

5. Садовский М. А. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М.: Наука, 1987, 79 с.
6. Толстихин Н. Н. Изотопная геохимия гелия, аргона и редких газов. Л.: Наука, 1986, 148 с.
7. Хакенберг Х., Шиндт А. Газохроматографический анализ равновесной паровой фазы. М.: Мир, 1979, 160 с.
8. Хитаров Н. Н., Войтов Г. И., Лебедев В. С., О геохимических предвестниках землетрясений.—В кн.: Поиск предвестников землетрясений на прогностических полигонах. М.: Наука, 1974, 166 с.
9. Garfunkel Zvi. / Bull. Geol. Soc. Amer. 1973. v. 84, № 6.
10. Han-shou lu. / Modern Geol. 1980. v. 7, № 2.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XIII, № 3, 34—43

УДК 550.344.094.9 (479.25)

Н. К. КАРАПЕТЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТНОШЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ПРОДОЛЬНЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН В ОЧАГОВОЙ ЗОНЕ СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В статье приводятся результаты изучения отношения скоростей продольных и поперечных волн V_p/V_s , зарегистрированных на сейсмических станциях Армении и Грузии при землетрясениях, происшедших в очаговой зоне Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года. Анализ полученных данных показал, что землетрясение 6 декабря 1988 г. согласно величинам V_p/V_s может быть принято как форшок Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г.

Проделанная работа показала, что отношение V_p/V_s при определенных условиях может служить одним из предвестников разрушительных и сильных землетрясений.

Гипотеза об изменении перед сильным землетрясением отношения V_p/V_s скоростей продольных (P) и поперечных (S) волн, проходящих через очаговую зону этого землетрясения, была впервые высказана японскими учеными Сасса в 1948 г. [11] и Хакиява в 1949 г. [10]. Изменение отношения V_p/V_s перед сильным землетрясением японские ученые объясняли изменением напряжений земной коры. Однако, в Японии эта гипотеза в 40-50-ые годы не получила развития вследствие трудностей, имеющих место в то время для точного определения отношения V_p/V_s .

С начала 60-х годов в Советском Союзе Комплексной сейсмологической экспедицией ИФЗ АН СССР в районе Гарма с прогностической целью были начаты работы по систематическому изучению скоростей продольных и поперечных волн [5, 4]. Отношение V_p/V_s определялось по наклону графика Вадати, выражающего зависимость между временем прихода продольной волны (t_p) и разностью времен прихода поперечной и продольной волн ($t_s - t_p$). Для определения изменения отношений t_s/t_p было проведено изучение их пространственного распределения для эпицентров Гармского района по площади и для различных глубин: 5, 10, 15 и 20—35 км. В результате получена резкая дифференциация значений t_s/t_p по площади и по глубине, которая хорошо коррелируется с сейсмической активностью [4]. При этом границы с пониженными отношениями t_s/t_p , как отмечают авторы, могут служить вероятными участками возникновения сильных землетрясений. С целью выявления изменений t_s/t_p во времени были рассмотрены пять сильных землетрясений с $K \geq 11$, происшедших в Гармском районе. На основании анализа полученных данных было установлено, что перед землетрясениями с $K = 12-13$ изменения отношения времен пробега поперечных и продольных волн доходит до 10% и эти изменения отмечаются за 2—3 месяца до землетрясения.

В дальнейшем исследование изменения отношения V_p/V_s советскими учеными проводилось также в других сейсмоактивных районах страны: на Фрунзенском полигоне, на Камчатке и т. д.

Учитывая, что значения V_p/V_s могут быть неодинаковыми в разных направлениях от очага землетрясения, Л. Б. Славина в 1971 г. предложила отношение V_p/V_s определять не по наклону графика Вадати, т. е. по совокупности данных группы сейсмических станций, а по данным одной станции получать единичные значения этого отношения [6]. Эта методика была использована ею при изучении V_p/V_s в районе Камчатки. При этом проведена статистическая обработка распределения единичных значений V_p/V_s по площади и выделены участки повышенных и пониженных значений V_p/V_s относительно среднего уровня, принятого равным 1,73. Установлено, что на территории Камчатки очаги землетрясений с $K \geq 14$ в основном приурочены к границам выделенных участков разного знака. В результате исследования изменений V_p/V_s во времени было показано, что на исследуемой территории аномальные значения V_p/V_s появляются за 12—20 дней до землетрясения и продолжаются в течение некоторого времени после землетрясения [6]. Исследование по этой методике распределения V_p/V_s за период с 1965 по 1977 гг. для юга Армении и сопредельных районов Турции и Ирана показало, что эта методика полностью приемлема для территории Кавказа [7].

Результаты, полученные советскими учеными в Гарме, вызвали большой интерес у сейсмологов Америки, Японии и других стран и стимулировали проведение работ по определению V_p/V_s в сейсмоактивных регионах этих стран. Были установлены аналогичные с полученными в Гарме изменения отношения V_p/V_s [8, 12 и др].

С целью получения высокоточных и надежных наблюдений для определения вариаций V_p/V_s японскими сейсмологами используются методы взрывной сейсмологии, т. е. искусственных землетрясений, начиная с 1968 г. Взрывы производятся на острове Идзу-Осима и записываются на станциях, расположенных в южном Канто, а также в районах Идзу и Токай [3]. 14 января 1978 г. в Японии произошло землетрясение Идзу-Осима-канкай с магнитудой $M=7$. Лучи к трем точкам наблюдений над взрывами на полуострове Идзу проходят через очаговую область этого землетрясения, но никаких значительных изменений в скоростях сейсмических волн и в отношениях V_p/V_s в этих пунктах наблюдений не было отмечено [9, 3].

Однако, несмотря на это, японские сейсмологи считают необходимым проведение постоянных наблюдений за вариациями скоростей сейсмических волн и отношений V_p/V_s с целью выявления этих изменений перед сильными и разрушительными землетрясениями. При этом указывается важность и необходимость повышения точности исходных данных [1].

7 декабря 1988 г. в Армении в районе Спитака произошло разрушительное землетрясение с магнитудой порядка 7. Землетрясение нанесло громадный ущерб. Были разрушены полностью (Спитак и др.) или частично (Ленинакан, Кировакан и т. д.) многие населенные пункты в северной части территории республики, имелись многочисленные человеческие жертвы.

В связи с этим представляло интерес исследовать поведение параметра V_p/V_s в очаговой зоне разрушительного Спитакского землетрясения в периоды задолго до землетрясения и непосредственно перед самим землетрясением и установить возможности использования этого параметра, наряду с другими (например, геохимическими, биологическими и т. д.), в качестве предвестника этого землетрясения. С этой целью были отобраны двадцать землетрясений, эпицентры которых расположены в районе Спитака и которые произошли до разрушительного Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г. в период от 30 января 1967 г. по 6 декабря 1988 г. В числе этих землетрясений Спи-

такое 1967 г. с $K=13$, Кироваканское 1978 г. с $K=11$, ряд более слабых землетрясений и, наконец, два землетрясения 6 декабря 1988 г., которые произошли в очаговой зоне Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г., и явились форшоками этого землетрясения.

По данным сейсмических станций «Ереван», «Варденис», «Ленинкан», «Степанаван», «Абастумани», «Ахалкалаки», «Бакуриани», «Богдановка», «Гори», «Душети» и «Тбилиси» нами вычислены значения V_p/V_s при указанных 20 землетрясениях. Эти станции расположены в разных направлениях от очаговой зоны Спитакского землетрясения на расстояниях, не превышающих 160 км.

Вычисление отношений V_p/V_s на отдельных сейсмических станциях нами проводилось по формуле [6]:

$$V_p/V_s = \frac{t_s - t_p}{t_p - t_0} + 1,$$

где t_s и t_p — времена выступлений на данную сейсмическую станцию прямых поперечных и продольных сейсмических волн, V_s и V_p — скорости распространения этих волн, а t_0 — время в очаге землетрясения, которое определялось по данным сети сейсмических станций Кавказа.

При этом определение времени в очаге землетрясения производилось по методам, не зависящим от голографов сейсмических волн.

Полученные величины V_p/V_s даны в табл. 1. Проведено сопоставление полученных величин V_p/V_s с их фоновыми, нормальными значениями для территории Армянского нагорья. Фоновые, нормальные величины V_p/V_s на территории Армянского нагорья для различных глубин залегания очагов землетрясений нами определены ранее и для глубин очага 0–20 км имеют значения $1,715 \pm 0,002$ [2].

Согласно данным табл. 1 отношение V_p/V_s , вычисленное для одного и того же землетрясения, по данным станций, расположенных в различных направлениях от эпицентра, имеет неодинаковые значения. Исходя из этого, в табл. 1 для каждого землетрясения дано также среднее по всем сейсмическим станциям значение V_p/V_s . Анализ средних значений этого отношения показывает, что имеется определенная связь между величиной V_p/V_s и энергетическим классом землетрясения. Так, для 1 Спитакского землетрясения 30 января 1967 г. с $K=13$ отношение V_p/V_s равно 1,762, затем оно убывает и снова возрастает, принимая значение 1,714 при землетрясении 17 января 1978 г. с $K=11$, затем снова убывает, образуя неглубокую бухту при землетрясениях с $K=9$, после чего возрастает до значения 1,732 при землетрясении 17 января 1982 г. с $K=10-11$. При следующем землетрясении 12 марта 1986 г. начинается спад величины V_p/V_s (возможно он начался раньше, но мы не имеем данных), который продолжается до ноября 1988 г. При слабом землетрясении 11 ноября 1988 г. с $K=8-9$ среднее значение $V_p/V_s=1,702$ приближается к фоновому, а при слабом землетрясении 3 декабря 1988 г. с $K=7-8$ равно фоновому ($V_p/V_s=1,718$). Эти значения V_p/V_s подтверждаются также данными двух взрывов с энергетическим классом порядка 7,5, произведенных в 40–60 км от Степанавана 1 и 3 декабря 1988 г. Оба взрыва были записаны сейсмической станцией «Степанаван». По данным первого взрыва, отношение V_p/V_s получилось равным 1,701, а по данным второго взрыва — 1,710.

6 декабря 1988 г. в очаговой зоне разрушительного Спитакского землетрясения имели место два землетрясения: первое в 15 ч. 27 мин с $K=9$ и второе в 18 ч 34 мин с $K=7-8$. Как следует из табл. 1, при первом землетрясении среднее значение V_p/V_s равно 1,748, то есть оно

Значения V_p/V_s в очаговой зоне Спитакского землетрясения

№№ п/п	Дата и время возникновения землетрясения--число, месяц, год, ч, мин				энергетический класс, К	Отношение скоростей продольных и поперечных волн											
						СТЕ	ЛЕН	БГД	ЕРЕ	АХЛ	ТБЛ	БКР	ГОР	АБС	ДУШ	ВАД	Среднее
1	2				3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	30 I	1967	01	20	13	1,667	1,909	—	1,784	1,732	1,686	1,791	1,769	—	—	1,755	1,762
2	27/V	1973	23	24	10—11	—	1,156	1,667	—	1,753	1,734	1,689	1,757	1,725	1,717	—	1,712
3	10 I	1977	12	26	10	1,649	1,533	—	1,806	1,776	1,776	1,662	—	—	1,740	—	1,706
4	17 I	1978	19	12	11	—	1,789	1,758	1,753	1,639	1,635	1,714	1,698	1,731	1,741	1,677	1,714
5	3.VII	1979	05	48	9	1,556	1,667	1,825	1,726	1,677	1,719	—	—	1,680	—	1,727	1,697
6	18 XII	1979	23	20	9	—	1,714	—	1,671	—	—	—	—	—	—	—	1,692
7	7 V	1980	03	41	9	1,608	1,575	—	1,696	1,674	1,701	—	1,734	1,870	1,658	1,726	1,694
8	9 V	1980	03	37	9	1,736	1,678	—	—	1,703	1,727	—	—	1,673	—	—	1,703
9	17 I	1982	10	27	10—11	1,629	1,590	1,714	1,792	1,875	1,791	1,699	1,798	1,755	1,685	1,724	1,732
10	12/III	1986	17	53	10—11	1,704	1,641	1,675	—	1,703	1,695	1,676	1,704	—	—	—	1,686
11	26/III	1986	22	25	10	—	1,570	—	—	1,666	1,695	1,649	1,738	—	—	—	1,664
12	29/III	1986	19	11	9—10	—	1,694	1,585	—	1,641	—	1,724	1,700	—	—	—	1,669
13	27/XII	1986	05	59	9—10	—	—	1,583	—	1,567	1,730	1,726	1,738	—	—	—	1,669
14	15 IV	1987	15	48	9—10	—	1,641	1,617	1,622	1,690	1,716	—	1,701	—	—	—	1,665
15	22 VI	1988	01	18	11	—	1,602	1,774	1,657	1,654	1,682	1,633	1,695	—	—	—	1,671
16	3/IX	1988	15	55	9	—	1,755	1,640	1,710	1,660	1,734	1,686	—	1,725	1,685	—	1,669
17	11 XI	1988	17	55	8—9	—	—	1,666	—	1,667	1,716	1,729	1,718	1,679	1,738	—	1,702
18	3 XII	1988	15	54	7—8	1,718	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,718
19	6 XII	1988	15	27	9	1,737	—	1,750	1,761	1,732	1,750	1,767	1,767	1,714	1,714	—	1,748
20	6 XII	1988	18	34	7—8	1,750	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,750
21	7 XII	1988	07	41	16	—	1,804	—	1,821	—	—	—	—	—	1,821	1,820	1,817
22	7/XII	1988	07	54	11	—	—	—	1,733	—	—	1,778	—	—	—	1,630	1,714
23	7/XII	1988	07	56	11	—	—	—	—	—	—	1,667	—	—	1,796	1,760	1,741
24	7/XII	1988	07	59	11	—	—	—	1,774	—	—	1,821	—	—	1,783	1,725	1,776
25	7/XII	1988	08	40	10—11	—	—	—	1,701	—	1,760	1,686	1,749	—	—	1,674	1,714
26	7/XII	1988	08	46	10—11	1,766	—	—	1,759	—	1,629	1,712	—	—	1,655	1,745	1,711
27	7/XII	1988	09	57	11	1,702	—	1,813	1,671	—	1,726	1,728	—	—	—	1,691	1,722
28	7/XII	1988	09	34	12—13	1,857	—	—	1,733	—	1,656	1,737	—	—	1,783	1,731	1,750
29	7/XII	1988	10	20	11	1,873	—	—	1,719	—	1,674	1,743	—	1,766	1,764	—	1,757

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30	7 XII 1988 10 56	11—12	2,000	—	—	1,736	1,667	1,652	1,869	—	1,731	1,769	1,725	1,769
31	7 XII 1988 11 01	10—11	2,021	—	—	1,701	1,717	1,688	1,685	1,694	1,703	1,759	1,686	1,740
32	7 XII 1988 11 03	11	1,889	—	1,650	1,738	1,686	1,670	1,730	1,677	1,711	1,772	1,701	1,803
33	7 XII 1988 12 03	10—11	1,800	—	1,661	1,764	1,718	1,727	1,670	1,716	1,717	1,709	1,734	1,722
34	7 XII 1988 12 47	10	1,772	—	1,690	1,679	1,695	1,681	1,733	1,698	1,706	1,699	1,712	1,707
35	7 XII 1988 14 04	11—12	1,667	—	1,756	1,812	1,726	1,702	1,667	1,714	1,697	1,697	1,789	1,723
36	7 XII 1988 14 10	11—12	—	—	1,650	1,711	1,709	1,764	—	1,724	1,722	1,674	1,755	1,714
37	7 XII 1988 11 37	11	—	—	1,642	1,719	1,663	1,766	1,737	1,747	1,735	1,741	1,791	1,727
38	7 XII 1988 14 46	9—10	1,769	—	1,703	1,775	1,679	1,691	1,743	1,726	1,720	1,714	1,731	1,725
39	7 XII 1988 15 03	9—10	1,720	—	1,768	1,688	1,718	1,681	1,753	1,676	1,740	1,750	1,765	1,726
40	7 XII 1988 15 53	9—10	1,667	—	1,761	1,707	—	1,684	1,724	1,721	1,741	—	1,786	1,724
41	7 XII 1988 16 50	10—11	1,690	—	—	1,769	1,714	1,714	1,767	—	1,719	1,738	1,719	1,729
42	7 XII 1988 18 05	11—12	—	—	—	1,714	—	1,774	1,798	1,765	1,763	1,748	1,840	1,772
43	7 XII 1988 18 26	10—11	—	—	1,875	1,688	1,804	1,722	1,747	—	1,748	1,732	1,695	1,751
44	7 XII 1988 19 17	11	—	—	1,769	1,739	1,786	1,739	1,722	1,765	1,772	1,726	1,760	1,753
45	7 XII 1988 20 07	11—12	1,649	—	1,830	1,788	1,831	1,792	1,778	—	1,772	1,772	1,720	1,719
46	7 XII 1988 20 15	10	—	—	1,638	1,671	1,644	1,703	1,753	1,694	1,690	1,714	1,725	1,692
47	7 XII 1988 20 35	9—10	1,519	—	—	1,733	1,699	—	1,688	1,707	1,739	1,728	1,692	1,688
48	7 XII 1988 22 03	10	1,659	—	1,655	—	1,652	—	1,685	—	1,703	1,709	1,740	1,685
49	8 XII 1988 00 14	10—11	—	—	1,717	1,732	1,703	1,722	1,714	1,721	1,719	1,726	1,772	1,725
50	8 XII 1988 01 15	11—12	—	—	1,755	1,722	1,769	1,802	1,747	—	1,738	1,654	1,748	1,742
51	8 XII 1988 01 49	11	1,733	—	1,778	1,709	1,776	1,707	1,765	1,750	1,752	1,714	1,735	1,742
52	8 XII 1988 02 09	11	—	—	1,714	1,714	1,753	—	1,684	1,712	1,692	1,776	1,826	1,734
53	8 XII 1988 02 46	9—10	1,875	—	1,741	1,680	—	1,733	1,806	1,816	—	—	1,808	1,780
54	8 XII 1988 04 09	11—12	—	—	—	1,786	1,833	1,793	1,706	—	1,776	—	1,680	1,762
55	8 XII 1988 05 36	11	1,738	—	1,643	1,699	1,709	1,712	—	—	1,735	1,722	—	1,708
56	8 XII 1988 07 46	12	—	—	1,649	1,750	1,640	—	1,636	1,929	1,703	1,760	1,773	1,730
57	8 XII 1988 09 07	9—10	—	—	1,643	1,726	1,654	1,699	1,743	—	1,735	—	1,687	1,698
58	8 XII 1988 10 14	10—11	—	—	1,629	1,713	—	1,688	1,718	—	1,737	1,726	1,694	1,701
59	8 XII 1988 17 19	9—10	—	—	—	1,654	1,659	1,733	1,697	—	1,700	1,718	1,672	1,690
60	8 XII 1988 20 32	12	—	—	1,784	1,775	1,806	1,788	—	1,750	1,748	1,741	1,810	1,775
61	9 XII 1988 01 12	10	—	—	1,734	1,714	1,724	1,736	1,649	—	1,720	1,702	1,760	1,717
62	9 XII 1988 04 50	9—10	—	—	1,683	1,683	1,674	1,657	1,690	—	1,719	—	1,766	1,696
63	9 XII 1988 09 49	8	1,722	—	—	—	1,788	1,699	—	—	1,778	—	—	1,747
64	9 XII 1988 14 01	11	—	—	1,684	1,733	1,694	1,722	—	1,691	1,714	1,726	1,691	1,707
65	9 XII 1988 14 13	10	1,675	—	1,646	1,710	1,677	1,688	—	1,711	1,694	1,723	1,680	1,689

1	2				3	4	5	6	7
65	9 XII	1988	14	48	9—10	1.555	—	1.661	—
67	9 XII	1988	21	24	10	1.667	—	1.672	1.655
68	10 XII	1988	19	13	11	1.85	—	1.769	1.800
69	10 XII	1988	19	46	10—11	1.636	—	1.694	1.725
70	10 XII	1988	21	25	10	1.625	—	1.717	1.690
71	11 XII	1988	03	55	9—10	1.686	—	1.702	1.719
72	11 XII	1988	04	58	10—11	1.634	—	1.753	1.710
73	11 XII	1988	12	20	10—11	1.714	—	1.703	1.730
74	11 XII	1988	12	21	10	1.742	—	1.694	1.718
75	11 XII	1988	23	08	9—10	1.633	—	1.655	1.709
76	12 XII	1988	01	14	10	1.755	—	1.643	1.719
77	12 XII	1988	08	45	10	1.706	—	1.661	1.717
78	12 XII	1988	15	36	1—12	1.846	—	1.678	1.739
79	12 XII	1988	17	22	9—10	—	—	1.679	1.712
80	13 XII	1988	04	21	10—11	—	—	1.678	1.727
81	13 XII	1988	21	07	9—10	—	—	1.627	1.650
82	13 XII	1988	21	35	10	—	—	1.673	1.714
83	14 XII	1988	00	59	9—10	—	—	1.697	1.726
84	14 XII	1988	20	49	10	1.667	—	1.650	1.748
85	15 XII	1988	15	43	10—11	1.688	—	—	1.719
86	16 XII	1988	18	53	10	1.553	—	1.607	1.727
87	17 XII	1988	05	59	9—10	1.565	—	1.638	1.722
88	17 XII	1988	23	33	9—10	1.556	—	1.633	1.688
89	18 XII	1988	13	06	10	1.623	—	1.667	1.670
90	18 XII	1988	17	49	10	1.500	—	1.641	1.691
91	18 XII	1988	19	52	9—10	1.667	—	1.700	1.687
92	18 XII	1988	20	00	9—10	1.694	—	1.698	1.639
93	18 XII	1988	20	46	9	1.632	—	1.729	1.659
94	19 XII	1988	02	35	10	1.691	—	1.685	1.709
95	19 XII	1988	05	22	10	1.958	—	1.657	1.776
96	19 XII	1988	17	29	11—12	1.882	—	1.770	1.725
97	20 XII	1988	00	05	10—11	1.875	—	1.648	—
98	22 XII	1988	02	20	10	—	1.667	1.720	1.692
99	22 XII	1988	12	24	10—11	1.867	—	1.750	1.746
100	22 XII	1988	18	13	10	1.703	1.946	1.648	1.741
101	22 XII	1988	18	19	10	1.542	1.903	1.713	1.672

8	9	10	11	12	13	14	15
1,676	—	—	1,681	1,654	1,726	1,657	1,659
1,675	1,691	1,744	1,703	1,718	1,717	1,755	1,700
1,675	1,751	1,683	1,719	1,725	1,729	1,783	1,749
1,716	1,722	1,667	1,691	1,693	1,709	1,720	1,697
1,672	1,690	1,820	1,692	1,697	1,697	1,739	1,704
1,697	1,723	—	1,693	1,706	1,691	—	1,702
1,780	1,766	1,751	1,756	1,743	1,743	1,726	1,736
1,693	1,693	1,734	1,692	1,704	1,710	1,708	1,708
1,686	1,707	—	—	1,692	1,694	1,705	1,705
1,682	1,719	—	1,695	1,695	1,688	1,696	1,686
1,652	1,707	1,706	1,714	1,706	1,706	1,686	1,699
1,713	1,720	—	1,711	1,705	1,704	1,685	1,702
1,693	1,714	1,737	1,699	1,723	1,716	1,755	1,730
1,710	1,705	1,702	1,681	1,706	—	1,690	1,698
1,684	1,702	1,732	1,697	1,681	1,740	1,746	1,710
1,671	1,684	1,714	1,673	1,669	1,667	—	1,669
1,672	1,727	1,741	1,686	1,702	1,696	1,735	1,705
1,676	1,710	1,688	1,704	1,682	1,693	1,722	1,700
1,645	1,660	1,700	1,725	1,700	1,728	1,668	1,689
1,703	1,707	1,719	1,667	1,715	1,721	1,724	1,707
1,672	1,707	1,684	1,711	1,725	1,719	1,733	1,684
1,620	1,721	1,875	1,701	1,701	1,709	1,641	1,689
1,667	1,707	1,718	1,728	1,703	1,719	1,722	1,684
1,686	1,684	1,678	1,704	1,725	1,714	1,728	1,688
1,667	1,730	—	1,685	1,714	1,691	1,720	1,671
1,657	1,674	—	1,673	1,702	1,695	1,702	1,684
1,689	1,701	—	1,667	1,742	1,728	1,688	1,695
1,696	1,676	1,675	1,698	1,691	—	—	1,682
1,663	1,706	—	1,695	1,727	1,741	1,717	1,704
1,684	1,720	1,753	1,722	1,711	1,692	1,800	1,747
1,775	1,779	—	1,748	1,750	1,738	1,688	1,762
1,720	1,720	—	1,701	1,743	—	1,737	1,740
1,689	1,702	1,733	1,718	1,699	1,711	1,688	1,702
1,750	1,775	1,765	1,745	1,750	1,717	1,778	1,764
1,698	1,691	—	1,718	1,727	1,746	1,769	1,739
1,717	1,717	1,705	—	1,700	1,697	1,749	1,722

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
102	22 XII 1988 20 14	9-10	1.750	1.833	1.658	—	1.686	1.677	—	—	1.706	—	—	1.718
103	22 XII 1988 21 13	10	1.588	1.714	1.729	1.603	1.707	1.708	—	1.713	—	1.746	1.762	1.697
104	23 XII 1988 07 42	10-11	1.6000	1.893	1.657	1.662	1.705	1.717	—	1.693	1.706	1.712	1.876	1.722
105	23 XII 1988 13 00	9-10	1.593	1.857	1.692	1.738	1.708	1.698	—	—	1.705	1.705	1.702	1.711
106	23 XII 1988 16 43	9-10	1.684	1.636	1.710	1.683	1.707	1.694	1.667	1.698	1.699	1.697	1.623	1.682
107	24 XII 1988 05 48	10	1.571	1.714	1.718	1.730	1.671	1.695	—	1.730	1.669	1.729	1.584	1.681
108	24 XII 1988 11 42	9-10	1.565	1.714	1.671	1.704	1.671	1.733	—	1.706	1.698	1.685	1.738	1.689
109	25 XII 1988 06 48	9-10	1.628	1.818	1.625	1.522	1.652	1.650	1.660	1.694	1.649	1.681	1.750	1.666
110	26 XII 1988 14 56	9-10	1.600	—	1.596	—	1.662	1.670	—	1.682	1.713	1.700	1.717	1.668
111	27 XII 1988 07 45	10	1.615	1.740	1.679	1.558	1.718	1.718	1.703	1.718	1.693	1.699	1.727	1.688
112	27 XII 1988 12 30	9-10	1.682	1.022	1.727	1.601	1.662	1.674	1.703	1.656	1.700	1.717	1.672	1.711
113	28 XII 1988 03 46	10-11	1.676	—	1.714	1.750	1.755	—	1.714	1.732	1.721	1.765	1.786	1.735
114	29 XII 1988 10 08	10	1.710	—	1.696	1.727	1.709	1.715	—	1.715	1.700	—	1.812	1.723
115	29 XII 1988 18 43	10	1.667	1.541	1.625	1.690	1.696	1.725	1.667	1.696	1.723	—	1.629	1.706
116	30 XII 1988 13 28	10-11	1.611	1.870	1.647	1.718	1.737	1.761	1.762	1.734	1.746	—	1.676	1.727
117	31 XII 1988 01 07	12-13	1.788	—	1.725	1.844	1.709	1.744	—	1.692	1.701	1.721	1.714	1.738
118	31 XII 1988 15 35	9-10	1.526	1.857	1.687	1.701	1.704	1.690	—	1.745	1.683	1.714	—	1.701
119	31 XII 1988 15 54	10-11	1.522	1.806	1.677	1.732	1.696	1.770	—	1.736	1.746	—	1.785	1.719
120	31 XII 1988 17 22	9-10	1.678	1.795	1.695	1.594	1.717	1.733	—	1.669	1.683	1.726	1.690	1.710
121	1/I 1989 2 59	10-11	1.629	1.655	—	1.710	1.707	1.731	1.714	1.711	1.743	—	1.804	1.712
122	3/I 1989 08 19	11	1.640	1.758	—	—	1.764	1.722	1.714	1.731	1.725	—	1.723	1.722
123	4/I 1989 07 29	12-13	1.867	1.769	—	1.723	1.764	1.823	1.714	1.792	1.778	1.776	1.826	1.783
124	4/I 1989 07 38	10-11	1.6 9	—	—	1.792	1.679	1.795	1.650	1.691	1.742	—	1.731	1.712
125	5/I 1989 08 15	11	1.744	1.746	—	1.729	1.748	1.743	1.676	1.684	1.747	1.800	1.766	1.738

Примечание: СТЕ—Степанаван. ЛЕН—Ленинакан. БГД—Богдановка, ЕРЕ—Ереван, АХЛ—Ахалкалаки, ТБЛ—Тбилиси, БКР—Бакурцани, ГОР—Гори, АБС—Абастумани, ДУШ—Душети, ВАД—Варденис.

возросло по сравнению с 3 декабря 1988 г. При втором, слабом толчке величина V_p/V_s , определенная по данным ближайшей сейсмической станции «Степанаван», сохранила свою величину ($V_p/V_s=1.750$).

Проведенный анализ показывает, что землетрясения 6 декабря 1988 г. согласно величинам V_p/V_s должны были быть приняты как возможные форшоки сильного землетрясения. И действительно, через 13 часов 7 минут и 18 секунд произошло основное разрушительное Спитакское землетрясение с энергетическим классом порядка 16.

Полученные по данным сейсмических станций «Ереван», «Ленинакан», «Варденис» и «Душети» значения V_p/V_s для основного землетрясения приведены в табл. 1. Как видно из этой таблицы, значения V_p/V_s по отдельным станциям отличаются незначительно. Среднее значение V_p/V_s равно 1,817 и такую же величину имеет это отношение, определенное по данным грузинской станции «Накалакар» ($V_p/V_s=1,818$). Из этого следует, что, по-видимому, при очень крупных землетрясениях ($M \geq 6,5$) значение отношения V_p/V_s практически не зависит от азимута сейсмической станции по отношению к очагу землетрясения.

В табл. 1 приведены также величины V_p/V_s , полученные нами по данным тех же 11 сейсмических станций для сильных афтершоков Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года. Исследованы свыше ста афтершоков в основном с $K \geq 10$, происшедших в период с 7 декабря 1988 г. по 7 января 1989 г., то есть за месяц после основного землетрясения. Основная масса сильных афтершоков имела место именно в этот период.

Согласно данным табл. 1 для афтершоков наблюдается аналогичная зависимость между величиной параметра V_p/V_s и энергетическим классом афтершока, а также спад значения V_p/V_s незадолго до сильного афтершока и его возрастание непосредственно перед ним. Указанное наблюдается более четко по средним для каждого афтершока значениям величины V_p/V_s . При этом эти зависимости становятся более определенными для афтершоков, происшедших спустя несколько дней после основного толчка.

При проведении настоящего исследования V_p/V_s в очаговой зоне Спитакского землетрясения нами были использованы сейсмограммы сейсмических станций Кавказа, данные оперативных сейсмологических бюллетеней Опытной-методической геофизической экспедиции при Институте геофизики АН ГрССР, а также Сейсмологические бюллетени Кавказа.

Проделанная работа показывает, что с помощью отношения V_p/V_s возможно выделение форшока сильного землетрясения (или афтершока). Для этого необходимо наличие сейсмических станций, окружающих очаговую зону и оснащенных высокочувствительной аппаратурой с большой разверткой записи, а также проведение регулярных, непрерывных наблюдений за скоростями сейсмических волн.

Автор статьи выражает свою признательность Карапетяну Б. К., указавшему на необходимость проведения настоящей работы.

ՍՊԻՏԱԿԻ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ՕՋԱԽԱՅԻՆ ՇՐՋԱՆՈՒՄ ԱՌԱՋԱՅԱՍ ԵՐԿԱՅՆԱԿԻ ԵՎ
ԼԱՅՆԱԿԻ ԱՆՔՆԵՐԻ ԱՐԱԳՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԱՐԱԲԵՐՈՒԹՅԱՆ
ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հողվածում բերված են 1988 թ. դեկտեմբերի 7-ի Սպիտակի երկրաշարժի օջախային շրջանում տեղի ունեցած երկրաշարժերից առաջացած և Հայաստանի ու Վրաստանի սեյսմիկ կայաններում գրանցված երկայնակի ու լայնակի ալիքների արագությունների հարաբերության ուսումնասիրության արդյունքները:

Տրված է խորհրդային, ամերիկյան և ճապոնական գիտնականների աշխատություններում այդ հարաբերության որոշման մեթոդների վերլուծությունը:

«Երևան», «Վարդենիս», «Լենինական», «Ստեփանավան», «Աբասթումանի», «Ախալքալակի», «Բակուրիանի», «Բոգդանովկա», «Գորի», «Դուշեթի» և «Թբիլիսի» սեյսմիկ կայանների սեյսմոգրամների միջոցով հաշվարկված են V_p/V_s հարաբերության արժեքները 20 երկրաշարժերի համար, որոնք տեղի են ունեցել Սպիտակի շրջանում մինչև 1988 թ. դեկտեմբերի 7-ը: Դրանց թվին են պատկանում 1967 թ. Սպիտակինը ($K=13$), 1978 թ. Կիրովականինը ($K=11$), ինչպես նաև մի շարք ավելի թույլ երկրաշարժեր ($8,5 < K < 11$) և, վերջապես, 1988 թ. դեկտեմբերի 6-ի երկրաշարժը, որն անմիջականորեն տեղի է ունեցել Սպիտակի երկրաշարժի օջախի շրջանում և հանդիսանում է նրա ֆորշոկը:

Առանձին սեյսմիկ կայանների համար արագությունների հարաբերությունը հաշվարկված է հետևյալ բանաձևով՝

$$V_p/V_s = \frac{t_s - t_p}{t_p - t_0} + 1,$$

որտեղ t_s և t_p տվյալ սեյսմիկ կայանում գրանցված լայնակի և երկայնակի ալիքների ժամանակն է, V_s և V_p այդ ալիքների տարածման արագությունները, իսկ t_0 ժամանակն է երկրաշարժի օջախում: t_0 որոշելիս կիրառվել են գոշոգրաֆներից անկախ մեթոդներ:

Կատարված է այդ հարաբերության արժեքների վերլուծությունը ինչպես առանձին սեյսմիկ կայանների տվյալների, այնպես էլ տվյալ երկրաշարժի համար կայանների միջին V_p/V_s արժեքների համար: Այդ հարաբերության արժեքները, որոնք որոշված են տարբեր սեյսմիկ կայանների սեյսմոգրամների միջոցով միևնույն երկրաշարժի համար, տարբեր են: Հետևաբար, այդ հարաբերության արժեքը կախված է նաև երկրաշարժի էպիկենտրոնի նկատմամբ սեյսմիկ կայանի ուղղությունից:

Բերված են նաև 1988 թ. դեկտեմբերի 7-ի Սպիտակի երկրաշարժի և նրա ուժեղ աֆտերշոկերի համար նույն սեյսմիկ կայանների սեյսմոգրամների միջոցով ստացված V_p/V_s արժեքները: Ուսումնասիրված են ավելի քան 100 աֆտերշոկեր, որոնց K -ն հիմնականում մեծ է կամ հավասար 10 և որոնք տեղի են ունեցել 1988 թ. դեկտեմբերի 7-ից մինչև 1989 թ. հունվարի 7-ը: Գրանցված ուժեղ աֆտերշոկերը հիմնականում տեղի են ունեցել այդ ժամանակամիջոցում:

Ստացված տվյալների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ 1988 թ. դեկտեմբերի 6-ի երկրաշարժն ըստ V_p/V_s արժեքների կարող է համարվել որպես դեկտեմբերի 7-ի Սպիտակի կործանիչ երկրաշարժի ֆորշոկ:

Կատարված հետազոտությունը ցույց է տալիս, որ V_p/V_s հարաբերությունը կարող է հանդիսանալ ուժեղ երկրաշարժերի կանխագուշակման նախադրյալներից մեկը: Դրա համար անհրաժեշտ է ստեղծել օջախային տարածքը շրջապատող սեյսմիկ կայանների մի ցանց՝ օժտված բարձր զգայունության սարքավորումներով, ինչպես նաև սեյսմիկ ալիքների տարածման արագությունների կանոնավոր, անընդհատ դիտարկումներ:

N. K. KARAPETIAN

THE LONGITUDINAL AND TRANSVERSAL WAVES VELOCITIES RATIO STUDY OF THE SPITAK EARTHQUAKE FOCUS REGION

A b s t r a c t

The results of the longitudinal and transversal waves velocities ratio V_p/V_s investigation are brought, registered by the Armenia and Georgia seismic stations during the earthquake in the Spitak, December 7, 1988, focus region. The obtained data analysis has shown, that the earthquake of December 6, by its V_p/V_s ratio could be a foreshock of the Spitak earthquake, December 7, 1988.

The investigation shows, that in definite conditions the V_p/V_s ratio can serve as one of precursors for destructive and strong earthquakes.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Носии Т. Вариации скоростей сейсмических волн.—В кн.: Методы прогноза землетрясений. Их применение в Японии. М.: Недра, 1984, с. 94—107.
2. Карапетян Н. К. Годографы сейсмических волн для землетрясений Армянского нагорья. Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1974, 142 с.
3. Мого К. Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1968, 382 с.
4. Нерсесов Н. Л., Семенов А. Н., Симбирева Н. Г. Пространственно-временное распределение отношений времен пробега поперечных и продольных волн в Гармском районе.—В кн.: Экспериментальная сейсмология. М.: Наука, 1971, с. 334—345.
5. Семенов А. Н. Изменение отношения времени пробега поперечных и продольных волн перед сильными землетрясениями.—Изв. АН СССР, Физика Земли, 1969, № 4, с. 72—77.
6. Славина Л. Б. Методика и результаты изучения V_p/V_s в фокальной зоне Камчатки.—В сб.: Исследования по физике землетрясений. М.: Наука, 1976, с. 217—236.
7. Славина Л. Б., Баграмян А. Х. и др. Оценка возможности изучения параметра V_p/V_s по данным сейсмических станций Армении.—В сб.: Сейсмологический бюллетень. Кавказа за 1982 г. Тбилиси: Мецниереба, 1987, с. 101—107.
8. Aggarwal Y. P., Sykes L. R., Simpson D. W., Richards P. J. Spatial and temporal variations in ts/tp and in Pwave residuals at Blue Mountain Lake, New York: application to earthquake prediction. J. Geophys. Res., 80, 718—732, 1973.
9. Geological Survey of Japan. Measurements of variations in seismic wave velocity by using explosion seismic method preliminary report of the results in 10 th (1976)—12 th (1978) Oshima explosion. R. J. Coord. Comm. Earthquake Predict., 22, 83—85, 1979.
10. Hayakawa M. Time variation in seismic wavevelocity. J. Seismol. Soc. Jpn [2] 2, 41—46, 1949.
11. Sassa K. Some problems concerning earthquake prediction. Bull. Disaster Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., 1, 13—20, 1948.
12. Whitcomb S. H., Jarmann S. D., Anderson P. L. Earthquake prediction: Variation of seismic velocities before the San Fernando earthquake.—Science, 1973, v. 180.