

ВЫЯВЛЕНИЕ ВЗРЫВОВ В КАТАЛОГАХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И НА АНАЛОГОВЫХ СЕЙСМОГРАММАХ

А.А. Годзиковская

Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, godzanna@mail.ru

Первыми публикациями по проблеме засоренности региональных каталогов землетрясений промышленными взрывами и возможности распознавания событий разной природы по форме записей на аналоговых сейсмограммах были работы [1, 2]. На рис. 1 указаны территории, для которых, начиная с 1981 по 2000 г., проводилась оценка засоренности исходного каталога землетрясений промышленными взрывами. Исследования выполнены для ограниченных территорий и интервалов времени. Обзор результатов приведен в [3, 4].

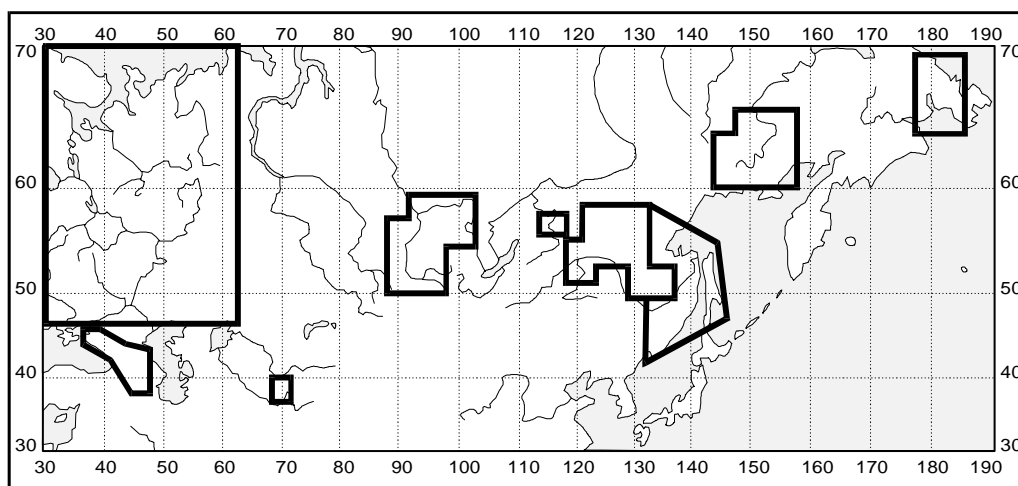


Рис. 1. Территории, для которых проводилась оценка засоренности исходных каталогов землетрясений взрывами

В настоящее время, как показано в [5], процент взрывов, попадающих в каталоги в качестве тектонических землетрясений, значимо искажает пространственно-временную характеристику сейсмичности регионов. Учитывая актуальность данной проблемы, рассмотрим основные приемы выявления взрывов в каталогах землетрясений и основные распознавательные признаки местных взрывов и землетрясений на записях аналоговых сейсмограмм, характерные для большинства регионов.

В результате анализа данных бюллетеней и каталогов можно выявить местоположение ложных очаговых зон (ЛОЗ) и определить энергетический класс сейсмических событий, среди которых находятся в основном промышленные взрывы. При задачах по уточнению исходной сейсмичности (УИС) для конкретного объекта результаты такого анализа вполне достаточны. Однако в исследованиях по определению уровня сейсмической опасности в слабоактивных регионах, где особый интерес представляет самое слабое землетрясение, необходимо знать природу каждого сейсмического события, чтобы исключить из бюллетеней и каталогов каждый взрыв. Эту задачу при благоприятных условиях можно провести только по конкретным записям на сейсмограммах.

Ниже в табличном виде приводятся типы построений и их интерпретация по данным каталогов, бюллетеней сейсмических станций и сейсмограмм.

Выявление наличия взрывов в каталогах землетрясений. Взрывы обычно имеют вполне определенную пространственно-временную привязку и достаточно ограниченный времен-

ной интервал времени. Это упрощает обнаружение взрывов в каталогах землетрясений. Для этого на картах эпицентров выделяют скопление событий близких энергетических классов и для них строят распределения по времени суток, а в отдельных случаях и по дням недели. Для тектонических зон характерно распределение тектонических событий по времени суток, близкое к равномерному, но для взрывов оно не равномерное.

Вид построения	Интерпретация
Строятся карты эпицентров (рис. 2–4)	Выявляются локальные зоны скоплений сейсмических событий средних и малых энергетических классов, которые потенциально могут оказаться ЛОЗ. Обычно для сейсмически активных зон характерно скопление эпицентров широкого энергетического уровня.
Для локальных очаговых зон строятся распределения сейсмических событий по времени суток (врезки на рис. 2–4)	По характеру распределения определяется наличие ложных очаговых зон и процентное содержание в них взрывов. Для ЛОЗ будет наблюдаться значительный количественный максимум в узком створе времени суток. Для естественной сейсмической активности за достаточно представительный период наблюдений (год и более) характерно равномерное распределение событий по времени суток.

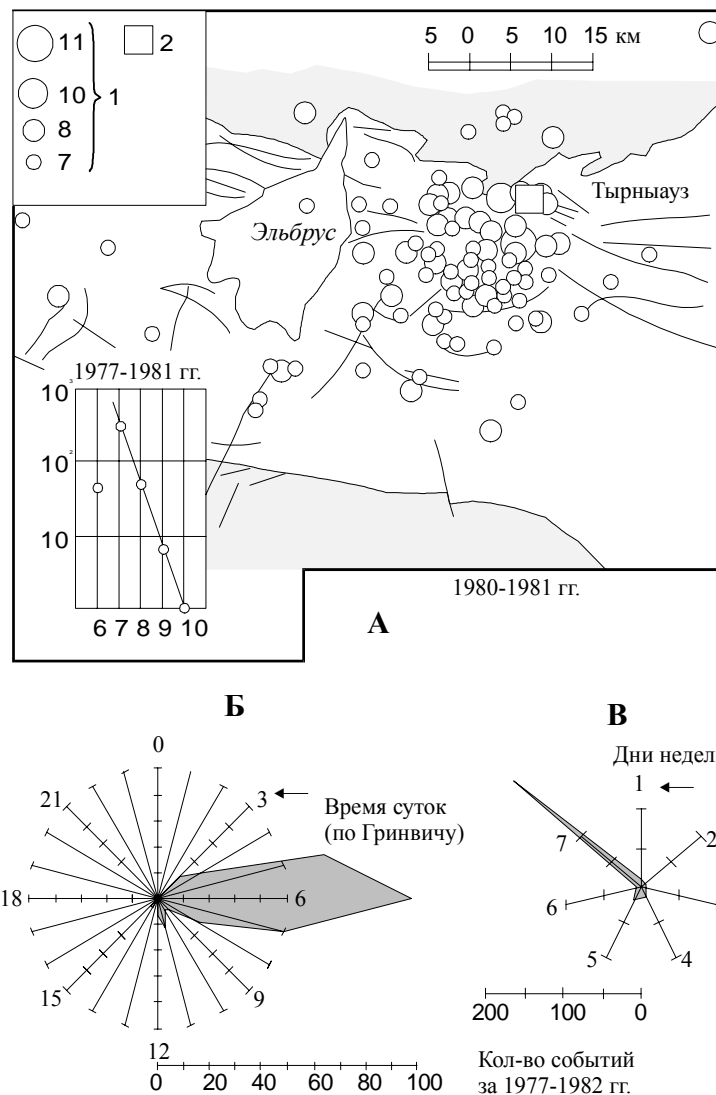


Рис. 2. Карта эпицентров сейсмических событий Приэльбрусья и график повторяемости (А); диаграмма распределения событий по времени суток (Б) и дням недели (В) (исходный материал из [6])

1 – энергетический класс K_p ; 2 – карьер Тырнауз.

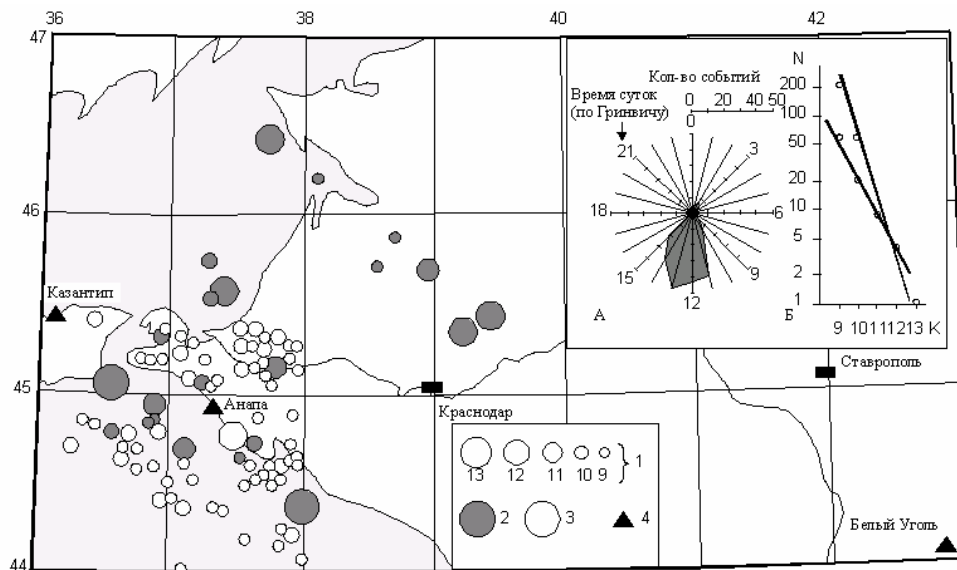


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений вблизи Анапы за 1968–1990 гг., диаграмма распределений событий по времени суток (А), график повторяемости (Б) (исходный материал – сейсмограммы станций «Анапа», «Белый Уголь» и каталог [7])

1 – энергетический класс K_p ; 2, 3 – события, зарегистрированные и не зарегистрированные на сейсмической станции «Белый Уголь» соответственно; 4 – сейсмическая станция.

Отсутствие записей на сейсмограммах сейсмической станции «Белый Уголь» сейсмических событий с $K_p > 8$ является косвенным признаком их взрывной природы. Этот район Кавказа находится в области надежной регистрации станцией «Белый Уголь» событий с $K_p > 8$. В данном случае произошло завышение энергетического класса, так как за вступление и амплитуду S -волн были взяты вступления и амплитуды Lg -волн, в результате чего значительно были завышены эпицентральный расстояние и амплитуда, и, как следствие, энергетический класс K_p (на $\Delta K = 1.5–2.0$).

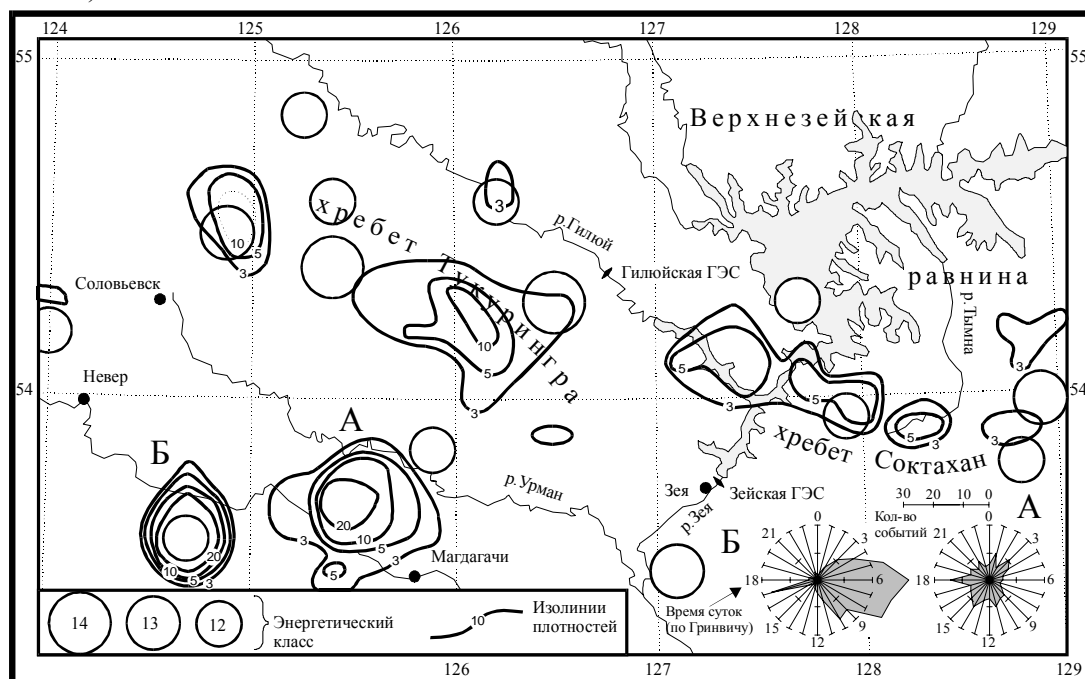


Рис. 4. Карта плотности эпицентров сейсмических событий северо-западной части Приамурья и Приморья и диаграммы распределений их по времени суток для «сейсмических структур повышенной плотности» А и Б (исходный материал – сейсмограммы и бюллетени станций «Зей», «Кировский», «Бомнак», каталог машинного банка данных, списки взрывов из [8])

Как видно из распределений на врезках рис. 4, структура «Б» имеет техногенную природу, а структура «А» является следствием тектонической активности.

Обратим внимание на то, что для ряда ЛОЗ за некоторый период времени наблюдений для взрывов получается вполне убедительный график повторяемости, как это видно на врезках рис. 2, 3. Это обстоятельство часто служило «доказательством» того, что сейсмичность является тектонической. Однако получение правдоподобного графика повторяемости обуславливается тем, что взрывы большими зарядами производятся редко, взрывы средних зарядов – чаще, наиболее многочисленны взрывы малых зарядов. Такая закономерность совпадает с законом повторяемости землетрясений и, следовательно, создает условия для вполне сейсмогенного графика повторяемости для взрывов.

Подобные построения для районов Восточно-Европейской платформы, Забайкалья, Чукотки, Средней Азии (района Рогунской ГЭС) приведены в [3, 4, 9].

Анализ бюллетеней сейсмических станций. В региональный каталог землетрясений попадают события, которые зарегистрированы тремя и более сейсмическими станциями. Так как взрывы проводятся в основном небольшими зарядами, значительная часть их регистрируется только одной ближайшей станцией. Таким образом, в каталоги попадает только часть взрывов, которая в некоторых случаях является не столь очевидной. Проблема очень четко проявляется при целенаправленном анализе бюллетеней сейсмических станций.

Вид построения	Интерпретация
Распределения всех сейсмических событий по $(t_S - t_P)$ для конкретной станции (рис. 5)	На рисунках обозначаются расстояния, на которых регистрируется наибольшее число сейсмических событий, где могут находиться или очаговые зоны, или регулярно действующие карьеры
График распределения по времени суток всех сейсмических событий в разных диапазонах $(t_S - t_P)$ (рис. 6)	Естественное сейсмическое поле на таком графике будет представлено «рваной структурой», в то время как регулярно действующие карьеры будут создавать устойчивые «узкие» максимумы
График распределения событий с близкими значениями $(t_S - t_P)$ (или эпицентрными расстояниями) по времени суток (врезки на рис. 5)	Для тектонических зон характерно распределение сейсмических событий, близкое к равномерному. Значительная неравномерность распределений определяет зоны, в которых проводятся взрывы

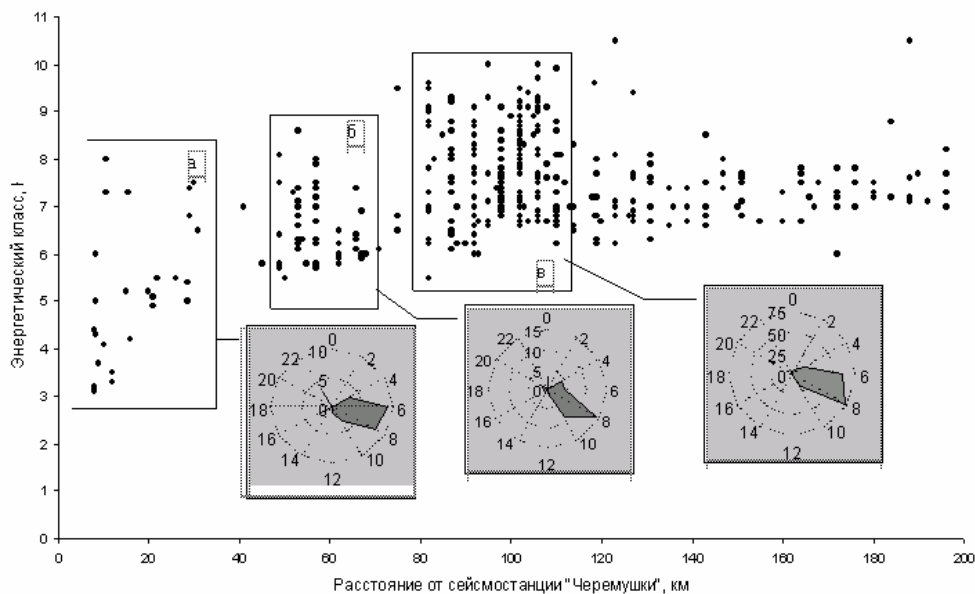


Рис. 5. Распределение сейсмических событий всех энергетических классов по расстояниям, рассчитанным по временам $(t_S - t_P)$, и (на врезках) по времени суток (исходный материал – бюллетени станции «Черёмушки»)

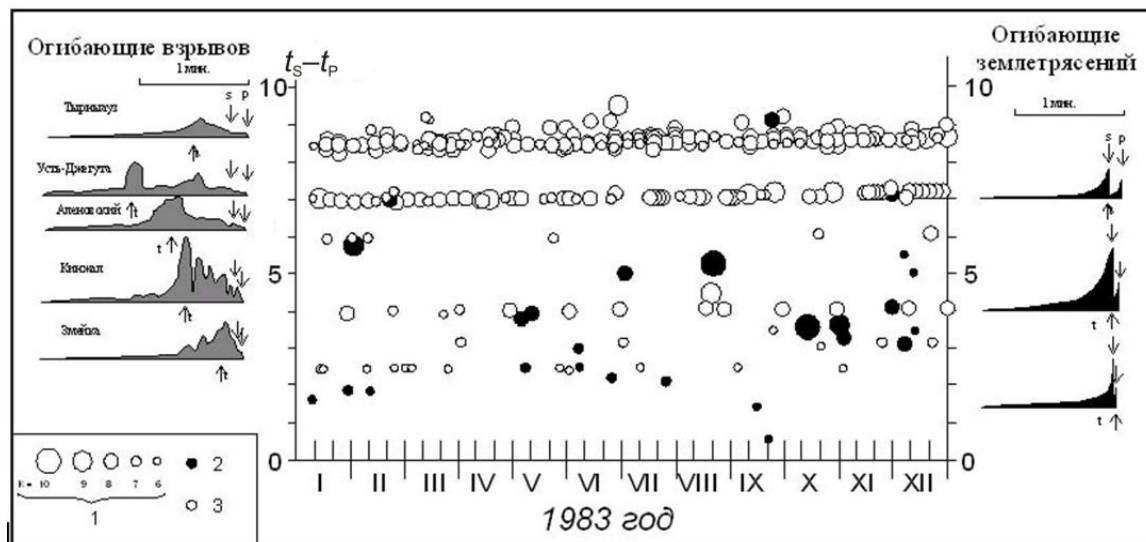


Рис. 6. Распределение взрывов и землетрясений за 1983 г. по $(t_s - t_p)$ и характерные огибающие записей сейсмических событий (исходный материал – бюллетени и сейсмограммы станции «Белый Уголь»)

1 – энергетический класс K_p ; 2, 3 – землетрясение и взрывы соответственно.

На рис. 6 огибающие записей взрывов и землетрясений приведены на разных уровнях значений $(t_s - t_p)$ по вертикальной оси, которые соответствуют разным эпицентральных расстояниям от сейсмической станции «Белый Уголь». Из рисунка видно, что более 95% событий, зарегистрированных станцией «Белый Уголь» в 1983 г., являются взрывами с $K_p=7-10$. На огибающих взрывов и землетрясений видно, насколько отличаются записи землетрясений и взрывов, и как заметно отличаются огибающие записей взрывов из каждого карьера. Подробнее об особенностях огибающих написано в [3].

Анализ сейсмограмм сейсмических станций. Анализ бюллетеней сейсмических станций и каталогов землетрясений выявляет существование в регионе проблемы засоренности их взрывами. Однако приуроченность сейсмического события к определенному времени суток не может быть распознавательным признаком. Дело в том, что во время проведения массовых промышленных взрывов может происходить и землетрясение. И наоборот, отдельные взрывы по разным причинам могут проводиться в любое время суток. Исключать взрывы из каталогов землетрясений можно или на основании сведений от организаций, проводящих взрывные работы, или по выявленным распознавательным признакам на сейсмических записях. Первый путь неэффективен, т.к. получить сведения от соответствующих организаций о проведенных взрывных работах в большинстве регионов зачастую невозможно.

Второй путь оказался более надежным, поскольку он базируется на вполне понятных физических предпосылках, основными составляющими которых являются природа события (1), среда между источником и местом расположения регистрирующей аппаратуры (2), амплитудно-частотная характеристика аппаратуры (3). Об этом подробно описано в [3], где отмечены основные распознавательные признаки. На записях взрывов максимальные амплитуды колебаний A_{max} находятся в основном на Z-составляющей. По времени A_{max} значительно удалены на записи от вступлений S-волн и приурочены к цугам поверхностных волн. Периоды колебаний A_{max} значительно больше периодов колебаний S-волн. Различия в форме записи этих сейсмических событий будут уменьшаться в том случае, если карьерные взрывы и регистрирующая аппаратура находятся в районе выхода на поверхность кристаллического фундамента. Постоянство среды между сейсмической станцией и конкретным пунктом взрыва приводит к устойчивой картине колебаний. Описанные различия хорошо видны из построений огибающих взрывов и землетрясений, представленных на рис. 6. На рис. 7 даны сейсмограммы, по которым были отработаны приемы распознавания и построены огибающие записей, приведенные на рис. 6.

Основываясь на физических предпосылках ожидаемых распознавательных признаков взрывов и землетрясений, можно предложить следующие формализованные пути обработки записей этих событий.

Вид работ	Интерпретация
Определяется энергетический класс местных сейсмических событий по разным группам волн: по длительности записи – Kd ; по кода-волнам – Kc (номограмма Э.А. Джибладзе [11]) и по объемным P - и S -волнам (номограмма Т.Г. Раутиан [12]) – Kp	Соотношение Kd , Kc и Kp является критерием распознавания взрывов и землетрясений В большинстве регионов, при отсутствии резонансных эффектов на трассе очаг–точка регистрации, получено: для землетрясений $Kd=Kc=Kp$; для взрывов – $Kd < Kc$ и $Kp < Kc$

Нужно отметить, что визуальный анализ аналоговой записи, с которого начинается обработка любых сейсмограмм, при распознавании взрывов и землетрясений является самым эффективным методом. В [3] приведены результаты анализа формализованных признаков распознавания. Оказалось, что этот подход дал значительно меньший эффект, чем визуальный анализ самих сейсмических записей. При сопоставительном анализе спектральных особенностей записей взрывов и землетрясений результаты были таковы. Примерно для 25% событий результаты распознавания по формализованным признакам имели неоднозначную оценку: то ли взрыв, то ли землетрясение. Это хорошо согласуется с результатами, полученными В. Асмингом при подобных исследованиях по цифровым записям [13]. И вовсе по формализованным признакам нельзя было сказать, в каком карьере произошел взрыв. В то время как, глядя на сейсмограмму, можно было однозначно для каждого события сказать, взрыв это или землетрясение, и указать, в каком карьере провели тот или иной взрыв (см. рис. 6, 7).

Основные распознавательные признаки для взрывов и землетрясений оказались общими для всех регионов, указанных на рис. 1. Однако наиболее информативными были записи сейсмических станций «Белый Уголь» на Северном Кавказе и «Радон» в Средней Азии. Объясняется это тем, что на этих станциях характеристика регистрирующих приборов была «вытянута» в сторону больших периодов, т.е. достаточно надежно регистрировались колебания с периодом $T=2-4$ с. Эти периоды характерны для поверхностных волн при близких сейсмических событиях.

Безусловно, информативные возможности каждой станции различны. Но, как правило, в регионах удавалось выбрать «индикаторную» станцию, на которой признаки распознавания взрывов и землетрясений были наиболее уверенные. Это позволяет провести ретроспективный анализ всех накопившихся сейсмограмм заранее выявленных «индикаторных» станций для выявления взрывов, попавших в каталоги землетрясений за многие годы.

Приведенные признаки распознавания, как оказалось, характерны и для цифровых записей. Работ по распознаванию местных взрывов и землетрясений по цифровым записям довольно много. Обзор этих работ выходит за пределы настоящей работы. К примеру, более 10 лет в этом направлении работают В. Асминг [13] и И.П. Габсатарова [14].

Нужно обратить внимание на следующее:

- цифровые станции в большинстве регионов работают 5–10 лет. Только на Северном Кавказе в районе Кисловодска цифровая группа работает порядка 20 лет. Однако архивы аналоговых сейсмограмм на том же Кавказе на некоторых станциях насчитывают более 100 лет наблюдений и в большинстве остальных регионов – 50–60 лет;

- поиск и реализация распознавательных признаков с использованием цифровых записей разрешает применять технологии анализа, которые не доступны при использовании аналоговых записей. Однако при всех видах формализованных анализов порою что-то теряется. И это что-то может лежать в области распознавательных признаков.

Так или иначе, те приемы, которые были разработаны по материалам аналоговой сейсмической станции «Белый Уголь» и опробованы в большинстве регионов России, и в настоящее время являются достаточно актуальными. И этот опыт, приведенный в [3], дает надежду на возможную чистку региональных каталогов землетрясений за многие годы от попавших в них взрывов.

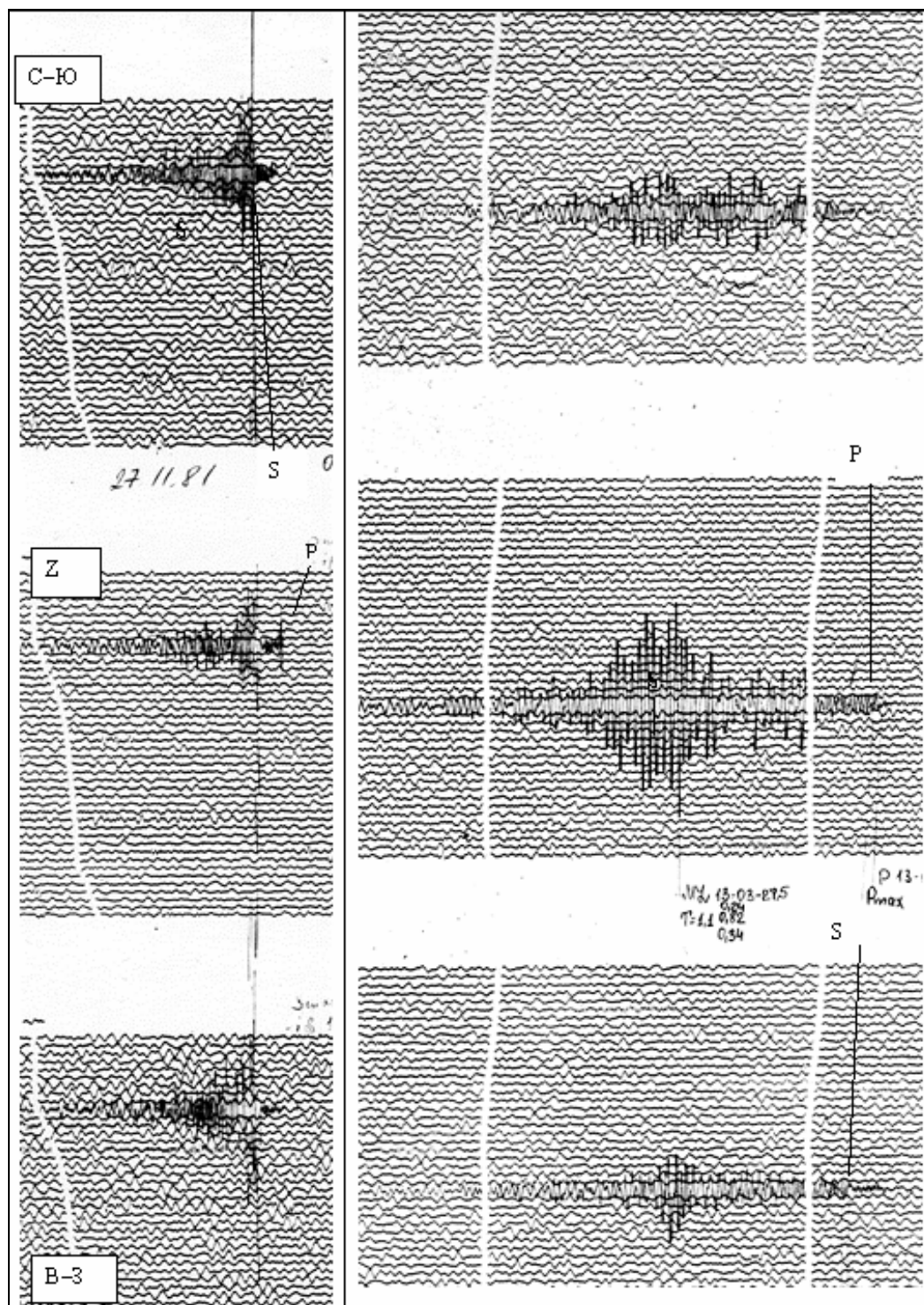


Рис. 7. Примеры записи землетрясения 27.11.1981 г. и взрыва 24.12.1984 г.
(в карьере «Аленовский»)

Л и т е р а т у р а

1. Годзиковская А.А. Задача распознавания карьерных взрывов и местных землетрясений // Сильные землетрясения и сейсмические воздействия (Вопросы инженерной сейсмологии, Вып. 28). – М.: Наука, 1987. – С. 232–236.
2. Годзиковская А.А. Региональные каталоги и сейсмологические банки данных // Физика Земли. – 1989. – № 3. – С. 91–93.

3. **Годзиковская А.А.** Местные взрывы и землетрясения. – М.: Личный архив, 1995. – 100 с.
4. **Годзиковская А.А., Бесстрашнов В.М., Лабзина Е.Ю.** Землетрясения и взрывы Восточно-Европейской платформы // Природные опасности России; сейсмические опасности. – М.: Крук, 2000. – С. 46–53.
5. **Михайлова Р.С.** Региональные особенности распределения землетрясений во времени // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Третьей Международной сейсмологической школы. Кисловодск, 20–24 октября 2008 г. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 93–109.
6. **Сейсмологический бюллетень Кавказа** // Ежегодники 1972–1988 гг. – Тбилиси: Мецниереба, 1974–1991.
7. **Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Горячун А.В.** Землетрясения Крымско-Черноморского региона. – Киев: Наукова думка, 1989. – 190 с.
8. **Списки взрывов Приамурья, Приморья.**
<http://www.wdcb.ru/sep/seismology/method/Primorje/index.ru.html>
9. **Годзиковская А.А.** Особенности сейсмоструктур эпицентрального поля Приамурья и Приморья // Физика Земли. – 1998. – № 10. – С. 71–77.
10. **Годзиковская А.А.** Особенности сейсмического фона и деформационные проявления в районе строительства Рогунской ГЭС // Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. В 2-х томах. Архангельск, 13–18 сентября 2004 г. (Т. I). – Архангельск: Институт экол. проблем Севера УрОРАН, 2004. – С. 177–181.
11. **Джибладзе Э.А., Шенгелия И.С.** Определение энергетического класса K , макросейсмической интенсивности I и сейсмического момента M_0 землетрясений Кавказа по амплитудам коды // Сейсмический режим Кавказа – Тбилиси: Мецниереба, 1980. – С. 150–160.
12. **Раутиан Т.Г.** Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика (Труды ИФЗ АН СССР; № 32(199)). – М.: Наука, 1964. – С. 88–93.
13. **Асминг В.** <http://www.krsc.ru>
14. **Габсатарова И.П.** Методика выявления взрывов в ряде районов действующих карьеров Кавказа // Землетрясения Северной Евразии в 2000 г. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 347–358.