

ОТОТОЖНЕННЯ ВИБУХІВ У КАРПАТСЬКОМУ РЕГІОНІ УКРАЇНИ ЗА ОЗНАКОЮ СХОЖОСТІ ЇХНІХ ХВИЛЬОВИХ ФОРМ

Запропоновано використовувати критерій схожості хвильових форм на одній і тій самій станції для ототожнення вибухів, що відбуваються у гірничовидобувних кар'єрах карпатського регіону України. Наведено приклад ототожнення вибухів з епіцентрального району Довге-Іршава, що відбувалися там впродовж 2005–2007 років. Зроблено висновок про ефективність критерію і доцільність його використання з метою очищення каталогів місцевих землетрусів від вибухів.

Ключові слова: вибух; землетрус; критерій схожості хвильових форм; каталоги місцевих землетрусів.

Вступ

Ще на початку інструментальної ери в сейсмологічних спостереженнях було помічено, що на одній і тій самій станції трапляються дуже схожі між собою записи сейсмічних подій. Пояснення цьому доволі просте – чинники, що впливають на їхню форму у цих записах, однакові або дуже схожі між собою. Йдеться про джерело і шлях, яким поширюються хвилі від джерела до станції. Однак можливості для широкомасштабного використання схожих між собою подій в сейсмологічних дослідженнях виникли лише з масовим впровадженням цифрової реєстрації, збільшенням кількості та якості записів та з адекватним підвищенням можливостей їхньої комп'ютерної обробки.

Найчастіше схожість хвильових форм використовують з метою уточнення вступів фаз на тлі високого рівня завад, порівнюючи відповідні записи з іншими, у яких вступи видно чіткіше, що зрештою, дає змогу значно підвищити точність визначення взаємного розташування відповідних джерел. Результати використання уточнених вступів інколи просто вражають – невиразні початкові хмарки гіпоцентрів перетворюються на чіткі обриси тектонічних структур, з якими вони пов'язані [Shearer, 1997; Waldhauser, Ellsworth, 2002; Shearer та ін., 2005]. Окрім того, повторні землетруси використовувалися у таких різноманітних сейсмологічних задачах, як оцінювання швидкості взаємного переміщення берегів розлому на глибині [Nadeau, McEvilly, 1999], визначення ступеня неоднорідності нижньої мантії [Tibuleac, Herrin, 1999], моніторинг варіацій швидкості пружних хвиль у земній корі [Poupinet, 1984] тощо.

Актуальність проблеми ототожнення вибухів

З огляду на постійне збільшення обсягу даних цифрових сейсмічних спостережень, використання повторних подій стає актуальним завданням і в сейсмологічних дослідженнях у карпатському регіоні [Гнур, 2009; Гнур, 2010]. Завершення в останні роки процесу поетапного розширення і обладнання Карпатської мережі сейсмічних станцій системами цифрової реєстрації, розробленими у відділі сейсмічності карпатського регіону ІГФ

НАН України призвело до значного розширення (навіть за збереження сейсмічних давачів попереднього зразка) динамічного діапазону записів та відповідного зниження енергетичного порога і збільшення кількості подій, що реєструються у найщільніших ділянках мережі (приблизно з 8 до 5–6 класу) [Вербицький, Вербицький, 2005]. Істотно збільшення потоку сейсмологічної інформації – адже за відомим співвідношенням Ріхтера-Гутенберга на один землетрус вищого класу припадає кілька десятків подій нижчого – створило якісно нові можливості для досліджень і стеження за динамікою сеймотектонічних процесів у регіоні, місцева сейсмічна активність в якому порівняно невисока. До того ж підвищення чутливості мережі призвело також до збільшення серед зареєстрованих подій кількості вибухів гірничодобувного та іншого господарського призначення, що здійснюються з певною періодичністю у різних частинах регіону. Збільшилася, однак, не лише кількість, а й частка вибухів, оскільки за своїми енергетичними характеристиками вони потрапляють саме у діапазон підвищення чутливості мережі. Попри те, що вибухи (точні епіцентральної координати яких переважно відомі) можуть становити цінне джерело сейсмологічної інформації (їх, зокрема, використовували автори [Кутас та ін., 1999; Кутас та ін., 2003] під час складання регіонального годографа Р- та S-хвиль, а також під час дослідження природи об'ємних хвиль, що реєструються в Закарпатті), їх усе ж необхідно уміти відрізнити від землетрусів та усувати, коли йдеться про складання каталогів місцевих землетрусів і вивчення сейсмічної активності в регіоні. Це завдання набирає особливої актуальності, з огляду на підвищення останнім часом уваги саме до малих землетрусів, зумовлене як технічною можливістю їхньої масової реєстрації, так і їхньою значною інформативністю [Гнип, Вербицький, 2005; Гнип, 2006; Гнур, 2007].

Критерії визначення вибухів

Хоча вибухи повторюються здебільшого у сталих місцях та в денний час, що з урахуванням діапазону їхніх енергетичних класів вже само по

собі може бути їхньою ознакою, їх переважно усе ж важко відрізнити від землетрусів (особливо слабких і неглибоких), що можуть відбуватися там само. Епіцентри мукачівської серії землетрусів 2005–2006 рр. майже збіглися, зокрема, з місцем розташування гірничовидобувного кар'єру в с. Кольчино, в якому впродовж цього періоду відбувалися й вибухи. Відомі, звісно, і деякі специфічні ознаки, за якими можна говорити про те, що зареєстрована подія є вибухом. Зокрема, однакові полярності перших вступів прямих Р-хвиль, що відповідають хвилі стиску, на записах певної кількості сейсмічних станцій можуть свідчити про механізм вогнища типу об'ємного розширення, характерний саме для вибухів й аж ніяк не для землетрусів. Утім на практиці полярності перших вступів від слабких подій на тлі шумів визначити часто важко, а кількість сейсмічних станцій з відомими полярностями недостатня для однозначного висновку про механізм вогнища. Нечіткі, невиразні перші вступу

поперечних хвиль на записах теж можуть свідчити про те, що джерелом є вибух. Зрештою, оскільки жоден з перелічених та інших відомих критеріїв [Андрущенко та ін., 2010] не забезпечує стовідсоткової надійності визначення вибуху, їх застосовують переважно одночасно кілька.

Важливою характерною ознакою вибухів у гірничовидобувних кар'єрах є схожість (а часто і майже цілковита тотожність) їхніх хвильових форм на записах однієї і тієї самої станції. Оскільки не менш схожими бувають і так звані повторні землетруси, то відрізнити від них вибухи можна з одночасним застосуванням додаткового критерію, яким може бути, зокрема, епіцентральної район і/або час виникнення події. Дійсно, якщо серед записів місцевих подій виявлено групу, що вирізняється схожістю хвильових форм, то рівномірний розподіл їх упродовж доби може свідчити про те, що йдеться про землетруси, і навпаки, якщо пік розподілу припадає на денний

Таблиця 1

Дані про сейсмічні події з епіцентрального району Довге-Іршава, зареєстровані сейсмічною станцією Брід впродовж 2005–2007 років [Сейсмологический..., 2007, 2008, 2009].
(крок дискретизації 0,02 с, час у джерелі для подій, яких немає в бюлетені, подано приблизно, з урахуванням часу пробігу Р-хвилі в інших подіях з тієї самої групи)

Дата	Час у джерелі (GMT), год, хв, с	Координати епіцентру		Глибина, км	Енергетичний клас	Епіцентральної район
		φ, град.	λ, град.			
Група Довге						
16.08.2005	11 36 53,1	48,39	23,24	6,0	7,4	Довге
12.09.2005	12 40 51,2	48,37	23,26	6,0	7,0	Довге
25.10.2005	11 15 45,7	48,37	23,26	6,0	7,8	Довге
06.12.2005	12 15 7,3	48,38	23,10	32,0	7,6	Іршава
20.12.2005	13 57 9,5	48,37	23,23	2,0	7,7	Довге
18.04.2006	12 21 30,4	48,35	23,26	6,0	7,2	Довге
25.10.2006	13 31 57,1	48,33	23,23	5,1	7,1	Довге
15.11.2006	9 40 40,1	48,36	23,27	6,0	7,2	Довге (землетрус?)
25.03.2007	20 59 7,0	48,45	23,22	3,0	7,2	Довге (землетрус?)
27.06.2007	9 43 47,3	48,41	23,30	10,0	6,7	Довге
21.12.2007	13 57 8,2	48,34	23,26	2,0	6,6	Довге
Група Іршава-1						
08.09.2006-1	15 21 53,7	48,40	23,0	5,9	6,5	Іршава
08.09.2006-2	15 24 30,15					немає в бюлетені
08.09.2006-3	15 27 59,0					немає в бюлетені
08.09.2006-4	15 39 23,5	48,42	23,0	5,3	6,2	Іршава
08.09.2006-5	17 24 26,4	48,41	23,0	2,0	6,3	Іршава
Група Іршава-2						
11.11.2006-1	5 35 2,0	48,37	22,94	2,0	7,0	Іршава
11.11.2006-2	7 51 46,68					немає в бюлетені
11.11.2006-3	13 18 18,48					немає в бюлетені
05.12.2006	12 43 0,6	48,31	22,98	4,4	7,0	Іршава
08.12.2006-1	8 25 44,4	48,41	23,13	1,6	6,5	Іршава
08.12.2006-2	9 23 5,8	48,34	23,07	5,2	7,3	Іршава
08.12.2006-3	11 33 32,56					немає в бюлетені
08.12.2006-4	17 11 47,02					немає в бюлетені
09.12.2006-1	8 8 27,1	48,37	23,09	6,0	6,5	Іршава
09.12.2006-2	8 56 13,4	48,39	23,12	6,0	7,3	Іршава
02.11 2007	17 20 32,4	48,32	22,99	10,9	6,3	Іршава

час і серед подій немає жодної нічної, то відповідна група швидше за все складається з вибухів. До того ж, якщо епіцентральному району групи схожих між собою і здебільшого денних подій відповідає місце розташування одного з відомих кар'єрів, то висновок про їхню природу як вибухів буде майже однозначний.

Приклад застосування критерію схожості хвильових форм

Для перевірки можливості виділення вибухів із застосуванням критерію схожості були обрані записи кількох груп місцевих закарпатських подій з епіцентрами в районі Довге-Іршава, зареєстрованих сейсмічною станцією Брід впродовж 2005–2007 рр. Оскільки станція розташована у місці з невисоким порівняно з іншими станціями мережі рівнем завад і найближче із них до зазначеного епіцентрального району (на відстані ~20 км), вона зареєструвала і найбільше цих подій. Окрім того, у записах станції було виявлено ще кілька подій, ймовірно, з того самого епіцентрального району, але не зазначених у бюлетені [Сейсмологический..., 2007, 2008, 2009] (табл. 1). Спо-

чатку до записів вертикальної компоненти швидкості з кроком дискретизації 0,02 с був застосований двохпрохідний фільтр Батерворда четвертого порядку зі смугою пропускання 0,5–3,5 Гц. Обрання фільтра саме цього типу забезпечило збереження початкової фазової характеристики сигналів, що є важливою умовою для подальшого кореляційного аналізу записів у часовій ділянці. Діапазон частот був вибраний так, щоб він відповідав порівняно вузькій плоскій ділянці частотної характеристики сейсмічних давачів типу СМЗ-КВ [Аранович та ін., 1996], якими обладнана більшість сейсмічних станцій мережі (і станція Брід зокрема), і забезпечував водночас ефективне усунення шумів, що спотворюють часову форму сигналів. Відтак були обчислені функції взаємної кореляції між записами усіх пар подій у часових вікнах тривалістю від 3 до 8 с і з початком за 1–3 с до вступу Р-хвилі за даними бюлетеня [Сейсмологический..., 2007, 2008, 2009], визначені часові зміщення, що відповідають піковим значенням функції (табл. 2).

За ступенем взаємної кореляції аналізовані записи чітко поділилися на три групи.

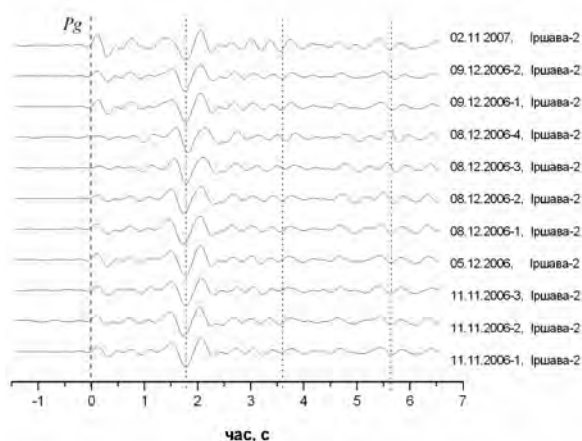
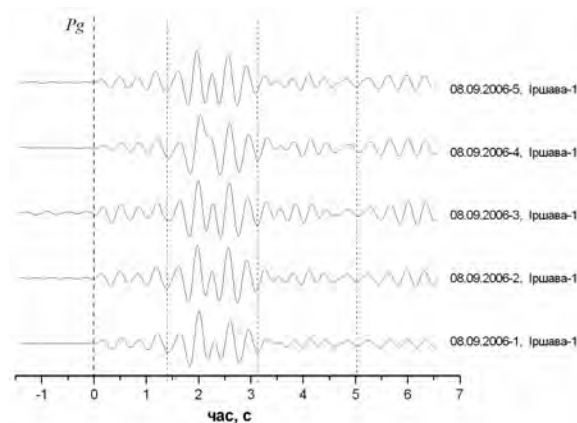
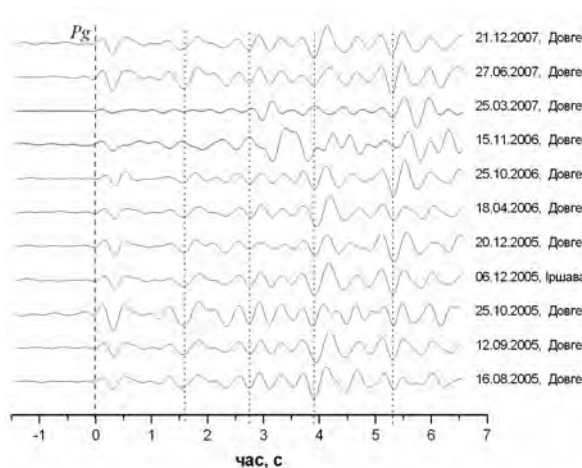


Рис. 1. Зареєстровані сейсмою станцією Брід траси вертикальної компоненти швидкості для сейсмічних подій району Довге-Іршава (2005–2007 рр.)

(крок дискретизації – 0,02 с, вікно, тривалістю 8 с, початок запису за 1,4 с до часу вступу Рg, траси суміщені за максимумом функції їхньої взаємної кореляції та нормалізовані відносно максимуму їхньої амплітуди у межах вікна)

Таблиця 2

Пікові значення функції взаємної кореляції між парами записів вертикальної компоненти швидкості (див. рис. 1) для подій з табл. 1 (кореляція у часовому вікні тривалістю 8 с і з початком за 1,4 с до часу вступу Pg).

У правому стовпчику подано дати подій, D – група подій з епіцентрального району Довге, I1 та I2 – групи подій з району Іршава.

Затінено рядки і стовпчики двох подій, що не потрапили до жодної з груп

2-D	3-D	4-I	5-D	6-D	7-D	8-D	9-D	10-D	11-D	12-II	13-II	14-II	15-II	16-II	17-II	18-II	19-II	20-II	21-II	22-II	23-II	24-II	25-II	26-II	27-II		
0,88	0,81	0,87	0,66	0,87	0,69	0,3	0,54	0,77	0,89	0,58	0,53	0,5	0,59	0,51	0,48	0,44	0,47	0,49	0,45	0,45	0,47	0,45	0,49	0,49	0,43	1-D	
0,69	0,97	0,78	0,98	0,98	0,78	0,29	0,51	0,81	0,96	0,54	0,49	0,44	0,6	0,46	0,51	0,51	0,53	0,5	0,49	0,48	0,47	0,51	0,49	0,49	0,47	2-D	
0,72	0,63	0,64	0,66	0,64	0,66	0,34	0,52	0,91	0,78	0,38	0,36	0,36	0,34	0,36	0,34	0,28	0,36	0,32	0,33	0,34	0,36	0,37	0,37	0,37	0,36	3-D	
	0,82	0,96	0,82	0,77	0,91	0,27	0,5	0,83	0,96	0,53	0,47	0,43	0,58	0,45	0,52	0,52	0,51	0,54	0,5	0,49	0,48	0,46	0,52	0,5	0,48	4-I	
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,25	0,43	0,74	0,79	0,49	0,43	0,39	0,44	0,4	0,51	0,46	0,51	0,52	0,46	0,46	0,45	0,42	0,48	0,48	0,43	5-D	
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,23	0,56	0,74	0,94	0,56	0,5	0,45	0,6	0,47	0,56	0,56	0,55	0,58	0,53	0,53	0,53	0,5	0,55	0,55	0,49	6-D	
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,25	0,5	0,73	0,82	0,5	0,47	0,41	0,49	0,46	0,44	0,39	0,45	0,46	0,39	0,41	0,43	0,46	0,42	0,41	0,37	7-D	
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,31	0,28	0,43	0,26	0,3	0,27	0,27	0,37	0,27	0,44	0,42	0,42	0,42	0,46	0,43	0,43	0,46	0,45	0,47	0,4	8-D	
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,43	0,48	0,87	0,48	0,47	0,39	0,36	0,46	0,4	0,56	0,56	0,56	0,55	0,5	0,54	0,59	0,59	0,53	0,57	0,39	9-D	
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,43	0,48	0,87	0,48	0,43	0,38	0,35	0,43	0,36	0,32	0,3	0,31	0,35	0,31	0,31	0,36	0,33	0,33	0,29	0,36	10-D	
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,55	0,55	0,97	0,93	0,55	0,5	0,46	0,57	0,48	0,48	0,48	0,46	0,5	0,46	0,46	0,44	0,45	0,48	0,47	0,45	11-D	
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,97	0,93	0,97	0,84	0,97	0,93	0,86	0,99	0,98	0,47	0,45	0,48	0,47	0,47	0,46	0,48	0,44	0,38	0,39	0,38	12-II	
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,97	0,93	0,97	0,86	0,97	0,86	0,99	0,98	0,99	0,42	0,4	0,43	0,42	0,4	0,39	0,4	0,36	0,33	0,32	0,32	13-II	
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,97	0,93	0,83	0,96	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,4	0,39	0,41	0,41	0,39	0,39	0,39	0,37	0,32	0,3	0,32	14-II	
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,97	0,93	0,83	0,83	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,43	0,41	0,43	0,42	0,4	0,42	0,44	0,42	0,37	0,38	0,34	15-II	
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,97	0,93	0,83	0,83	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,39	0,37	0,4	0,4	0,39	0,39	0,4	0,37	0,3	0,3	0,32	16-II	
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95	0,95	0,99	0,98	0,99	0,95	0,98	0,91	0,95	0,91	0,88	0,88	0,85	0,97	0,96	0,88	17-II	
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,91	0,91	0,95	0,95	0,91	0,95	0,99	0,98	0,99	0,95	0,91	0,95	0,96	0,95	0,89	0,89	0,89	0,94	0,94	0,83	18-II	
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	19-II
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	20-II
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	21-II
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	22-II
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	23-II
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	24-II
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	25-II
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	26-II
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	26-II
		0,77	0,77	0,77	0,77	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	09.12.2006

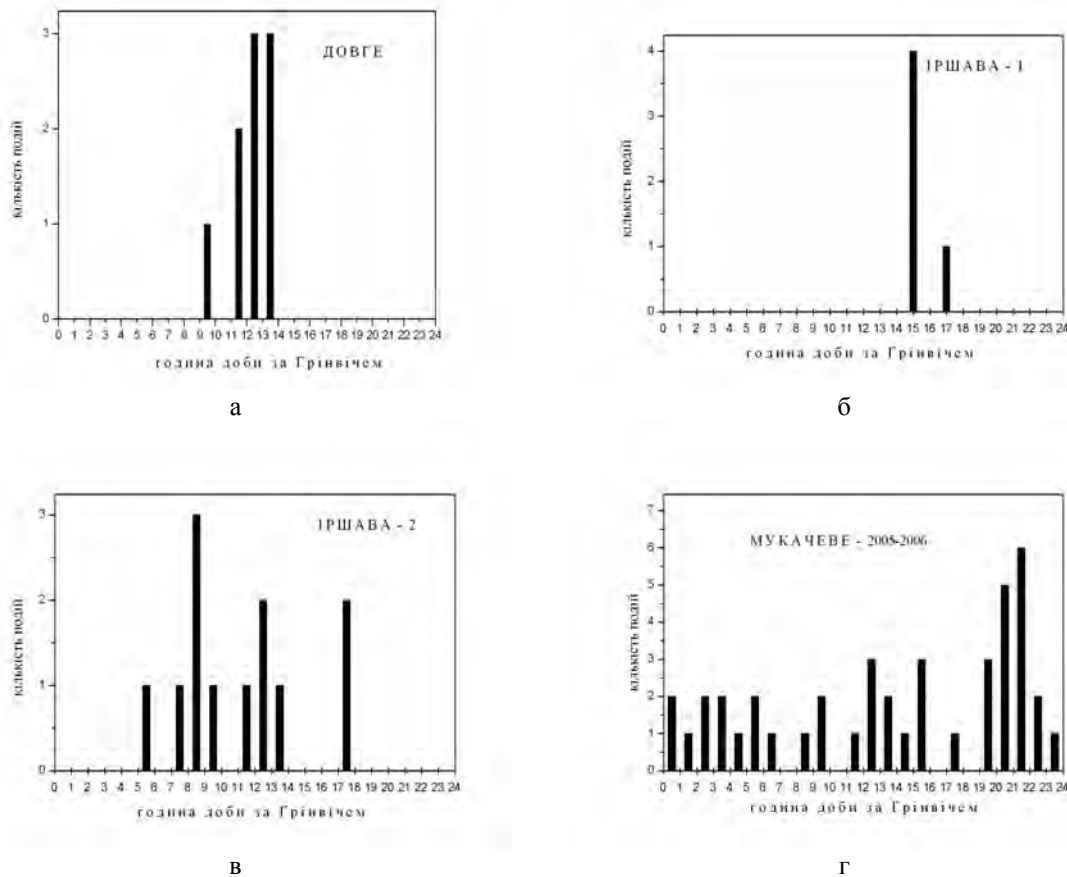


Рис. 2. Діаграми кількості подій, зареєстрованих впродовж кожної години доби: а – для групи подій з епіцентрального району Довге (табл. 1, без подій 15.11.2006 і 25.03.2007); б – для групи подій з епіцентрального району Іршава-1 (табл. 1); в – для групи подій Іршава-2 (табл. 1); г – для трьох груп повторних землетрусів, що відбулися поблизу м. Мукачеве у 2005–2006 рр.

До однієї з них належать записи подій з епіцентрами у районі Довгого, до двох інших – Іршави (табл. 1, 2, рис. 1). Утім виявилось, що кореляція записів двох подій (15.11.2006 і 25.03.2007) з епіцентрального району Довге з іншими набагато менша (не більш ніж 0,57), ніж між записами кожної з груп (не менш ніж 0,7). Окрім того, подія 06.12.2005 р. з епіцентрального району Іршави (за бюлетенем [Сейсмологический..., 2009]) потрапила у групу подій з Довгого.

На рис. 2 показано діаграми кількості подій, зареєстрованих впродовж кожної години доби, окремо для груп Довге (без урахування подій 15.11.2006 і 25.03.2007 рр.) та Іршава-1 і Іршава-2. Для порівняння наведено також спільну діаграму для трьох груп повторних землетрусів, що відбулися впродовж 2005–2006 рр. поблизу м. Мукачеве. Як бачимо з рисунка, на діаграмах Довге та Іршава-1 і Іршава-2 немає жодної нічної події. Переважання ж нічних подій на діаграмі для землетрусів, що відбулися поблизу м. Мукачеве, можна пояснити тим, що у денні години за підвищеного рівня шумів реєструється менше слабких землетрусів, ніж у нічні, коли шум менший.

Отже, з урахуванням наведених вище критеріїв можна зробити висновок, що фактично усі проаналізовані події з епіцентрального району Довге-Іршава (за винятком подій 15.11. 2006 і 25.03.2007 рр., хвильові форми яких мало корелюють з іншими) можна визначити як вибухи.

Цей висновок підкріплюється і тим, що полярності перших вступів у всіх цих подіях відповідають прямій хвилі стиску. На жаль, через мале співвідношення сигнал/шум на інших станціях мережі, розташованих на більших, ніж Брід епіцентрального відстанях, визначити полярності вступів для цих слабких подій було неможливо. Зрештою, відомо також, що в околиці м. Іршава розташований гірничо-збагачувальний комбінат, сировину для якого видобувають, мабуть, із використанням вибухів.

Обговорення результатів

Проблема “очищення” каталогів місцевих землетрусів від вибухів стала особливо актуальною в останньому десятилітті з впровадженням цифрової реєстрації на сейсмічних станціях Карпатської мережі і потребує пильної уваги та пошуку ефективних і зручних у використанні критеріїв ототожнення останніх. Критерій схожості хвильових

форм придатний для визначення не усіх – зрозуміло – вибухів, а лише тих, що повторюються з певною періодичністю у сталих гірничодобувних кар'єрах. Утім, як показує досвід обробки даних сейсмічних спостережень у регіоні, ці вибухи становлять переважну більшість серед зареєстрованих станціями Карпатської мережі слабких подій. Це пов'язано з тим, що вибухи в кар'єрах переважно великої потужності і повторюються доволі часто. Ефективність застосування критерію схожості для визначення саме таких вибухів очевидна. Іншою перевагою критерію є його висока надійність. За наявності шумів оцінити, зокрема, полярності перших вступів на достатній кількості станцій для відповідного класу подій – завдання майже нереальне. На ступінь же взаємної кореляції хвильових форм шуми впливають набагато менше, особливо у ділянках записів з великою порівняно з першими вступами амплітудою. До того ж, як бачимо і з наведеного прикладу, критерій придатний і в застосуванні до записів лише однієї станції, яку можна обрати з-поміж інших з урахуванням кількості і якості записів, зареєстрованих нею. Зрештою, якщо провести відповідний аналіз для більшої кількості станцій і з уточненням вступів фаз, то можна відтак уточнити й абсолютне та відносне розташування епіцентрів вибухів [Gnyр, 2009; Gnyр, 2010] з надійнішою прив'язкою їх до відомих кар'єрів.

Висновки

Оскільки істотною характерною ознакою вибухів у постійних гірничодобувних кар'єрах є схожість їхніх хвильових форм на записах однієї і тієї самої станції, її – у поєднанні з даними про епіцентральный район і/або час виникнення події – можна використовувати як критерій ототожнення вибухів. Наведений у роботі приклад ототожнення вибухів з епіцентрами в районі Довгого та Іршави доводить ефективність і надійність критерію, доцільність його практичного використання під час оброблення даних сейсмічних спостережень і складання каталогів місцевих землетрусів.

Література

- Андрущенко Ю.А., Кутас В.В., Кендзера А.В., Омельченко В.Д., Гордиенко Ю.А., Калитова І.А. Природа сейсмических событий, зарегистрированных на западе Украинского щита в 2005–2007 гг. // Геофиз. журн. – 2010. – Т. 32, № 2. – С. 64–74.
- Аранович З.И., Токмаков В.А., Трапезников Н.Л. Широкополосные среднепериодные велосиметры на базе сейсмометра СМЗ-КВ с обратной связью // Сейсмические инструменты. – 1996. – № 25/26 – С. 111–118.
- Вербицкий С.Т., Вербицкий Ю.Т. Сучасні засоби отримання та обробки сейсмологічної інформації // Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат. – К.: Наук. думка, 2005. – С. 80–86.
- Гнип А.Р., Вербицкий Т.З. Деякі особливості просторового і часового розподілу сейсмічності Закарпаття. Кількісний аналіз // Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат. – К.: Наук. думка, 2005. – С. 87–101.
- Гнип А. Фрактальні властивості сейсмічності Закарпаття // Праці НТШ – Львів. – 2006. – Т. XVII, Геофізика. – С. 82–106.
- Кутас В.В., Руденская И.М., Калитова И.А. Карпатский годограф Р- и S-волн и неоднородности литосферы // Геофиз. журн. – 1999. – 21, № 3. – С. 45–55.
- Кутас В.В., Дрогицкая Г.М., Корчагин И.Н. Природа объемных волн, регистрируемых в Закарпатье при коровых землетрясениях и промышленных взрывах // Геофиз. журн. – 2003. – 25, № 6. – С. 3–14.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2005 год / ред. Б.Г. Пустовитенко. – Севастополь: НПЦ “Экоси-Гидрофизика”, 2007. – 205 с.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2006 год / ред. Б.Г. Пустовитенко. – Севастополь: НПЦ “Экоси-Гидрофизика”, 2008. – 295 с.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2007 год / ред. Б.Г. Пустовитенко. – Севастополь: НПЦ “Экоси-Гидрофизика”, 2009. – 144 с.
- Gnyр A. Fractal variations of the Transcarpathian, West Ukraine, seismicity and their potential relation to changing phases of local seismic cycles // Acta Geophysica. – 2007. – 55, № 3. – P. 288–301, DOI: 10.2478/s11600-007-0015-5.
- Gnyр A. Refining locations of the 2005 Mukacheve, West Ukraine, earthquakes based on similarity of their waveforms // Acta Geophysica. – 2009. – 57, № 2. – P. 330–345, DOI: 10.2478/s11600-008-0071-5.
- Gnyр A. Refining locations of the 2005–2006 recurrent earthquakes in Mukacheve, West Ukraine, and implications for their source mechanism and the local tectonics // Acta Geophysica. – 2010. – 58, № 4. – P. 587–603, DOI: 10.2478/s11600-010-0006-9.
- Nadeau R.M., McEvelly T.V. Fault slip rates at depth from recurrence intervals of repeating microearthquakes // Science. – 1999. – 285. – P. 718–721.
- Poupinet G., Ellsworth W.L., Fréchet J. Monitoring velocity variations in the crust using earthquake doublets: An application to the Calaveras Fault, California // Journal of Geophysical Research. – 1984. – 89. – P. 5719–5731.
- Shearer P.M. Improving local earthquake locations using L1 norm and waveform cross correlation: Application to the Whittier Narrows, California, aftershock sequence // Journal of Geophysical Research. – 1997. – 102. – P. 8269–8283.
- Shearer P., Hauksson E., Lin G. Southern California hypocenter relocation with waveform cross-correlation, Part 2: Results using source-specific station terms and cluster analysis // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2005. – 95 (3). – P. 904–915, DOI: 10.1785/0120040168.

Tibuleac I.M., Herrin E. Lower mantle heterogeneity beneath the Caribbean Sea // Science. – 1999. – 285. – P. 1711–1715.
Waldhauser F., Ellsworth W.L. Fault structure and

mechanics of the Hayward Fault, California, from double-difference earthquake locations // Journal of Geophysical Research. – 2002. – 107, B3, DOI: 10.1029/2000JB000084.

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВЗРЫВОВ В КАРПАТСКОМ РЕГИОНЕ УКРАИНЫ
ПО ПРИЗНАКУ ПОДОБИЯ ИХ ВОЛНОВЫХ ФОРМ**

Ю.Т. Вербицкий, А.Р. Гнып, М.М. Наривна, О.М. Новотна, И.И. Ярема

Предложено использовать критерий подобия волновых форм на одной и той же станции для идентификации взрывов, проводимых на постоянно действующих горных карьерах Карпатского региона Украины. Приведен пример идентификации взрывов из эпицентрального района Долгое-Иршава, проведенных там в течении 2005–2007 годов. Сделан вывод об эффективности критерия и целесообразности его применения с целью очистки каталогов местных землетрясений от взрывов.

Ключевые слова: взрыв; землетрясение; критерий подобия волновых форм; каталоги местных землетрясений.

**IDENTIFICATION OF QUARRY BLASTS IN THE CARPATHIAN REGION OF UKRAINE
BY THE CRITERION OF SIMILARITY OF THEIR WAVEFORMS**

Yu.T. Verbytskyy, A.R. Gnyy, M.M. Narivna, O.M. Novotna, I.I. Yarema

The criterion of similarity of waveforms at the same station is suggested for identification of quarry blasts conducted on regular basis at local extraction sites of Carpathian region of Ukraine. Case study is presented of the identification of quarry blasts from epicentral area of Dovhe-Irshava, conducted there during 2005–2007. The conclusion has been drawn that the criterion is effective and applicable for removing the quarry blasts from catalogues of local earthquakes.

Key words: quarry blast; earthquake; criterion of similarity of waveforms; catalogues of local earthquakes.

¹*Відділ сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, м. Львів*

²*Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, м. Львів*

Надійшла 06.04.2011