

ПРОБЛЕМА ЗАСОРЕННОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ВЗРЫВАМИ

КАТАЛОГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ АРМЕНИИ в 2006–2008 гг.

Михайлова Р.С., Габсатарова И.П., Артёмов Е.В.

Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, raisa@gsras.ru

Объемы информации в оригиналах каталогов землетрясений Армении, присланные в редколлегию для трех последних выпусков сборника «Землетрясения Северной Евразии» за 2006–2008 гг. [1–3], резко возросли и составили $N_{\Sigma}=1306$ [4], 1901 [5], 1667 [6] сейсмических событий соответственно. В то время как, например, в 2004 и 2005 гг. это было 560 [7] и 546 [8] землетрясений. Все события названы авторами каталогов землетрясениями.

Чем же можно объяснить такое резкое увеличение их числа? И прежде всего ответ на этот вопрос необходимо получить непосредственно для территории Армении внутри ее государственных границ, т.к. именно для этой территории ежегодно анализируются пространственно-временные проявления сейсмического процесса.

С этой целью сравним, например, карты эпицентров землетрясений Армении за 2005 г. [9] и 2008 г. [10]. Эти карты изображены на рис. 1 а, б.

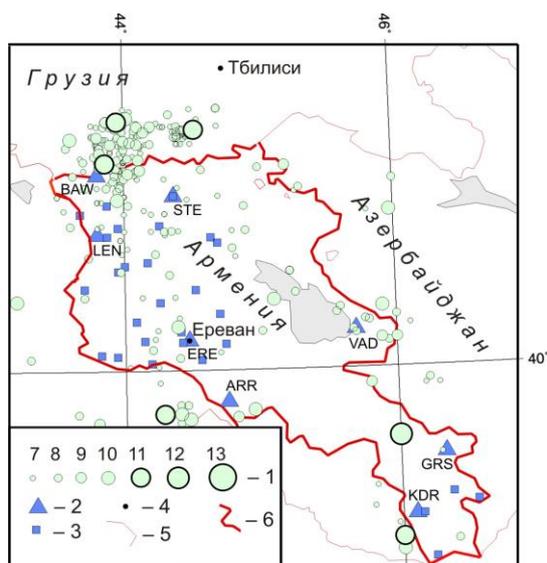


Рис. 1 а. Карта эпицентров землетрясений в пределах Республики Армения за 2005 г.

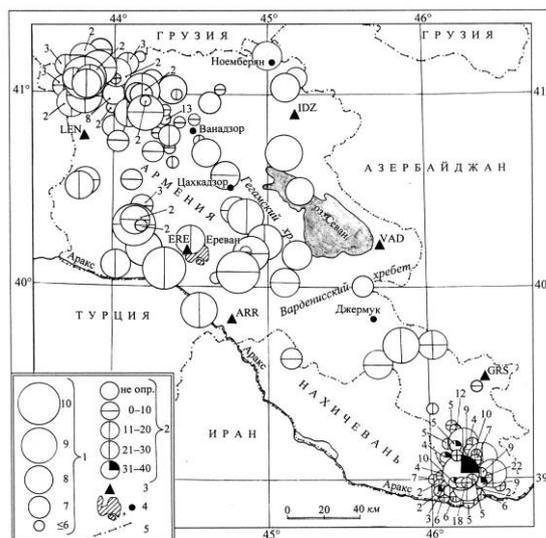


Рис. 1 б. Карта эпицентров сейсмических событий в пределах Республики Армения за 2008 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2, 3 – сейсмическая станция, аналоговая и телеметрическая соответственно; 4 – населенный пункт; 5, 6 – государственная граница соседних стран и Армении соответственно.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3 – сейсмическая станция; 4 – г. Ереван и населенный пункт соответственно; 5 – государственная граница.

Как видим, на представленных картах, несмотря на разные форматы, сейсмичность Армении севернее $\varphi_1=40^\circ N$ как в 2005 г., так и в 2008 г. примерно одного уровня. Но абсолютно другая ситуация наблюдается на юге Армении, вблизи широты $\varphi_2=39^\circ N$: в 2005 г. здесь возникло всего три события, а в 2008 г. – 187. Они локализованы на небольшой площадке с координатами $\varphi=38.8\text{--}39.3^\circ N$, $\lambda=46.1\text{--}46.4^\circ E$. Рост числа событий на юге Армении начался еще в 2006 г., когда их стало $N_{\Sigma}=26$. В 2007 г. оно возросло до $N_{\Sigma}=63$. Общая картина последовательного нарастания количества событий разных энергетических классов во времени изображена на рис. 2.

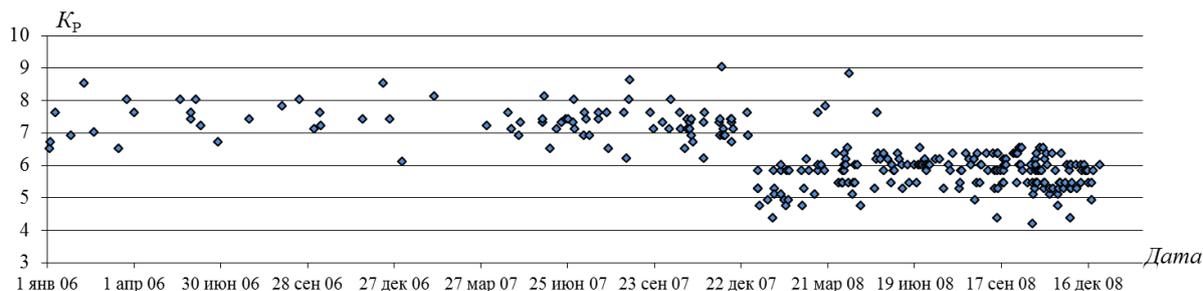


Рис. 2. Развертка во времени сейсмических событий разных энергетических классов на юге Армении (вблизи пос. Агарак) за 2006–2008 гг.

Ширина энергетического диапазона событий в 2006 г. составила $\Delta K=8.5-6.5=2.0$, т.е. все 26 событий слабые, их классы варьируют в пределах двух порядков энергии. В 2007 г. – $\Delta K=8.1-6.1=2.0$, т.е. также в пределах двух порядков, если исключить два одиночных события с $K_p=8.6$ и 9.0 . В 2008 г. вид графика иной: событий стало еще больше ($N_{\Sigma}=187$), но, по не выясненной пока причине, вся полоса энергетических классов всех событий, кроме четырех, «упала вниз» примерно на два порядка, от $K_{\max}=6.5$ до $K_{\min}=4.2$, при сохранении в целом ширины энергетического диапазона $\Delta K=2.3$, сравнимым с таковыми за 2006–2007 гг.

Проанализируем, однако, время возникновения событий за каждый год в отдельности. Для этого применим тест на взрывы, введенный в сейсмологическую практику А.А. Годзиковской [11], а именно построим лепестковые диаграммы распределения числа событий по часам суток – $N(t)$. Если это землетрясения, то такое распределение в течение суток достаточно равномерно; если же это взрывы, то оно становится резко асимметричным, поскольку взрывы производят чаще днем и в случае массового их производства – в определенные часы. Итак, рассмотрим функции $N(t)$ за три года (2006–2008 гг.), где t – время в очаге. Результат изображен на рис. 3.

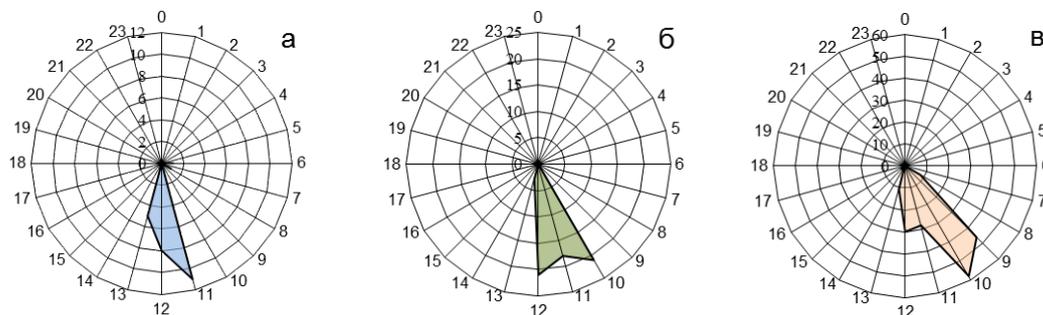


Рис. 3. Распределение сейсмических событий на юге Армении по часам суток в 2006 г. ($N_{\Sigma}=26$, а), в 2007 г. ($N_{\Sigma}=63$, б), в 2008 г. ($N_{\Sigma}=187$, в)

Как видим, на всех трех фрагментах распределения $N(t)$ асимметричны, время возникновения событий в основном в 11^h-13^h в 2006 г., в 10^h-12^h – в 2007 г., в 9^h-12^h – в 2008 г.

Что же происходит на юге Армении, откуда могут появиться взрывы?

Статья в Википедии сообщает нам о поселке Агарак ($38^{\circ}52' N$, $46^{\circ}12' E$) следующее: «Медно-молибденовое месторождение было открыто здесь еще в 1853 г., а в 1958 г. в поселке был открыт медно-молибденовый комбинат, который включает карьер и обогатительную фабрику. В 1989 г. работа комбината прекратилась и была возобновлена только в 2000 г. За первое полугодие в 2004 г. комбинат произвел продукции на 3.983 млрд драм, или +11.9 % к предыдущему году. Экспорт за этот период увеличился на 8.5 % и составил 1.771 млрд драмов (драм – денежная единица Армении, введенная в наличное обращение с 22 ноября 1993 г. вместо советского рубля). В настоящее время комбинат обеспечивает работой около 1000 человек, т.е. пятую часть всего населения города». Таким образом, взрывы (вероятно) связаны с добычей руды для медно-молибденового комбината.

Рассмотрим теперь скопление эпицентров, в которых также выделена промышленная активность, на соседних территориях – в Иране и Грузии (рис. 4).

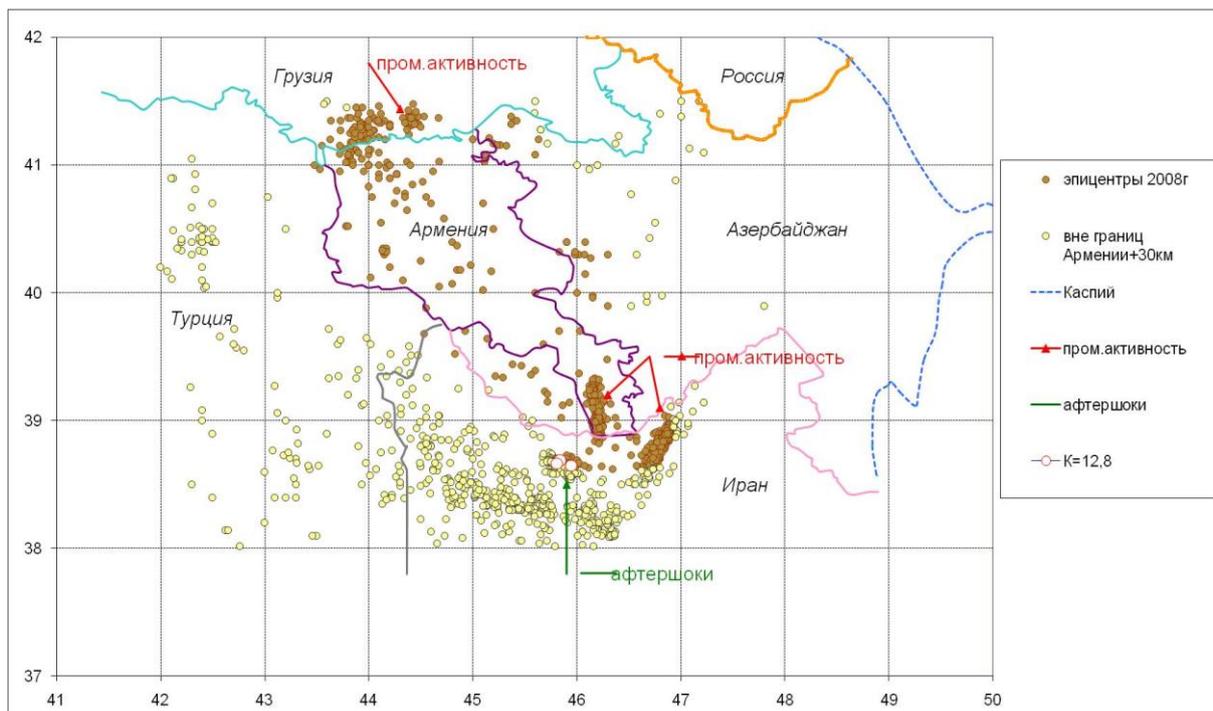


Рис. 4. Три площадки взрывов на карте эпицентров сейсмических событий Армении и прилегающих территорий за 2008 г.

На выделенной площадке на севере Ирана (координаты узлов: 1. 38.40°N, 46.65°E; 2. 38.65°N, 46.50°E; 3. 39.20°N, 47.00°E; 4. 39.00°N, 47.10°E), как и на юге Армении, число событий с каждым годом возрастало: $N_{\Sigma}=96$ в 2006 г., 301 – в 2007 г., 450 – в 2008 г. Развертка событий разных классов по времени их реализации дана на рис. 5.

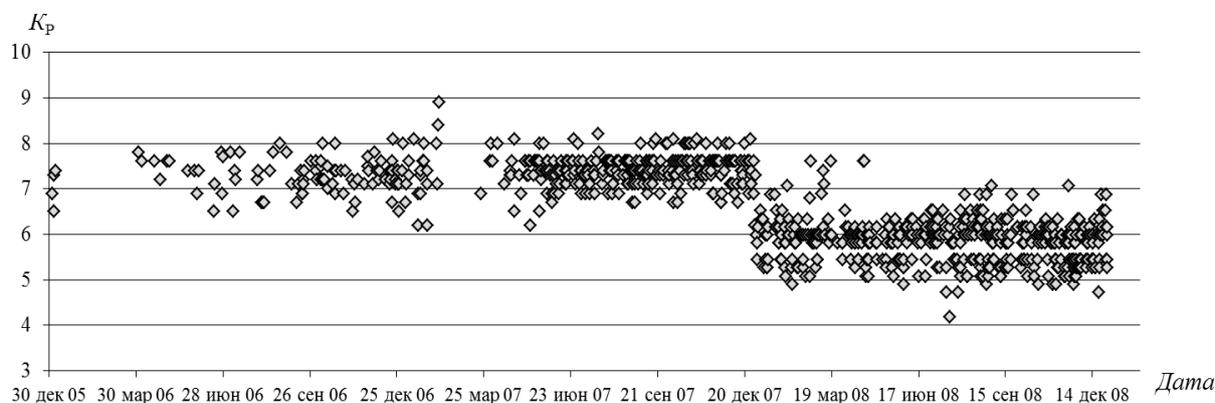


Рис. 5. Развертка во времени сейсмических событий разных энергетических классов на севере Ирана за 2006–2008 гг.

Здесь так же, как и на рис. 2, вся полоса значений энергетических классов за 2008 г. лежит на графике ниже, чем за 2006–2007 гг. Из 450 событий за 2008 г. максимальный класс равен $K_{\max}(2008 \text{ г.})=7.6$, т.е. на порядок меньше, чем на юге Армении, минимальный класс также упал на два порядка и равен $K_{\min}(2008 \text{ г.})=4.2$.

Распределение времени возникновения всех указанных событий по часам суток за 2006–2008 гг. дано на диаграммах рис. 6 а–в.

Эти диаграммы однозначно свидетельствуют о техногенной природе сейсмических событий с выделенной площадки, т.к. почти все они возникли примерно в $8^{\text{h}} (30 \pm 5)^{\text{m}}$ по Гринвичу. На четвертом фрагменте рис. 6 в дана диаграмма распределения событий 2008 г. по дням недели, откуда видно, что в пятницу (день молитвы у мусульман) событий нет.

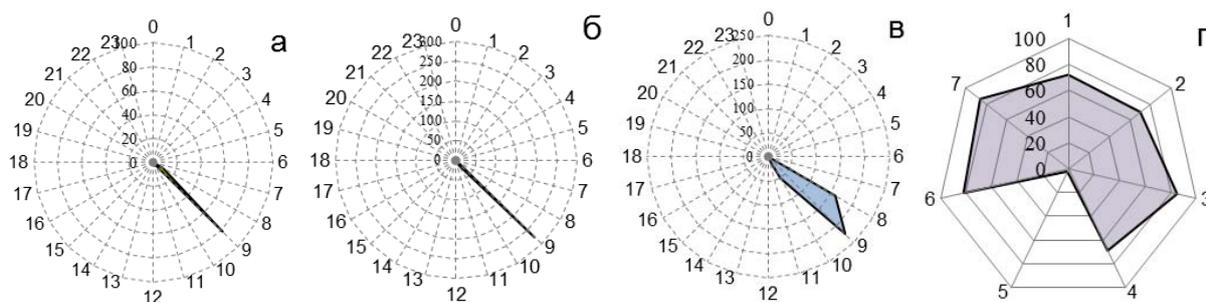


Рис. 6. Распределение сейсмических событий на севере Ирана по часам суток в 2006 г. ($N_{\Sigma}=96$, а), в 2007 г. ($N_{\Sigma}=301$, б), в 2008 г. ($N_{\Sigma}=450$, в); распределение числа событий в 2008 г. по дням недели (г)

Чем же могут быть вызваны взрывные работы в этом районе? Горная энциклопедия в статье про Иран приводит горно-промышленную карту (http://www.mining-enc.ru/images/z/8/iran3_resize.jpg). На ней видно несколько месторождений в исследуемом районе, в том числе медные рудники Сунгун (Sungun Copper Mine $\varphi=38.689^{\circ}\text{N}$, $\lambda=46.704^{\circ}\text{E}$). Возможно взрывные работы связаны и со строительством газопровода Тебриз (Иран–Мегри (Армения) или с другой деятельностью. Первый этап проекта газопровода Иран–Армения включал строительство участка в 100 км по территории Ирана – Тебриз–Мегри и 41 км участка по территории Армении – Мегри–Каджаран. Строительство армянского участка газопровода началось в Агараке в ноябре 2004 г. Участок Тебриз–Мегри–Каджаран был сдан в эксплуатацию в марте 2007 г. Тогда, возможно, что часть техногенных событий, рассмотренная на рис. 1 б, связана и со строительством названного газопровода.

И, наконец, третья группа «подозрительных» сейсмических событий расположена на юге Грузии (рис. 4), но в пределах тридцатикилометровой приграничной полосы перекрытия обработки землетрясений Армении с Грузией. Именно по этой причине они присутствуют в каталогах РА. Речь идет о маленьком облаке эпицентров в пределах координат $\varphi=41.23\text{--}41.48^{\circ}\text{N}$, $\lambda=44.33\text{--}44.53^{\circ}\text{E}$ чуть восточнее Джавахетского нагорья, хорошо известного сейсмологам своей постоянной сейсмической активностью. Эпицентры землетрясений в Джавахетском нагорье приближенно в пределах координат $\varphi=40.9\text{--}41.4^{\circ}\text{N}$, $\lambda=43.6\text{--}44.2^{\circ}\text{E}$ также хорошо видны на рис. 4.

Близость названных площадок может быть использована в данном исследовании в сравнительных целях: как распределены во времени тектонические землетрясения Джавахетского нагорья и техногенные события на небольшом удалении от него, вблизи пос. Казрети (рис. 7).

На этих площадках в 2008 г. локализовано 111 и 27 сейсмических событий соответственно, однако природа этих событий совершенно разная, как следует из лепестковых диаграмм (рис. 8). В Джавахетском нагорье получено достаточно равномерное распределение по часам суток, следовательно, зарегистрированы землетрясения. Но события в окрестности Казрети похожи на взрывы, т.к. возникли в узком промежутке времени – с 9^h до 13^h по Гринвичу.

Далее анализируются только события вблизи пос. Казрети. Развертка их энергетических классов за 2005–2008 гг. вдоль временной оси дана на рис. 8 и свидетельствует о довольно активной стабильной деятельности в карьере Казрети.

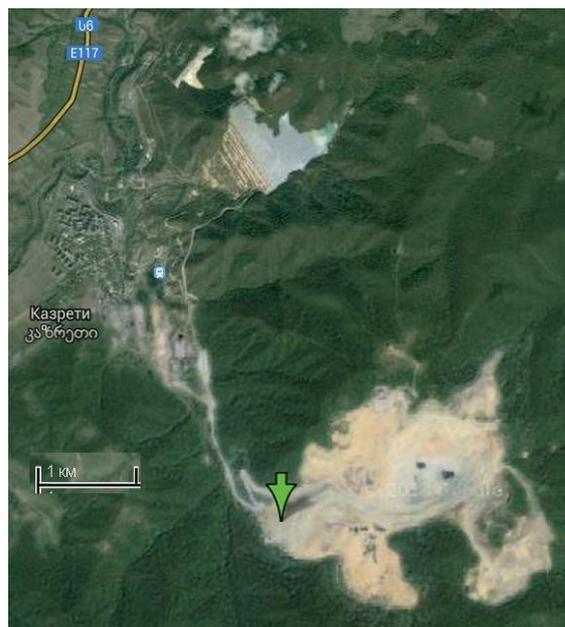


Рис. 7. Карта Google для района вблизи пос. Казрети на юге Грузии. Стрелка указывает на среднее значение координат эпицентров вблизи Казрети на фоне спутникового снимка Google

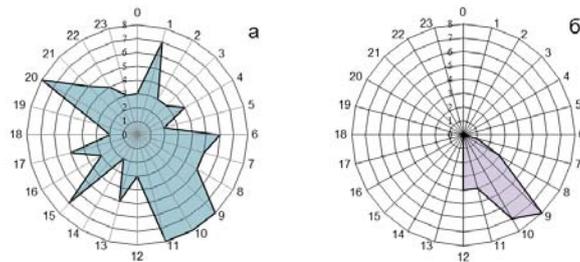


Рис. 8. Распределение землетрясений в Джавахетском нагорье по часам суток ($N_{\Sigma}=111$, а) и сейсмических событий вблизи пос. Казрети ($N_{\Sigma}=27$, б) за 2008 г.

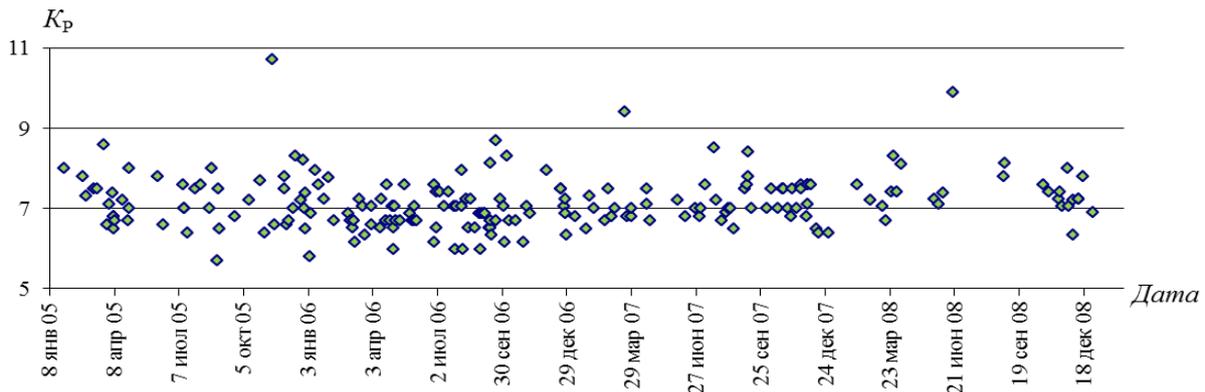


Рис. 9. Развертка во времени сейсмических событий разных энергетических классов на юге Грузии за 2006–2008 гг.

Особо отметим, что на этом графике полоса значений классов K_p тянется примерно на одинаковом уровне $K_p=7\pm 1$ все четыре года и абсолютно нет смещения вниз полосы в 2008 г., как на юге Армении и севере Ирана.

Построенные для событий вблизи пос. Казрети лепестковые диаграммы распределения их по часам суток в 2005–2008 гг. (рис. 10) неопровержимо свидетельствуют о том, что все они являются взрывами, т.к. имеют только определенные часы их реализации в течение суток.

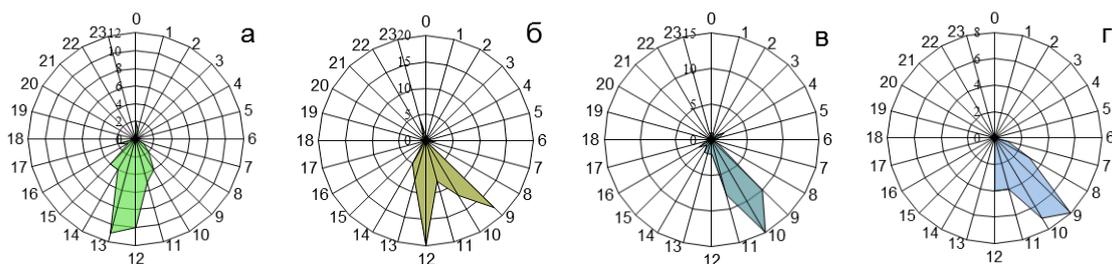


Рис. 10. Распределение сейсмических событий в карьере Казрети по часам суток в 2005 г. ($N_{\Sigma}=48$, а), в 2006 г. ($N_{\Sigma}=85$, б), в 2007 г. ($N_{\Sigma}=52$, в), в 2008 г. ($N_{\Sigma}=27$, г)

Цифровые записи станции «Гарни»

В дополнение к проведенным выше статистическим исследованиям для ряда событий рассмотрены цифровые записи станции «Гарни», входящей в Глобальную сеть сейсмических наблюдений IRIS, с целью возможного нахождения признаков на записях, которые могут быть дополнительно использованы для распознавания природы сейсмических событий из каталога [6]. Ориентировочные значения удаленности станции «Гарни» (GNI) составили для карьера Казрети – 140 км, юга Армении – 160–180 км, севера Ирана – в среднем 230 км. Для исследования были использованы архивы Глобальной сети IRIS, поступающие в информационно-обработывающий центр ГС РАН из NEIC (Геологическая служба США).

Методика распознавания взрывов, применяемая последние 15 лет наблюдений на Северном Кавказе, описана в [12, 13] и отработана на материалах наблюдений цифровыми

станциями, установленными в центральной части Северного Кавказа во второй половине 90-х гг. прошлого столетия.

В качестве признаков распознавания взрывов и землетрясений использовались:

1-й – отношения спектральных амплитуд Pg/Sg -волн в разных частотных полосах и логарифмов спектральных отношений;

2-й – метод спектрограмм, дающий наибольший эффект для выявления короткозамедленных взрывов в карьерах;

3-й – анализ характерных особенностей огибающих записей взрывов и землетрясений в выбранной полосе частот $\Delta f=4\text{--}16\text{ Гц}$ или $8\text{--}20\text{ Гц}$ и классификации событий с помощью кластерного анализа;

4-й – пространственное и временное распределение событий также использовалось как дополнительный признак.

В нарушение перечисленного порядка 4-й признак уже был детально рассмотрен выше и получены однозначные результаты. Теперь кратко остановимся на 2-м признаке.

Метод спектрограмм. Одним из распространенных методов анализа цифровых записей на обнаружение события и исследования его специфической спектрально-временной картины является метод спектрограмм. Частотный состав записей сейсмических событий изменчив во времени. Поэтому мгновенные спектры записей событий бывают недостаточно информативными. В таких случаях спектрально-временные диаграммы (спектрограммы), иллюстрирующие изменение спектра событий во времени, могут оказаться более информативными относительно простых спектров, как на этапе выделения сейсмического события, так и при распознавании взрывов и землетрясений.

При построении спектрограмм по записи события скользит временное окно, для каждого положения которого рассчитывается спектр мощности (энергетический спектр) или его спектральная плотность. Иногда для наглядности в спектрограммах амплитуда спектра мощности нормируется на максимум и отображается в цветовой гамме двумерного изображения, как, например, на рис. 11. Трехмерное изображение позволяет более наглядно выявить изменчивость во времени частотного состава, а также обнаружить некую «полосатость» в спектре на протяжении всей записи, характерную для короткозамедленного взрыва и связанную с отражением временной задержкой взрывания групп зарядов (рис. 12). Такие особенности в записи лучше видны при частоте квантования не менее 40–50 отсчетов в секунду, так как такие задержки, как правило, составляют доли секунд.

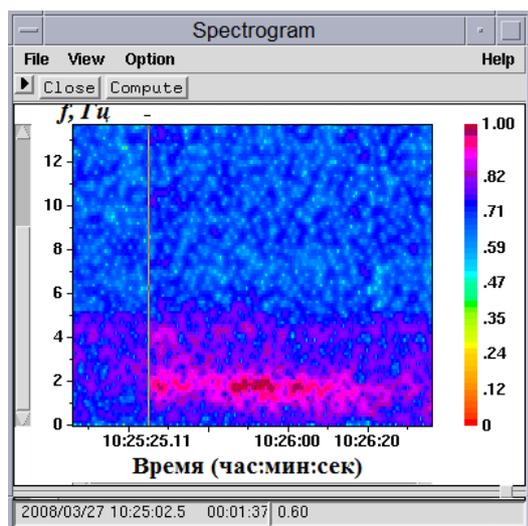


Рис. 11. Спектрограмма события «возможно взрыв» 27.03.2008 г., вертикальная компонента станции «Гарни»

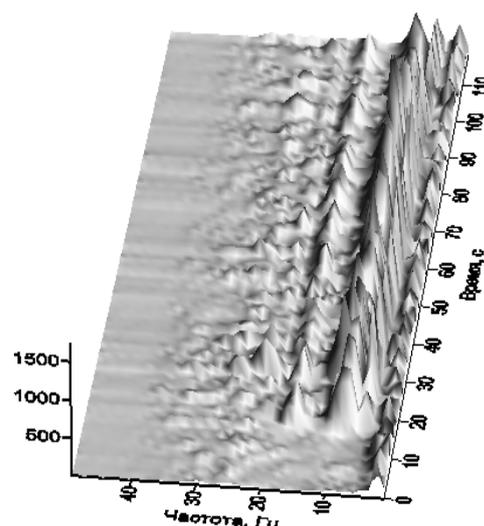


Рис. 12. Спектрограмма короткозамедленного взрыва в карьере «Костомукша», станция «Валаам»

Теперь более детально рассмотрим 1-й признак распознавания взрывов как наиболее информативный.

Спектральные отношения. Для получения вероятностного критерия различия взрывов и землетрясений (дискриминантов) широко используются амплитудные спектры и их отношения для волн различных сейсмических фаз P_n , P_g , S_n и L_g , а также логарифмы спектральных отношений фрагментов названных фаз. Как оказалось [12, 13], величины отношения P_g/S_g для землетрясений <1 , а для взрывов >2 .

Конкретно на Северном Кавказе были исследованы карьеры в Усть-Джегута, в Карачаевске, а также карьер Тырныаузского горно-обогатительного комбината на записях станции «Кисловодск», удаленной от рассматриваемых карьеров на 30–80 км. Оказалось, что для записей взрывов в карьерах Усть-Джегута отношение P_g/S_g , нарастая, достигло максимума в полосе 8–20 Гц, составляя в среднем 2.32 ± 0.64 ; в Карачаевске максимум наблюдался в полосе частот 18–22 Гц, составляя в среднем 3.27 ± 0.94 ; в карьере Тырныаузского горно-обогатительного комбината отношение P_g/S_g равно 3.39 ± 0.90 , а диапазон частот, где оно максимально, соответствует 12–16 Гц. В то же время для землетрясений спектральное отношение P_g/S_g составило 0.71 ± 0.34 (рис. 13). Это явилось обнадеживающим фактором для распознавания взрывов и землетрясений [12, 13].

Надежность использования спектрального отношения P_g/S_g в качестве дискриминанта при распознавании записей взрывов и землетрясений на Северном Кавказе подтвердили результаты применения этого метода в последующие годы.

Результаты анализа записей «Гарни». В каждом из трех описанных выше районов промышленной активности на рис. 7 с предположительно техногенной сейсмичностью было выбрано по 10–15 событий с наибольшими значениям энергетических классов. Для просмотра и анализа использовались программы WSG [14] и Geotool [15]. Качественный анализ записей станции «Гарни» для этих сейсмических событий показал, что на расстояниях 130–230 км от «Гарни» далеко не всегда отчетливо регистрируются слабые события с $K_p \div 6-8$, т.е. сигналы сейсмических фаз регистрируются с низким отношением сигнал/шум (≤ 3), слабо увеличивающимся при фильтровании. Это, конечно, затрудняло опробование способов распознавания. Однако несколько событий в каждой из выборок были пригодны для анализа и выявления особенностей волновых форм построения спектрограмм. По ним и проведено настоящее исследование.

Установлено, что на записях предположительно «взрывов» из всех трех районов на рис. 4 преобладают колебания с относительно низкочастотным составом, как правило, с максимумом энергии в полосе 1–2 Гц, особенно это характерно для карьера Казрети и юга Армении. Более высокие частоты регистрируются только в самом начале P -волны (юг Армении). Записи землетрясений в ближайших к ним районах имеют более широкий частотный состав, который выдержан по частотам как в P -, так и в S -волнах (рис. 15 б).

Так, в карьере Казрети, в приграничной территории Грузии на записях событий «возможно взрыв» при имеющихся различиях, которые могут быть объяснены механизмом взрывания, отмечаются и похожие черты, которые особенно проявляются в частотном составе, более длительной по времени записи и часто в отсутствии четких вступлений вторичных сейсмических фаз (рис. 14 и 15 а).

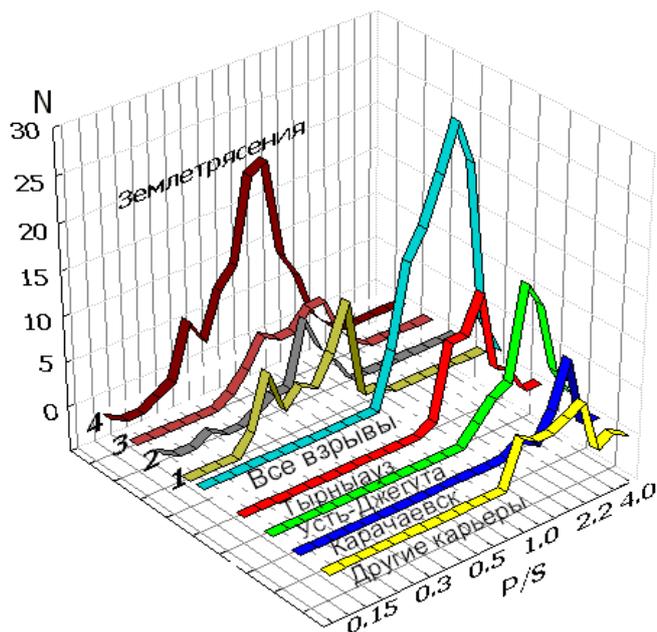


Рис. 13. Распределение средних спектральных отношений P/S , вычисленных в частотной полосе 8–20 Гц, для 119 взрывов из различных карьеров и 105 землетрясений с различными эпицентрными расстояниями в совокупности и для каждой группы отдельно.

1 – $\Delta \leq 40$ км; 2 – $\Delta=41-80$ км; 3 – $\Delta=81-150$ км; 4 – все землетрясения вместе из [13]

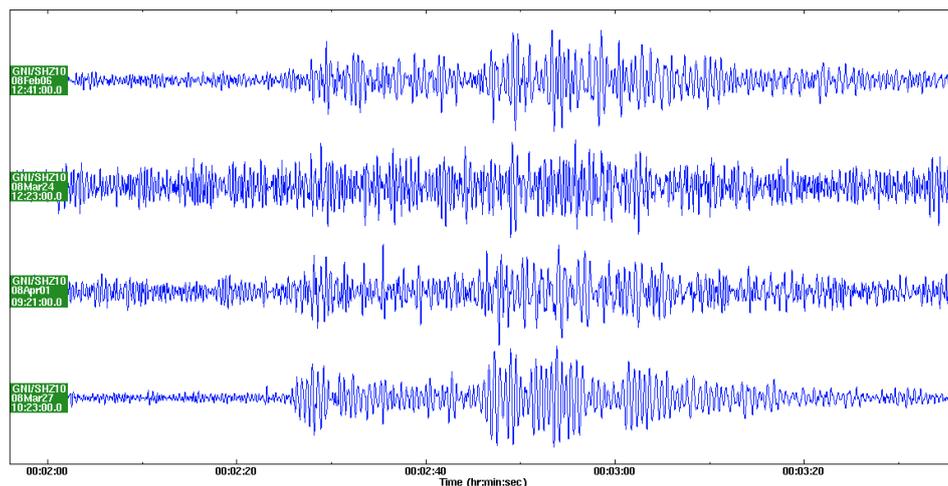


Рис. 14. Фрагменты записей на вертикальной компоненте 4 сейсмических событий «возможно взрыв»: 6 февраля 2008 г. в 12^h43^m с $K_p=7.6$; 24 марта 2008 г. в 12^h25^m с $K_p=7.4$; 1 апреля 2008 г. в 9^h23^m с $K_p=7.4$ и 27 марта 2008 г. в 10^h25^m с $K_p=8.3$, отфильтрованных в полосе 1–5 Гц

А вот землетрясения, напротив, имеют более четко выраженные вступления, цуги сейсмических фаз и более широкую частотную полосу в спектре (рис. 15 б).

В районе юга Армении различия в спектральном составе записей землетрясений и «возможно взрывов» также хорошо заметны. Записи землетрясений, зарегистрированных вблизи юга Армении во временной и спектральной области выглядят иначе, чем события «возможно взрыв»: у землетрясений амплитуды S -волн на всех компонентах преобладают над амплитудами P -волн (рис. 16 и 17), у «возможно взрыв» S -волна на всех компонентах проявляется только на частотах 1–4 Гц, что особенно хорошо видно на спектрограммах, в высокочастотной области (5–15 Гц) практически на уровне шумов (рис. 17), т.е. спектральные отношения P/S в этой полосе будут значительно выше 1.0, а на вертикальной компоненте будут достигать 2.5 (рис. 18 б). А вот у землетрясений наоборот – спектральная амплитуда S -волн выше, чем P -волн в интервале частот от 1–12 Гц, практически равны в интервале 13–20 Гц, т.е. спектральные отношения P/S в этой полосе будут ниже или равны 1.0 (рис. 18 а).

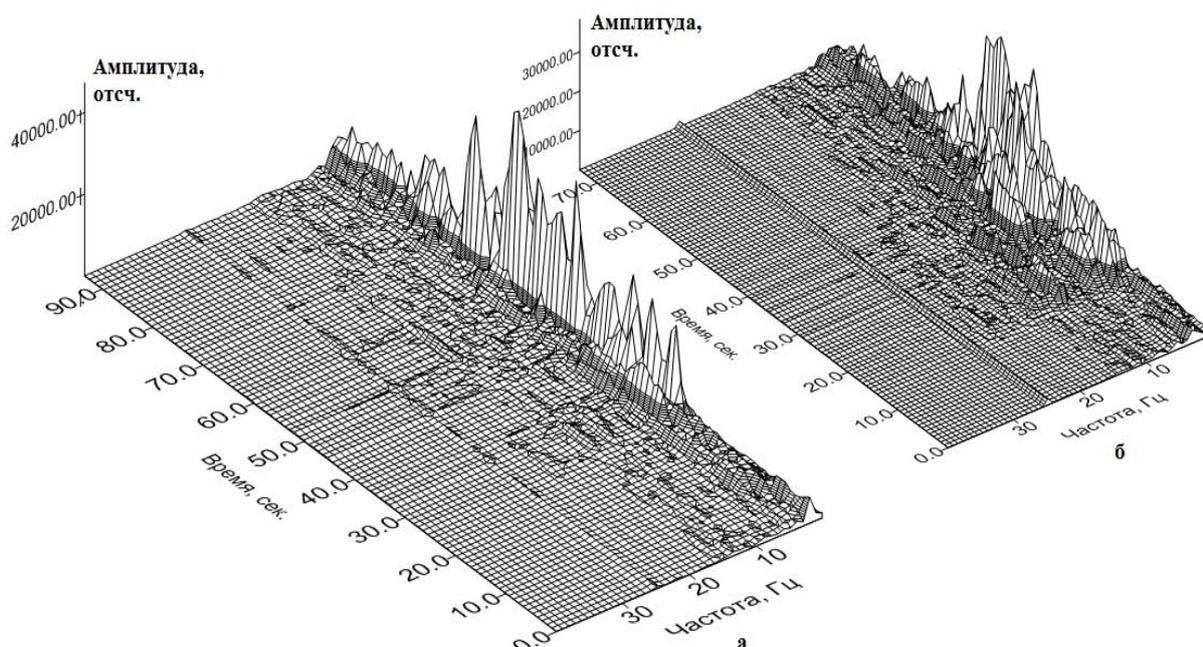


Рис. 15. 3D-спектрограммы «возможно взрыв» 27 марта 2008 г. в 10^h25^m с $K_p=8.3$ (а) и землетрясения 9 июля 2008 г. в 03^h20^m с $K_p=7.6$

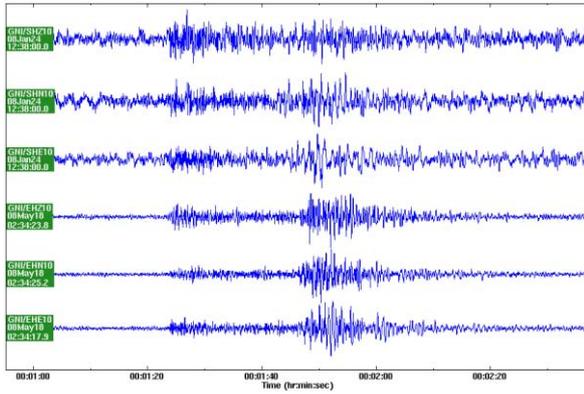


Рис. 16. Трехкомпонентные записи двух событий: три верхних – «возможно взрыв» 24 января, три нижних – землетрясение 18 мая (нефильтрованные записи)

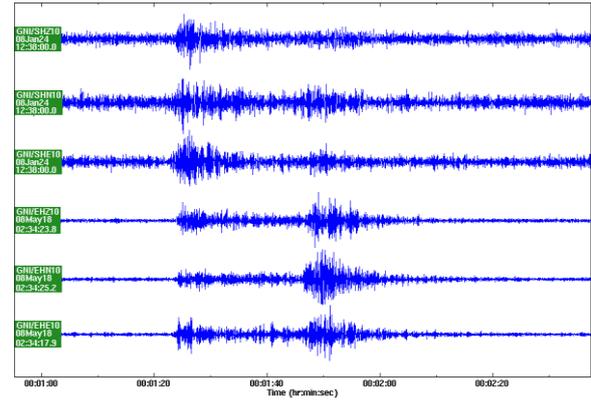


Рис. 17. Трехкомпонентные записи двух событий: три верхних – «возможно взрыв», три нижних – землетрясение. Записи отфильтрованы в полосе 5–15 Гц

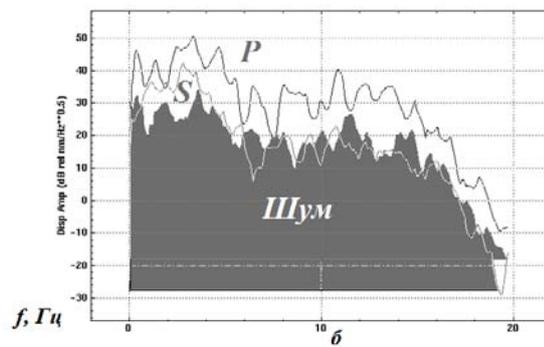
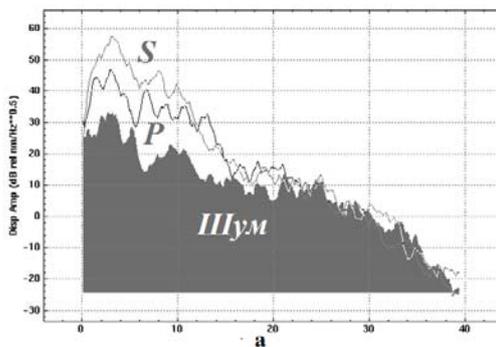


Рис. 18. Спектры 8-секундных интервалов записи на вертикальной компоненте шума, P - и S -волн для землетрясения 18 мая 2008 г. в 02^h35^m с $K_p=8.4$ (а) и «возможно взрыв» 24 января 2008 г. в 12^h40^m с $K_p=7.1$ (б)

Записи сейсмических событий типа «возможно взрыв» в приграничной области с Ираном на первый взгляд похожи на записи землетрясений – регистрируются основные для расстояний примерно 230 км сейсмические фазы, которые более отчетливо видны при фильтровании записи в полосе 1–5 Гц (рис. 19).

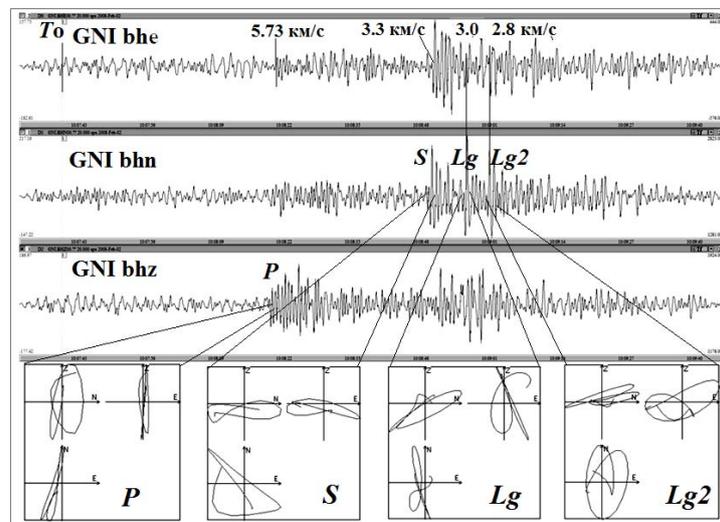


Рис. 19. Трехкомпонентные записи сейсмического события «возможно взрыв» 2 февраля 2008 г. в 10^h07^m с $K_p=7.9$, отфильтрованные в полосе 1–5 Гц (на верхней сейсмограмме показаны значения групповых скоростей) и диаграммы движения частиц в первых цугах сейсмических фаз

Однако после анализа спектров этих событий и сопоставления спектров P и S -волн сомнений в их различной природе с землетрясениями почти не остается – они так же, как и в двух других районах, значительно различаются по частотному составу (рис. 20).

Колебания в группе S -волн имеют низкочастотный спектр (1–5 Гц) (рис. 20 а), спектр P -волны более насыщен высокими частотами, а это значит, что спектральное отношение P/S будет больше 1.0.

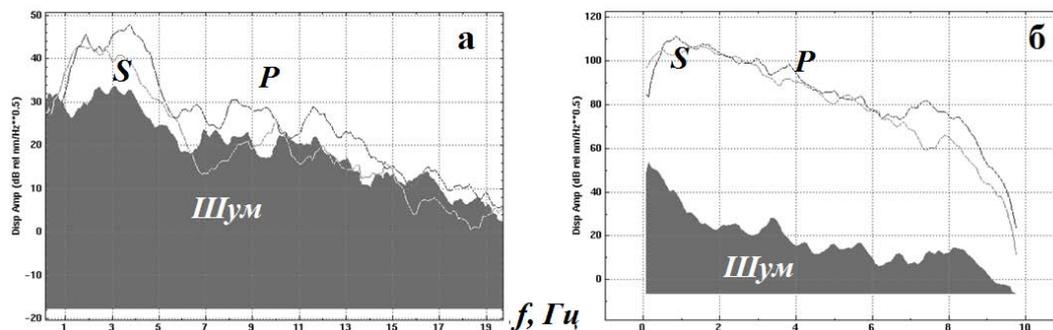


Рис. 20. Спектры 8-секундных интервалов записи на вертикальной компоненте шума, P - и S -волн для «возможно взрыв» 2 февраля 2008 г. в $10^{\text{h}}07^{\text{m}}$ с $K_p=7.9$ (а) и землетрясения 2 сентября 2008 г. в $20^{\text{h}}00^{\text{m}}$ с $K_p=12.8$ (б)

В спектрах P - и S -волн землетрясений наблюдается примерная идентичность в P и S -волнах по частотам и амплитудам в широкой полосе частот (рис. 20 б), что хорошо видно на спектрограмме основного толчка и афтершоков сильного землетрясения 2 сентября 2008 г. в $20^{\text{h}}00^{\text{m}}$ с $K_p=12.8$ и его ближайших по времени афтершоков (рис. 21), эпицентры которых находились несколько западнее, также в приграничной Иранской территории (рис. 4). Однако при переходе на более широкую полосу частот (канал ЕНЗ) различия становятся не столь явными.

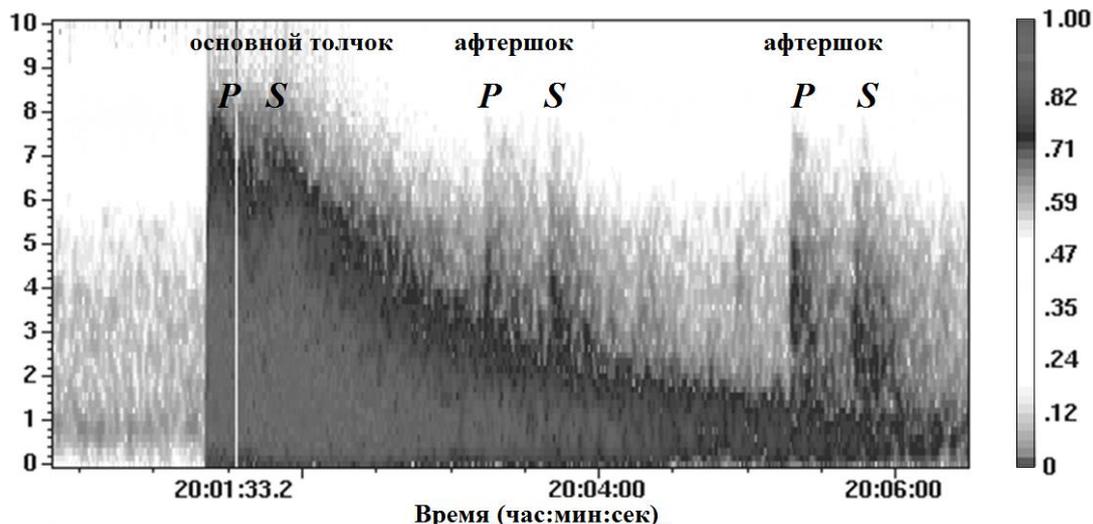


Рис. 21. Спектрограмма, построенная по фрагменту записи вертикальной компоненты секундных интервалов записи на вертикальной компоненте шума, P - и S -волн для «возможно взрыв» 2 февраля 2008 г. в $10^{\text{h}}07^{\text{m}}$ с $K_p=7.9$ (а) и землетрясения 2 сентября 2008 г. в $20^{\text{h}}00^{\text{m}}$ с $K_p=12.8$ (б)

Итак, проведенные исследования особенностей волновой картины и спектров сейсмических событий предположительно различной природы на основе записей станции «Гарни» (GNI), расположенной на эпицентральных расстояниях 130–230 км, показали, что существуют спектральные особенности записей для событий различной природы. Особенно это проявляется на расстояниях 130–180 км от станции. На большем удалении (иранские события) различия не столь явные, возможно, за счет большого влияния неоднородностей среды на трассе очаг – станция.

Различия могут быть объяснены физическими условиями формирования сил в очаге этих событий – в случае землетрясения разрыв возникает под действием упругих сдвиговых напряжений, накопленных в процессе тектонических деформаций, большую энергию несут в себе сформированные поперечные волны, в отличие от взрывного точечного источника, который в идеализированной изотропной среде является источником типа расширения и генератором в основном продольных волн.

Однако в реальной слоистой среде, имеющей неоднородности, наблюдаемое сейсмическое волновое поле, регистрируемое после взрыва, может также осложняться процессом высвобождения напряжений, накопленных в среде. Кроме того, взрывы часто не точечные, а групповые, распределенные по площади и короткозамедленные при взрывании. Это тоже накладывает отпечаток на волновую картину, которая формируется за счет интерференции и образования мощных каналовых и поверхностных волн. Что, собственно, и наблюдается на записях отдельных «возможно взрывов», особенно в Казрети.

Использование критерия спектрального отношения P/S для распознавания взрывов в отдельных карьерах может быть усилено за счет выявления характерных особенностей записей, которые в различных азимутальных направлениях могут меняться. Поэтому целесообразно создавать банк портретов-записей станция–карьер, как это делается во многих региональных центрах. Необходимо подкреплять полученные результаты сбором априорной информации о местах, времени проведения взрывов и их мощности.

Подводя итоги, можно утверждать наличие взрывов в каталогах землетрясений Армении за 2005–2008 гг., присланных в Обнинск для публикации в сборниках «Землетрясения Северной Евразии». Возникает вопрос, что делать?

Что касается Сборника за 2008 г., то настоящая статья, конечно, доведет сомнение ред. в природе некоторых событий в каталоге до сведения читателей. Такие события будут помечены меткой «возможно взрыв». Каталоги же за предыдущие годы – с 2005 по 2007 г. – уже опубликованы. Можно лишь опубликовать их заново в качестве дополнительных данных, но уже с метками «возможно взрыв» для трех площадок выявленных взрывов.

В то же время обращаем внимание составителей каталогов землетрясений Армении, что в целях сохранения единообразия классификации землетрясений Армении в описываемые годы с 2006 по 2008 г. с длинным периодом публикации каталогов, начиная с 1962 и по 2005 г. включительно, крайне важно вернуться к прямым измерениям энергетического класса, избегая любых пересчетов его величины из других параметров.

Л и т е р а т у р а

1. **Землетрясения Северной Евразии, 2006 год.** – Обнинск: ГС РАН, 2012. – 503 с.
2. **Землетрясения Северной Евразии, 2007 год.** – Обнинск: ГС РАН, 2013. – 505 с.
3. **Землетрясения Северной Евразии, 2008 год.** – Обнинск: ГС РАН (в печати).
4. **Саргсян Г.В. (отв. сост.), Абгарян Г.Р., Саргсян Л.С.** Каталог (оригинал) землетрясений Армении за 2006 год ($N=1306$). – Обнинск: Фонды ГС РАН, 12.11.2010. – 25 с.
5. **Саргсян Г.В. (отв. сост.), Абгарян Г.Р., Саргсян Л.С., Гонян А.А.** Каталог (оригинал) землетрясений Армении за 2007 г. ($N=1901$). – Обнинск: Фонды ГС РАН, 04.03.2013. – 85 с.
6. **Саргсян Г.В. (отв. сост.), Абгарян Г.Р., Саргсян Л.С., Гонян А.А.** Каталог (оригинал) землетрясений Армении за 2008 г. ($N=1667$). – Обнинск: Фонды ГС РАН, 04.03.2013. – 36 с.
7. **Саргсян Г.В. (отв. сост.), Саргсян Л.С., Абгарян Г.Р.** Каталог (оригинал) землетрясений Армении за 2004 г. ($N=560$). – Обнинск: Фонды ГС РАН, 12.09.2008. – 14 с.
8. **Саргсян Г.В. (отв. сост.), Абгарян Г.Р., Саргсян Л.С.** Каталог (оригинал) землетрясений Армении за 2005 год ($N=546$). – Обнинск: Фонды ГС РАН, 11.03.2010. – 10 с.
9. **Саргсян Г.В., Абгарян Г.Р., Саргсян Л.С.** Армения // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 84–90.
10. **Саргсян Г.В., Мазманян Л.В., Байбуртян Е.Г., Саргсян Л.С., Демирчян О.М., Геворкян А.А.** Армения. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).

11. **Годзиковская А.А.** Выявление взрывов в каталогах землетрясений и на аналоговых сейсмограммах // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – 403–410.
12. **Габсатарова И.П.** Исследование пространственно-временных особенностей сейсмичности на Северном Кавказе: Дис. на соиск. уч. степ. канд. ф.-м. наук. – М.: ИФЗ РАН, 2011. – 178 с.
13. **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.
14. **Красилов С.А., Коломиец М.В., Акимов А.П.** Организация процесса обработки цифровых сейсмических данных с использованием программного комплекса WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Первой Международной сейсмологической школы, посвященной 100-летию открытия сейсмических станций «Пулково» и «Екатеринбург». Петергоф, 2–6 октября 2006 г. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 77–83.
15. **Coyne J., Clark K., Lloyd S.** IDC Documentations Geotool Software User Tutorial. 2003. – 16 p.
16. **Рекомендации по проведению станционной обработки цифровых сейсмических записей с помощью программы WSG (версия 5)** // Документация к программному комплексу WSG. – Обнинск: Фонды ГС РАН, 2004. – 38 с.