

## **У. МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ**

УДК 550.348.2.425 (470.6)

### **МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ ВЗРЫВОВ В РЯДЕ РАЙОНОВ ДЕЙСТВУЮЩИХ КАРЬЕРОВ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА**

**И.П. Габсатрова**

*Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, ira@gsras.ru*

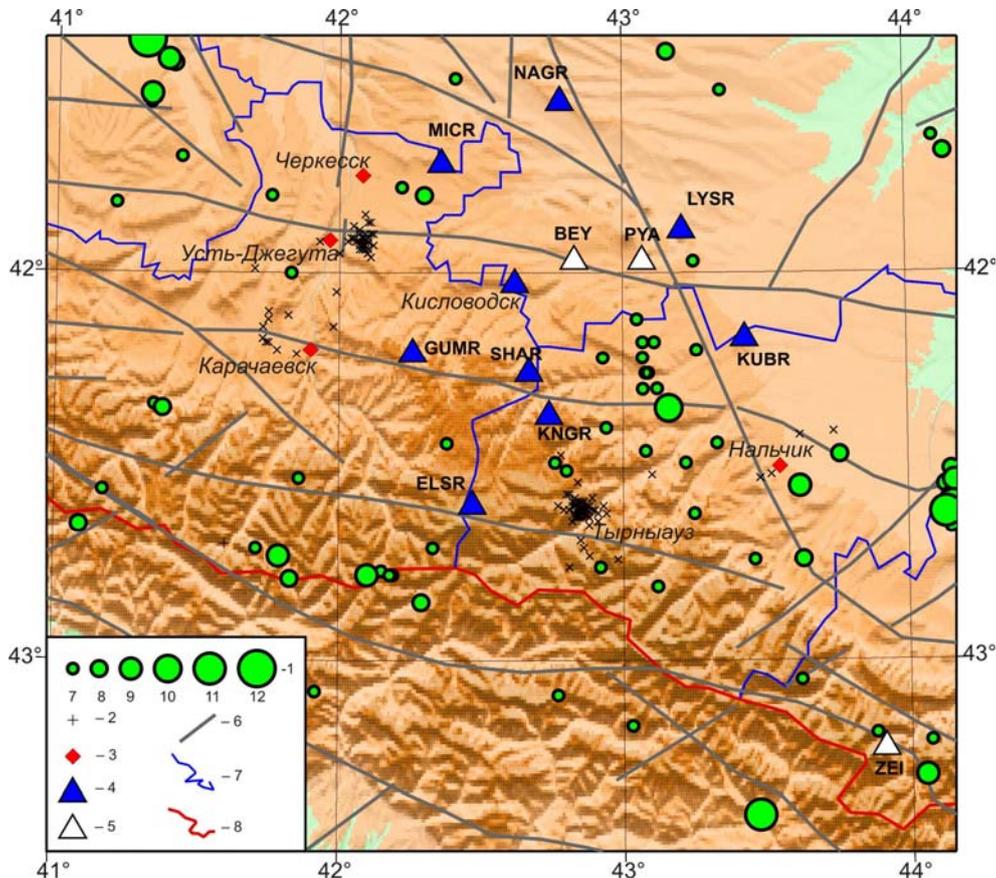
Проблеме «засорения» каталогов землетрясений взрывами, особенно в сейсмически малоактивных районах, посвящено множество публикаций (см., например, [1–6]). В рутинной практике составления сейсмических каталогов землетрясений для исключения из них данных о взрывах всегда проводился сбор априорной информации о времени, месте и мощности промышленных взрывов, и прежде всего на основе этой информации осуществлялась «чистка» каталогов землетрясений. Однако с 90-х годов прошлого столетия, в связи с экономическими реформами, коснувшимися также технологии организации и проведения взрывных работ в карьерах и рудниках, получение этой информации стало чрезвычайно сложным для сейсмологов. Поэтому во многих региональных центрах разработаны методические приемы, позволяющие достаточно надежно определять природу события – землетрясение это или взрыв.

**На Северном Кавказе методика выделения взрывов** из общего числа зарегистрированных событий была отработана по каталогам местных сейсмических событий за 1995–1996 гг., записанных вблизи сейсмической станции «Кисловодск» в районе Кавказских Минеральных Вод. Исследование проводилось под руководством И.П. Чернобая [2] и при участии автора настоящей публикации. В анализ были включены, с одной стороны, все землетрясения, удаленные от сейсмической станции «Кисловодск» на расстояния  $\Delta \leq 150$  км, и известные априори взрывы в карьерах Усть-Джегуты, Тырнауза и Карачаевска, составлявшие в те годы более половины регистрируемых событий каталога в районе Кавминводского геодинамического полигона (рис. 1).

Для отработки методики идентификации событий (землетрясение или взрыв), был использован целый ряд признаков («дискриминантов»), известных к тому времени из международной практики [7–9]. В основу разработанной методики был положен опыт и результаты Тырнаузского эксперимента 1992–1993 гг. [10]. В этой работе на материалах восемь хорошо документированных взрывов в карьерах Тырнаузского горно-обогатительного комбината (далее они будут рассматриваться как «эталонные») и записей 12 местных землетрясений была оценена эффективность применения отношения спектральных амплитуд  $P/S$ -волн, как дискриминанта записей взрывов и землетрясений, а также показана возможность использования для идентификации событий кластерного анализа. Подобный подход был использован в [11, 12] для анализа спектральных отношений сейсмических фаз с целью различия записей взрывов и землетрясений в различных районах США. Позже в [13] для различения землетрясений и взрывов был применен спектральный способ и способ спектрограмм, используя региональные высокочастотные трехкомпонентные записи на станциях российской сети на Кавказе. Нами это исследование было продолжено на материалах наблюдений радиотелеметрической системы «НАНОМЕТРИКС» за период с января 1995 г. по июнь 1996 г. [2], включающих вместе с хорошо документированными взрывами записи 374 местных землетрясений.

Система «НАНОМЕТРИКС», состоящая из шести телеметрических станций (рис. 1), была установлена ГС РАН на территории Кавказских Минеральных Вод в 1991 г. совместно с исследовательской лабораторией Ламонт-Дохерти (США) в рамках Международной программы IRIS. На наблюдательных пунктах сети (станциях) были установлены короткопериодные сейсмометры SV1/SH1 фирмы Kinometrics, которые имели столообразную амплитудно-частотную

характеристику по скорости в полосе частот 0.2–24 Гц. Шестнадцатиразрядные цифровые записи с частотой опроса 60 отсчетов/с передавались в центр сбора «Кисловодск» по радиоканалам. Для автоматического обнаружения событий использовался алгоритм отношения амплитудных спектров сигнала в коротком (STA) и длинном (LTA) окнах. Несколько ранее, с 1990 г., здесь же параллельно (частично на одних и тех же пунктах наблюдений) начали работать станции радиотелеметрической системы РСС отечественной разработки [14, 15]. На этих станциях были установлены короткопериодные сейсмометры СМ-3КВ, имевшие полосу пропускания 0.4–20 Гц. Аналоговый сигнал передавался по радиоканалам в центр сбора «Кисловодск», где он оцифровывался 12-разрядным преобразователем с частотой квантования 128 Гц. Записи сохранялись только для событий, выделенных детектором по алгоритму STA/LTA на трех и более станциях. При этом записи системы РСС имелись не по всем событиям, выделенным системой «НАНОМЕТРИКС». Поэтому на этапе отладки методики использовались в основном записи станций «НАНОМЕТРИКС», хотя в дальнейшем алгоритм сбора системы РСС был усовершенствован [16], и записи событий этой системой успешно применялись в задаче различения событий по их природе.



**Рис. 1.** Карта эпицентров землетрясений и взрывов за 1995–1996 гг. в районе Кавказских Минеральных Вод по [2] и положение действующих карьеров в Усть-Джегуте, Карачаевске и Тырныаузе

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – взрыв; 3 – населенный пункт; 4, 5 – сейсмическая станция, аналоговая и цифровая соответственно; 6 – разлом; 7 – границы республик Северного Кавказа; 8 – государственная граница. Коды и названия сейсмических станций: GUM – «Гумбаши», ELS – «Эльбрус», KIV – «Кисловодск», KNG – «Кинжал», KUB – «Куба», LYS – «Лысая», MIC – «Мичуринская», SHA – «Шиджатмаз».

В качестве признаков распознавания взрывов и землетрясений в данной методике использовались:

- метод спектрограмм для выявления короткозамедленных взрывов в карьерах;
- отношения спектральных амплитуд  $Pg/Sg$ -волн в разных частотных полосах;
- анализ характерных особенностей огибающих записей взрывов и землетрясений в выбранной полосе частот (4–16 Гц) и различение природы событий с помощью кластерного ана-

лиза [17], который использовался для группирования событий с подобными формами огибающей записи. Группирование основано на сравнении пар огибающих записей событий, степень подобия которых выражается через коэффициент корреляции. Это единственное число, представляющее меру подобия (или не подобия) между проанализированными волновыми формами. Полученные числа составляли элементы матрицы, используемой в кластерном анализе. В результате строилась «дендрограмма», ветвями которой являются отдельные элементы группы, объединенные в классы [2, 8, 10];

– дополнительный признак – время происхождения событий.

Не останавливаясь подробно на каждом из дискриминантов, хорошо описанных в [2], отметим, что в дальнейшем при обработке цифровых записей сейсмических событий на территории Северного Кавказа хорошо зарекомендовал себя второй из перечисленных выше дискриминантов, а именно – спектральное отношение  $Pg/Sg$ . Оно вычислялось следующим образом:

– выбирались сегменты записи, начинающиеся с момента вступления  $Pg$ - и  $Sg$ -волн, длительностью  $\tau=3$  с;

– вычислялось быстрое преобразование Фурье (БПФ) после удаления среднего значения и использования выделяющей косинусоидальной функции;

– вычислялось среднее значение спектральной плотности  $Pg$ - и  $Sg$ -волн в заданной полосе частот;

– определялось отношение полученных средних значений.

В дальнейшем при анализе данных разных станций было установлено, что как по форме записи, так и в спектральном отношении наблюдалась азимутальная зависимость изменчивости этих параметров [2]. Было выявлено также, что на записях станции «Кисловодск» они проявляются наиболее отчетливо и устойчиво (рис. 2). В связи с этим в дальнейшем эти признаки находились преимущественно по записям станции «Кисловодск».

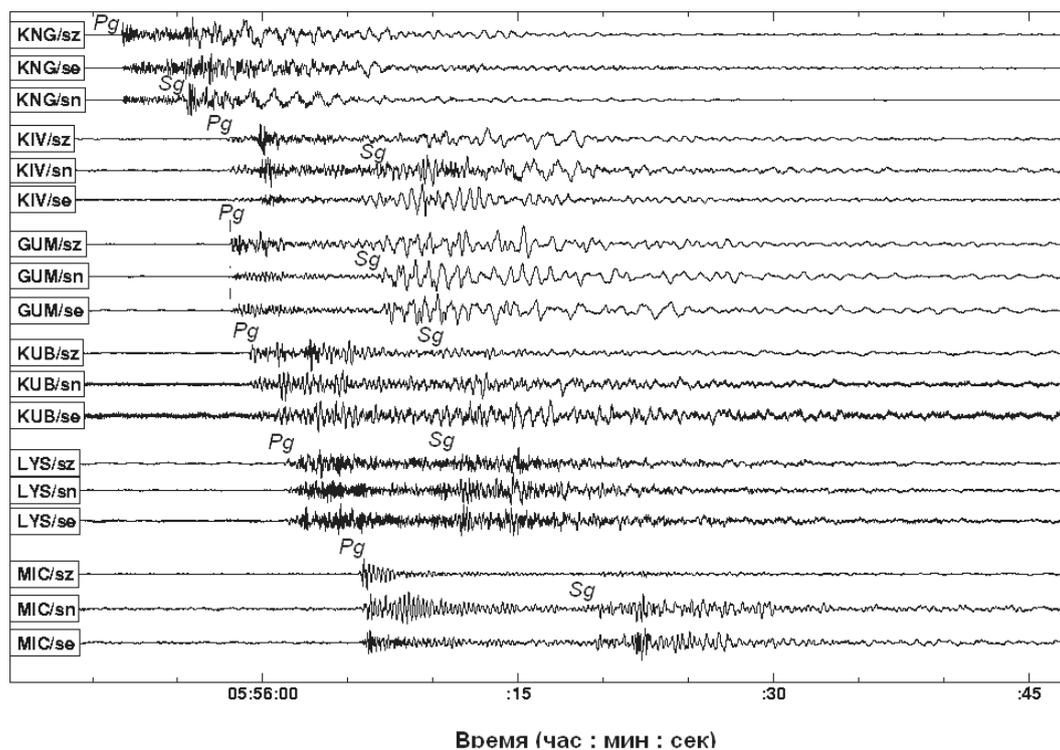


Рис. 2. Трехкомпонентные записи «эталонного» взрыва 23 октября 1993 г. в карьере Тырнаузского горно-обогатительного комбината на станциях KNG, KIV, GUM, KUB, LYS, MIC локальной сети Кавминводского полигона

В [2] было установлено, что величина отношения  $Pg/Sg$  не постоянна, а зависит от диапазона анализируемых частот колебаний. Как правило, величина отношения  $Pg/Sg$  возрастает с ростом частоты, достигая максимума в определенном диапазоне частот, после чего происхо-

дит ее спад. При этом для разных карьеров несколько различны скорость возрастания величины отношения  $Pg/Sg$ , ее максимальное значение и диапазон частот, в котором она максимальна (рис. 3). Так, например, для записей взрывов в карьерах Усть-Джегута отношение  $Pg/Sg$  достигает максимума в полосе 8–20 Гц, составляя в среднем  $(2.32 \pm 0.64)$ . Для карьеров в Карачаевске эффект увеличения отношения  $Pg/Sg$  с ростом частоты колебаний проявляется в меньшей степени, максимум наблюдается в полосе частот 18–22 Гц и средняя величина отношения для Карачаевска равна  $3.27 \pm 0.94$ . И, наконец, средняя величина спектрального отношения  $Pg/Sg$  для взрывов в карьере Тырнаузского горно-обогатительного комбината составила  $3.39 \pm 0.90$ , а диапазон частот, где она максимальна, соответствует 12–16 Гц. Все взрывы вне названных карьеров имели среднее отношение  $Pg/Sg$   $2.32 \pm 0.95$ .

Для землетрясений так же, как и для взрывов, наблюдается некоторое увеличение величины отношения  $Pg/Sg$  с перемещением частотного интервала, по которому вычисляется спектральная оценка, в область более высоких частот. Это особенно заметно для диапазона 10–22 Гц, что связано с увеличением уровня шума в этой полосе. Однако обнадеживающим фактором явилось заметное различие средних значений спектрального отношения  $Pg/Sg$  для взрывов и для землетрясений. Для землетрясений оно составило всего лишь  $0.71 \pm 0.34$ .

В дальнейшем, в последующие годы, результаты применения этого метода подтвердили надежность использования спектрального отношения  $Pg/Sg$  в качестве дискриминанта при распознавании записей взрывов от записей землетрясений.

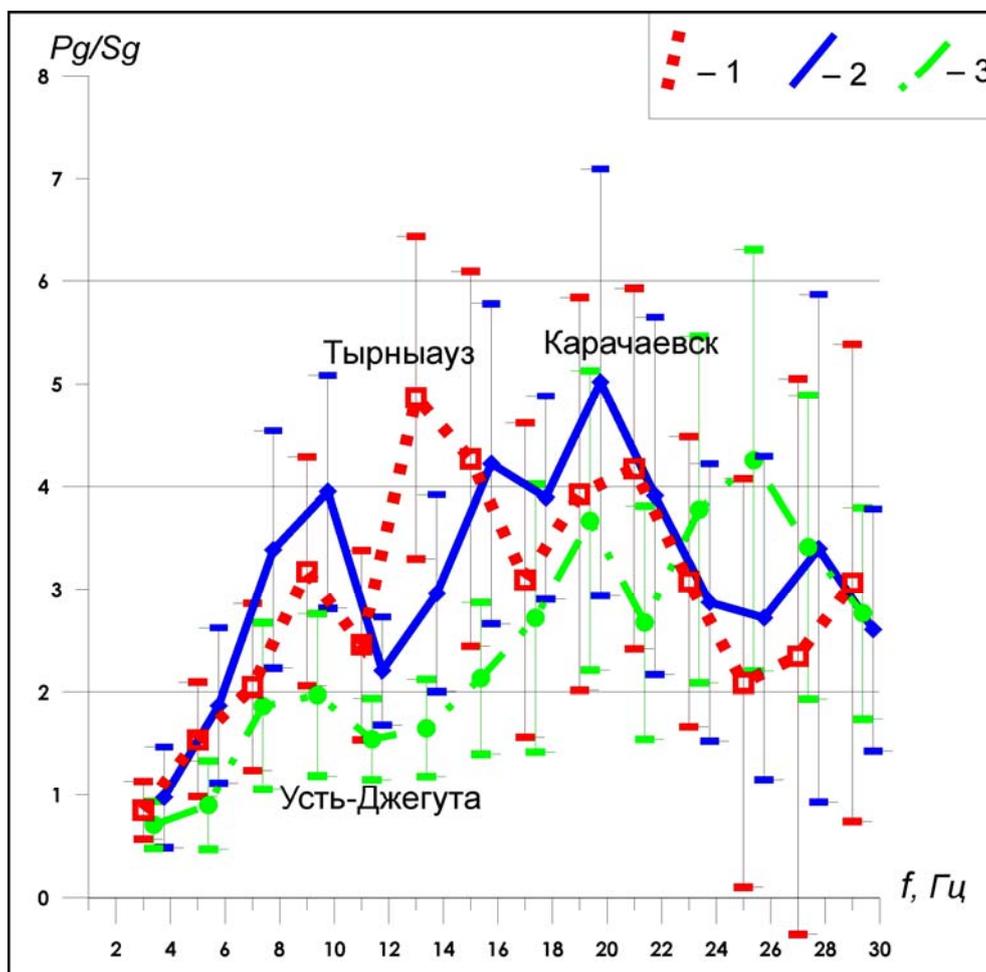


Рис. 3. Графики изменения средних значений спектральных отношений  $Pg/Sg$  с увеличением частоты сигнала

1 – Тырнауз (пунктир); 2 – Усть-Джегута (штрихпунктир); 3 – Карачаевск (сплошная линия); тонкими вертикальными линиями показаны интервалы отклонений от средних значений.

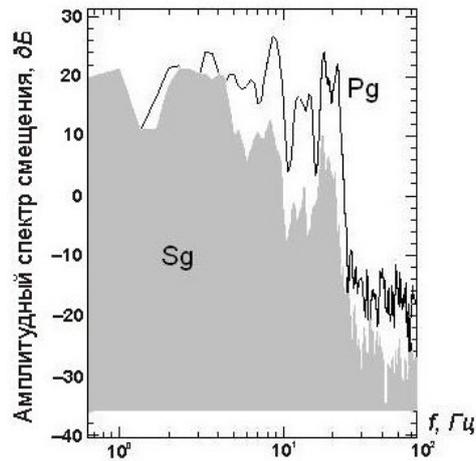


Рис. 4. Наложение амплитудных спектров смещения в трехсекундных окнах от начала вступлений  $Pg$  и  $Sg$ -волн для «эталонного» Тырныаузского взрыва 23 октября 1993 г.

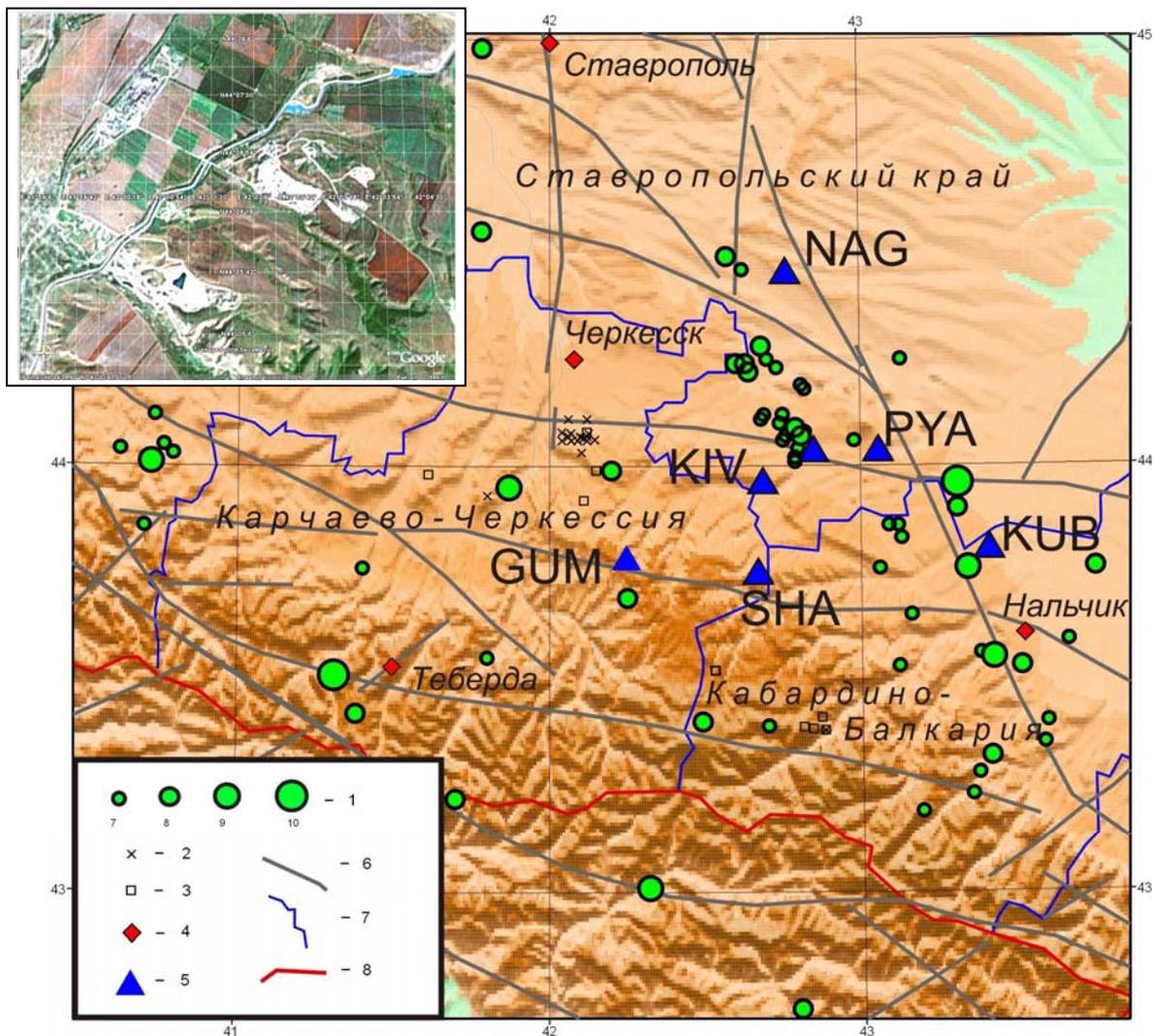
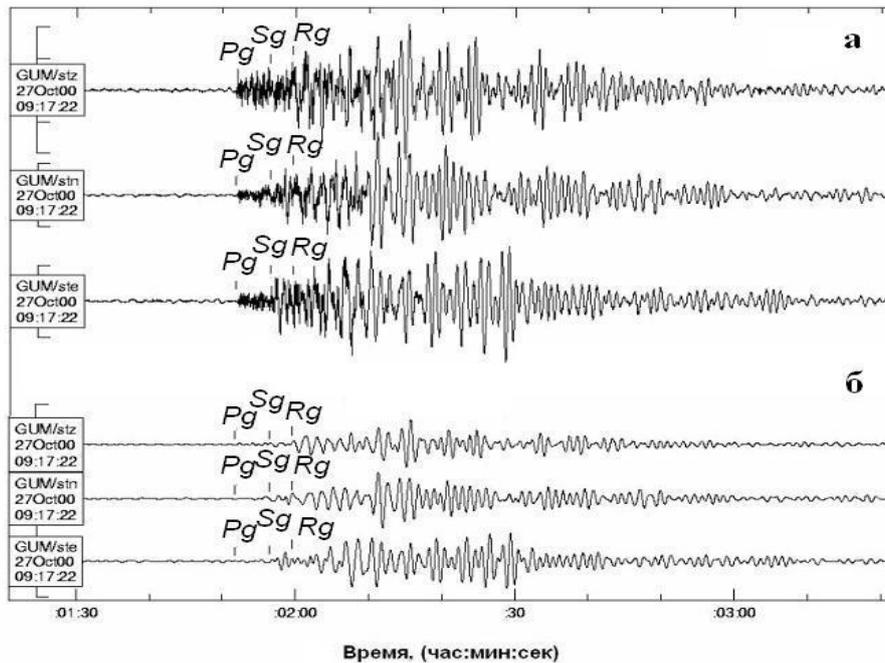


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений и взрывов в 2000 г. в центральной части Северного Кавказа

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – взрыв; 3 – возможно, взрыв; 4 – населенный пункт; 5 – сейсмическая станция; 6 – глубинный разлом; 6 – граница республик Северного Кавказа; 7 – государственная граница. На врезке показан космический снимок с видом карьеров близ г. Усть-Джегута, где ломаной белой линией изображен Большой Ставропольский канал (заимствовано в Интернет <http://www.google.ru>).

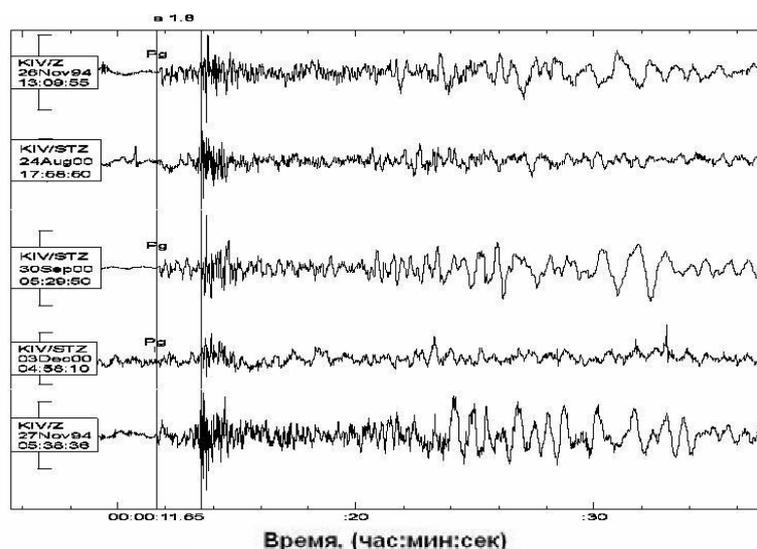


**Рис. 6.** Запись взрыва 27.10.2000 г. в одном из карьеров Усть-Джегуты на станции «Гумбаш». Вверху три компоненты с нефiltroванными записями, внизу – фильтрованные в полосе 0.5–1.0 Гц (для лучшей иллюстрации Rg-волны).

**Локальные особенности взрывов** в Карачаево-Черкесской Республике, близ Усть-Джегуты. Использование критерия спектрального отношения  $Pg/Sg$  может быть усилено характерными особенностями записей взрывов с конкретных карьеров. Особенно это важно при производстве взрывов в карьерах, действующих постоянно. В частности, для записей взрывов в карьерах «Джеганах», «Цементзавод» и «Гипсовый» близ Усть-Джегуты Карачаево-Черкесской Республики было выявлено, что для них практически на всех станциях локальной сети станций на Кавминводском полигоне (рис. 6) характерно наличие отчетливых первых вступлений  $Pg$ -волн, а волны  $Sg$  выражены слабо. В то же время на всех записях довольно представительна короткопериодная региональная Релеевская волна  $Rg$ , длительность записи которой достигает нескольких минут. В  $Rg$ -волне отмечается нормальная дисперсия с изменением периодов колебаний от 2 до 1 с (в максимальной фазе). Этот признак явился дополнительным фактором выделения взрывов близ Усть-Джегуты.

**Локальные особенности взрывов** в Кабардино-Балкарии. В 2000 г. на территории Кабардино-Балкарии эпизодически производились взрывные работы в пос. Тырнауз в карьерах горно-обогатительного комбината. Сведения о взрывах из официальных источников чаще всего отсутствовали, было лишь известно, что в районе карьеров Тырнаузского горно-обогатительного комбината иногда производятся взрывы в скважинах. Для принятия решения о природе событий, локализованных вблизи карьеров Тырнауза, записи событий были исследованы по спектральному составу в группе  $Pg$ - и  $Sg$ -волн по методике, предложенной ранее [2], и сопоставлялись по виду записи с эталонными взрывами, произведенными в карьерах Тырнаузского горно-обогатительного комбината в 1992 и 1993 гг. На рис. 6 представлены фрагменты записей событий «возможно, взрыв», произошедших 24 августа, 30 сентября и 3 декабря 2000 г., в сравнении с записями эталонных взрывов за 26 и 27 ноября 1993 г. Анализ отношений амплитудных спектров  $Pg$  и  $Sg$ -волн, полученные в трехсекундном временном окне на записях вертикальной компоненты сейсмической станции «Кисловодск», подтвердил принадлежность этих событий к «взрывной» природе, так как во всех случаях наблюдается установленная в [2] зависимость превышения в несколько раз значений амплитудных спектров  $P$ -волн над спектрами  $S$ -волн в полосе 4–16 Гц.

Дополнительно, при визуальном сопоставлении записей этих событий, было выявлено через 1.8 с после первого вступления наличие хорошо выраженной фазы, характерной для Тырнаузских событий, которая в несколько раз превышала по амплитуде первое вступление (рис. 7).



**Рис. 7.** Сравнение записей «эталонных» взрывов в карьере Тырнаузского горно-обогатительного комбината 26 и 27 ноября 1994 г. и сейсмических событий типа «возможно, взрыв», зарегистрированных 24 августа, 30 сентября и 3 декабря 2000 г. на станции «Кисловодск» (Z-компонента)

Для выяснения природы этой волны были проведены специальные работы по изучению особенностей волновой картины на записях Тырнаузских взрывов [18]. Исследование проводилось путем построения синтетических сейсмограмм для различных моделей земной коры этого района и сравнения их с реальной записью эталонного взрыва (с зафиксированным временем произведения взрыва). Информация о моделях земной коры, собранная по литературным источникам, позволила сформировать семь двухмерных моделей земной коры (рис. 8):

- М1 – осредненная двухслойная модель земной коры Кавказского антиклинория;
- М2 – двухслойная осредненная модель земной коры Центрального Предкавказья по данным гравиметрии [19];
- М3 – семислойная модель земной коры по данным ГСЗ и МОВЗ с градиентным изменением скоростей сейсмических волн в слоях [20, 21];
- М4 – семислойная модель земной коры по данным ГСЗ и МОВЗ с измененным рельефом границ [20, 21];
- М5 – модель М4 с введенными зонами разуплотнения в гранитном слое по гравиметрическим данным [20, 21];
- М6 – модель М5 с измененным рельефом кровли кристаллического основания под станцией «Кисловодск» [20, 21];
- М7 – модель М6 с измененным положением кровли базальтового слоя.

Для каждой модели были получены синтетические сейсмограммы с помощью метода Гаусса для построения лучей отраженных волн [22], реализованного в программе Xgbm [23]. В табл. 1 приводятся времена пробега сейсмических фаз в группе P-волн, интерпретируемых как отражения от первых границ в разрезах в сравнении с временами пробега первой и второй фаз, наблюдаемых на реальной сейсмограмме.

**Таблица 1.** Сравнение времен пробега P-волн на реальной и синтетической сейсмограммах

Номер модели	Время пробега фазы P-волны в с		
	$t_{P1}$	$t_{P2}$	$t_{P \text{ Конрада}}$
Реальная сейсмограмма	11.3	13.1	13.9
M1	14.6	–	17.3
M2	12.4	–	16.2
M3	11.4	13.7	14.6
M4	11.58	13.1	14.6
M5	11.56	13.1	14.6
M6	11.4	13.1	14.6
M7	11.4	13.1	14.0

Сравнение времен пробега первых двух фаз  $P$ -волны и времени пробега от границы Конрада показало, что для объяснения особенностей волновой картины двухслойной модели земной коры недостаточно. Только в случае введения в анализ семислойной модели земной коры (с изменением рельефа этих границ – модели М4-М7), построенной по данным комплекса геофизических исследований и содержащей волновод в гранитном слое, на синтетических сейсмограммах были получены фазы в  $P$ -волне, сопоставимые по времени пробега с реальными фазами.

Построенные синтетические сейсмограммы позволили объяснить кинематическую природу вторичной фазы на записях станции «Кисловодск», как отражение от пятой границы, являющейся подошвой волновода в гранитном слое. Однако в динамическом выражении, сходном с реальной записью, а именно как более мощное вступление относительно первой фазы, оно проявилось только при изменении рельефа первой отражающей границы в слое гранитов – граница 2. При таком строении земной коры непосредственно под станцией первая фаза регистрируется как волна, преломившаяся на границе 2 и вошедшая в третий слой, но не отразившаяся от его подошвы. При этом она потеряла часть энергии и, хотя и пришла к источнику первой, стала гораздо менее интенсивной, нежели отражение от границы 5. На рис. 9 приводится сравнение реальной и синтетических сейсмограмм, построенных при использовании М2-М7 моделей земной коры, исключая первую, менее достоверную из всех. Как видно, ближе всего к реальной синтетическая сейсмограмма, построенная по модели М7. При заглублении источника столь явного выделения фазы через 1.8 с не наблюдалось.

Таким образом, для поверхностного источника, каким является взрыв, выделяемая через 1.8 с после первого вступления фаза на записях вертикальной компоненты станции «Кисловодск» может быть использована как дополнительный фактор подтверждения природы события в пользу «взрывной» природы. А анализируемые события по комплексу признаков отнесены к категории «взрыв» или «возможно, взрыв».

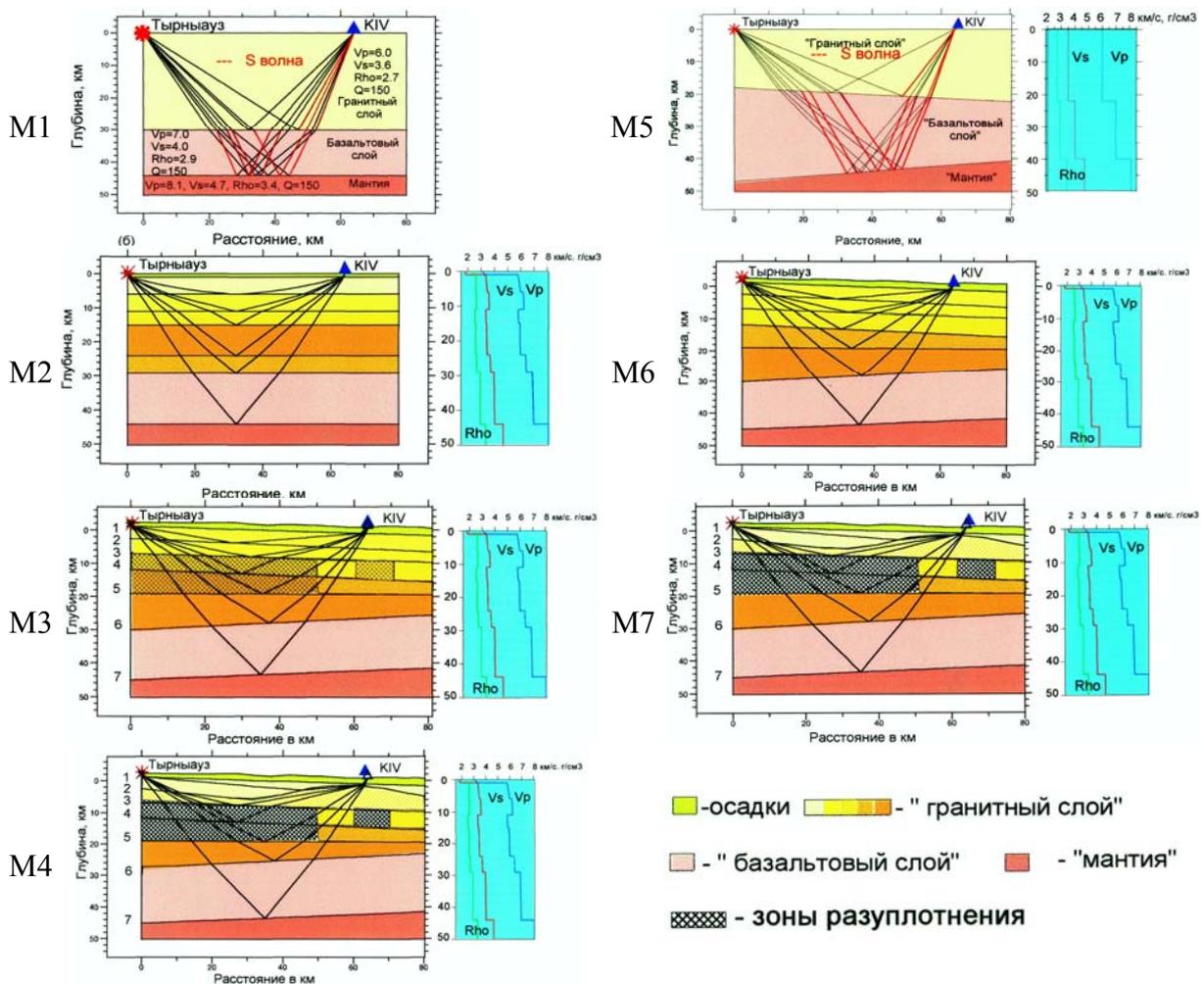


Рис. 8. Модели земной коры по трассе Тырнауэ–Кисловодск

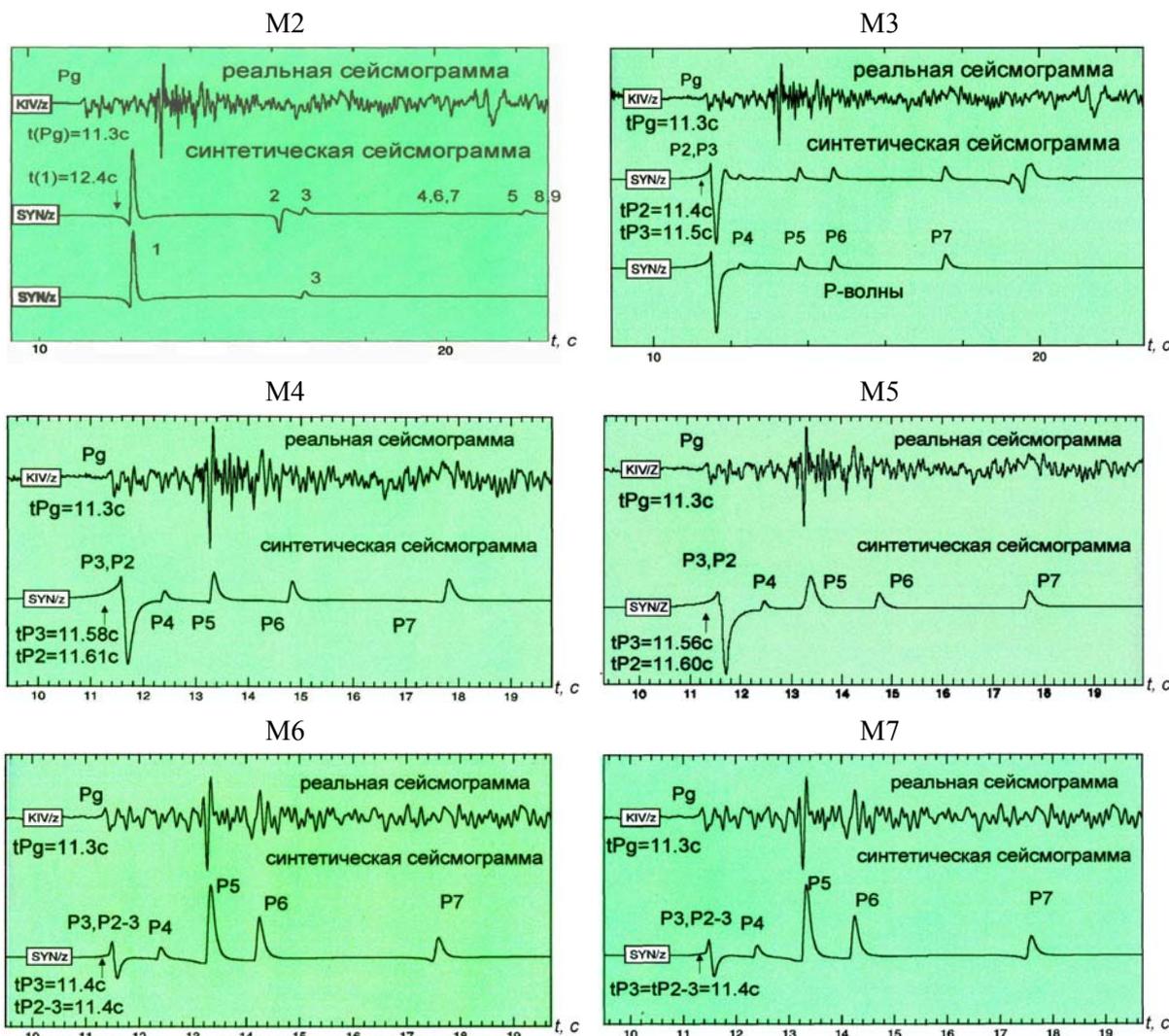


Рис. 8. Сравнение реальной и синтетических сейсмограмм, построенных с использованием M2-M7 моделей земной коры Эльбурско-Минераловодского района

P1-P7 отражения от соответствующих границ скоростного разреза.

Описанная выше методика выделения взрывов из общего каталога сейсмических событий Северного Кавказа, а также локальные особенности записей взрывов с конкретных карьеров позволили поставить эту работу обязательным элементом процесса обработки землетрясений и выйти на уровень составления отдельных списков взрывов, представленных ниже за 1999 и 2000 гг. в отдельности.

С целью очистки каталогов землетрясений от взрывов проведен комплекс работ: собиралась априорная информация о местах и времени проведения техногенных событий, изучалась волновая картина этих записей и проводился сравнительный анализ спектральных отношений первых 3-секундных фрагментов в  $Pg$ - и  $Sg$ -волнах. Если событие, квалифицированное по вышеизложенной методике получало статус взрыва, но не удавалось это подтвердить априорными сведениями, ему присваивался тип «возможно, взрыв». Энергетический класс таких взрывов, как правило, изменяется в диапазоне  $K_p=6-8$ , что эквивалентно 7-12 т взрывчатого вещества. Взрывы производятся в дневное время, в основном в 08-12 часов по Гринвичу. Это время в основном характерно для производства взрывов в карьерах, действующих постоянно.

В итоге в 1999-2000 гг. в соответствующие каталоги землетрясений Северного Кавказа [24, 25] было включено в сумме 69 взрывов (табл. 2, 3), большая часть из которых локализована в карьерах близ Усть-Джегуты.

**Таблица 2.** Список промышленных взрывов в центральной части Северного Кавказа в 1999г. по [24]

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Эпицентр		$\delta$ , км	$h$ , км	$\delta h$ , км	$MPVA$	$Md$	$K_p$	Тип события
				$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E							
1	09.02	09 52 17.8	0.1	44.07	42.08	1	0	0		3.3	8.6 <sup>d</sup>	взрыв
2	12.02	09 17 15.6	0.1	44.08	42.07	1	0	1		2.8	7.0 <sup>d</sup>	взрыв
3	17.02	13 07 17.0	0.2	44.05	42.05	2	0	1		3.3	8.6 <sup>d</sup>	взрыв
4	11.03	11 19 45.4	0.3	44.05	42.07	2	0	5	3.3		7.9	взрыв
5	07.04	10 25 46.6	0.3	44.05	42.09	1	0	1		3.4	8.7 <sup>d</sup>	взрыв
6	29.04	10 35 37.1	0.1	44.07	42.11	1	0	1		3.3	8.6 <sup>d</sup>	взрыв
7	30.04	12 41 52.8	0.3	44.05	42.08	2	0	1		3.1	8.3 <sup>d</sup>	взрыв
8	08.04	12 35 59.3	0.3	44.07	42.08	2	0	2	3.1	3.1	8.3 <sup>d</sup>	взрыв
9	08.05	09 19 34.9	0.3	44.06	42.11	2	0	2		3.1	8.3 <sup>d</sup>	взрыв
10	20.05	08 33 07.8	0.1	44.08	42.10	2	0		2.9	2.9	7.8 <sup>d</sup>	взрыв
11	25.05	09 45 32.5	0.1	44.08	42.09	1	0	1		3.3	8.6	взрыв
12	07.06	10 54 06.3	0.2	44.06	42.06	2	0	1		3.1	8.2 <sup>d</sup>	взрыв
13	10.06	09 28 46.2	0.3	44.07	42.10	1	0	1		3.3	8.6 <sup>d</sup>	взрыв
14	01.07	11 59 17.4	0.3	44.07	42.10	2	0	1		3.0	8.0 <sup>d</sup>	взрыв
15	01.07	13 57 22.6	0.6	44.06	42.05	5	0	4		3.1	8.2 <sup>d</sup>	взрыв
16	02.07	12 43 05.2	0.4	44.09	42.10	3	0	2		3.1	8.2 <sup>d</sup>	взрыв
17	23.07	13 52 51.3	0.2	44.05	42.10	13	0	8		3.4	8.8 <sup>d</sup>	взрыв
18	11.08	12 31 36.7	0.1	44.06	42.07	2	0	1		3.2	8.4 <sup>d</sup>	взрыв
19	12.08	17 20 17.0	0.5	42.60	42.97	4	9	1			8.4	возможно, взрыв
20	13.08	10 08 51.8	0.2	44.06	42.07	2	0	2	3.0	3.0	8.1 <sup>d</sup>	взрыв
21	24.08	09 53 17.1	0.2	44.05	42.07	5	0	3		3.3	8.6 <sup>d</sup>	взрыв
22	27.08	08 38 46.8	0.1	44.08	42.09	1	0	1		3.2	8.6 <sup>d</sup>	взрыв
23	02.09	08 14 36.6	0.2	44.07	42.10	1	0	1		3.3	8.6 <sup>d</sup>	взрыв
24	16.09	10 56 20.6	0.1	44.07	42.08	1	0	1		3.1	8.4 <sup>d</sup>	взрыв
25	07.10	09 36 25.0	0.1	44.06	42.08	1	0	1		2.9	7.8	взрыв
26	07.10	11 59 20.4	0.1	44.07	42.10	3	0	2		2.8	7.6	взрыв
27	18.10	11 51 58.0	0.2	44.06	42.08	1	0	1		3.3	8.6 <sup>d</sup>	взрыв
28	27.10	09 11 05.2	0.1	44.08	42.09	2	0	1		3.3	8.6 <sup>d</sup>	взрыв
29	27.10	11 23 56.1	0.1	44.06	42.06	3	0	2		3.3	8.6 <sup>d</sup>	взрыв
30	04.11	09 07 26.8	0.2	44.09	42.10	3	0	2		3.1	8.2 <sup>d</sup>	взрыв
31	10.11	12 09 55.6	1.2	43.78	42.08				2.7		7.4	взрыв
32	12.11	10 06 02.1	0.2	44.08	42.07	2	0	1	2.8	2.8	7.7 <sup>d</sup>	взрыв
33	22.11	11 26 56.2	0.3	44.04	42.10	2	0	1		2.7	7.5	взрыв
34	23.11	10 17 14.8	0.2	44.09	42.08	2	0	1	3.1	3.1	8.3 <sup>d</sup>	взрыв
35	28.11	07 47 48.6	0.2	43.40	42.83	1	5	11		2.5	7.0 <sup>d</sup>	возможно, взрыв
36	28.11	09 46 08.1	0.7	44.52	42.02	5	0	1	3.7		9.1	возможно, взрыв
37	01.12	12 11 19.6	0.2	44.05	42.06	2	0	1		3.2	8.5 <sup>d</sup>	взрыв
38	02.12	09 52 17.0	0.2	44.08	42.07	3	0	2		2.8	7.6 <sup>d</sup>	взрыв
39	17.09	10 34 58.7	0.1	44.09	42.07	3	0	2		3.0	7.9 <sup>d</sup>	взрыв
40	04.09	13 32 09.9	0.4	43.36	42.81	4	7	26		2.8	7.7 <sup>d</sup>	возможно, взрыв
41	10.12	12 23 58.1	0.1	44.06	42.08	2	0	1		3.3	8.6 <sup>d</sup>	взрыв

**Таблица 3.** Список промышленных взрывов в центральной части Северного Кавказа в 2000 г. по [25]

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Эпицентр		$\delta$ , км	$h$ , км	$\delta h$ , км	$MPVA$	$K_p$	Тип события
				$\varphi$ , N	$\lambda$ , E						
1	11.01	12 07 28.3		44.062	42.074	0			3.1	8.2	взрыв
2	16.01	07 59 59.8		43.38	42.879	8			3.1	8.3	возможно, взрыв
3	16.02	12 36 06.2		44.062	42.086	1			3.4	8.9	взрыв
4	10.03	09 10 49.7		43.518	42.532	1			3.2	8.5	возможно, взрыв
5	27.04	10 41 05.2		44.07	42.115	1			3.5	9	взрыв
6	06.05	12 00 52.2		44.043	42.068	0			3.3	8.6	взрыв

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Эпицентр		$\delta$ , км	$h$ , км	$\delta h$ , км	MPVA	$K_p$	Тип события
				$\varphi$ , N	$\lambda$ , E						
7	19.05	08 36 07.1		44.083	42.042	1			3.1	8.3	взрыв
8	23.05	10 46 13.4		44.055	42.037	1			3.2	8.4	взрыв
9	22.06	12 12 12.6	0.7	43.92	42.11	14	1		2.8	6.2	возможно, взрыв
10	24.06	10 36 47.3		44.058	42.119	1			3.4	8.7	взрыв
11	30.06	10 23 33.8		44.065	42.1	1			3.3	8.7	взрыв
12	19.07	11 00 04.5		44.094	42.09	1				6.0	взрыв
13	21.07	09 13 59.2	0.4	43.99	42.15	14	0		3	6.2	возможно, взрыв
14	26.07	07 34 39		44.109	42.06	1				~7	взрыв
15	27.07	16 25 31		43.405	42.868	14				~7	возможно, взрыв
16	03.08	10 35 00.8		44.108	42.115	1			2.2	6.6	взрыв
17	22.08	05 06 59.1	0.2	43.54	43.97	14	20		3.4	7.7	взрыв
18	24.08	11 37 41.6		44.066	42.1	1			3.1	~7	взрыв
19	24.08	14 13 13.6		43.929	41.795	1			3.6	~7	взрыв
20	24.08	17 58 50.5		43.379	42.882	1			2.7	~7	взрыв
21	01.09	11 58 03.5		44.042	42.128	1			3.0	8.1	взрыв
22	12.10	11 54 55.4		44.062	42.071	1			3.1	8.2	взрыв
23	21.10	10 48 22.7		44.077	42.117	15			3.0	7.9	возможно, взрыв
24	27.10	09 19 06.7		44.067	42.061	1			3.3	8.7	взрыв
25	27.10	11 07 57.9		44.058	42.109	1			3.2	8.4	взрыв
26	15.12	10 52 09.0		44.055	42.126	1			3.1	8.2	взрыв
27	27.12	09 38 52.1		43.984	41.607	1			3.4	8.9	возможно, взрыв

Однако вопрос об исключении взрывов из сейсмических каталогов достаточно спорный, поскольку исключение взрывов авторами оригиналов каталогов не гарантирует от введения их в каталоги землетрясений Северного Кавказа через некоторое время другими исследователями, обратившимися к сырым данным: сейсмограммам и цифровым записям. Именно поэтому все выявленные взрывы включены в каталоги [24, 25] с соответствующими метками двух типов – «взрыв» или «возможно, взрыв».

Автор выражает большую благодарность сотрудникам лаборатории сейсмического мониторинга Кавказских Минеральных Вод ГС РАН, особенно Л.В. Девяткиной, за тщательный сбор априорной информации о карьерных взрывах в районе КМВ и территорий соседних республик.

#### Л и т е р а т у р а

1. Габсатарова И.П. Северный Кавказ (без Дагестана) // Землетрясения Северной Евразии в 1999 году. – Обнинск: ГС РАН, 2005. – С. 83–86.
2. Chernobay I.P., Gabsatarova I.P. Source classification in the Northern Caucasus // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 1999 – 133. – P. 183–201.
3. Надёжка Л.И., Сафронич И.Н., Пивоваров С.П., Ефременко М.А., Семёнов А.Е., Сорокин Б.А. Воронежский кристаллический массив // Землетрясения Северной Евразии в 1998 году. – Обнинск: ГС РАН, 2004. – С. 178–184.
4. Филина А.Г., Прибылова Н.Е. Северные районы Алтая и Саян (1962–1993 гг.) // Землетрясения Северной Евразии в 1998 году. – Обнинск: ГС РАН, 2004. – С. 253–257.
5. Годзиковская А.А., Бесстрашнов В.М., Лабазина Е.Ю. Землетрясения и взрывы Восточно-Европейской платформы // Природные опасности России. Сейсмические опасности. – М.: Крук, 2000. – С. 46–53.
6. Годзиковская А.А. Региональные каталоги и сейсмологические банки данных // Физика Земли. – 1989. – № 3. – С. 91–93.
7. Dowl F.U., Taylor S.R. and Anderson R.W. Seismic discrimination with artificial neural network: preliminary results with regional spectral data // Bull. Seism. Soc. Am. – 1990. – 80. – A. – № 5. – P. 1346–1373.
8. Dysart P.S. and Pulli J.J. Regional seismic event classification at the NORESS array: seismological measurements and the use of trained neural networks // Bull. Seism. Soc. Am. – 1990. – 80. – B. – № 6. – P. 1910–1933.

9. **Fisk M.D., Gray H.L. and McCartor G.D.** Regional event discrimination without transporting threshold // Bull. Seism. Soc. Am. – 1996. – **86.** – № 5. – P. 1545–1558.
10. **Chernobay I.P., Zhizhin M.N., Gabsatarova I.P., Mechrushev D.Yu.** Analysis of the near source and regional seismic records from mine explosions in Northern Caucasus // Discrimination between explosions and regional earthquakes (EOARD, Technical Report). – Obninsk, 1994. – P. 1–40.
11. **Kim W.-Y., Simpson D.W. and Richards P.G.** Discrimination of earthquakes and explosions in the eastern Unites States using regional high-frequency data // Geophys. Res. Lett. – 1993. – 20. – P. 1507–1510.
12. **Kim W.-Y., Simpson D.W. and Richards P.G.** High-Frequency Spectra of Regional Phases from Earthquakes and Chemical Explosions // Bull. Seism. Soc. Am. – 1994. – **84.** – №5. – P. 1365–1386.
13. **Kim W.-Y., Ahoronian V., Lerner-Lam A.L. and Richards P.G.** Discrimination of earthquakes and explosions in southern Russia using regional high-frequency three-component data from the IRIS/JSP Caucasus Network // Bull. Seism. Soc. Am. – 1997. – **87.** – № 3. – P. 569–588.
14. **Мишаткин В.Н.** Выносной измерительный пункт телеметрической системы сбора геофизической информации. // Регистрация и обработка информации в сейсмологии (Сейсмические приборы, Вып. 15). – М.: Наука, 1983. – С. 73–77.
15. **Отчет о производстве и сводной обработке полевых сейсмических наблюдений на Северном Кавказе РСФСР в 1990 г.** // Отчет ОМЭ ИФЗ АН СССР за 1990 год / Под. общ. ред. В.В. Антонова. – Обнинск: Фонды ГС РАН, 1991. – 73 с.
16. **Габсатарова И.П.** Северный Кавказ. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
17. **Айвазян С.А., Бухинатор В.М., Енуков И.С., Мешалкин Л.Д.** Прикладная статистика // Классификация и снижение размерности. – М.: Финансы и статистика, 1989. – С. 143–330.
18. **Результаты проведения комплексных сейсмологических и геофизических наблюдений и обработки данных на базе стационарных и мобильных сейсмических сетей** // Отчет ЦОМЭ ГС РАН за 1997 год / Под. общ. ред. И.П. Чернобая. – Обнинск: Фонды ГС РАН, 1998. – 106 с.
19. **Авдулов М.В.** Строение земной коры по данным гравиметрии на Центральном Кавказе // Советская геология. – 1963. – № 9. – С. 73–89.
20. **Гаретовская И.В., Краснопевцева 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 сейсмо-тектоники. – М.: Наука, 1986. – С. 105–119.
21. **Краснопевцева Г.В.** Глубинное строение Кавказского сейсмоактивного региона. – М.: Недра, 1984. – 109 с.
22. **Weber M.** Application of the Gaussian beam method in refraction seismology, Urach revisited // Geophys. J. – 1988. **92.** – № 1 – P. 25–31.
23. **Davis J.P. and Henson I.H.** User Guide to Xgbm: An X-Windows system to compute Gaussian beam synthetic seismograms. Version 1.1. – March 31, 1993. – Alexandria: Archive of Teledyne Geotech Alexandria Laboratories, 1993. – P. 38.
24. **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 (включая Дагестан) // Землетрясения Северной Евразии в 1999 году. – Обнинск: ГС РАН, 2005. (На CD.)
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. (См. раздел VI (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).