

Природа сейсмических событий, зарегистрированных на западе Украинского щита в 2005 — 2007 гг.

© Ю. А. Андрущенко¹, В. В. Кутас², А. В. Кендзера²,
В. Д. Омельченко², Ю. А. Гордиенко¹, И. А. Калитова², 2010

¹Главный центр специального контроля Национального космического агентства Украины, Макаров-1, Украина

²Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 9 сентября 2009 г.

Представлено членом редколлегии Б. Г. Пустовитенко

Для розпізнавання природи сейсмічних подій, епіцентри яких розміщуються у межах Східноєвропейської платформи, у західній частині Українського щита, досліджено хвильові форми сейсмічних сигналів та зміну спектрального складу в часі. За спектральними діаграмами встановлені основні відмінності слабоінтенсивних тектонічних землетрусів і вибухів, що проявляються в особливостях розподілу щільності спектра поперечних і поверхневих хвиль залежно від частоти фільтрації. Для розробки критеріїв ідентифікації використано записи землетрусів і промислових вибухів на сейсмічних станціях Головного центру спеціального контролю НКА України, обладнаних сучасною цифровою сейсмологічною апаратурою.

For recognition of the nature of seismic events with epicentra located on the East-European platform within the limits of the western part of the Ukrainian Shield wave forms of seismic signals have been studied and the changes of spectral composition with time. The main distinctions have been revealed of weakly intense tectonic earthquakes and explosions produced in the open pits which are manifested in special features of distribution of spectrum density of transversal and surface waves depending on the filtration frequency according to spectrograms. In case of elaboration of criteria for identification of seismic events the records of earthquakes and explosions at the seismic stations of the Main Center of Special Control of NSA Ukraine, equipped with modern digital seismologic logistics have been used.

Введение. Сейсмичность Восточно-Европейской платформы на протяжении длительного периода времени изучалась по историческим и архивным материалам, в последние десятилетия с расширением сети сейсмических станций — по результатам инструментальных наблюдений. Сведения о землетрясениях, эпицентры которых находятся в западной части платформы в пределах территории Украины, и их связи с тектоникой приведены в работах [Кендзера, 2007; Кутас и др., 2005; 2007; 2009].

Цель настоящей работы — выяснение происхождения сейсмических событий, зарегистрированных в последние годы в западной части Украинского щита (УЩ) сетью карпат-

ских сейсмических станций Института геофизики НАН Украины и Украинской сейсмической группой станций Главного центра специального контроля (ГЦСК) НКА Украины, расположенных в северо-западной части щита.

Для распознавания природы возникновение сейсмических волн, зарегистрированных на щите, — слабоинтенсивных землетрясений тектонического происхождения или промышленных взрывов, использованы методические приемы, основанные на изучении волновых форм сигналов и их спектрального состава [Андрущенко, Гордиенко, 2009].

Исходные данные. Исследуются каталоги землетрясений, приведенные в Сейсмо-

логических бюллетенях Украины за 2005—2007 гг. [Сейсмологический ..., 2007; 2008; 2009], и записи сейсмических событий, зарегистрированных в этот период сейсмическими станциями ГЦСК. Проанализированы данные о событиях, эпицентры которых находятся на западной окраине щита.

Сеть карпатских станций расположена западнее УЦ. Ближайшие пункты наблюдений, оснащенные цифровой аппаратурой, — Городок, Каменец-Подольский и Черновцы, находятся на расстоянии 10—90 км от щита, Ново-Днестровск — на его юго-западной границе.

Локальная сейсмологическая сеть ГЦСК НКА Украины охватывает северо-западную часть УЦ на территории Житомирской обл. и состоит из сейсмических станций, расположенных вблизи населенных пунктов Поддубы, Зеленица, Каменный Брод и Украинской сейсмической группы (УСГ) вблизи Малина. В систему УСГ входят 23 элемента; один из сейсмических пунктов размещен в шахте, 22 — в скважинах.

В западной части щита за рассматриваемый период, согласно данным каталогов, представленных в сейсмологических бюллетенях, произошло 52 сейсмических события, магнитуда которых соответствует полосе значений от 1,2 до 2,9. Часть эпицентров совпадает с участком границы УЦ с Днестровским прогибом — в районе г. Ново-Днестровска отмечено 10 событий, вблизи г. Могилев-Подольский — 1.

Эпицентры остальных сейсмических событий находятся в пределах площади, ограниченной координатами: $\varphi = 48 \div 51^\circ \text{N}$, $\lambda = 27 \div 30^\circ \text{E}$. В каталогах приведены в основном значения магнитуды, рассчитанные по длине записи колебаний на сейсмограммах (MD), в некоторых случаях — по интенсивности по-

верхностной волны (ML). Магнитуда 23 наиболее сильных сейсмических событий соответствует значениям 1,8—2,9.

Все сейсмические события, зарегистрированные на западе щита в 2005—2007 гг., в каталогах представлены как землетрясения, возникшие в очагах, расположенных на глубине 2—10 км [Сейсмологический ..., 2007; 2008; 2009]. Такая сейсмичность щита вызывает сомнения. Большинство событий зарегистрировано днем вблизи круглого часа времени суток. Для распознавания природы событий время суток не является критерием, в разное время возникают землетрясения и производятся взрывы. Однако в некоторых случаях наблюдается повторение времени возникновения толчка в очаге (t_0) и совпадение координат эпицентров.

Совпадение $t_0 = 12 \text{ ч } 01 \text{ мин}$ и координат эпицентров отмечено при событиях 04.10.2005 г., $MD = 2,3$ и 10.10.2005 г., $MD = 1,9$. Эпицентры с координатами $\varphi = 48,9^\circ \text{N}$, $\lambda = 27,9^\circ \text{E}$ характерны для событий, зарегистрированных в 09 ч 02 мин (03.08.2006 г., $MD = 1,8$), 13 ч 14 мин (03.08.2006 г., $MD = 1,6$) и 10 ч 02 мин (04.08.2006 г., $MD = 1,8$). Отмечены и другие аналогичные повторения.

На рис. 1 представлена диаграмма, иллюстрирующая время суток, в которое зарегистрированы сейсмические события $MD = 1,2—2,9$, относящиеся, согласно данным о координатах их эпицентров, приведенным в каталогах, к западной части УЦ. Из 52 событий 36 отмечены в интервале времени 9—15 ч, некоторые из них тектонического происхождения. В частности, совпадают координаты эпицентров событий, зарегистрированного в 09 ч 01 мин 18.10.2005 г., $MD = 2,0$ и произошедшего в 16 ч 40 мин 22.10.2006 г., $MD = 2,4$. Они незначительно отличаются от отмеченного в

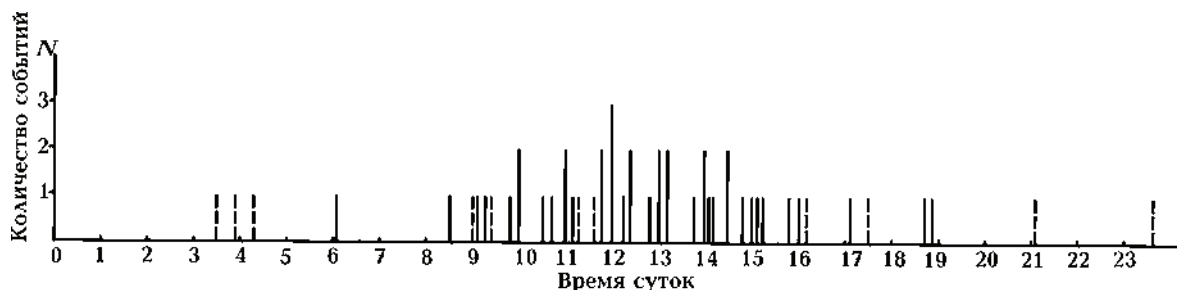


Рис. 1. Диаграмма, иллюстрирующая количество сейсмических событий, зарегистрированных в разный период времени суток. Пунктиром отмечены землетрясения, очаги которых находятся в районе г. Ново-Днестровск.

09 ч 16 мин 18.11.2007 г., $M_L = 2,7$; при двух последних ощущались сотрясения земной поверхности.

В районе эпицентра землетрясения 22.10.2006 г. (по данным [Сейсмологический ..., 2008]), записанного 12 станциями, отмечены сотрясения земной поверхности с интенсивностью (I_0) в 4 балла по шкале MSK-64. Координаты эпицентра, рассчитанные по инструментальным данным, незначительно отличаются от установленных по макросейсмике — совпадают по широте и различаются по долготе на $0,1^\circ$. Такая же интенсивность сотрясений земной поверхности в эпицентре отмечена и при землетрясении 18.11.2007 г., зарегистрированном 18 сейсмическими станциями [Сейсмологический ..., 2009].

Расположение эпицентров сейсмических событий. На рис. 2 на тектонической основе [Карта ..., 1988] показаны эпицентры наиболее сильных сейсмических событий 2005—2007 гг., представленных в каталогах землетрясений Карпатского региона [Сейсмологический ..., 2007; 2008; 2009]. Пронумерованные на рисунке эпицентры совпадают с табличными номерами, остальные относятся к землетрясениям, произошедшим в разный период времени на западной части УЩ и прилегающих к нему участках Волыно-Подольи.

Расположение эпицентров некоторых сейсмических событий (таблица), проанализировано с точки зрения тектонических особенностей района и возможности их представления как землетрясений.

На северо-востоке рассматриваемой площади западной части УЩ в зоне Центрального мантийного разлома (между его двумя ветвями) на одном из участков границы Коростенского плутона находится эпицентр сейсмического события 12.03.2006 г. ($M_D = 2,9$). Согласно данным, приведенным в работе [Копничев, Павлова, 1990], в этом районе щита, нарушенном разломами, обнаружено резкое изменение мощности литосферы — кровля астеносферного слоя вблизи эпицентра находится на глубине 105 км, на расстоянии 100 км от него — на глубине 200 км.

Координаты эпицентра указанного события, установленные по записям карпатских сейсмических станций [Сейсмологический ..., 2008], незначительно различаются от ранее приведенных в работе [Кутас и др., 2007] из каталога ANSS ($\varphi = 51, 017^\circ$ N, $\lambda = 28,318^\circ$ E). Близкие значения получены также при расчете расположения эпицентра по сейсмограм-



Рис. 2. Расположение эпицентров землетрясений, приведенное на тектонической основе [Карта ..., 1988]: I — границы (а — территории Украины; б — Украинского щита; в — Коростенского плутона); II — региональные мантийные разломы (1, 2 — ветви Центрального разлома, 3 — Подольская зона разломов); III — эпицентры сейсмических событий (закрашенные кружки — за период до 2005 г., незакрашенные — за 2005—2007 гг.). *Магнитуда*: 1 — $3 \div 4$, 2 — $2 \div 3$, 3 — меньше 2; IV — Сейсмические станции ГЦСК НКА Украины (1 — “Малин”, 2 — “Зеленица”, 3 — “Каменный Брод”, 4 — “Подлужы”).

мам УСГ станций НКА Украины ($\varphi = 51^\circ$ N, $\lambda = 28,25^\circ$ E).

Согласно данным о направлении смещения земной поверхности, сейсмическое событие 12.03.2006 г. отнесено к землетрясениям — в первых вступлениях продольной волны P_n отмечен знак “минус” на сейсмограммах станций, расположенных в интервале эпицентральных расстояний $\Delta = 235 \div 300$ км (“Городок”, “Новоднестровск”, “Каменец-Подольский”). Ниже приведено заключение о природе события по записям сейсмических станций ГЦСК, расположенных на $\Delta = 29 \div 76$ км от эпицентра, с учетом критериев разделения сейсмических сигналов разного происхождения [Андрущенко, Гордiенко, 2009].

По результатам наблюдений, проведенных в 1998—2001 гг., юго-западнее Коростенско-го плутона происходили слабые сейсмические события [Кендзера и др., 2003]. К этому району также относятся сейсмические проявления 17.08.2005 г. ($MD = 2,7$) и 02.10.2005 г. ($MD = 2,2$).

Вблизи эпицентров землетрясений 22.10.2006 г. ($MD = 2,4$) и 18.11.2007 г. ($ML = 2,7$; $I_0 = 4$ балла) в 2005—2007 гг. отмечено 8 событий меньшей магнитуды ($1,4 \leq MD < 2,0$). Эпицентры находятся в районе г. Новодрестровск на границе щита с Днестровским прогибом по-

близости с Подольской зоной региональных разломов. В данной зоне к востоку от очагов новоднестровских землетрясений зарегистрировано 09.06.2007 г. сейсмическое событие $ML = 2,2$, эпицентр которого расположен вблизи г. Могилев-Подольский, где при землетрясении 24.02.1984 г. интенсивность сотрясений в эпицентре достигла 5 баллов. Магнитуда MSH двух сильнейших толчков из серии 24.02—29.02.1984 г. равна 3,6; по оценке сейсмической станции "Кишинев" — 3,8; по записям карпатских станций — 3,4; 3,5 [Сейсмологический ..., 1987].

| Номер землетрясения | Дата | Время в очаге (ч, мин, с) | Координаты эпицентра, градусы (N, E) | | Глубина очага, км | MD | Количество сеймостанций |
|---------------------|-------|------------------------------|--------------------------------------|------------------------|-------------------|-----|-------------------------|
| 2005 г. | | | | | | | |
| 1 | 17.08 | 06 32 43,8 ± 1,5 | 49,88 ± 0,11 | 27,95 ± 0,09 | 5,9 ± 0,4 | 2,7 | 8 |
| 2 | 02.10 | 12 15 55,1 ± 1,5 | 49,83 ± 0,08 | 27,72 ± 0,15 | 2,8 ± 0,4 | 2,2 | 4 |
| 3 | 18.10 | 09 01 18,9 ± 0,4 | 48,62 ± 0,03 | 27,32 ± 0,02 | 6,2 ± 0,9 | 2,0 | 4 |
| 4 | 29.10 | 11 44 28,0 ± 0,8 | 49,27 ± 0,02 | 28,02 ± 0,04 | 1,6 ± 0,2 | 1,9 | 5 |
| 2006 г. | | | | | | | |
| 5 | 27.01 | 11 02 28,5 ± 0,7 11 00 47 | 48,81 ± 0,02 48,81* | 27,58 ± 0,04 33,38* | 2,6 ± 0,2 | 2,4 | 7 |
| 6 | 12.03 | 09 52 17,3 ± 0,9 | 51,01 ± 0,05 | 28,16 ± 0,06 | 10,0 | 2,9 | 12 |
| 7 | 10.04 | 10 40 29,6 ± 0,8 | 49,13 ± 0,04 | 26,84 ± 0,04 | 3,1 ± 0,4 | 1,8 | 5 |
| 8 | 18.06 | 23 38 15,0 ± 0,3 | 48,57 ± 0,05 | 27,23 ± 0,03 | 3,6 ± 0,4 | 1,8 | 5 |
| 9 | 24.06 | 18 47 44,9 ± 0,4 | 49,41 ± 0,02 50,88* | 27,05 ± 0,02 29,38* | 4,6 ± 0,3 | 1,7 | 4 |
| 10 | 25.07 | 17 06 11,4 ± 0,4 17 06 07 | 50,44 ± 0,02 50,81* | 28,99 ± 0,03 29,31* | 2,5 ± 0,1 | 2,4 | 5 |
| 11 | 28.07 | 13 47 38,1 ± 0,4 | 49,20 ± 0,02 50,81* | 27,15 ± 0,02 29,31* | 6,4 ± 0,8 | 2,0 | 5 |
| 12 | 22.10 | 16 10 35,0 ± 0,2 | 48,63 ± 0,01 | 27,32 ± 0,01 | 3,8 ± 0,1 | 2,4 | 12 |
| 2007 г. | | | | | | | |
| <i>ML</i> | | | | | | | |
| 13 | 26.04 | 08 27 24,5 ± 0,5 | 50,76 ± 0,02 | 28,55 ± 0,03 | 2,0 | 2,5 | 5 |
| 14 | 09.06 | 16 09 02,7 ± 0,2 | 48,53 ± 0,02 | 27,65 ± 0,02 | 6,0 | 2,2 | 5 |
| 15 | 03.09 | 14 44 07,5 ± 0,5 | 49,86 ± 0,02 | 27,58 ± 0,03 | 3,3 ± 0,1 | 2,1 | 5 |
| 16 | 21.09 | 10 31 27,9 ± 0,6 | 49,25 ± 0,02 | 27,51 ± 0,04 | 2,0 | 2,0 | 6 |
| 17 | 18.11 | 09 17 22,3 ± 0,1 | 48,59 ± 0,01 | 27,32 ± 0,01 | 3,3 ± 1,0 | 2,7 | 18 |

* Координаты эпицентров взрывов по данным станций ГЦСК.

Обобщенные данные о проявлении сейсмичности вблизи городов Новоднестровск и Могилев-Подольский по результатам инструментальных наблюдений, проведенных 1984—2003 гг., приведены в работе [Кутас и др., 2005].

Об установлении природы сейсмических событий. Известно, что основными характеристиками источников сейсмических сигналов, которые используются для идентификации природы сейсмических волн, служат местонахождение и глубина источника, направление первого вступления продольной волны, размеры и время действия источника.

Проблемы с распознаванием природы источников сейсмических сигналов (землетрясение или взрыв) не существовало бы, если бы Земля представляла собой однородное изотропное тело. Наличие в реальной среде значительного количества границ раздела, тектонических нарушений и неоднородностей разного размера и состава приводит к тому, что простой по форме сигнал, возникший в источнике, претерпевает существенные искажения на пути распространения к станции регистрации.

Различие сигналов разной природы под воздействием среды на пути очаг — сейсмическая станция становится менее четким, чем в источнике, и процедура их идентификации принимает вероятностный характер. Возникает необходимость сформировать набор критериев, которые могут быть использованы для распознавания природы сейсмических явлений, зарегистрированных на разных эпицентральных расстояниях, в условиях платформенной части территории Украины.

Результаты изучения и сопоставления динамических характеристик волн, зарегистрированных при промышленных взрывах разной мощности на Воронежском кристаллическом массиве и слабоинтенсивных тектонических событиях, представлены в работе [Надежка и др., 2007]. Отмечено, что в крупнейших карьерах при взрывах около 100 т взрывчатого вещества создаются сейсмические эффекты энергетического уровня $K = 6 \div 9$, при которых максимум спектра колебаний наблюдается на низких частотах — менее 1 Гц. В зависимости от эпицентрального расстояния (от 100 до 300 км) амплитуда максимума спектра отмечена в полосе частот соответственно от 0,2—0,3 до 0,4—0,5 Гц. (Однако на приведенных графиках виден высокий уровень ин-

тенсивности при взрывах также и в полосе $f = 1 \div 10$ Гц.)

На записях слабоинтенсивного сейсмического события тектонического происхождения наибольшие амплитуды скорости колебаний грунта проявились на частотах, превышающих 1 Гц; максимальная спектральная плотность отмечена в области частот от 2,5—3,0 до 10 Гц. (Не выявлено значительного увеличения интенсивности горизонтальных составляющих волн.)

В настоящей работе проведен анализ эффективности применения стандартных критериев для идентификации природы источника сигнала в условиях платформенной части территории Украины, использованы записи сейсмических событий, эпицентры которых располагаются в пределах УЩ. Как критерии распознавания природы сейсмических сигналов наиболее эффективными признаны отношения амплитуд объемных волн S/P и спектрально-временной [Андрущенко, Гордієнко, 2009].

Отношение амплитуд волн S/P . Это широко распространенный критерий разделения взрывов и землетрясений. Предполагается, что в связи со сферической симметрией источника при взрывах практически не появляются объемные поперечные колебания. Если S -волны все же возникают, то они связаны с некоторой несимметричностью источника или с появлением обменных волн — с преобразованием первичной P -волны в S -волну на одной из поверхностей раздела среды. С этой точки зрения отношение амплитуд волн S/P при взрывах должно быть невелико.

Очаги землетрясений формируются при нарушении геодинамического равновесия в зонах разломов. При изменении напряженного состояния среды вдоль разломов происходят подвижки; возникающие при этом источники колебаний отличаются несимметричностью и порождают S -волны. Исходя из анализа сигналов, зарегистрированных сетью сейсмических станций ГЦСК НКА Украины, можно утверждать, что в случаях, когда соотношение амплитуд S/P больше 3, зарегистрированное событие с высокой степенью вероятности следует классифицировать как землетрясение.

При более низких значениях S/P возможность распознавания природы зарегистрированного сейсмического события резко снижается, так как небольшая величина соотношения амплитуд волн S и P все же не может

рассматриваться как достаточно надежный индикатор происхождения события — взрыв или землетрясение.

Это связано с тем, что на отношения S/P одного и того же события, зарегистрированного разными сейсмостанциями, существенно влияют путь распространения волн и направленность излучения из источника. Локальные сейсмические события с несимметричным очагом излучения, записанные аппаратурой только в одном из пунктов сети наблюдений, при S/P меньше 3 могут быть ошибочно отнесены к разряду взрывов.

Спектрально-временной критерий. Частотный состав записей сейсмических событий, особенно природного происхождения, сильно изменяется во времени. Поэтому их спектры не достаточно надежны в плане разделения взрывов и землетрясений. Более информативны спектральные диаграммы (сонограммы или спектрограммы), полученные с помощью оконного преобразования Фурье и характеризующие картину изменения спектра события во времени. Спектрограммы могут быть изображены в виде плоских графиков или объемных поверхностей; принцип их построения заключается в следующем: по записи события передвигается временное окно и для каждого его положения рассчитывается спектр мощности.

Оценка природы сейсмических событий, зарегистрированных в западной части УЩ в 2005—2007 гг. В соответствии с результатами применения спектрально-временного критерия разделения записей землетрясений и взрывов, зарегистрированных УСГ, большинство сейсмических событий, приведенных в таблице, взрывы. К землетрясениям относятся события 3, 8, 12, 14, 17, эпицентры которых находятся на юго-западной границе УЩ в районах городов Новоднестровск и Могилев-Подольский.

Существуют два варианта оценки координат эпицентра сейсмического события 5 (27.01.2006 г., $MD = 2,4$). По данным семи карпатских станций очаг находится вблизи очаговой зоны новоднестровских землетрясений в районе Подольского регионального разлома. Эпицентральное расстояние до трех ближайших станций 25—100 км.

По координатам эпицентра, рассчитанным по записям ГЦСК НКА Украины, местонахождение очага события относится к центральной части щита. Сейсмические станции "Малин", "Зеленица", "Каменный Брод", "Под-

лубы" находятся на расстоянии соответственно 365, 430, 436, 472 км от эпицентра. Значительное расхождение в оценке времени возникновения сейсмического события в районе очага (на 01 мин 41 с), по-видимому, свидетельствует о том, что приведенные в таблице данные относятся к разным землетрясениям.

В соответствии с картой тектонического районирования УЩ [Старостенко и др., 2002; Гинтов, 2004], по данным ГЦСК эпицентр землетрясения 27.01.2006 г. расположен в шовной межмегаблоковой зоне, ограниченной Западно-Ингулецким и Криворожско-Кременчугским разломами. (В этом районе щита 25.12.2007 г. произошло землетрясение $M = 3,8$ [Кутас и др., 2009].)

Для определения природы событий исследованы особенности изменения плотности спектра сейсмических сигналов в зависимости от полосы частот, характерные для землетрясений и промышленных взрывов. Анализ сигналов, зарегистрированных локальной сейсмологической сетью, расположенной на северо-западе УЩ, показал, что основное различие спектрограмм землетрясений и взрывов в карьерах — разница в распределении плотности спектра поперечных и поверхностных волн в зависимости от частоты фильтрации.

На спектральный состав волн оказывают влияние строение и свойства среды на пути их распространения. При установлении природы событий необходимо минимизировать воздействие особенностей среды в районе сейсмических станций на амплитудно-частотный состав регистрируемых волн. Для каждой станции отдельно проведено сопоставление спектрограмм сейсмических сигналов, зарегистрированных из очагов, расположенных на разном удалении от пункта наблюдения.

Ниже представлены результаты анализа спектрограмм землетрясений и взрывов, зарегистрированных трехкомпонентной сейсмической станцией, оснащенной цифровой аппаратурой Guralp CGM-3T. Сейсмическая станция расположена вблизи населенного пункта Малин в шахтном сооружении на глубине 37 м. Записи сейсмических событий представлены на рис. 3.

На спектрограммах сейсмических событий на горизонтальной оси графиков показано время сигнала, соответствующее приведенному ниже участку записи, на вертикальной оси обозначены значения частоты колебаний (рис. 4). Амплитуда спектра нормиро-

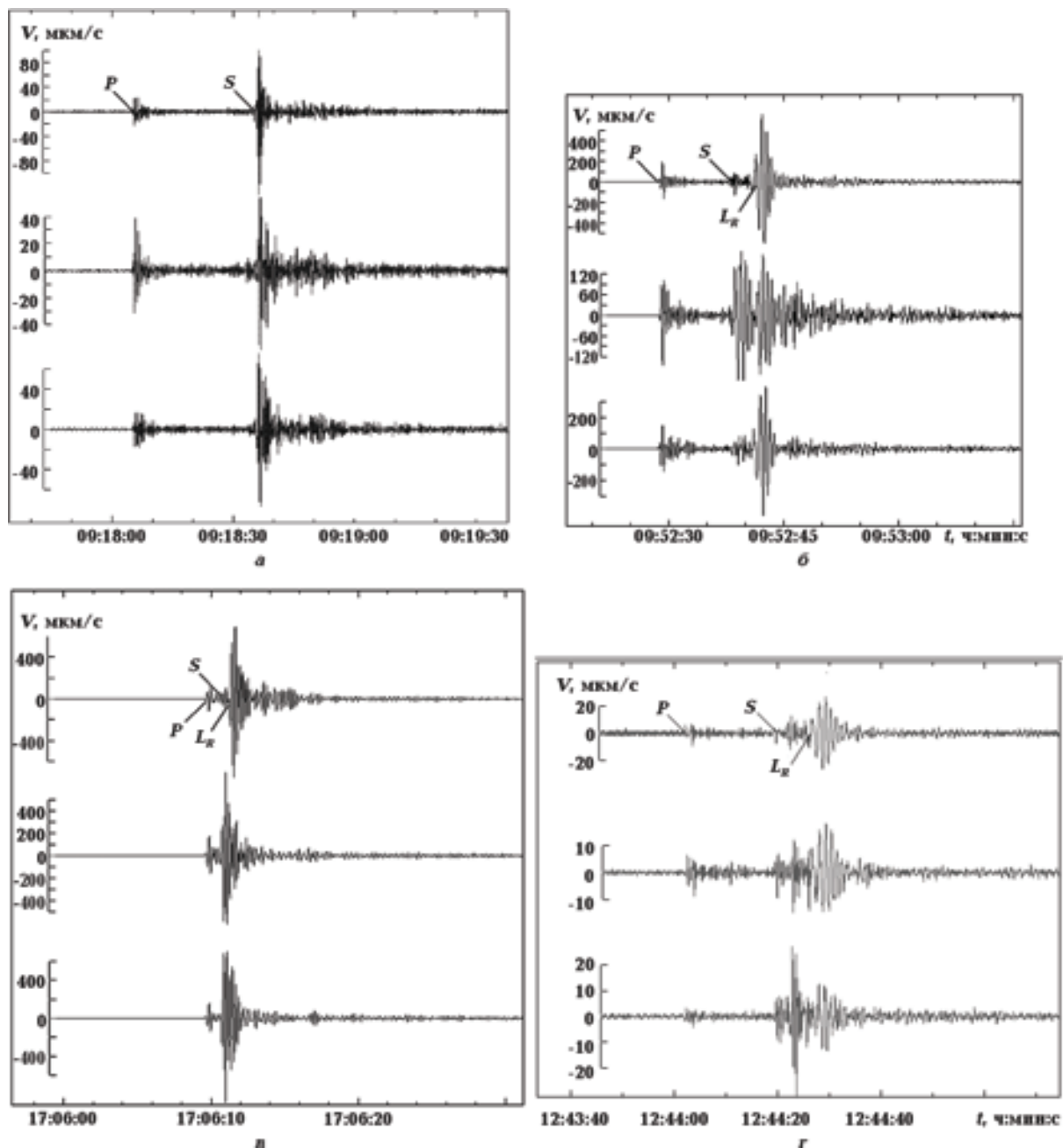


Рис. 3. Участки сейсмограмм сейсмических событий, зарегистрированных на станции "Малин": а — землетрясение 18.11.2007 г., $t_0 = 09:17:21$, $MD = 2,7$, $\varphi = 48,62^\circ$ N, $\lambda = 27,31^\circ$ E; б — землетрясение 12.03.2006 г., $t_0 = 09:52:11$, $MD = 2,9$, $\varphi = 51^\circ$ N, $\lambda = 28,25^\circ$ E; в — взрыв 25.07.2006 г., $t_0 = 17:06:07$, $MD = 2,4$, $\varphi = 50,81^\circ$ N, $\lambda = 29,31^\circ$ E; г — взрыв 03.11.2006, $MD = 1,6$, $\varphi = 49,5^\circ$ N, $\lambda = 28,31^\circ$ E.

вана по максимуму и отображена разными цветами, более яркими обозначены большие ее значения.

Отмечена некоторая закономерность в изменении частоты максимума спектральной плотности (ЧМСП) в зависимости от магнитуды землетрясения. (Энергетический класс рассматриваемых сейсмических событий $K = 7 \div 9$). По спектрограммам тектонических со-

бытий, очаги которых расположены на окраине УЩ (в районе г. Новоднестровск), установлен следующий диапазон ЧМСП в S-волне: 0,5—8 Гц (18.11.2007 г., $ML = 2,7$); 2—7 Гц (18.10.2005 г., $MD = 2,0$) и 2,5—4 Гц (18.06.2006 г., $MD = 1,8$). Эпицентральные расстояния до станции "Малин" 267—269 км. Запись землетрясения 18.11.2007 г. и спектрограмма представлены на рис. 3, а и 4, а.

При землетрясении 09.06.2007 г., $M_L = 2,2$, эпицентр которого расположен вблизи г. Могилев-Подольский, ЧМСП в S -волне зафиксирована в интервале 0,7—3,5 Гц; расстояние до станции "Малин" 276 км.

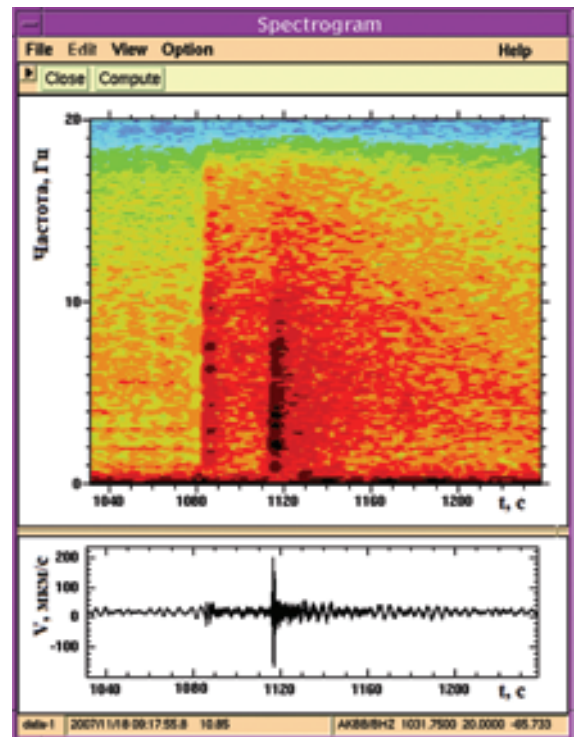
При сейсмическом событии 12.03.2006 г., $M_D = 2,9$, произошедшем в районе Коростенского плутона и зарегистрированном на $\Delta = 76$ км, ЧМСП отмечена в S -волне в интервале 3—8 Гц. В поверхностной волне ЧМСП прослеживается до 11 Гц при наибольшей концентрации на участке 0,5—2 Гц. Запись и спектрограмма этого сейсмического события показаны на рис. 3, б и 4, б.

Различия в диапазонах ЧМСП землетрясений обусловлены не только особенностями очага — выделившимся количеством энергии и спектральным составом колебаний в районе очага, но и затуханием высокочастотных составляющих сейсмических волн на пути их распространения. Расстояния от эпицентров землетрясений, расположенных на юго-западной окраине щита, до станции "Малин" составили 267—276 км; сейсмические волны в северо-восточном направлении проходят вдоль верхней части щита, нарушенной глубинными разломами.

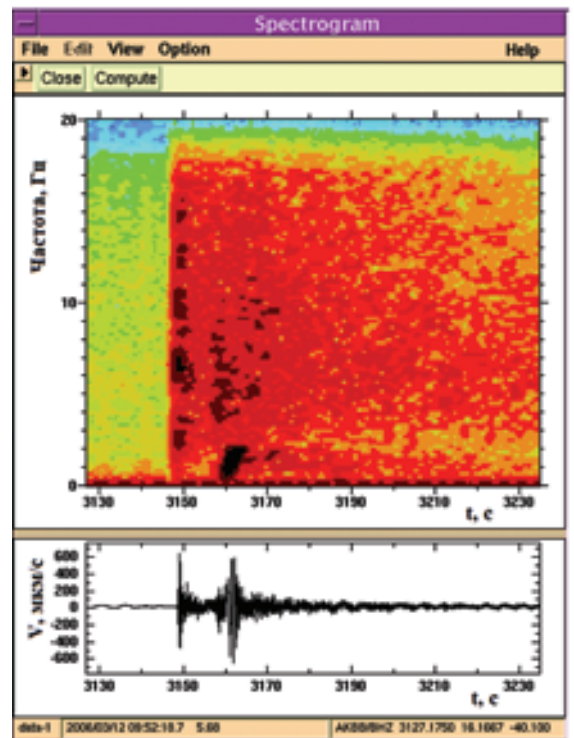
При определении природы события, произошедшего 12.03.2006 г., возникли некоторые трудности, связанные с тем, что использование разных критериев идентификации дают различные результаты. Низкое отношение амплитуд S/P и наличие на сейсмической записи мощной волны L_g свидетельствуют в пользу искусственного происхождения. В то же время длительность записи около 3 мин не характерна для промышленных взрывов.

Окончательное заключение о тектоническом происхождении события 12.03.2006 г. основано на результатах спектрально-временного анализа его записи. Проявление на спектрограмме события максимума плотности спектра в интервале записи S -волны в частотной полосе 3—8 Гц — характерный признак землетрясения. Кроме того, в районе расположения сейсмической станции "Зеленица" на расстоянии 29 км от эпицентра был слышен подземный гул.

Дополнительно проведен поиск информации о проведении взрывов в районе эпицент-

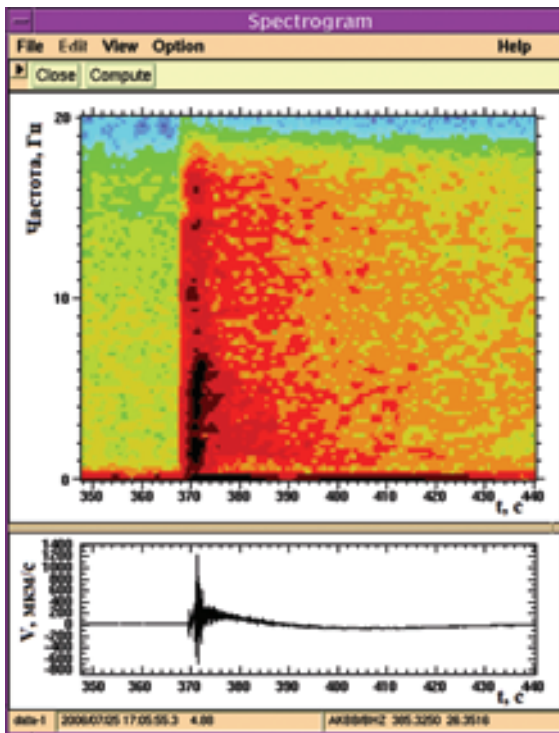


а

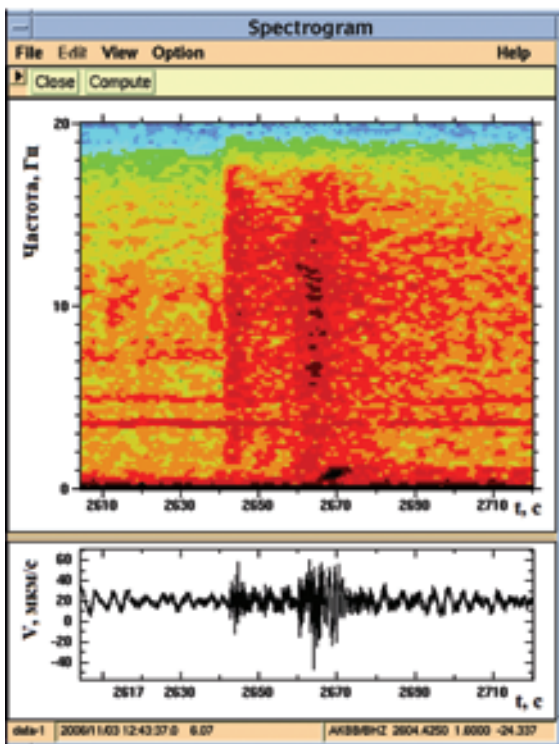


б

Рис. 4. Записи и спектрограммы с/ст. "Малин": а, б — землетрясения (а — 18.11.2007 г., $t_0 = 09:17:21$, $M_D = 2,7$, $\varphi = 48,62^\circ$ N, $\lambda = 27,31^\circ$ E; б — 12.03.2006 г., $t_0 = 09:52:11$, $M_D = 2,9$, $\varphi = 51^\circ$ N, $\lambda = 28,25^\circ$ E); в, г — взрывы (в — 25.07.2006 г., $t_0 = 17:06:07$, $M_D = 2,4$, $\varphi = 50,81^\circ$ N, $\lambda = 29,31^\circ$ E; г — 03.11.2006 г., $t_0 = 12:43:37$, $M_D = 1,6$, $\varphi = 49,5^\circ$ N, $\lambda = 28,31^\circ$ E).



в



г

Рис. 4, в, г.

ра этого события в указанное время. По сообщению исполняющего обязанности главного инженера ПО "ЗападУкрвзрывпром" взрывные работы согласно графику (или внеочередные) в отмеченный период времени в этом районе не проводились. Аналогичная информация была получена от руководства всех местных карьеров.

Согласно изложенному выше и в связи с отсутствием таких факторов, как крупные инженерно-гравитационные, карстовые процессы, закачивание больших масс жидкости в скважины и др., которые могли бы вызвать техногенное землетрясение, сейсмическое событие, зарегистрированное 12.03.2006 г., рассматривается как локальное землетрясение тектонического происхождения.

В 2005—2007 гг. в гранитных карьерах вблизи станции "Малин" ($\Delta = 14$ км) и на значительном удалении от нее ($\Delta = 150 \div 350$ км) произведен ряд взрывов значительной мощности.

Сейсмические волны, возбужденные при наиболее мощных взрывах вблизи станции "Малин" 2006 г. (25.07, $MD = 2,4$; 28.07, $MD = 2,0$; 24.06, $MD = 1,8$ и др.), зарегистрированы станциями карпатской сети, расположенными на значительном удалении от карьеров ($\Delta = 250 \div 350$ км). Однако эти события в каталоге [Сейсмологический ..., 2008] отнесены к землетрясениям и координаты эпицентров определены неправильно (см. таблицу).

При близком сильном взрыве длительность на записи цуга P - и L_g -волн станции "Малин" не превышает 2,5—3,5 с (см. рис. 3, в). Спектрограмма взрыва 25.07.2006 г., $MD = 2,4$, зарегистрированного на $\Delta = 14$ км, показана на рис. 4, в; в интервале записи L_g -волны ЧМСП находится в диапазоне 0,7—15 Гц. Максимальная спектральная плотность сплошной полосой прослеживается на частоте от 0,7—7 Гц, при более слабых взрывах — на 0,7—3 Гц и в виде отдельных участков — до 11 Гц.

Аналогичный диапазон ЧМСП в L_g -волне отмечен на спектрограммах взрывов с $MD > 1,5$, которые проводились в карьерах на значительных расстояниях от станции регистрации. При взрыве 03.11.2006 г., $MD = 1,6$, эпицентр которого находится от станции "Малин" на удалении 149 км, максимальная спектральная плотности в L_g -волне отмечена на участке до 1 Гц и в интервале 6—13 Гц (см. рис. 4, г).

Заключение. Для распознавания природы сейсмических событий, эпицентры кото-

рых находятся в западной части УЦ, использованы записи сейсмических станций ГЦСК НКА Украины и критерии идентификации землетрясений и взрывов, разработанные в условиях платформенной части территории Украины [Андрущенко, Гордієнко, 2009].

Идентификация сейсмических событий основана на анализе особенностей волновых форм и изменении их спектрального состава во времени. При взрывах основными составляющими волнового поля являются поверхностные волны. При землетрясениях также регистрируются относительно мощные поверхностные волны, связанные с тектоническими движениями, возникающими на небольшой глубине. Интенсивность поверхностных волн при землетрясениях уменьшается с увеличением глубины очага.

Критерий для распознавания землетрясений — наличие на сейсмограммах записи поперечной объемной волны. При взрывах, произведенных на близком расстоянии от станции, на сейсмограммах отсутствуют вступления поперечных волн; на большом удалении от источника регистрируются *S*-волны слабой интенсивности.

На основании результатов анализа спектрограмм, рассчитанных по записям станций ГЦСК, установлено, что большинство сейсмических событий 2005—2007 гг. (с эпицентрами на западе УЦ), представленных в каталогах Сейсмологических бюллетеней Украины как землетрясения, имеют иную природу. Отмечены также погрешности в определении координат эпицентров ряда событий, что связано с их расчетом по записям сейсмических станций Карпатской сети, расположенных западнее эпицентрального поля — в азимутальном створе 180—300°.

Спектрально-временной критерий, использованный для разделения взрывов и локальных землетрясений, зависит от особенностей среды на пути распространения волн от оча-

га к станции. В некоторой мере влияние среды в районе регистрации волн минимизировано, так как приведенные выше интервалы частоты максимальной плотности сравниваются по данным одной станции "Малин", оснащенной современной цифровой сейсмологической аппаратурой, расположенной в шахтном сооружении.

По спектрограммам установлено следующее. При семи землетрясениях максимум спектральной плотности находится в поперечной волне в интервале частот до 8 Гц.

По результатам анализа спектрограмм взрывов максимальные значения спектральной плотности отмечены в поверхностной волне в диапазоне 0,7—3 Гц сплошной полосой, далее до 11 Гц — в виде отдельных участков. При некоторых взрывах — соответственно от 0,7—7 до 13—15 Гц. Различия в протяженности диапазона частоты, в котором наблюдается максимум спектральной плотности сейсмических сигналов, по-видимому, обусловлены разной мощностью источников и расстоянием до пункта регистрации.

При изучении большого объема записей взрывов (более 6000), зарегистрированных сейсмическими станциями ГЦСК, установлено, что основная часть энергии при взрывах реализуется в виде колебаний в диапазоне частот 0,7—3 Гц.

Для надежного разделения слабоинтенсивных тектонических событий и взрывов в некоторых районах платформенной территории необходимо создать плотную сеть сейсмических станций, оснащенных современной аппаратурой. Одна из главных задач для развития работ по распознаванию природы сейсмических сигналов — разработка новых методов, использующих динамические параметры, которые не зависят от мощности источника, особенностей спектра колебаний, формирующихся в источнике, и свойства среды на пути их распространения.

Список литературы

Андрущенко Ю. А., Гордієнко Ю. А. Аналіз ефективності застосування критеріїв ідентифікації вибухів і землетрусів для локальних та регіональних подій в умовах платформної частини України // Геофиз. журн. — 2009. — 31, № 3. — С. 121—129.

Гинтов О. Б. Зоны разломов Украинского щита.

Влияние процессов разломообразования на формирование структуры земной коры // Геофиз. журн. — 2004. — 26, № 3. — С. 3—24.

Карта разрывных нарушений и основных зон линейментов юго-запада СССР (с использованием материалов космической съемки)

- / Гл. ред. Н. А. Крылов. — 1 : 1 000 000. — Киев: Мингео СССР, 1988. — 4 л.
- Кендзера А. В.* Юго-западные регионы Восточно-Европейской платформы // Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / Под ред. Н. В. Шарова, А. А. Маловичко, Ю. К. Щукина. — Петрозаводск: Изд. КНЦ РАН, 2007. — С. 310—327.
- Кендзера А. В., Омельченко В. Д., Старостенко В. И., Дрогицкая Г. М., Вербицкий С. Т., Палиенко В. П., Спица Р. А.* Результаты сейсмических наблюдений в районах Ровенской и Хмельницкой АЭС // Геофиз. журн. — 2003 — 25, № 1. — С. 17—27.
- Копничев Ю. Ф., Павлова О. В.* Новые данные о строении Украинского щита // Докл. АН СССР. — 1990. — 311, № 3. — С. 575—578.
- Кутас В. В., Омельченко В. Д., Дрогицкая Г. М., Калитова И. А.* Криворожское землетрясение 25 декабря 2007 г. // Геофиз. журн. — 2009. — 31, № 1. — С. 42—52.
- Кутас В. В., Омельченко В. Д., Кендзера А. В., Дрогицкая Г. М., Калитова И. А.* Сейсмичность западной части Восточно-Европейской платформы в пределах Украины // Геофиз. журн. — 2007. — 29, № 5. — С. 59—72.
- Кутас В. В., Омельченко В. Д., Остроухова О. А.* Эпицентры землетрясений на юго-западе Украины // Геофиз. журн. — 2005. — 27, № 6. — С. 962—969.
- Надежка Л. И., Пивоваров С. П., Мехрюшев Д. Ю., Сафронич И. Н., Вторников Е. Ю.* Южная часть Русской плиты // Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / Под ред. Н. В. Шарова, А. А. Маловичко, Ю. К. Щукина. — Петрозаводск: Изд. КНЦ РАН, 2007. — С. 289—309.
- Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны единой системы сейсмических наблюдений СССР (Крым — Карпаты, 1987 г.).* — Киев: Наук. думка, 1987. — С. 125—181.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2005 год.* — Севастополь: НПЦ "ЭКОСИ-Гидрофизика", 2007. — С. 49—146
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2006 год.* — Севастополь: НПЦ "ЭКОСИ-Гидрофизика", 2008. — С. 31—41; 138—277.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2007 год.* — Севастополь: НПЦ "ЭКОСИ-Гидрофизика", 2009. — С. 66—130.
- Старостенко В. И., Пашкевич И. К., Кутас Р. И.* Глубинное строение Украинского щита // Геофиз. журн. — 2002. — 24, № 6. — С. 36—48.