

Б.И. Рыбалко, к.т.н., ведущий научный сотрудник,
С.В. Пересунько, младший научный сотрудник
Научно-исследовательский горнорудный институт ДВНЗ «КНУ»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ЗНАЧИМЫХ СОБЫТИЙ РЕЗУЛЬТАТОВ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА В ПРОЦЕССЕ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИС

При нахождении координат гипоцентров значимых событий используется метод, основан на определении разности времен первых вступлений основных типов сейсмических волн. Приведен пример результатов определения координат по сигналам выделенных значимых событий шахты Артем-1 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог».

Ключевые слова: мониторинг, значимое событие, координаты, сейсмические волны, гипоцентр.

При знаходженні координат гіпоцентрів значущих подій використовується метод, заснований на визначенні різниці часу перших вступів основних типів сейсмічних хвиль. Наведено приклад результатів визначення координат по сигналам виділених значущих подій шахти Артем-1 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Ключові слова: моніторинг, значуща подія, координати, сейсмічні хвилі, гіпоцентр.

If you find the coordinates of hypocenters significant events used method is based on determining the time difference of the first arrivals of the main types of seismic waves. An example of the results of determining the coordinates of the signals allocated significant events Artyom-1 mine PJSC "ArcelorMittal Kryviy Rih"

Keywords: monitoring, significant event, coordinates, seismic waves hypocenter.

Постановка задачи. При опытной эксплуатации ГИС шахты Артем-1 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» при непрерывном мониторинге используется следующий алгоритм обработки результатов:

1. Первичная обработка сигналов – исключение незначимых сигналов по амплитуде, по энергии явления (по длительности сигнала), по частотному диапазону.

2. Идентификация выделенных значимых явлений.

3. Определение координат гипоцентров выделенных значимых явлений.

4. Статистическая обработка уровней энергии, расположения гипоцентров и динамики сейсмической активности. Формирование и выдача информации о превышении сейсмической активности фоновых или других

заданных уровней (количество значимых сейсмических событий на единицу объема зоны мониторинга, проекции на единицу площади, резкого изменения интенсивности во времени).

5. Отображение координат, уровней энергии явлений на моделях массива горных пород. Отображение статистических характеристик, в т.ч. и динамики сейсмической активности на моделях массива горных пород.

6. Экспертное заключение специалистов по степени опасности/безопасности ведения горных работ. Использование полученной информации о сейсмической активности при планировании горных работ.

Одним из ключевых блоков алгоритма обработки результатов непрерывного мониторинга является нахождение координат гипоцентров выделенных значимых явлений для установления условий и прогнозирования потенциально опасных ситуаций, определения критериев оценивания безопасности ведения горных работ.

Изложение материала и результаты. При нахождении координат гипоцентров используется метод, основан на определении разности времен первых вступлений основных типов сейсмических волн: продольной – Pg, поперечной – Sg или поверхностной – Lg, в зависимости от типа события, выделенного на этапе идентификации. В таблице 1 представлены присущие типы тем или иным геомеханическим явлениям группы основных волн.

Таблица 1

Геомеханические явления по наличию сейсмических волн

Вид первичного разрушения	Формы проявления	T, сек	Присущие типы основных волн
1	2	3	4
	Микросейсмы Земли	Постоянно	
Микротрещины	Регистр. ЗИРом	0,01-0,1с	Pg
Трещины	Стреляние, динамическое заколообразование	0,1с	Pg
	Щелчки	0,2с	Pg, Sg
Макротрещины	Микротолчки, микроудары	0,3с	Pg, Sg
	Толчки средней мощности, слабые горные удары	0,4с	Pg, Sg
Разрыв под действием силы тяжести	Обрушения	0,2-0,4с	Pg, Lg
Сложные трещины со смещением	Сильные толчки, горные удары	0,5с	Pg, Sg, Lg

1	2	3	4
Массовое трещинообразование со смещениями и разрывами	Горно-тектонические удары	0,6с	Pg, Sg, Lg
		0,7с	Pg, Sg, Lg
		0,8с	Pg, Sg, Lg
		1с	Pg, Sg, Lg
	Техногенные землетрясения	1-30с	Pg, Sg, Lg
Региональные землетрясения	30-66с.	Pg, Sg, Lg Pn, Sn, P, S, Lq, Lr	
Землетрясения		P, PP, PKP, S,SKS Lr, Lq	
Взрыв			Pg, Lg
Электровоз			Pg,
Шаги			-
Работы вблизи зонда			-
Массовый взрыв			Группы Lg

P-волны – продольные («первичные») волны, т.е. наиболее быстрые волны, распространяющиеся от источника сейсмических колебаний через горные породы и представляющие собой последовательное сжатие и разрежение материала.

S-волны – поперечные («вторичные») сейсмические волны, распространяющиеся медленнее, чем P-волны, и состоящие из упругих колебаний, поперечных по отношению к направлению распространения волны. Не проходят через жидкость.

L-волны – волны Лява. Сейсмические поверхностные волны, при распространении которых происходит только горизонтальное смещение частиц перпендикулярно направлению движения волны.

R-волны – волны Рэлея. Сейсмические поверхностные волны, при распространении которых частицы совершают колебания только в вертикальной плоскости, содержащей направление волны. Скорости поверхностных волн меньше скорости поперечных волн [1].

Волны Pg и Sg распространяются от источника к сейсмической станции по земной поверхности или только в верхней коре. Буква «g» соответствует «гранитному» (верхнему) слою коры. P* и S*, соответственно, обозначают головные волны от границы Конрада. Буква «b» отвечает названию «базальтовый» (для нижнего слоя коры). Pn и Sn – головные волны от границы Мохоровичича. Буква «n» означает «noritic». Ранее сейсмологи

считали, что верхние слои мантии соответствуют материалам габбро (norites). Современные модели верхней мантии предполагают ее оливиновый (peridotitic-eclogitic) состав. PmP и SmS – волны, закритически отраженные от границы Мохоровичича.

Волны Pg и Sg имеют обычно четкое, но не всегда интенсивное начало колебаний с довольно высокой частотой и с постепенным плавным спадом интенсивности. Они хорошо выражены на короткопериодных записях. Их вступления разделены интервалом времени. Группа волн Sg существенно превышает по интенсивности группу волн Pg и является более низкочастотной. Поэтому выделение волн Sg не представляет, как правило, больших трудностей. Волны Pg и Pn наилучшим образом выделяются на вертикальных, а Sg и Sn – на горизонтальных компонентах. Скорость продольных волн может изменяться от ~5 до 8,2 км/с, скорость поперечных волн примерно в 1,73–1,78 раза ниже [1].

При идентификации сейсмических событий учитывается, что Pg, Sg, Lg волны отличаются по времени прихода и по форме записи. Pg и Sg имеют резкое вступление и между ними практически нет интервала. При малом расстоянии могут накладываться. Lg имеет плавное вступление и растянутый сигнал во времени и частота ниже.

Pn, Sn, P, S, Lq, Lr – волны присущие классическим землетрясениям (региональные и телесеismicкие)

P – отраженная волна. PP – двойная отраженная волна

RKP, S, SKS Lr, Lq – волны присущие очень далеким землетрясениям Япония, Чили (телесеismicкие).

Группы Lg волн – набор поверхностных волн, характерных для массовых удаленных взрывов.

Под первым вступлением понимают смещение записи на сейсмограмме в момент прихода продольной волны. Сейсмографы устроены так, что движение кривой сигнала вверх обычно указывает на сжатие горных пород, движение вниз – на разрежение.

Определение координат гипоцентров выполняется программой WSG (Windows Seismic Grafer) версии 5.XXX, которая представляет собой программный комплекс, включающий основной программный модуль WSG и набор вспомогательных сервисных программ-утилит, разработан в НПП «Геотех» и Геофизической Службе РАН.

Отличительной особенностью программного комплекса WSG является параллельное создание Базы Данных и наполнение ее на всех этапах обработки сейсмических записей и получения параметров гипоцентров сейсмических событий. БД предварительно наполняется параметрами сейсмических станций и описанием установленных на них каналов записей.

Для обработки записей непрерывного мониторинга шахты Артем-1 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» необходимо установить следующие параметры станции:

Широта 47.952918

Долгота 33.378475

Глубина -1045

Код ??

Частота опроса 2048 отс/сек

Количество групп каналов – 1 (ALZ, ALN, ALE).

Для обработки значимых событий необходимо:

1. Расставить фазы первой волны Pg и определить направление вступлений по всем каналам. Направление движения определяется только по первой волне (Pg).

2. Выставить вторую фазу разного типа: Sg – при наличии характерного колебания только на горизонтальных составляющих; волны Lg (по максимальному значению амплитуды этой волны) на вертикальной компоненте.

3. Оценить расстояние до эпицентра при необходимой глубине.

4. Определить азимут по трем компонентам.

5. Используя таблицу направлений движений, определить четверть возможного очага (табл. 2).

Таблица 2

Определение четверти, в которой находится эпицентр

Z	N	E	Азимут на эпицентр	Четверть
+	+	+	180-270	III
-	-	-	180-270	III
-	+	+	0-90	I
+	-	-	0-90	I
+	+	-	90-180	II
-	-	+	90-180	II
+	-	+	270-360	IV
-	+	-	270-360	IV

6. Оценить положение гипоцентра и определить координаты: широта, долгота и глубина обрабатываемого явления.

Учитывая трудоемкость, координаты вычисляются только для выделенных значимых событий. Поэтому, этой операции предшествуют первичная обработка сигналов с исключением не значимых явлений и идентификация явлений со вторым этапом исключения незначимых явлений. Для сокращения объемов представленных материалов, в статье приведен пример результатов определения координат по сигналам выделенных значимых событий (табл. 3).

Таблица 3

Пример результатов определения координат значимых событий, 2015 05 29, ш. Артем 1. (Время по Гринвичу)

№	Время в эпицентре и регистрации	Модуль вектора	Время, сек	Расстояние, км	Вид явления	Координаты N, E	Глубина
1	2	3	4	5	6	7	8
1	7:51:8.43 7:51:8,634	216340	0,249	1,151	Микротолчок	47.9571 33.3635	0.700
2	7:51:10.06 7:51:10,257	161252	0,159	0,986	Щелчок	47.9570 33.3627	0.600
3	7:51:11.54 7:51:11,800	239530	0,155	0,647	Щелчок	47.9525 33.3674	1.000
4	7:54:52.11 7:54:52,338	429772	0,134	0,312	Щелчок	47.9402 33.3770	0.900
5	7:54:52.92 7:54:53,207	454966	0,272	0,598	Микротолчок	47.9379 33.3761	0.800
6	7:54:53.39 7:54:53,730	580639	0,9	1,550	(Макротрещина) толчок со смещениями и разрывами	47.9675 33.3597	0.900
7	7:54:56.54 7:54:56,780	453882	0,238	0,524	Микротолчок	47.9547 33.4000	0.800
8	8:3:1.72 8:3:2,086	495739	0,553	1,116	Сильный толчок	47.9668 33.4020	1.000
9	8:3:1.72	668940	0,320	0,478	Микротолчок	47.9459 33.3505	0.900
10	8:3:11.86 8:3:12,081	604175	0,223	0,369	Микротолчок	47.9660 33.3802	0.900
11	8:3:13.76 8:3:14,123	278146	0,400	1,438	Толчок средней мощности	47.9728 33.3799	0.900

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8
12	8:3:14.92	186555	0,128	0,686	Щелчок	47.9531 33.3794	1.000
13	8:3:22.33 8:3:22,499	500448	0,871	1,740	Толчок со смещениями и разрывами	47.9450 33.3714	0.300
14	8:3:23.67 8:3:23,912	840806	0,467	0,555	Сильный толчок	47.9654 33.3665	1.000
15	8:3:33.02 8:3:33,107	268864	0,271	1,008	Микротолчок	47.9556 33.3867	0.700
16	8:3:36.63 8:3:36,718	203865	0,120	0,589	Щелчок	47.9531 33.3757	0.800
17	8:3:38.40 8:3:38,543	558062	0,145	0,260	Щелчок	47.9517 33.3925	1.000
18	8:3:40.74 8:3:40,994	2354472	0,264	1,121	Толчок средней мощности	47.9525 33.4011	0.200
19	8:3:41.23 8:3:41,743	897666	0,349	0,389	Толчок средней мощности	47.9619 33.3716	0.900
20	8:3:43.66 8:3:43,919	402223	0,264	0,656	Микротолчок	47.9678 33.3773	0.800
21	8:3:44.36 8:3: 44,546	385992	0,225	0,583	Микротолчок	47.9466 33.3925	0.900
22	8:4:0.51 8:4:0,569	2277245	0,410	1,800	Сильный толчок	47.9560 33.3836	1.200
23	8:4:2.61 8:4: 2,849	131049	0,128 0,156	0,970 1.190	Два микротолчка	47.9651 33.3776	0.600
24	8:4:6.45 8:4:6,495	1133327	0,461	0,406	Сильный толчок	47.9646 33.3813	0.900
25	8:4:9.23 8:4:9,434	1033869	0,379	0,3666	Толчок средней мощности	47.9573 33.3960	0.900
26	8:4:10.47 8:4:10,801	691806	0,549	0,794	Толчок со смещениями и разрывами	47.9504 33.3519	0.800
27	8:4:12.14 8:4:12,313	1786627	0,503	2,815	Толчок со смещениями и разрывами	47.9521 33.3967	1.100
28	8:4:13.01 8:4:13,211	748181	0,254	0,339	Микротолчок	47.9642 33.3821	0.700

Продолжение табл.3

1	2	3	4	5	6	7	8
29	8:4:17.82 8:4:17,843	2364193	0,207	0,876	Микротолчок	47.9533 33.3814	0.000
30	8:4:22.33 8:4:22,360	833534	0,373	0,447	Толчок средней мощности	47.9561 33.3793	0.700
31	8:4:23.61 8:4:23,839	913689	0,369	0,404	Толчок средней мощности	47.9398 33.3821	0.700
32	8:4:24.80 8:4:24,876	884130	0,296	0,335	Микротолчок	47.9595 33.3825	0.800
33	8:4:25.27 8:4:25,637	349271	0,362	1,036	Толчок средней мощности	47.9648 33.3657	0.800
34	8:4:26.71 8:4:26,315	347005	0,319	0,919	Толчок средней мощности	47.9645 33.3867	1.100
35	8:4:27.12 8:4:27,259	347005	0,208	0,599	Микротолчок	47.9530 33.3919	0.800
36	8:5:28.52 8:5:28,544	142849	0,314	2,198	Толчок средней мощности	47.9508 33.3798	0.900
37	8:5:30.51 8:5:30,694	267780	0,314	1,173	Толчок средней мощности	47.9534 33.3825	1.000
38	8:5:31.55 8:5:31,730	764874	0,243	0,318	Микротолчок	47.9520 33.3778	1.000
39	8:5:32.02 8:5:32,276	1621712	0,202	1,246	Микротолчок	47.9512 33.3877	1.000
40	8:5:32.54 8:5:32,747	1621712	0,429	2,645	Сильный толчок	47.9531 33.3840	0.800
41	8:5:35.54 8:5:35,707	90069	0,15	0,166	Щелчок	47.9535 33.3806	1.000
42	8:5:35.89 8:5:35,937	350842	0,323	0,921	Толчок средней мощности	47.9507 33.3824	0.800
43	8:5:36.82 8:5:37,098	151428	0,139	0,918	Щелчок	47.9487 33.3856	1.200
44	8:5:37.63 8:5:37,796	313291	0,301	0,961	Толчок средней мощности	47.9526 33.3789	1.000
45	8:5:41.26 8:5:41,249	167574	0,89	5,311	Толчок со смещениями и разрывами	47.9538 33.3798	0.000
46	8:6:5.37 8:6:5,577	3301274	0,257	0,778	Микротолчок	47.9557 33.3797	1.000

Окончание табл.3.

1	2	3	4	5	6	7	8
47	8:6:7.68 8:6:8,000	356659	0,327	0,917	Микротолчок	47.9557 33.3947	1.0000
48	8:6:9.45 8:6:9,457	340006	0,238	0,670	Микротолчок	47.9539 33.3797	0.800
49	8:2:56.36 8:2:56,649	824198	0,394	0,387 0,478	Толчок средней мощности	47.9596 33.3797	1.000
50	8:4:9.35	1033869	0,170	1,6	Щелчок	47.9515 33.3726	1.000
51	8:5:41.02	313291	0,300	0,960	Толчок средней мощности	47.9505 33.3799	1.000
52	8:5:58.43	470000	0,800	1,702	Толчок со смещениями и разрывами	47.9435 33.3799	0.000

Недостатком определения координат по программе WSG является участие оператора-эксперта в выделении нужного типа волн и расстановке фаз по времени их прохода, что делает этот процесс неавтоматическим.

Выводы. Вариант автоматического определения координат значимых событий на основе традиционных методов обработки микросейсмических сигналов по заданию НИГРИ проработан специалистами Института геофизики НАН Украины. В процессе проработки обнаружился ряд особенностей, которые влияют на точность определения координат – это проблема малой разности времени прихода первичной и вторичной волн на малых расстояниях от явлений.

Для решения этой проблемы были разработанные годографы по результатам мониторинга для малых расстояний. Это линейные зависимости с близким к нулю свободным членом.

$$\text{Волны Pg } Y = 1.77636e-15 + 17.9463 X$$

$$\text{Волны Sg } Y = 0 + 31.2673 X$$

$$\text{Волны Lg } Y = 0.0019 + 33.0898 X$$

Второй проблемой точности определение координат событий является влияние неоднородной структурой массива горных пород шахты. Неоднородность массива можно учесть по геологическим моделям массива. Большая трудность с компенсацией влияния пустот между событием и зондом. Конфигурация, размеры, положение старых пустот неизвестны. Пустота также влияет на времена прихода волн разного типа. Поэтому начаты работы по изучению возможности определения контуров пустот, по результатам мониторинга.

Для совершенствования программы дополнительно необходимо автоматизировать выделение вступлений фаз разных типов волн Pg и Sg, Lg. Это реализуется на основе использования метода LTA/STA.

Список использованных источников

1. Конечная Я.В., Иванова Е.В., Шахова Е.В. Основы теории и практики обработки цифровых сейсмических записей: руководство по обработке телесеismicических землетрясений на записях станций Архангельской сети. – Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. – 88 с.

Рукопись поступила 28.04.2015

УДК622. 012:504(477)

Б.И.Рыбалко, к.т.н., ведущий научный сотрудник,

А.И.Федоренко, старший научный сотрудник,

Д.Е. Чистяков, старший научный сотрудник,

Т.В. Милейко, инженер I категории

Научно-исследовательский горнорудный институт ГВУЗ «КНУ»

ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМОГРАММ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СОБЫТИЙ

Рассмотрена и проанализирована информация сейсмического мониторинга шахты Артем-1 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог». Обработаны записи зарегистрированных сигналов событий на сейсмограммах. Выделены особенности проявления событий, характеризующие геомеханические явления, происходящие в массиве горных пород. Отмечена необходимость применения регионального годографа. Даны критерии оценки состояния массива с целью прогнозирования условий возникновения потенциально опасных ситуаций при производстве горных работ.

Ключевые слова: сейсмический мониторинг, событие, сейсмограмма, идентификация.

Розглянута та проаналізована інформація сейсмічного моніторингу шахти Артем-1 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Опрацьовано записи зареєстрованих сигналів подій на сейсмограмах. Виділено особливості прояву подій, що характеризують геомеханічні явища, які відбуваються в масиві гірських порід. Відзначено необхідність застосування регіонального годографа. Дані критерії оцінки стану масиву з метою прогнозування умов виникнення потенційно небезпечних ситуацій при виробництві гірничих робіт.

Ключові слова: сейсмічний моніторинг, подія, сейсмограма, ідентифікація.

Information of seismic monitoring mine Artem - 1 PJSC "ArcelorMittal Kryviy Rih" has been considered and analyzed. Recording signals recorded events on the seismograms were processed. Features of the manifestation of events that characterize the geomechanical phenomena occurring in the rock mass were identified. The need for a regional hodograph was observed. Given the criteria for assessing the state of the array in order to predict the conditions of emergence of potentially dangerous situations in the manufacture of mining.

Keywords: seismic monitoring, the event, the seismogram, identification.