт О.Е., Яковлев Ф.Л. Блоковая сейсмичность Северного Кавказа // Дискретные свойства геофизической среды. – М.: Наука, 1989. – С. 137–148.
9. Шолпо В.Н., Рейснер Г.И., Рогожин Е.А. Идеи академика Гамбурцева в сейсмотектонике // Физика Земли. – 2004. – № 5. – С. 68–79.
10. 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.
11. 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.
12. Лебедева Т.М., Майсурадзе О.М. Анапское землетрясение 12 июля 1966 г. // Физика Земли. – 1969. – № 7. – С. 102–105.
13. Ананьин И.В., Зыбина И.А. Анапское землетрясение 12 июля 1966 г. // Землетрясения в СССР в 1966 г. – М.: Наука, 1970. – С. 56–62.
14. Свидлова В.А., Сыкчина З.Н., Козиненко Н.М. Каталог и подробные данные о землетрясениях Крымско-Черноморского региона за 2002 г. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2002 год. – Симферополь: ОС ИГ НАНУ Украины, 2004. – С. 12–27.
15. Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С., Бабкова Е.А. Нижнекубанское-II землетрясение 9 ноября 2002 года с  $K_p=13.0$ ,  $M_w=5.5$ . (См. раздел III (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).
16. Солоненко Н.В., Солоненко А.В. Афтершоковые последовательности и рои землетрясений в Байкальской рифтовой зоне. – Новосибирск: Наука, СО АН СССР, 1987. – 93 с.
17. Габсатарова И.П. Методика выявления взрывов в ряде действующих карьеров Северного Кавказа // Землетрясения Северной Евразии в 2000 году. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 347–358.
18. Бабаян Т.О., Кулиев Ф.Т., Папалашвили В.Г., Шебалин Н.В., Вандышева Н.В. (отв. сост.). П 6. Кавказ [50–1974 гг.,  $M \geq 4.0$ ,  $I_0 \geq 5$ ] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 69–170.
19. Пасечник И.П. Характеристика сейсмических волн при ядерных взрывах и землетрясениях. – М.: Наука, 1970. – 197 с.
20. Соупе John, Clark Karen, Lloyd Stephen. IDC Documentations Geotool Software User Tutorial. – 16 July 2003. – P. 59.
21. Габсатарова И.П., Амиров С.Р. (отв. сост.), Селиванова Е.А., Девяткина Л.В., Мусалаева З.А., Гамидова А.М., Абдуллаева А.Р. Северный Кавказ // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ГС РАН, 2003. (На CD).
22. Габсатарова И.П. Северный Кавказ // Землетрясения Северной Евразии в 1994 году. – Обнинск: ГС РАН, 1999. – С. 85–94.
23. Краснопецева Г.В. Глубинное строение Кавказского сейсмоактивного региона. – М.: Недра, 1984. – 112 с.
24. Гаретовская И.В., Краснопецева Г.В., Сизов А.В., Файтельсон А.Ш., Щукин Ю.К. Изучение глубинного строения Северо-Кавказской сейсмоопасной зоны с помощью сейсмических и гравиметрических методов (Кавказские Минеральные Воды и Приэльбрусье) // Основные проблемы сейсмотектоники. – М.: Наука, 1986. – С. 105–119.
25. Габсатарова И.П., Амиров С.Р. (отв. сост.), Селиванова Е.А., Девяткина Л.В., Иванова Л.Е., Мусалаева З.А., Гамидова А.М., Сагателова Е.Ю., Абдуллаева А.Р. Северный Кавказ // Землетрясения Северной Евразии в 2001 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. (На CD).
26. Богачкин Б.М., Габсатарова И.П., Захарова А.И., Лякумович Б.Я., Новицкая Н.А., Рогожин Е.А., Старовойт О.Е. Землетрясение 3.08.1989 г. на Северном Кавказе // Землетрясения в СССР в 1989 г. – М.: Наука, 1993. – С. 32–44.

27. Рогожин Е.А., Гурбанов А.Г., Мараханов А.В., Овсяченко А.Н., Спиридонов А.В., Бурканов Е.Е. О соотношении проявлений землетрясений, вулканизма и катастрофических пульсаций ледников Северной Осетии в голоцене // Вестник Владикавказского научного центра. – 2004. – 4. – № 3. – С. 41–50.
28. Заалишвили В.Б., Невская Н.И. Взаимосвязь различных факторов, в том числе сейсмических событий, со сходом ледника «Колка» 20 сентября 2002 г. // Вестник Владикавказского научного центра. – 2004. – 4. – № 3. – С. 51–57.
29. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Хаберов А.К. Анализ инструментальных записей схода ледника «Колка» по данным локальной сети сейсмических наблюдений // Вестник Владикавказского научного центра. – 2004. – 4. – № 3. – С. 58–64.
30. Погода Э.В. Краткая информационная записка о результатах предварительной обработки данных сейсмических наблюдений, связанных с событием 20 сентября 2002 г. – Обнинск: Фонды ГС РАН, 2002 г. – 4 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. Годзиковская А.А., Бугаевский А.Г., Габсатарова И.П. Сейсмологическая составляющая в катастрофическом движении ледника «Колка». <http://zeus.wdcb.ru/wdcb/sep/kolka/index.ru.html>.
33. Милановский Е.Е., Хаин В.Е. Геологическое строение Кавказа // Очерки региональной геологии СССР, Вып. 8. – М.: МГУ, 1963. – С. 206–299.
34. Ананьин И.И. Коэффициент затухания балльности (интенсивности) и зависимость его от  $M$ ,  $h$ ,  $\Delta$  // Сейсмичность Северного Кавказа. – М.: Наука, 1977. – С. 44–65.
35. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2002 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2002–2003.
36. Bulletin of the International Seismological Centre for 2002. – Berkshire: ISC, 2003–2004. (<http://www.isc.ac.uk/search/bulletin/index.html>)
37. Введенская Н.А. Выделение волны  $sP$  на записях глубоких землетрясений Средней Азии // Тр. ГЕОФИАН. – 1956. – № 36(163). – С. 25–34.
38. Габсатарова И.П. Северный Кавказ. (См. раздел VII (Каталоги механизмов) в наст. сб. на CD).
39. Ландер А.В. Описание и инструкция для пользователя комплекса программ FA (расчет и графическое представление механизмов очагов землетрясений по знакам первых вступлений  $P$ -волн). – Фонды автора, 2006. – 27 с.
40. Копп М.И. Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы. – М.: Наука, 2004. – 340 с.
41. Годзиковская А.А., Рейснер Г.И. Эндогенная позиция глубоких землетрясений Кавказа // Геотектоника. – 1989. – № 3. – С. 15–25.
42. Папалашвили В.Г., Баграмян А.Х., Гоцадзе О.Д., Кулиев Ф.Т. Землетрясения Кавказа // Землетрясение в СССР в 1976 г. – М.: Наука, 1980. – С. 13–15.
43. Абелев Е.Г., Антонов В.В., Габсатарова И.П., Захарова А.И., Иванова Т.П., Лякумович Б.А., Новицкая Н.Ф., Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С. Землетрясение 4 марта на Северном Кавказе // Землетрясение в СССР в 1984 г. – М.: Наука, 1987. – С. 35–44.