ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
XXXV 1962 5

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

Н. К. Карапетян

Анализ спектрального состава колебаний скальной породы при взрывах

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. Г. Назаровым 23/VII 1962)

Изучение спектрального состава сейсмических колебаний почвы при взрывах и сравнение его со спектрами землетрясений представляет большой интерес. Однако в этой области имеется мало выполненных работ.

В настоящей работе приводятся результаты изучения спектрального состава сейсмических колебаний в скальной породе при взрывах. Часть записей получена в процессе исследования колебаний зданий от взрывов, при котором осуществлялась также запись колебаний грунта ([1]). Другая, основная часть получена при изучении сейсмического режима этого же участка ([2]). Спектральный анализ этих записей производился по предложенной нами ранее методике ([3]).

Подвергнуты анализу 33 записи смещения почвы, полученные при 9 взрывах, произведенных с различным количеством взрывчатого вещества. Взрывы производились на участке, сложенном в основном из базальтов, покрытых небольшим слоем белозема ([2]).

Запись смещения почвы под действием сейсмовзрывных колебаний производилась электродинамическими вибрографами ВЭГИК, частотная характеристика которых такова, что для периодов на диапазоне до $T = 1$ сек. увеличение прибора примерно постоянное (порядка 1000 раз).

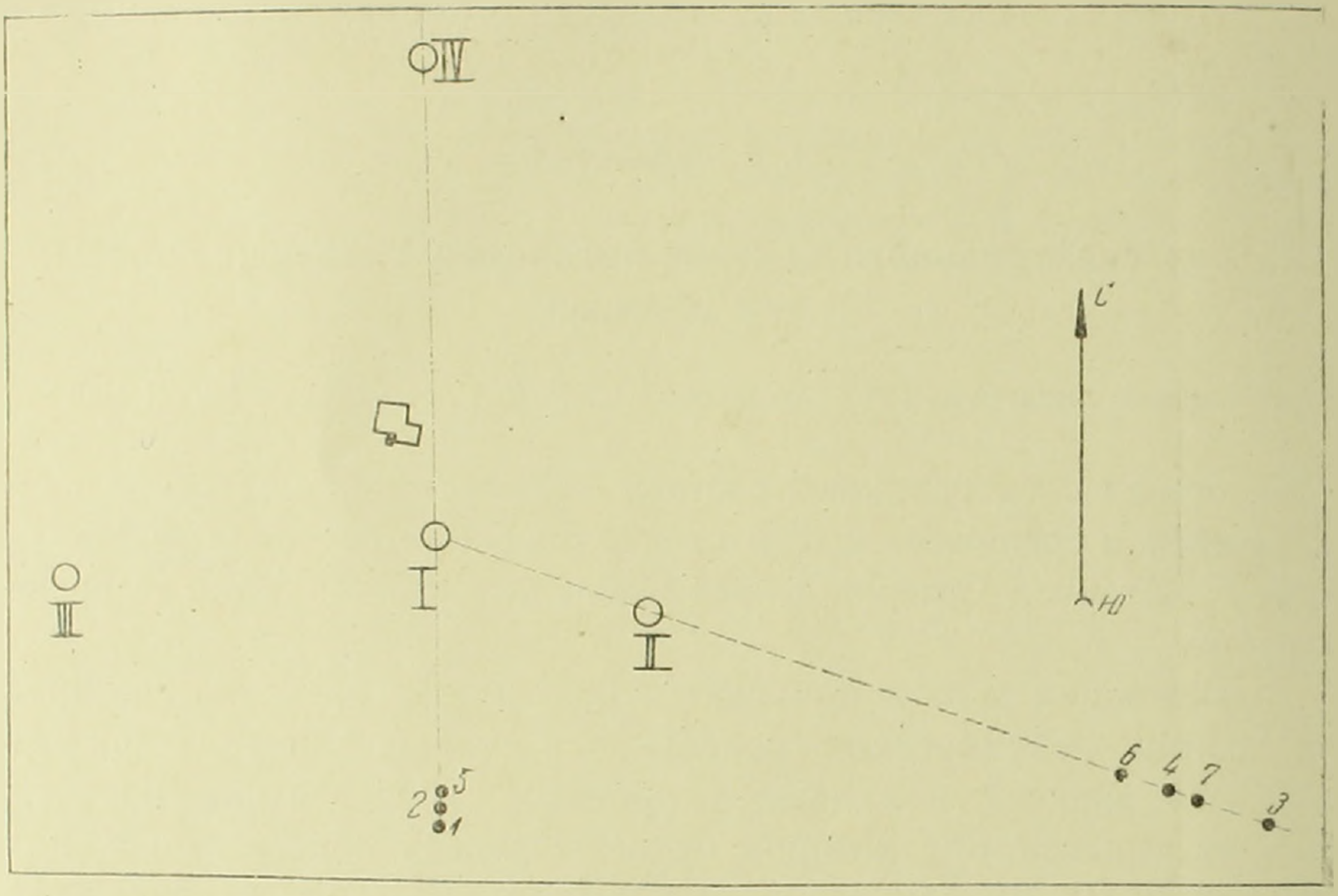
31 запись смещения производилась в четырех специально сооруженных для этой цели шахтах на коренных базальтах. Шахты представляли собой вертикальные колодцы, глубиной 2,6—5,9 *м*, имевшие в плане круглое очертание с диаметром 3 *м*. На дне колодца было сделано круглое бетонное основание диаметром 2,2 *м* и высотой 1 *м*. Измерительная аппаратура устанавливалась на этом бетонном основании.

Запись колебаний производилась в полевой сейсмоизмерительной лаборатории на осциллографах.

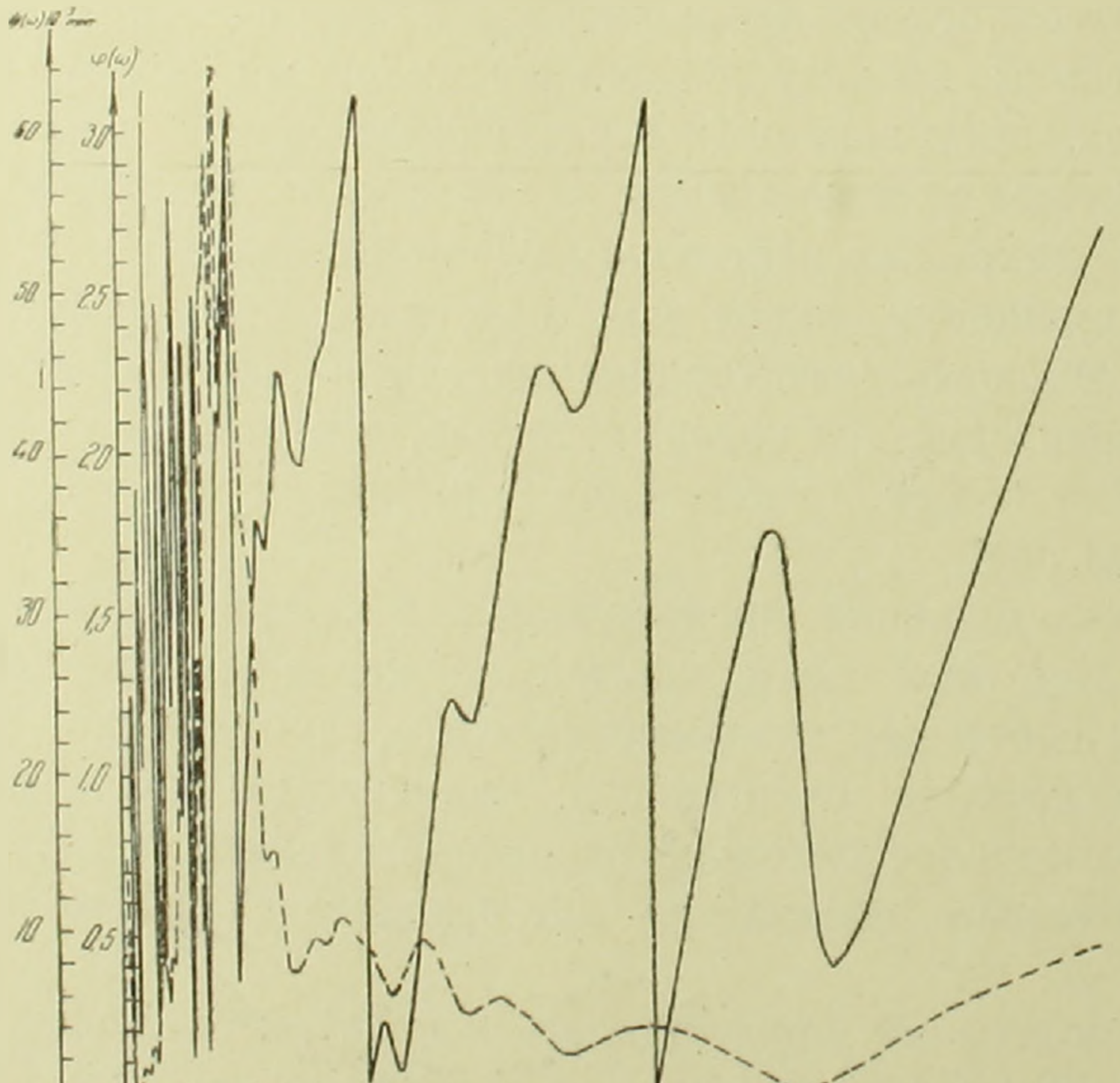
Расположение на участке колодцев и полевой сейсмоизмерительной лаборатории показано на фиг. 1. При этом римскими

цифрами на этой фигуре указаны колодцы, а арабскими — места, где производились взрывы. Номера взрывов соответствуют их порядковым номерам, указанным в табл. 1.

Для всех рассмотренных записей построены амплитудные и фазовые спектры. На фиг. 2 приведены амплитудный и фазовый спектры записи вертикальной составляющей колебания почвы в 1 колодце



Фиг. 1.



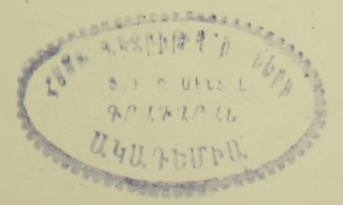
Фиг. 2.

Таблица 1

№ взрыва	Количество взрывчатого вещества в кг	I колодец									II колодец									III колодец									IV колодец								
		С—Ю			З—В			верт.			С—Ю			З—В			верт.			С—Ю			З—В			верт.			С—Ю			З—В			верт.		
		Ф(ω) max	T max	T	Ф (ω) max	T max	T	Ф (ω) max	T max	T	Ф (ω) max	T max	T	Ф (ω) max	T max	T	Ф (ω) max	T max	T	Ф (ω) max	T max	T	Ф (ω) max	T max	T	Ф (ω) max	T max	T	Ф (ω) max	T max	T	Ф (ω) max	T max	T	Ф (ω) max	T max	T
1	0,3				0,74	0,075	0,8				0,20	0,085	1,05	0,17	0,015	0,3				0,78	0,115	0,4	0,72	0,050	0,6												
2	0,4				1,34	0,15	0,3				0,40	0,085	0,2							1,00	0,055	0,4	1,42	0,075	1,2												
3	1,6	1,13	0,080	0,3				2,33	0,085	1,4	0,98	0,065	1,0				4,76	0,120	1,1	1,66	0,115	0,8	1,68	0,075	1,3												
4	5,0	0,65	0,085	0,7							1,09	0,060	0,8	1,17	0,105	1,4																0,81	0,060	0,8			
5	10,0							19,93	0,095	0,45	8,07	0,065	0,25							7,54	0,09	0,5							5,07	0,075	0,45				20,24	0,125	1,1
												0,68									0,66															
6	15,0							17,72	0,125	1,3				14,14	0,105	0,73	12,34	0,100	0,95				8,01	0,085	0,45				10,12	0,075	0,65						
7	100,0							64,34	0,15	—							33,83	0,105	1,0																		

T max—значения периодов, соответствующие Ф (ω) max.

T—значения периодов, соответствующие концу пиковой части фазового спектра.



при 7-м взрыве. На графиках по оси абсцисс отложены периоды, а по оси ординат в случае амплитудного спектра—спектральная плотность амплитуды $\Phi(\omega)$, в случае фазового спектра—начальная фаза $\varphi(\omega)$. При построении амплитудного спектра влияние частотной характеристики приближенно исключалось умножением $\Phi(\omega)$ на величину, обратную увеличению прибора, соответствующего данному периоду. Фазовый спектр строился без учета фазовой характеристики прибора.

При рассмотрении всех кривых фазовых спектров записей сейсмографов, установленных в колодцах, можно отметить, что эти спектры состоят как бы из двух частей: начальной пиковой и последующей плавно поднимающейся. В действительности в начальной части спектров пиков также нет. Они получаются вследствие неучета $\pm k\pi$ при вычислении $\varphi(\omega)$. Принятый способ изображения фазовых спектров позволяет установить то обстоятельство, что начальная пиковая часть для различных записей имеет разные значения. В табл. 1 приведены значения периодов, соответствующих концу пиковой области фазовых спектров. Как видно из таблицы, они могут изменяться в широком диапазоне периодов (0,2—1,4 сек.). Область плавно поднимающейся части фазового спектра также неодинакова для различных записей. Так, например, для I взрыва в фазовом спектре записи горизонтального сейсмографа С—Ю колодца II кривая в этой области поднимается незначительно и этим сильно отличается от фазовых спектров записей других сейсмографов для этого же взрыва. Аналогичное явление наблюдается при рассмотрении фазовых спектров 2 и 5 взрывов. Характер амплитудных спектров записей сейсмографов всех колодцев примерно одинаковый, что, возможно, вызвано тем обстоятельстом, что сейсмографы были установлены на одном и том же грунте — базальте и в базальте же произведены взрывы.

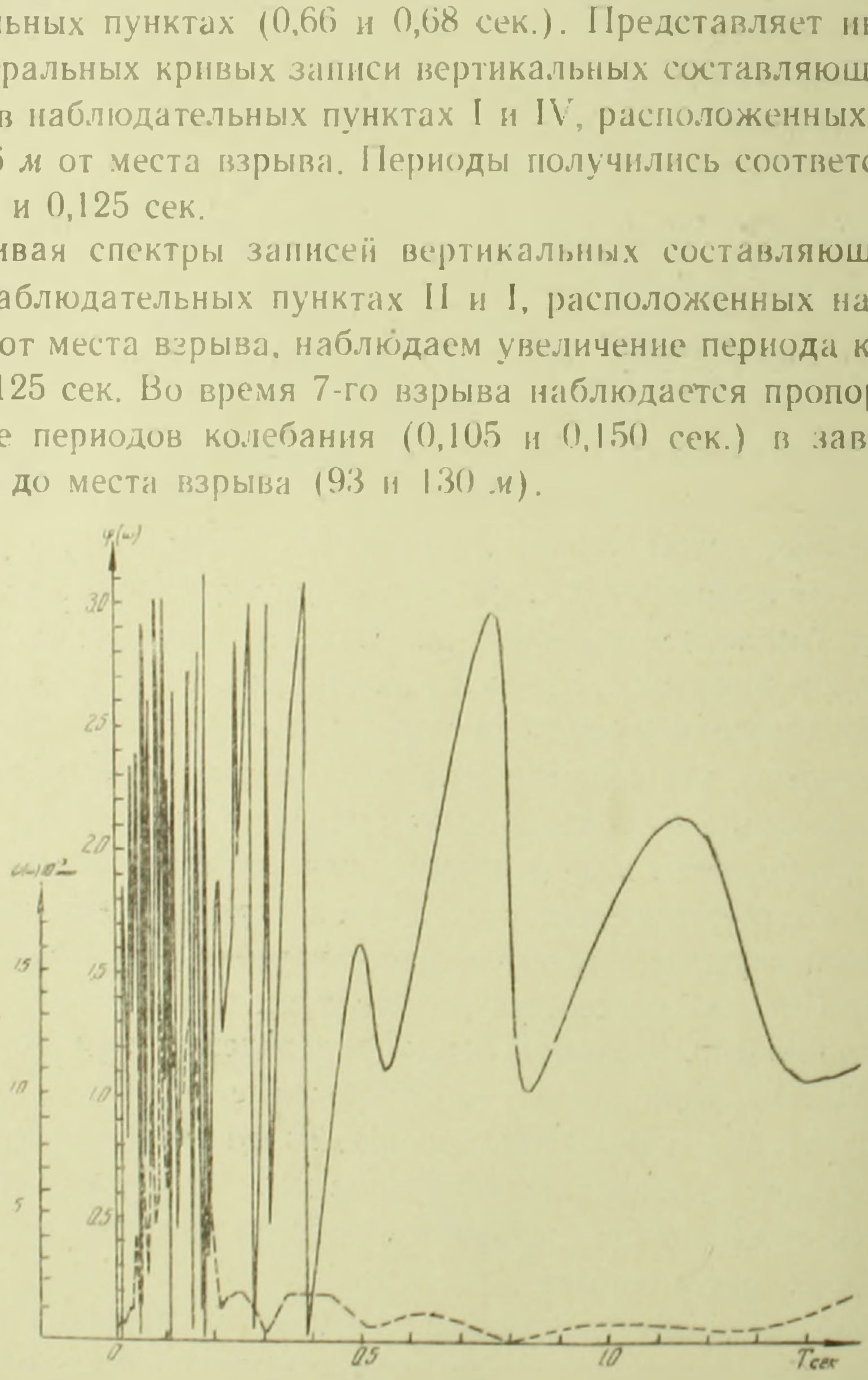
В табл. 1 приведены максимальные значения спектральной плотности амплитуды и соответствующие им значения периодов для всех рассмотренных записей взрывов. Максимальные значения спектральной плотности амплитуды $\Phi(\omega)$ соответствуют коротким периодам.

Как видно из фиг. 1, взрывы были произведены с юга и с востока исследуемого участка. Колодцы на участке были расположены примерно по линии Ю—С (I и IV) и В—З (II, I и III). Такое расположение точек наблюдения позволяет проследить изменение периодов колебаний, соответствующих максимальной спектральной плотности амплитуд в зависимости от расстояния до места взрыва.

При I взрыве, осуществленном с юга участка, представляет интерес сравнение величин периодов в наблюдательных точках-колодцах II и III, отстоящих от места взрыва на расстоянии 45 и 75 *м* соответственно. При этом по составляющей С—Ю наблюдается увеличение значения периодов во столько же раз, во сколько раз увеличивается расстояние от места взрыва (0,115 и 0,085 сек.). По составляющей же В—З происходит увеличение периодов колебания более чем в 3 раза (0,050 и 0,015 сек.) в то время как расстояние увеличивается менее чем в два раза. При 3-м

взрыве также прослеживается увеличение периода колебаний в наблюдательных точках-колодцах II, I и III (0,065, 0,080 и 0,115 сек.) с увеличением расстояния (105, 140 и 200 *м*), т. е. и в этом случае получается пропорциональная зависимость изменения периода с увеличением расстояния. Такая же зависимость периода от расстояния наблюдается и при 4-м взрыве. Во время 5-го взрыва, осуществленного на юге участка в наблюдательных точках II и III, отстоящих от места взрыва на расстоянии 45 и 75 *м*, произошло изменение периода в таком же отношении (0,090 сек., 0,060 сек.). При этом взрыве характерным является то, что получился второй пиковый период большей величины, примерно одинаковый в обоих наблюдательных пунктах (0,66 и 0,68 сек.). Представляет интерес сравнение спектральных кривых записи вертикальных составляющих при этом же взрыве в наблюдательных пунктах I и IV, расположенных на расстоянии 42 и 96 *м* от места взрыва. Периоды получились соответственно равными 0,095 и 0,125 сек.

Сравнивая спектры записей вертикальных составляющих при 6-м взрыве в наблюдательных пунктах II и I, расположенных на расстоянии 80 и 117 *м* от места взрыва, наблюдаем увеличение периода колебаний от 0,105 до 0,125 сек. Во время 7-го взрыва наблюдается пропорциональное возрастание периодов колебания (0,105 и 0,150 сек.) в зависимости от расстояния до места взрыва (93 и 130 *м*).



Фиг. 3.

Однако такая пропорциональная зависимость периода от расстояния наблюдается не при всех взрывах.

С целью установления изменения периода колебания в зависимости от количества взрываемого вещества произведено сравнение амплитудных спектральных кривых записей вертикальных сейсмографов, установленных

в колодце 1. Результаты сравнения показывают, что количествам взрывчатого вещества 1,6, 10, 15 и 100 *кг* соответствуют пиковые периоды колебаний 0,085, 0,095, 0,125 и 0,150 сек. Следовательно, изменение заряда взрывчатого вещества вызывает ощутимое изменение периодов колебания.

Запись слабого взрыва, амплитудный и фазовый спектры которого показаны на фиг. 3, отличается тем, что прибор в этом случае был установлен не в шахте, а на поверхности грунта, т. е. не на коренных базальтах, а на белоземе мощностью примерно 4 *м*, покрывающем базальты. Фазовый спектр записи этого взрыва отличается большим количеством пиков и отсутствием плавной части. На амплитудном спектре наблюдаются три резко выраженных максимальных пика (14, 49; 14, 25 и 13, 33), при периодах 0,095, 0,115 и 0,160 сек. соответственно.

Нами анализировалась также запись колебания грунта, полученная при исследовании колебаний зданий под действием сейсмовзрывных волн ([1]). Были построены амплитудный и фазовый спектры записи смещения, полученной во время взрыва 14/VIII 1959 г. при количестве заряда взрываемого вещества 20 *кг*. На фазовом спектре наблюдаются резко выраженная область пиков до периодов 0,8 сек. и плавная часть. На амплитудном спектре максимальный пик величиной 0,585 наблюдается в самом начале спектра. Амплитудный спектр имеет вид спадающей кривой.

При сравнении всех спектральных кривых, построенных для записей взрывов, можно заметить, что преобладающая частота колебаний почвы при взрывах в среднем получилась равной 12—14 герц. По-видимому, эта частота является характерной для данного участка.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии
Академики наук Армянской ССР

Ն. Կ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

Պայթեցումների ժամանակ ժայռային ապատի տատանման սպեկտրալ կազմի ուսումնասիրությունը

Աշխատանքում բերված են պայթեցումների ժամանակ բնահողի սեյսմիկ տատանումների սպեկտրալ կազմի ուսումնասիրության արդյունքները։

Դրանցումների մի մասը ստացված է պայթեցումների օգնությամբ շենքերում առաջ բերված տատանման հետազոտության պրոցեսում, որի դեպքում կատարվել է նաև բնահողի տատանման դրանցումը (1)։

Դրանցումների մյուս հիմնական մասը ստացված է նույն այդ տերիտորիայի սեյսմիկ ռեժիմի ուսումնասիրության ժամանակ (2)։ Դրանցումների սպեկտրալ անալիզը կատարված է հնչինակի կողմից առաջարկված եղանակի համաձայն (3)։

Անալիզի են ենթարկված բնահողի տատանումների ընթացքում տեղափոխման 33 դրանցումներ, որոնք ստացվել էին 9 պայթեցումների ժամանակ։

31 դրանցումները ստացվել են հատուկ՝ այդ նպատակով բաղալտներում կառուցված հորաններում։ Նկ. 1-ում հռոմեական թվանշաններով ցույց են տրված հորանները, իսկ արաբականով՝ այն կետերը, որտեղ կատարված են պայթեցումները։ Պայթեցումների համարները համապատասխանում են աղյուսակ № 1-ում բերված դրանց հերթական համարներին։

Բոլոր վերլուծված գեպքերի համար կառուցված են ամպլիտուդային և ֆազային սպեկտրներ։

Համաձայն ստացված տվյալների ամպլիտուդի սպեկտրալ խտության Φ(ω) մաքսիմալ արժեքները համապատասխանում են պարբերության փոքր արժեքներին։

Տարբեր հորաններում տեղադրված սեյսմոգրաֆների գրանցումների ամպլիտուդային սպեկտրալ կորերի ձևը համարյա նույնն է։ Դա կարող է բացատրվել հավանաբար այն հանգամանքով, որ պայթեցումները կատարված են եղել բազալտներում և վերջիններիս համար էլ հենց ստացված գրանցումներն են ենթարկվել սպեկտրալ անալիզի։

Համաձայն ուղղահայաց սեյսմոգրաֆների գրանցումների ամպլիտուդային սպեկտրների պայթուցիկ նյութի քանակի փոփոխությունը առաջ է բերում տատանման պարբերության զգալի փոփոխություն։

Համաձայն ստացված սպեկտրալ կորերի բնահողի տատանումների գերակշռող հաճախականությունը հավասար է 12—14 հերցի։

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

[1] *Б. К. Карапетян*, ДАН АрмССР, № 5 (1960). [2] *А. Г. Назаров, Б. К. Карапетян, С. А. Пирузян*. Изучение сейсмических колебаний участка строительства объекта АН АрмССР, Труды Объединенной научной сессии строительных институтов Закавказских республик, 1961. [3] *Н. К. Карапетян*, ДАН АрмССР, т. XXXIV, № 2 (1962).