

УДК 550.34.541.126(574.41)

**ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И МАГНИТУДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ЗАПИСЯМ ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ 1997-2000 ГГ.  
НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ**

Михайлова Н.Н., Германова Т.И., Аристова И.Л.

*Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов*

Для пятнадцати химических взрывов, произведенных в 1997 – 2000 г.г. на Семипалатинском испытательном полигоне, определены значения энергетического класса  $K$  и магнитуды  $MPV$ . Установлено, что при одной и той же мощности взрывов их энергетические характеристики по сейсмическим записям существенно варьируют в зависимости от глубины заложения заряда, состояния геологической среды в месте взрыва и ряда других факторов.

В 1997 – 2000 г. на площадках Балапан и Дегелен Семипалатинского испытательного полигона была произведена серия химических взрывов в целях калибровки Международной системы мониторинга (IMS) ДВЗЯИ. Самыми сильными были калибровочные взрывы на массиве Дегелен – Омега-1 (1998г.), Омега -2 (1999 г.), Омега -3 (2000 г.) Их мощность составила 100 тонн. Калибровочные взрывы на площадке Балапан имели меньшую мощность - мощность четырех из них составила 25 тонн, наименьшего - 2 тонны.

Задачами настоящей работы являлось определение энергетических и магнитудных характеристик всех взрывов по сейсмическим записям, их классификация по сейсмическому эффекту, а также изучение связи полученных характеристик с мощностью взрывов и глубиной заложения заряда.

Всего в работе использованы записи 15 взрывов мощностью от 2 до 100 тонн. Сведения о взрывах приведены в табл. 1, 2. Из таблиц видно, что условия проведения взрывов довольно разнообразны. Одни из них проводились в скважинах на различной глубине - от 2м до более, чем 600 м, другие – в штольнях.

Регистрация взрывов проводилась сейсмическими станциями, как временно установленными специально для регистрации конкретных событий, так и стационарными, ведущими непрерывную регистрацию событий в системе сейсмического мониторинга НЯЦ РК. На всех станциях велась цифровая регистрация. Естественно, что каждое из событий было зарегистрировано разными системами наблюдений: слабые взрывы – только ближайшими станциями, далекие станции смогли записать только сильнейшие события. Максимальный диапазон изменения эпицентральных расстояний составил 0 - 14°.

Известно, что магнитудная классификация сейсмических событий, происшедших на близких рас-

стояниях, представляет собой значительную проблему. В Международном центре данных в Вене и в Национальных центрах, как, например, в Центре данных Российской геофизической службы, наиболее применяемой шкалой для оценки сейсмических событий является шкала  $m_b$ . Магнитуда определяется по объемным волнам, преимущественно продольным  $P$  - волнам, на расстояниях более 20°. Используются калибровочные кривые, которые достаточно стабильны на этих расстояниях и позволяют получать устойчивые оценки [1-2]. На меньших расстояниях магнитуда  $m_b$  либо вообще не определяется, либо для этого используются региональные калибровочные кривые, которые специально разрабатываются разными организациями.

В советской практике обработки сейсмических данных широкое распространение получила классификация событий по энергетическим классам  $K$ , введенная Раутиан Т.Г. [3]. В последние годы опубликован ряд работ, где эта классификация используется и для химических взрывов, в том числе слабых, поскольку она позволяет проводить определения на расстояниях, начиная от 10 км.

В Казахстане в качестве региональной кривой для определения магнитуд используется калибровочная кривая для магнитуды  $MPV$ , являющейся аналогом магнитуды  $m_b$ , разработанная Михайловой Н.Н., Неверовой Н.П. [4]. Она широко применяется при обработке землетрясений и включается в каталог, составляемый Институтом сейсмологии МОН РК [5]. В последние годы калибровочная кривая была скорректирована Михайловой Н.Н. в соответствии результатами работ по согласованию региональных и телесеизмических определений [6], и в таком виде она была использована в настоящих исследованиях.

**ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И МАГНИТУДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ  
ЗАПИСЯМ ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ 1997-2000 гг. НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ**

Табл. 1. Основные параметры химических взрывов на площадке Балапан

Дата взрыва	Время взрыва (GMT)	Координаты		Масса заряда, кг	Глубина заложения заряда, м	Штольня
		j, N	l, E			
13.07.1997	08.11.0,799	49° 52' 42,8"	78° 45' 36,4"	5000	630	1389
03.08.1997	08.07.20,04	49° 56' 28,2"	78° 47' 09,6"	25000	50	1311
31.08.1997	07.08.39,179	49° 53' 01,3"	78° 48' 53,1"	25000	300	1381
28.09.1997	07.30.15,126	49° 52' 45,9"	78° 50' 57,6"	25000	550	1349
13.07.1998	10.44.56,363	49° 52' 48,5"	78° 41' 31,4"	2028	20	1386
14.07.1998	05.11.35,570	49° 55' 53,3"	78° 47' 13,7"	2028	20	1327
14.07.1998	08.19.39,296	49° 54' 46,4"	78° 44' 55,6"	2028	20	1330
14.08.1998	04.28.52,815	50° 02' 08,4"	79° 00' 41,1"	2028	13	1409
14.08.1998	05.39.24,970	50° 03' 27,2"	78° 56' 19,3"	2028	2,5	1419
15.08.1998	02.40.59,116	49° 52' 20,6"	78° 38' 52,0"	2028	14	1383
15.08.1998	05.05.11,156	49° 52' 42,8"	78° 45' 36,4"	2028	9	1389
17.09.1998	07.19.40,551	49° 58' 51,7"	78° 45' 21,2"	25040	28	1071-bis

Табл. 2. Основные параметры химических взрывов на массиве Дегелен (Омега - 1, - 2, - 3)

Дата взрыва	Время взрыва (GMT)	Координаты		Масса заряда, кг	Абсолютная отметка, м	Штольня
		j, N	l, E			
22.08.1998	05.00.18,904	49° 46' 00,0"	77° 59' 27,0"	100000	695	214
25.09.1999	05.00.06,0	49° 46' 54,68"	77° 57' 58,68"	100000	660,3	160-b
29.07.2000	06.10.04,25	49° 46' 54,68"	77° 57' 58,68"	100000	664,2	160-c

Итак, для энергетической и магнитудной классификации химических взрывов были использованы две шкалы – энергетических классов К и магнитуд MPV. При определении энергетического класса события использовалась максимальная амплитуда в Р- и S- фазах сейсмических волн на короткопериодных каналах типа СКМ. Далее расчет К производился по формуле

$$K=1,8 \lg(A_p + A_s) + S_1(D), \quad (1)$$

где  $A_p$  и  $A_s$  – максимальная амплитуда Р и S – волн в микронах;  $S_1(\Delta)$ -калибровочная функция для  $A_p + A_s$  в диапазоне расстояний от 10 до 3000 км. Для определения MPV измерялась амплитуда и период Р - фазы для момента времени, когда колебательная скорость максимальна. Измерения проводились на короткопериодном канале типа СКМ. Значение MPV рассчитывалось по формуле

$$MPV= \lg(A/T) + S_2(D), \quad (2)$$

где А и Т – амплитуда и период Р-волны,  $S_2(\Delta)$ -калибровочная кривая в диапазоне расстояний от 10 до 1000 км.

Определения значений К и MPV были проведены по 166 записям химических взрывов. По совокупности данных была рассчитана корреляционная зависимость магнитуды MPV как функции от К, которая имеет вид:

$$MPV=0,44K - 0,25. \quad (3)$$

Поскольку станционные поправки не известны для К и MPV разных станций, и при каждом взрыве использовалась разная система станций регистрации, для корректности сопоставления разных определений далее была использована система опорных станций, по которым и были определены значения К и MPV как среднее по всем опорным станциям. В табл. 3 приведены значения К и MPV, определенные описанным способом. Корреляционная зависимость

с использованием только этих значений получилась следующей:

$$MPV=0,46K - 0,47 \quad (4)$$

Табл. 3. Результаты определения энергетических характеристик калибровочных взрывов

Дата взрыва	Масса заряда, кг	К	MPV
13.07.1997 (194)	5000	5,09	1,88
03.08.1997 (215)	25000	7,75	3,24
31.08.1997 (243)	25000	7,10	2,92
28.09.1997 (271)	25000	5,73	3,17
13.07.1998 (194)	2028	6,39	2,37
14.07.1998 (195)	2028	5,44	1,97
14.07.1998 (195)	2028	6,18	2,26
14.08.1998 (226)	2028	5,55	1,77
14.08.1998 (226)	2028	4,54	1,57
15.08.1998 (227)	2028	5,60	1,88
15.08.1998 (227)	2028	6,24	2,00
22.08.1998 (234)	100000	8,81	3,7
17.09.1998 (260)	25040	7,40	2,97
25.09.1999 (268)	100000	8,51	3,19
29.07.2000 (211)	100000	7,64	2,94

Как видно из табл.3, значения энергетических классов для взрывов мощностью от 2 до 100 тонн отвечают диапазону значений 4,54 – 8,81. Магнитуда MPV при этом равна 1,57 – 3,70.

Были исследованы зависимости К и MPV от массы заряда Y. На рис.1 представлена подобная зависимость. Из него видно, что при одном и том же значении массы заряда, сейсмический эффект может различаться довольно значительно. Для 2-х тонных и 25 тонных взрывов разброс значений К достигает двух единиц. На рис.1, помимо полученной зависимости, нанесена зависимость  $K=7,0+1,55 \log Y$ , согласно работе [7] – прямая линия. Эта зависимость является ограничением сверху для экспериментальных точек  $K= f(Y)$  по большому количеству химических взрывов, произведенных в разных регионах бывшего Советского Союза, включая Семипалатинский испытательный полигон. Значения, которые получены по исследуемым взрывам, не выходят из

области, ограниченной данной прямой и осью  $Y$ . Однако видно, что сейсмический эффект исследуемых взрывов намного меньше того, каким он мог бы быть в других районах при той же мощности взрывов. Имеет место дефицит сейсмической энергии более чем в одну единицу класса. Это может быть следствием состояния геологической среды, в том числе ее значительной раздробленности в районе взрывов и, возможно, других факторов. На рис.1 нанесены также четыре значения энергетических классов, заимствованные из [7], для калибровочных взрывов, произведенных в 1978, 1985 и 1987г., мощностью 600, 500 и 5000 тонн, соответственно. В сравнении с другими данными эти значения также отражают существующий дефицит выделяемой сейсмической энергии. Сейсмический эффект, наиболее близкий к предельно возможному, имеет только взрыв, произведенный в 1978 г.

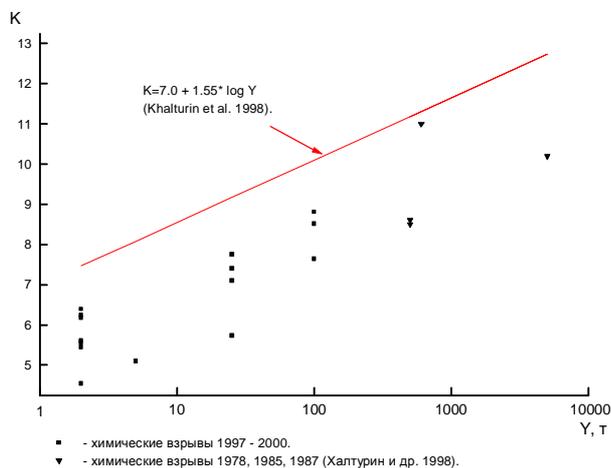


Рис. 1. Зависимость энергетического класса от мощности взрыва

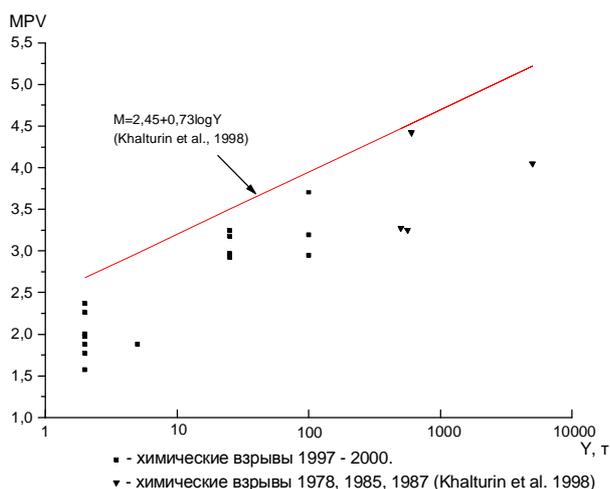


Рис. 2. Зависимость магнитуды MPV от мощности взрыва  $Y$

На рис.2 аналогичная зависимость построена для магнитуды MPV. Здесь ограничивающей является зависимость  $M = 2,45 + 0,73 \log Y$ , согласно [7]. Рис.2 подтверждает, что магнитуда всех исследуемых взрывов меньше, чем возможно при тех же массах зарядов.

Сопоставление сейсмических эффектов химических взрывов одной и той же мощности позволило выявить некоторые факторы, существенно влияющие на его значение. Наиболее интересным было сопоставление эффектов от трех калибровочных взрывов на массиве Дегелен – Омега 1, 2, 3. На рис. 3 приведен пример записей всех трех взрывов по трем компонентам, полученных сейсмической станцией Чкалово. Отчетливо видно, что наиболее интенсивные колебания наблюдались при взрыве Омега-1. Записи взрывов Омега-2 и Омега-3 отличаются значительно меньшей амплитудой колебаний, особенно это относится к последнему взрыву – Омега-3. Это отразилось и на энергетических параметрах событий. При первом взрыве энергетический класс составил 8,81, при последнем – 7,64. Магнитуда MPV первого взрыва – 3,7, последнего – 2,94.

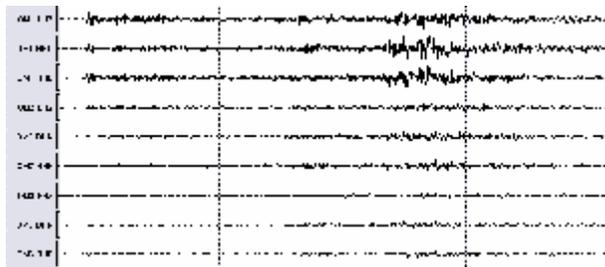


Рис. 3. Сейсмограммы станции Чкалово по трем калибровочным взрывам Омега –1 (3-х компонент - сверху), Омега –2 (3х- компонент - в середине), Омега –3(3-х компонент - внизу)

Факт снижения энергетических параметров взрывов был отмечен и Международной системой мониторинга. В 1998 г. взрыв Омега-1 был зарегистрирован десятью станциями и сейсмическими группами IMS. Значение магнитуды в каталоге REB, составленном в прототипе Международного центра данных PIDC,  $m_b = 3,8$ . Взрыв Омега-2 зарегистрирован только 5 станциями и группами, входящими в IMS. При этом было определено значение  $m_b = 3,7$ . Последний взрыв Омега-3 был зарегистрирован только одной станцией IMS и не попал в обработку Международного центра данных. Объяснением столь большой разницы в сейсмическом эффекте может быть существенное различие в свойствах горных пород в районе взрыва. Взрывы Омега-2 и Омега-3 были проведены практически в одном и том же месте. Горизонтальные штольни располагались одна над другой всего лишь в 5 метрах друг от друга. Единственной разницей являлось то, что взрыв Омега-3 был произведен в среде, предварительно разрушенной во время взрыва Омега-2. За счет тре-

щиватости массива значительная часть энергии была погашена и сейсмический эффект оказался ослабленным. Следовательно, условия в районе взрыва оказывают существенное влияние на сейсмический эффект.

На рис 4 приведены сейсмограммы для четырех двухтонных взрывов, проведенных на площадке Балапан, зарегистрированные одной из станций сейсмической группы “Курчатов-крест” – KUR-17. Как показано в Табл.1, взрывы произведены в скважинах. При этом, глубина заложения заряда изменялась от 2,5 до 20 м.

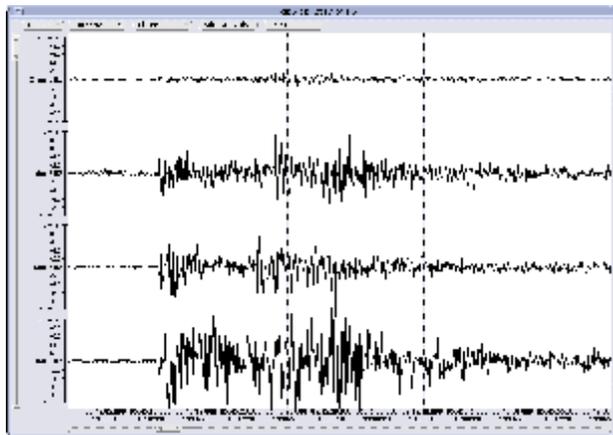


Рис. 4. Сейсмограммы вертикальной компоненты, записанные станцией KUR-17, во время двухтонных взрывов на площадке Балапан

Из рис.4 видно, что амплитуда записей взрывов, произведенных на различной глубине, различается значительно. Причем, наблюдается рост амплитуды сигналов с увеличением глубины заложения зарядов. Эта тенденция находит свое отражение и на другой зависимости - энергетического класса события как функции глубины заложения заряда (рис.5). Аппроксимация экспериментальных точек, несмотря на их большой разброс, позволила получить соотношение:  $K = 4,16 + 1,44 \log h$ . Однако при одинаковой массе взрывчатого вещества, равной 25-тоннам, с ростом глубины заложения заряда в интервале от 28 м до 550м, характер зависимости резко меняется. Максимальная интенсивность колебаний при одних и тех же расстояниях наблюдается при глубинах заложения зарядов 28 – 50м (рис.6, 7), затем она резко уменьшается и становится минимальной при наиболее глубоком заложении заряда. Отмеченная тенденция находит отражение и в другой построенной зависимости - энергетического класса от глубины заложения заряда для исследуемой мощности взрывов. На рис.8 приведены данные непосредственно для 25-тонных взрывов. Здесь же даны классы взрывов, соответствующие мощностям 2 тонны и 5 тонн, приведенные к мощности 25-тонн с помощью зависимости K от Y (рис.1). Полученная зависимость имеет экстремум в области глубины заложения заряда 20-50 м. Для этих глубин характерен

наибольший вклад энергии взрыва в ее сейсмическую часть, т.е. в генерацию сейсмических волн. Приведенная зависимость, по-видимому, не является универсальной, а отражает фактические данные именно для рассматриваемых скважинных химических взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне, поскольку техника проведения взрывов может быть различной.

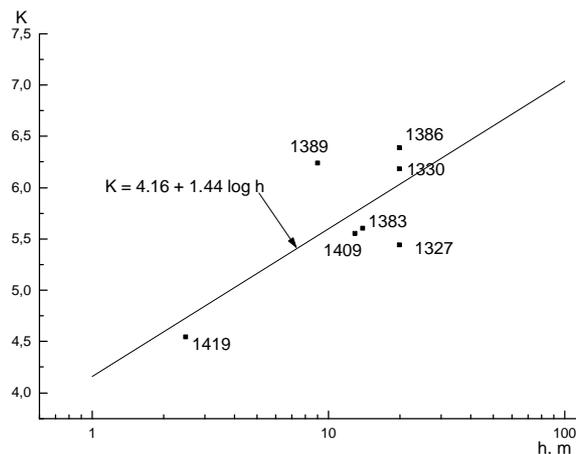


Рис. 5. Зависимость энергетического класса двухтонных взрывов от глубины заложения заряда

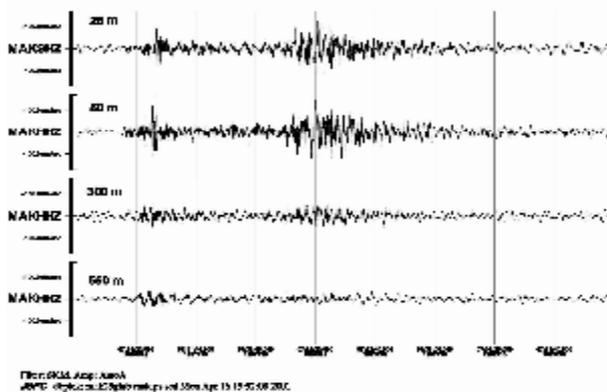


Рис. 6. Сейсмограммы вертикальной компоненты, записанные станцией Маканчи, для четырех 25-тонных взрывов

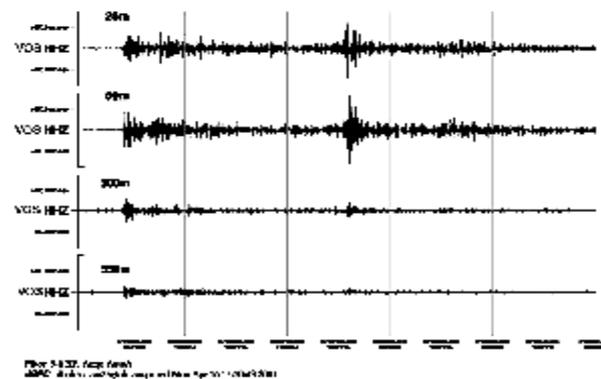


Рис. 7. Сейсмограммы вертикальной компоненты, записанные станцией Восточное, для четырех 25-тонных взрывов

**ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И МАГНИТУДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ  
ЗАПИСЯМ ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ 1997-2000 гг. НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ**

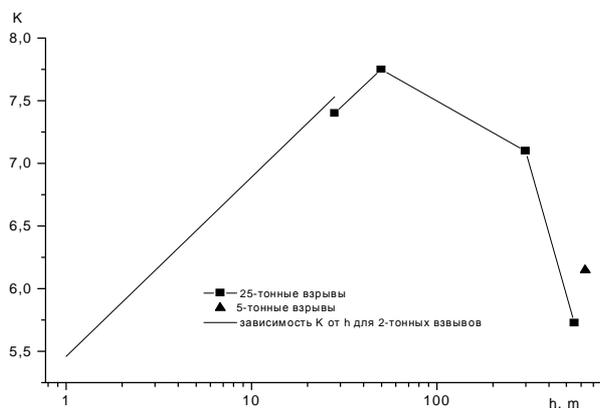


Рис.8. Зависимость энергетического класса события от глубины заложения заряда для 25-тонных взрывов (5-тонный и 2-тонные взрывы приведены к 25-тонным)

Таким образом, в результате использования шкалы энергетических классов и региональной магнитудной шкалы удалось провести классификацию калибровочных взрывов, выполненных в период 1997-2000 гг. на двух площадках Семипалатинского испытательного полигона по величине их сейсмического эффекта. Показано, что на значения энергетического класса и региональной магнитуды влияют различные факторы, в том числе наиболее существенно - мощность взрыва, глубина заложения заряда, характеристика окружающей среды в области взрыва, а также, по-видимому, механизм проведения взрывов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Veith K.F., Clawson G.E. Magnitude from shortperiod P-wave data.- BSSA, 1972, 62, №2.
2. Инструкция о порядке производства и наблюдений на сейсмических станциях единой системы сейсмических наблюдений СССР. М., ИФЗ АН СССР, 1982г. 269с.
3. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстояниях 3000 км. // Труды ИФЗ АН СССР. №32 (199), 1964г. с.72-98.
4. Михайлова Н.Н., Неверова Н.П. Калибровочная функция для определения магнитуды MPVA землетрясений Северного Тянь-Шаня. // Комплексные исследования на Алма-Атинском прогностическом полигоне. Алма-Ата, Наука, 1986г., с.41-47
5. Каталог землетрясений Северного Тянь-Шаня. (отв.сост. Неверова Н.И.) //Землетрясения Северной Евразии в 1994 году. Москва, 2000г., с.214-220.
6. Михайлова Н.Н., Неверова Н.П., Калмыкова Н.А. Энергетические и магнитудные характеристики землетрясений в практике сейсмологических наблюдений на Северном Тянь-Шане //Землетрясения Северной Евразии 1993 гю Москва, 1999г. с.60-64.
7. V.Khalturin, T.G. Rautian, P.G. Richards. The Seismic Signal Strength of Chemical Explosions. //BSSA, Vol.88, №6, December 1998.Pp 1511-1524.

**СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫНДАҒЫ 1997-2000 ж.ж. ХИМИЯЛЫҚ  
ЖАРЫЛЫСТАРДЫҢ СЕЙСМИКАЛЫҚ ЖАЗБАЛАРЫ БОЙЫНША ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ  
ЖӘНЕ МАГНИТУДАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН АНЫҚТАУ**

Н.Н. Михайлова, Т.И. Германова, И.Л. Аристова

*ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты*

Семей сынау полигонында 1997-2000 ж.ж. өткізілген 15 химиялық жарылысқа энергетикалық К класстың және MPV магнитудасының мәні анықталған. Жарылыстардың қуаты бірдей болғанымен, энергетикалық сипаттамалары оқтамның терендігіне, жарылыс аумағындағы ортаның күйіне және өзге факторларға байланысты едәуір түрленетіні анықталды.

**ESTIMATION OF ENERGY AND MAGNITUDE CHARACTERISTICS BASING  
ON THE SEISMIC RECORDS OF CHEMICAL EXPLOSIONS OF 1997-2000  
DETONATED ON THE FORMER SEMIPALATINSK TEST SITE**

N.N. Mikhailova, T.I. Germanova, I.L. Aristova

*Institute of Geophysical Research NNC RK*

The values of Energy class K and MPV magnitude were calculated for 15 chemical explosions conducted in 1997 – 2000 on the former Semipalatinsk Test Site. It was estimated that at one and the same yield energy characteristics can vary significantly depending on the depth of burial, medium around the explosion and other factors.