

ՀՄՍՀ ԳԱ Տեղեկագիր

**ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ԵՐԿՐԻ ՄԱՍԻՆ**  
**НАУКИ О ЗЕМЛЕ**  
**EARTH SCIENCES**



Журнал основан в 1943 г., выходит 6 раз в год  
на русском и армянском языках

#### ԽՐԲԱՆԻՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

ՀԽՍՀ ԳԱ թղթ.-անդամ Ա. Բ. Բաղդասարյան, ՀԽՍՀ ԳԱ ակադ. Ա. Հ. Գար-  
րիելյան, (պատասխանատու խմբագիր), Երկրա-հանր. գիտ. թեկն. է. Խ. Ղուլյան,  
ՀԽՍՀ ԳԱ թղթ.-անդամ Ս. Վ. Գրիգորյան, Երկրա-հանր. գիտ. թեկն. Ա. Ի. Կա-  
րապետյան, Ֆիզ.-մատ. գիտ. թեկն. Ն. Կ. Կարապետյան, Երկրա-հանր. գիտ.  
թեկն. Բ. Մ. Մելիքսերյան, Երկրա-հանր. գիտ. թեկն. Ռ. Տ. Միրիջանյան, Երկրա-  
հանր. գիտ. դոկտ. Ս. Ն. Նազարեթյան, Երկրա-հանր. գիտ. դոկտ. Մ. Ս. Սարյան,  
ՀԽՍՀ ԳԱ թղթ.-անդամ Գ. Ի. Տեր-Ստեփանյան, Երկրա-հանր. գիտ. թեկն. Ա. Ս.  
Յարամազյան (պատասխանատու խմբագրի տեղակալ):

Պատասխանատու քարտուղար՝ է. Ա. Ռոստոմովա

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Член-корр. АН АрмССР А. Б. Багдасарян, акад. АН АрмССР А. А. Габриелян (ответственный редактор), член. корр. АН АрмССР С. В. Григорян, канд. геол.-мин. наук Э. Х. Гулян, докт. геол.-мин. наук А. И. Карапетян, канд. физ. мат. наук И. К. Карапетян, канд. геол.-мин. наук Б. М. Меликсетян, канд. геол.-мин. наук С. Н. Назаретян, докт. геол.-мин. наук М. А. Сатиан, член-корр. АН АрмССР Г. И. Тер-Степанян, канд. геол.-мин. наук А. С. Фарамазян (зам. ответственного редактора).

Ответственный секретарь Э. С. Ростомова

Խմբագրության հասցեն՝ 375019, Երևան 19, Մարշալ Բաղրամյանի պող., 24ա.

Адрес редакции: 375019, Ереван, 19, пр. Маршала Баграмяна. 24а

© Издательство АН Арм. ССР

Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, 1989

Ր Ո Վ Ա Ն Գ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

Ս. Վ. Գրիգորյան, Խ. Տ. Ջրբաշյան, Ա. Ի. Կարապետյան, Ա. Ս. Կարախանյան, Մ. Ա. Սարյան. Սպիտակի երկրաշարժի մարզի երկրաբանական կառուցվածքը և սեյսմատեկտոնական առանձնահատկությունները . . . . . 3

Ա. Վ. Վարդանյան, Պ. Լ. Մուրադյան, Մ. Ա. Սարյան. Սպիտակի երկրաշարժի մարզի տեկտոնական կառուցվածքի և շրջանցման մասին . . . . . 13

Ա. Ս. Կարախանյան. Սպիտակի 1988 թ. երկրաշարժի գործուն խզումների և երկրաշարժածին ձևափոխումների վերերկրյա և օդատիեզերական ուսումնասիրման արդյունքները . . . . . 20

Վ. Ա. Իզումնով, Ջ. Գ. Ստեփանյան. Սպիտակի երկրաշարժի մի քանի ջրաերկրաբանական տեսանկյուններ . . . . . 24

Ն. Կ. Կարապետյան. Սպիտակի երկրաշարժի օջախային շրջանում առաջացած երկայնակի և յայնակի ալիքների արագությունների հարաբերության ուսումնասիրումը . . . . . 34

Հ. Մ. Ավչյան, Գ. Պ. Սիմոնյան. Ապարների ճեղքառաջացման և քայքայման հնարավոր (կանխագուշակային) ուղղությունների մասին (1988 թ. դեկտեմբերի 7-ի Հայկ. ԽՍՀ Սպիտակի երկրաշարժի օրինակով) . . . . . 43

Բ. Կ. Կարապետյան. Սպիտակի 1988 թ. դեկտեմբերի 7-ի երկրաշարժի սեյսմիկ ներգործությունը և մի քանի անհետաձգելի խնդիրներ . . . . . 51

Հ Ա Մ Ա Ռ Ո Տ Հ Ա Ղ Ո Ք Դ Ո Ւ Մ Ն Ե Ր

Թ. Հ. Ռաբայան. 1988 թ. դեկտեմբերի 7-ի երկրաշարժի հետևանքների մակրոսեյսմիկ հետազոտությունը Հենինական քաղաքի տարածքում . . . . . 56

Մ. Մ. Ռասենցյան, Վ. Պ. Թուրակով. Սպիտակի 1988 թ. դեկտեմբերի 7-ի երկրաշարժի սաղոնային նախագուշակը . . . . . 63

Վ. Գ. Փանաջյան, Յ. Պ. Միրանյան, Է. Գ. Գյուղակյան, Յու. Կ. Մելիք-Ալավերդյան. Տիեզերական սաղիռաղբյուրների իոնոլորտային առկայությունների և սեյսմիկ ակտիվության կապի հետազոտման մի քանի արդյունքներ . . . . . 67

Է. Գ. Գյուղակյան, Վ. Ժ. Ահաբեյան, Մ. Ա. Դանիլովա, Ս. Լ. Յունգա. Սպիտակի երկրաշարժի աֆտերշոկերի օջախային մեխանիզմների առանձնահատկությունները . . . . . 71

Գ Ի Տ Ո Ւ Թ Յ Ա Ն Կ Ո Ր Ո Ւ Մ Տ Ն Ե Ր

Թափայել Հայկազի Վանյան . . . . . 78

СОДЕРЖАНИЕ

С. В. Григорян, Р. Т. Джрбашян, А. И. Каралетян, А. С. Караханян, М. А. Сатян. Геологическое строение и сейсмоструктурные особенности области Спитакского землетрясения . . . . . 3

А. В. Варданян, П. Л. Мурадян, М. А. Сатян. О тектоническом строении и районировании области Спитакского землетрясения . . . . . 13

А. С. Караханян. Результаты наземного и аэрокосмического изучения активных разломов и сейсмогенных деформаций Спитакского землетрясения 1988 года . . . . . 20

В. А. Изумнов, Э. Г. Степанян. Некоторые гидрогеохимические аспекты Спитакского землетрясения . . . . . 24

Н. К. Каралетян. Исследование отношения скоростей продольных и поперечных волн в очаговой области Спитакского землетрясения . . . . . 34

<i>Г. М. Авчян, Г. П. Симонян.</i> О возможных (прогнозных) направлениях трещинообразования и разрушения пород (на примере Спитакского землетрясения АрмССР 7.XII.1988 г.)	43
<i>Б. К. Карапетян.</i> Сейсмическое воздействие Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г. и некоторые неотложные задачи	51

#### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

<i>Т. О. Бабаян.</i> Макросейсмическое обследование последствий землетрясения 7-го декабря 1988 г. на территории г. Ленинакана	58
<i>М. М. Басенцян, В. П. Рудаков.</i> Радоновый предвестник Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года	64
<i>В. Г. Панаджян, Ф. П. Миранян, Э. Г. Гедакян, Ю. Г. Мелик-Алавердян.</i> Некоторые результаты исследования связи ионосферных мерцаний космических радионсточников с сейсмической активностью	67
<i>Э. Г. Геодакян, В. Ж. Агаронян, М. А. Данилова, С. Л. Юнга.</i> Особенности фокальных механизмов афтершоков Спитакского землетрясения	71

#### ПОТЕРИ НАУКИ

<i>Рафаел Айказович Ванян</i>	78
-------------------------------	----

#### CONTENTS

<i>S. V. Grigorian, R. T. Djerbashian, A. I. Karapetian, A. S. Karakhanian, M. A. Satlan.</i> The geological structure and seismotectonic peculiarities of the Spitak earthquake region	3
<i>A. V. Vardanian, P. L. Mouradian, M. A. Satian.</i> On the tectonic structure and zoning of the Spitak earthquake region	13
<i>A. S. Karakhanian.</i> The field, aerial and space investigation results of the Spitak earthquake, 1988, active fractures and seismogenous deformations	20
<i>V. A. Igumnov, Z. G. Stepanian.</i> Some hydrogeochemical aspects of the Spitak earthquake	24
<i>N. K. Karapetian.</i> The longitudinal and transversal waves velocities ratio study of the Spitak earthquake focus region	34
<i>H. M. Avchian, G. P. Simonian.</i> On possible (prognostic) directions of the rocks fracturing and destruction (the Armenian SSR, Spitak earthquake December 7, 1988, being an example)	43
<i>B. K. Karapetian.</i> The Spitak earthquake December 7, 1988, seismic influence and some urgent problems	51

#### SHORT REPORTS

<i>T. H. Babayan.</i> The earthquake of December 7, 1988, after-effects macrosismic investigation on the Leninakan territory	58
<i>M. M. Basentsian, V. P. Rudakov.</i> The Spitak earthquake December 7, 1988, radonic precursor	64
<i>V. G. Panadjian, F. P. Miranian, E. G. Geodakian, Ju. G. Melik-Alaverdian.</i> Some investigation results of the relation between the space radio sources ionospheric scintillation and the seismic activity	67
<i>E. G. Geodakian, V. J. Aharonian, M. A. Danilova, S. L. Younga.</i> The Spitak earthquake aftershocks foci mechanisms peculiarities	71

#### SCIENCE LOSSES

<i>Rafayel Haykazovich Vanian</i>	78
-----------------------------------	----

С. В. ГРИГОРЯН, Р. Т. ДЖРБАШЯН, А. И. КАРАПЕТЯН,  
А. С. КАРАХАЛЯН, М. А. САТИАН

## ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБЛАСТИ СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В статье рассматриваются основные черты геологического строения и сейсмо-тектоники области землетрясения, представляющей собой сложное сопряжение трех структурно-формационных зон; описываются деформации геологической структуры и рельефа, изменения водного баланса, проявления тепловой и эманиционной активности, возникшие в результате землетрясения 7 декабря 1988 г.

Катастрофическое Спитакское землетрясение выразилось в серии сильных подземных толчков, наиболее значительные из которых начались 7 декабря 1988 г. в 11 часов 41'20". Его балльность оценивается до 10.

Землетрясение ощущалось на территории от Черного моря до Каспийского и от Грозного на севере до границы Ирана с Ираком на юге. Эпицентр землетрясения находился на расстоянии 6—7 км к северо-западу от г. Спитака, магнитуда землетрясения 7,0.

Область, охваченная Спитакским землетрясением, составляет не менее 10,0 тыс. км<sup>2</sup>. Геологическое строение области представляет сложное сопряжение западных фрагментов трех важнейших структурно-формационных зон Закавказья: Сомхето-Карабахской, Базумо-Зангезурской и Приараксинской [3], которые имеют общекавказское простирание и сочетаются с пликативными антикавказскими структурами и разного порядка разрывными нарушениями. Район характеризуется весьма сложным гетерогенным геологическим строением, включающим разновозрастные и разноформационные комплексы от протерозойских до неоген-четвертичных (рис. 1).

Наиболее древним является позднеперифейский комплекс метаморфических пород Цахкуняцкого массива на юго-востоке. Выходы палеозоя не известны, но в строении Лусахпюрской и Базумской антиклиналей предполагаются карбонатно-терригенные отложения палеозоя, возможно включающие горизонты базальтоидов в верхах разреза по аналогии с разрезами района Эрзинджана, на западном структурном продолжении в восточную Анатолию [1, 6].

Раннеюрские вулканогенные породы, чередующиеся с обломочными отложениями мощностью до 400 м, выявлены в западном крае Цахкуняцкого массива. Эти разрезы коррелируются с спилит-кератофировым разрезом лейаса бассейна р. Келькит в Анатолии [6]. Возможно к средне-поздней юре относятся выходы базальтоидов в бассейне р. Памбак (район с. Лернаван). На севере области средне-позднеюрский вулканогенно-осадочный комплекс типа разреза Алавердского антиклинория предполагается по левобережью р. Дзорагет.

Титон-неокомский комплекс плитчатых известняков слагает ядро Базумского горст-антиклинория. Из-за интенсивной изоклиналиной складчатости комплекса можно лишь весьма ориентировочно судить о его мощности, которая оценивается до 0,5 км. Эти отложения коррелируются с Чимяндагским комплексом района Эрзинджана, где они надежно палеонтологически датированы [6]. Выходы плитчатых известняков маркируют приразломный относительно глубоководный прогиб, протягивающийся через северную Анатолию в Закавказье и далее на юго-восток к Эльбурсу [1].

К титон-неокомскому, но в большей мере к альб-доверхнеконьякскому комплексу следует отнести кремнисто-вулканогенную толщу офиолитовой ассоциации, которая включает в разной мере серпентинизированные протрузии перидотитов. Эти образования интенсивно тектонизированы до стадии меланжа.

В эпицентральной области породы офиолитовой ассоциации слагают две региональные ветви: северную—Базумскую и южную—Ши-

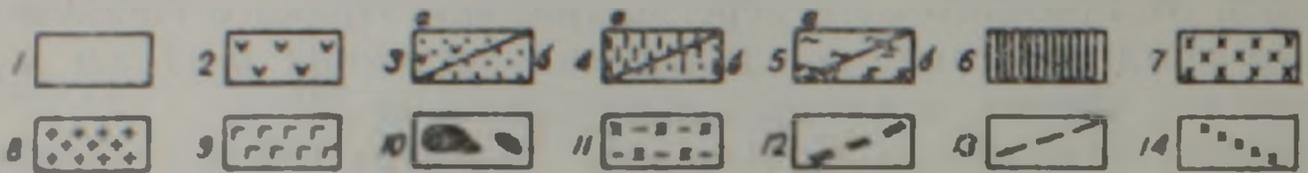
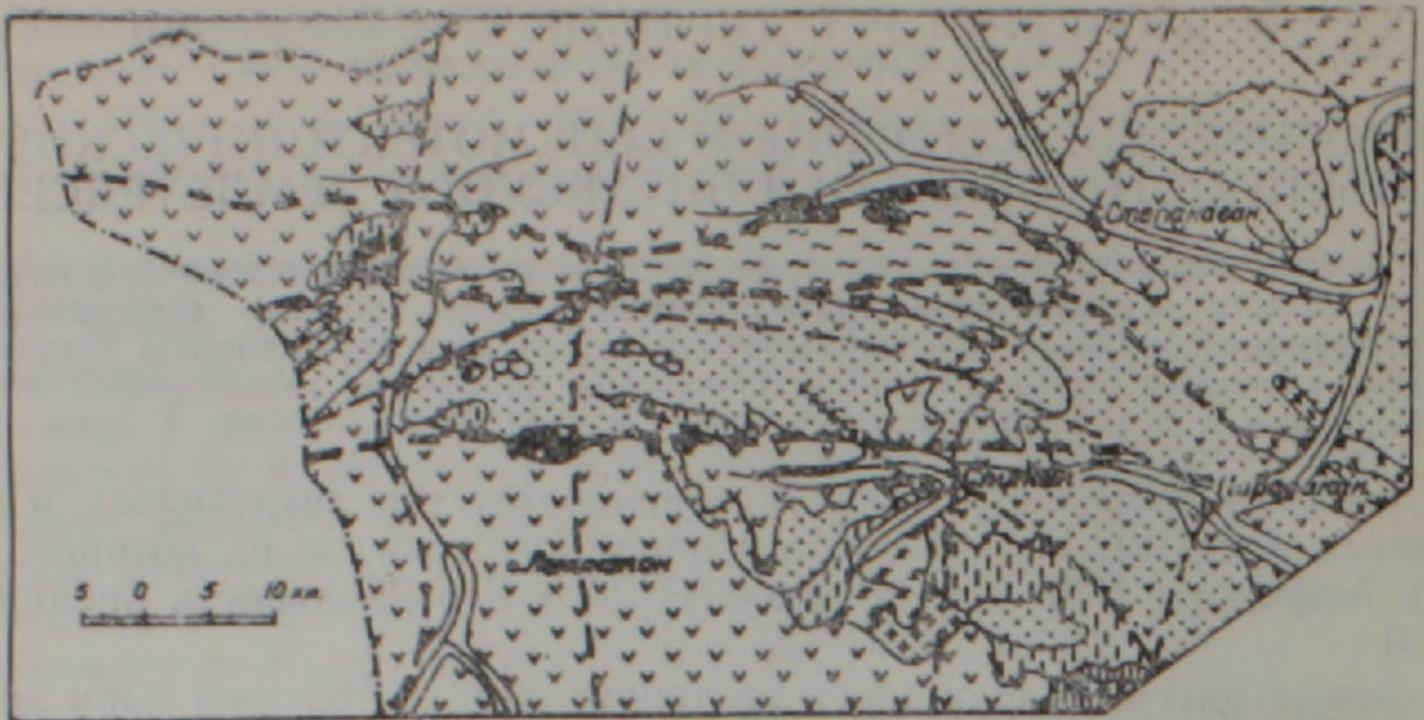


Рис. 1. Схематическая геологическая карта эпицентральной зоны Спитакского землетрясения.

Условные обозначения: 1. Современные аллювиальные отложения; 2. Неоген-четвертичный комплекс:—вулканогенные, вулканогенно-осадочные, озерные и аллювиальные отложения; 3. Палеогеновый комплекс—3а) вулканогенные, осадочно-вулканогенные образования ( $Pq_2^{2-3}$ ), б) вулканогенно-осадочные, флишондные, терригенно-карбонатные отложения ( $Pq_2^{1-2}$ ); 4.—5. Мезозойский комплекс—4а) микритовые известняки ( $K_2^{Sn_1}$ ) и граувакки ( $K_2^{Cn_1-Sl_1}$ ), 4б) кремнисто-вулканогенная толща офиолитовой серии ( $K_1-K_2^{Cn_1}$ ), 5а) толща плитчатых известняков ( $J_3^1-K_1^{nc}$ ), 5б) вулканогенные, вулканогенно-осадочные образования ( $J_{2-3}$ ); 6. Верхнепротерозойский комплекс—метаморфические сланцы; 7—11. Интрузивные образования: 7—гранодиориты, кварцевые диориты ( $Pq_2^{2-3}$ ), 8. Тоналиты ( $K_1$ ) 9. Габбро-порфириды, габбро-диориты ( $Pq_2^2$ ); 10. Протрузии ультрамафитов офиолитовой серии; 11. Гранито-гнейсы, мигматиты; 12—14. Тектонические нарушения: 12. Сквозькорковые глубинные разломы офиолитовых швов; 13. Коровые разрывы и линейменты; 14. Сейсмоактивная дислокация.

ракскую. На западном продолжении они соединяются с Северо-Анатолийской офиолитовой зоной, являющейся наиболее сейсмоактивной тектонической структурой Анатолии, где многократно имели место катастрофические землетрясения, из которых Эрзинджанское—1939 г. имело магнитуду 8 и считается одним из сильнейших в мире. На юго-востоке обе указанные офиолитовые зоны достигают северо-западного обрамления оз. Севан и продолжают далее в бассейн р. Акера. Предполагается также, что Ширакская ветвь имеет самостоятельное продолжение на юго-восток через акватории оз. Севан и воссоединяется с офиолитовой ассоциацией Загезурской шовной зоны и далее с выходами на правобережье р. Аракс в Иране [1]. Однако вопрос этот пока не находит однозначного решения, т. к. ряд исследователей относит Ширакские выходы офиолитовой серии к Амасийско-Севанской зоне [3].

Надофиолитовый комплекс представлен граувакковой формацией (до 300 м) верхнего коньяка-нижнего слятона, формацией микритовых известняков (до 350 м) верхнего сенона и флишондной терригенно-карбонатной маломощной толщей дания-палеоцена—нижнего эоцена.

Палеогеновый комплекс в описываемой области пользуется весьма широким распространением. Он представлен флишондной вулканогенно-осадочной формацией (мощностью до 2 км) среднего эоцена с зна-

чительной ролью в ее составе вулканомиктового и пирокластического материала андезит-риодацитового состава. Роль вулканогенных образований в верхах среднеэоценовой и особенно в составе верхнеэоценовой толщ возрастает, получая более широкое развитие восточнее Арагац-Спитак-Поладаурской близмеридиональной структуры [2] на отрезке гг. Кировакан—Дилижан. Вулканогенный комплекс представлен разнофацциальными образованиями известково-щелочной, субщелочной и щелочной серий с широким развитием экструзивных, дайковых, субвулканических тел базальт-риолитового, трахибазальт-трахиандезит-трахириолитового и щелочного составов и приповерхностными интрузивами от гранодиоритов, кварцевых диоритов, габбро-порфиритов до щелочных и нефелиновых сиенитов [4]. Вулканическая активность в палеогене проявлена неравномерно, локализуясь в пределах отдельных центров, один из которых—Спитакская вулканотектоническая структура будет описана ниже.

Плиоцен-четвертичный вулканогенный комплекс широко представлен в западной части описываемой области, слагая обширные вулканические плато, мощные покровы долеритовых базальтов и андезитобазальтов, выше которых следуют андезитовые и дацитовые лавы. Указанные образования фациально замещаются туфогенно-осадочными и озерно-континентальными толщами мощностью до 300 м и перекрываются валунно-галечными отложениями молодых депрессий и аллювиальными отложениями речных террас [5].

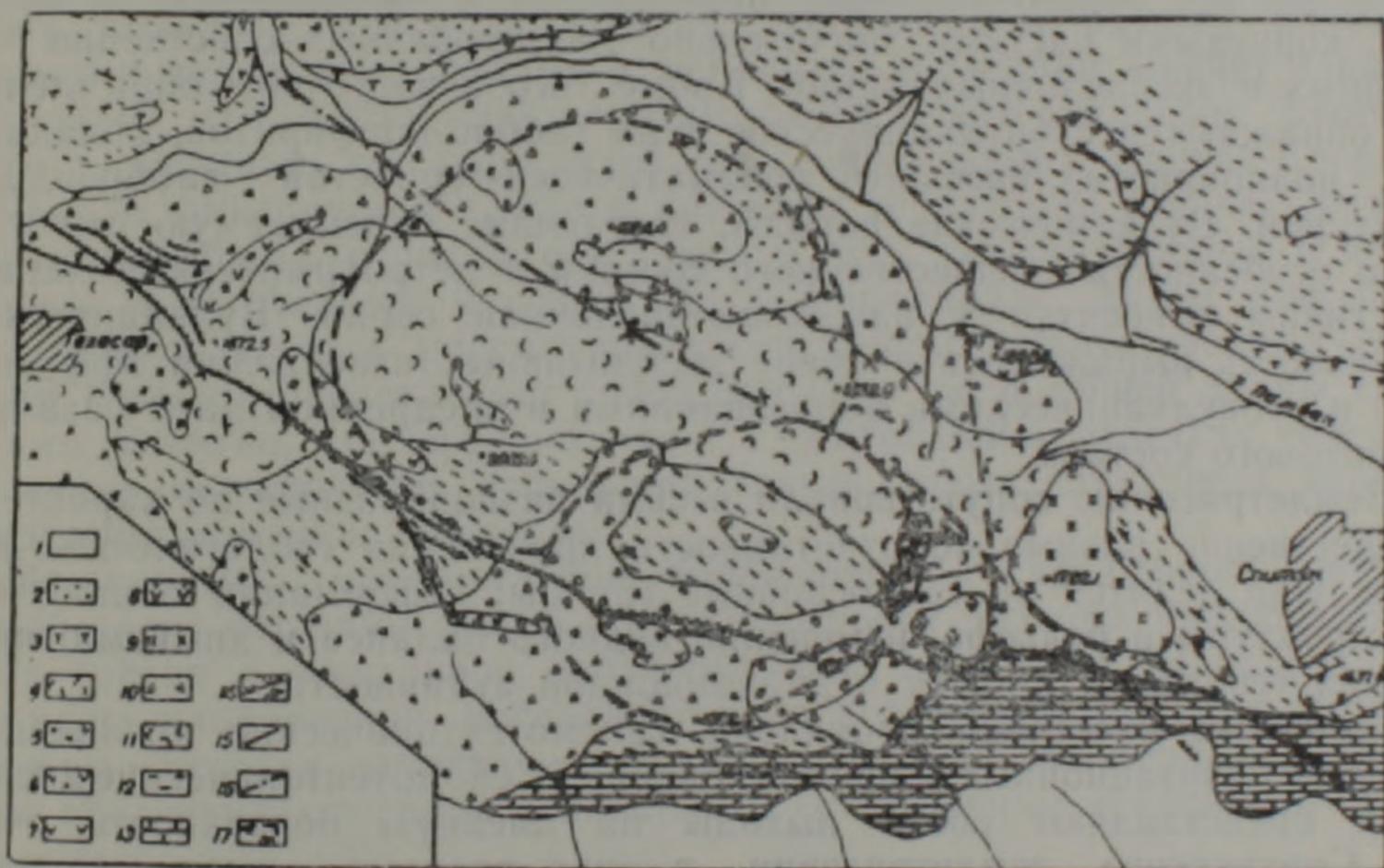


Рис. 2. Схематическая геологическая карта района Спитакской вулканотектонической структуры и сейсмоактивная дислокация Спитакского землетрясения 07.12.1988 г. Условные обозначения: 1. Современные аллювиальные отложения; 2. Верхнечетвертичные пролювиальные, делювиальные отложения; 3. Среднечетвертичные вулканические туфы дацитового состава. Средний эоцен: 4—9 Экструзивы. 4. Риолиты. 5. Дацинты. 6. Плагноклазовые и амфибол-плагноклазовые андезитодациты. 7. Клинопироксен-плагноклазовые андезиты, андезитобазальты. 8. Амфибол-плагноклазовые андезиты. 9. Габбро-диориты. 10. Туфо- и лавобрежичи андезитобазальтов, базальтов. 11. Туфы, туфолавы дацит-риолитов. 12. Песчаники, алевролиты, туффиты. Верхний мел: 13. Известняки, известковистые песчаники, мергелистые известняки. 14. Сейсмоактивная дислокация. 15. Нарушения, оперяющие сейсмодислокацию. 16. Коронные разрывы и линейaments. 17. Кольцевые структуры палеогеновой вулканотектонической структуры по дистанционным методам.

Участок к западу от г. Спитака заслуживает особого внимания, т. к. здесь на поверхности прослеживается сейсмоактивный тектонический разрыв, возникший в результате Спитакского землетрясения (рис. 2). Юго-восточный отрезок разлома проходит по контакту верхнемеловых

карбонатных отложений с палеогеновыми терригенно-осадочными и вулканогенными образованиями. Далее на запад, северо-запад разлом пересекает крупную, диаметром до 3,5 км вулканотектоническую структуру (ВТС) эоценового возраста, которая была выявлена в 1968 г. Джрбашьяном Р. Т. и Саркисяном О. А., а впоследствии детально петрографически закартирована.

Спитакская ВТС значительно эродирована и в современном рельефе представляет сложную кольцевую кальдерообразную структуру. В ее центральных частях и по ЮЮЗ обрамлению обнажается слоистая пачка песчаников, алевролитов и туффитов среднего эоцена с азимутами падения на СВВ  $10-30^\circ$  до  $90^\circ$  под углами  $25-35^\circ$ . Собственно вулканические образования в основании вулканического сооружения представлены туфами и туфолавами дацит-риолитового состава, а по периферии и по склонам сооружения сохранились лавобрекчии, туфобрекчии и лавы базальтов, андезито-базальтов и андезитов с многочисленными угловатыми и слабоокатанными обломками тех же пород, отличающихся пористой, мидалекаменной структурой, а также обломками шлаков и т. д. В северо-восточной части кальдера заполнена четвертичными обломочными отложениями и четвертичными вулканическими туфами дацитозого состава. Значительным развитием в пределах описываемой ВТС пользуются многочисленные экструзивные тела риодацитов, плагиоклазовых андезито-дацитов, амфибол-плагиоклазовых и клинопироксен-плагиоклазовых андезитов и андезито-базальтов, прорывающих все вышеотмеченные образования и являющиеся, по-видимому, корневыми частями значительно эродированных собственно эффузивных и эксплозивных фаций. Кроме того в восточном обрамлении ВТС обнажаются субвулканические тела габбро-порфиритов, обладающих полнокристаллической призматически-зернистой габброидной структурой. Вулканические породы, слагающие описываемую структуру, по особенностям вещественного состава и петрохимическим характеристикам относятся к известково-щелочной серии. Вулканическая деятельность выражалась в смене эксплозивных извержений эффузивными и субвулканическими образованиями и внедрением даек базальт-андезитового состава.

Землетрясению сопутствовали весьма разнообразные по характеру и существенно разные по отчетливости проявления геологические явления. Они делятся на три основные группы: деформации геологической структуры и рельефа, изменения водного баланса и химизма, проявления теплового притока и эманационной активности.

Наиболее отчетливо проявлены сеймотектонические дислокации и сейсмогравитационные новообразования. Сеймотектонические дислокации представляют собой выходы на дневную поверхность очагов Спитакского землетрясения в виде разлома, имеющего общую длину около 35 км, азимут простирания—СЗ  $310-320^\circ$ . Этот сейсмогенный разлом представлен взбросом, сочетающимся на отдельных участках с правосторонним сдвигом. Взброшено СВ крыло, угол наклона плоскости разлома  $60-80^\circ$ , падение на северо-восток (рис. 3). Морфологически разлом представлен системой двух субпараллельных ветвящихся разрывов, кулисно подставляющих друг друга, секущих различные элементы рельефа и выраженных в виде уступов и систем трещин, разрывающих коренные породы—вулканогенный палеоген и известковистый мел.

Разлом начинается от западной окраины г. Спитака, протягивается до сел Гехасар и Ширакамут в направлении реки Чичхан. К западу от г. Спитака, у села Гехасар и восточнее разлом проявлен наиболее отчетливо, к северо-западу от села Гехасар разлом представлен дискретными отрезками. Разлом разрывает полотно шоссеиной дороги Ленинакан-Спитак с продвижением восточного крыла на западное. К юго-востоку от шоссеиной дороги он пересекает железнодорожные пути,

разрывая и надвигая рельсы друг на друга. К западу-северо-западу от с. Гехасар разлом уверенно картируется в виде субпараллельных, кулисно подставленных взбросов с амплитудой 0,5—0,7 м. Азимут простирания варьирует от 280 до 315°. Интерес представляет система дислокаций в водораздельной части и на северо-восточном склоне г. Гехасар, поскольку по ним отмечаются взбрасывание восточного крыла в направлении, обратном скату склона, и валы сжатия, что подтверждает его сейсмотектоническое происхождение.

На юго-восточном склоне г. Гехасар и в русловой части правого притока р. Памбак отмечается максимальное горизонтальное праводвиговое смещение (до 1,5 м), оно отчетливо выявляется по смещению борозд на пашне и бровке проселочной дороги. Далее к юго-востоку описываемая сейсмодислокация протягивается на склон вершины с отметкой 2003,6 м и переходит по сквозной долине на ее восточный склон. В перевальной части этой вершины и на ее восточном склоне отмечаются максимальные амплитуды взбрасывания (до 2,0 м высотой). На юго-западном склоне седла г. Гелакар и юго-восточном отроге вершины 2003,6 м происходит выполаживание взброса в надвиг с углами падения 10—15° и амплитудой надвигания до 3,0 м.

Протягиваясь к юго-востоку, сейсмодислокация рассекает отчетливо проявленную в рельефе и хорошо дешифрируемую на аэрофото в виде правильного валообразного поднятия кольцевую структуру, сложенную эффузивными породами и, видимо, представляющую собой эродированную кальдеру палеовулканического аппарата (рис. 2). Пересекая кальдеру, сейсмодислокация упирается в рвущий контакт кальдеры с меловыми породами и, используя последний, меняет азимут простирания на СЗ 250—260°, протягивается к юго-западным окрестностям г. Спитак, где пересекает шоссейную дорогу Спитак-Ереван.

Разлом фиксируется также в пределах территории города Спитак (районы кладбища, строящегося моста и др.), северо-западнее и юго-восточное села Алавар, к северу от с. Сараландж. Длина наиболее протяженного отрезка рассматриваемого сейсмогенного разлома составляет 8 км, он представляет собой большую часть общей длины дискретного разлома. На юго-восточном и центральном отрезках сейсмодислокации фиксируются небольшие сдвиги, протягивающиеся вкрест простирания основной структуры.

На участке максимальной взбросовой составляющей (перевальной части вершины 2003,6 м) на плоскости разлома наблюдаются гинка трения с отчетливой прямолинейной штриховкой и бсроздами нескольких направлений, последовательно перекрывающих друг друга, и сложные штрихи эллиптической конфигурации. Эти зеркала скольжения представляют собой уникальные естественные «сейсмограммы» зоны очага.

Сравнительно небольшого размера (до 700—800 м длиной) сейсмотектонические и сейсмовибрационные дислокации проявлены также на северном борту долины реки Памбак. Так, к северо-востоку от села Гогаран отмечены взбросовые уступы высотой до 0,5 м, зняющие трещины отрыва шириной 0,5—0,7 м (простирание СВ 75—80°), а также небольшие сейсмогенные оползни. К северу от села Ареваших выделяется полоса сейсмовибрационного вспарывания грунта длиной 600 м, шириной 50—60 м. Неглубокие и малоамплитудные сейсмогравитационные новообразования проявлены на северном склоне г. Гехасар и восточнее от него.

Крупные сейсмогравитационные образования развиты в излучине р. Чичхан на северном и восточном склоне г. Мец-Цмак, у сс. Алавар, Моллакшлак. Это крупные, размером до 600×300 м и более, блоковые и ступенчатые оползни, а также оползни-потоки длиной до 2 км, с захватом коренных пород до глубины 30—45 м, образовавшиеся по старым гравитационным, а возможно и сейсмогенным заколам (дан-

ные аэрофотосъемки до и после толчка). Под одним из них, находящимся южнее села Дзорашен, по свидетельствам очевидцев, заживо был погребен пастух с отарой овец.

На западном фланге разлома, в пойме реки Памбак, у шоссеиной дороги Спитак-Ленинакан произошло фонтанирование обводненного речного песка, прорвавшего вышележащий слой почвы узким каналом. Приуроченность описанного сейсмогенного разлома к тектоническому контакту мел-палеогеновых отложений, выходы тектонических брекчий с близкими элементами залегания и зеркала скольжения со сходными кинематическими характеристиками (взброс с правосторонним сдвигом у села Гесахар и юго-восточнее от него) дают основание считать, что имело место наследование ранее существующей системы разломов широтного и северо-западного простираний, а образование сейсмогенного разлома и землетрясение происходили в условиях субмеридионального горизонтального сжатия земной коры.

Изучению динамики развития и кинематических характеристик Спитакского сейсмогенного разлома, его соотношений с афтершоковой зоной во многом может способствовать создание совместными усилиями ряда организаций (ИГН АН АрмССР, НИИОПС Госстроя СССР, АрмНИИСА, ИФЗ АН СССР, ЕГУ, АрмГНГИС и др.) геодинамического полигона на центральном и юго-восточном отрезках разлома. Результаты геодинамических наблюдений за период январь—апрель 1989 г. свидетельствуют о том, что разлом продолжает оставаться динамически активным, вдоль него продолжается интенсивное сжатие (иногда до 50 мм в неделю), со сравнительно небольшим воздыманием взброшенного крыла.

Сопоставление карты распределения эпицентров афтершоков (рис. 3), с картой геологического строения (рис. 1) и картой разломов, составленной на основании дешифрирования аэрокосмической информации, аэровизуальных и полевых исследований (рис. 2), позволило заключить о совпадении зон ранней (декабрь-февраль) афтершоковой активности с центральным отрезком близширотного разлома, протяги-

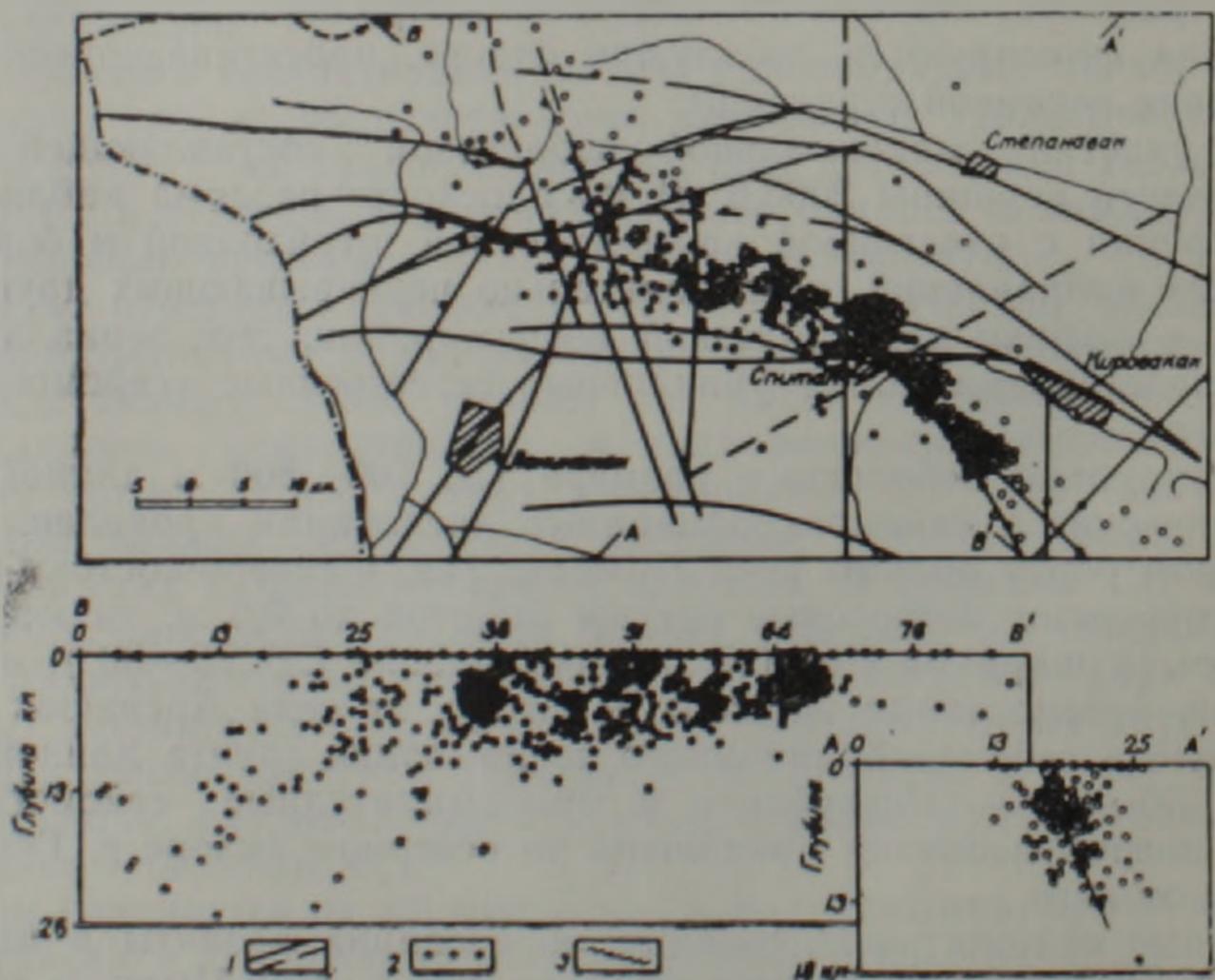


Рис. 3. Схема тектонических разрывных нарушений и расположение эпицентров афтершоков Спитакского землетрясения (по геологическим, дистанционным методам, эпицентры по данным инструментальных замеров американских [8] и французских [7] экспедиций. Нижний рисунок — разрез коры)

Условные обозначения: 1. Разрывные нарушения (пунктиром — менее достоверные); 2. Эпицентры афтершоков; 3. Сейсмодислокация.

вающимся по южному склону Базумского хребта и являющимся, по-видимому, южным крылом Базумо-Севанской зоны глубинных разломов. Разлом имеет четко выраженный поддвиговый характер (падение на север  $50-60^\circ$ ), но на отдельных участках заметны и правосдвиговые перемещения. К западу от пересечения последнего с меридиональным Арагац-Спитакским разломом ранняя афтершоковая активность перемещается на причлененное к ним нарушение север-северо-западного простирания, протягивающееся по простиранию гор. Спитак—с. Алавар и далее на восток. Таким образом, распределяясь по двум различным разломам, ранняя афтершоковая активность проявляется максимально, концентрируется в местах пересечения поперечных нарушений.

Западная часть афтершоковой активности характеризуется значительно большим разбросом эпицентров афтершоков и большими глубинами их гипоцентров. Афтершоки сравнительно более позднего этапа (март-апрель) проявляют еще больший разброс, они охватывают площадь от пос. Гукасян на севере до Ленинакана на юге. Распределение эпицентров афтершоков связано с особенностями геологического строения западной части и, в частности, с наличием здесь отмеченных выше вулкано-тектонических структур, которые вместе с разломными структурами определили пространственное размещение гипоцентров афтершоков.

Изменения водного режима отмечались по всей эпицентральной зоне Спитакского землетрясения. Известно много фактов увеличения дебита родников после землетрясения, нередки случаи уменьшения дебита или же полного их высыхания. По южному склону Базумского хребта, у сс. Сараарт, Гогаран, Ареваших, а также на юго-востоке Гукасянского района у сс. Мусабяян, Дзорашен, Сарапат отмечалось повышение (иногда значительное) температуры воды в родниках, помутнение, загазованность и, что особенно интересно, фонтанирование, которое нередко имело место после повышения температуры воды. Особый интерес представляют сообщения пастухов, находящихся во время землетрясения в горах севернее сс. Сараарт и Ареваших (северный борт долины реки Памбак), расположенных непосредственно в очаговой зоне. По их рассказам, за 30 минут до толчка произошло резкое фонтанирование воды из родников высотой 1—1,5 м, значительное помутнение воды; появление интенсивного «ржавого» цвета, значительное повышение ее температуры и высокая загазованность с резким неприятным запахом (возможно сероводород). Отмечалось повышение давления воды в водопроводе гор. Кировакана. Зафиксированы случаи изменения химического состава термальных минеральных и (или) пресных холодных источников эпицентральной зоны и прилегающих территорий. По-видимому, этим же обусловлено и некоторое помутнение и изменение химического состава вод озера Севан. По всей эпицентральной зоне и прилегающим частям территории республики до землетрясения уровень грунтовых вод поднялся, а непосредственно перед землетрясением упал (г. Ленинакан). После землетрясения уровень грунтовых вод во многих местах поднялся, что привело к активизации оползней (г. Дилижан) и затрудняет восстановительные и строительные работы.

Привнос тепла или повышение термической активности также наблюдались в пределах эпицентральной зоны. Кроме отмеченных выше изменений теплового режима вод установлено повышенное тепловое излучение из зон разлома в инфракрасном диапазоне при дешифрировании аэрофотоснимков, полученных после землетрясения. Об этом свидетельствовало также отсутствие снежного покрова на отдельных отрезках разлома, при наличии значительной толщины снега вокруг. В пределах эпицентральной зоны и непосредственной близости от нее среди толстого слоя снежного покрова наблюдались ледяные структуры высотой 1,5—2 метра, что, возможно, является результатом действия сравнительно слабых, кратковременно действовавших струй вод-

ного пара, который, охлаждаясь, пройдя через толстый слой снега, выпадает в виде льда.

О повышении эманационной активности в эпицентральной зоне свидетельствует изменение газового режима вод, повышение в них гелия, а также наличие в зоне самого сейсмогенного разлома и линейно вытянутых вдоль него по оперяющим трещинам свежесожженной растительности. Местами наблюдалось обугливание верхов корневой системы и низов стебля, при сохранности наиболее горючей верхней части (кроны) этих небольших кустиков. Этот факт возможно обусловлен выделением самовозгорающихся газов или мощным электростатическим разрядом, связанных с формированием сейсмогенного разлома.



Рис. 4. Фото сейсмогенного разлома (взбросо-сдвига) с вертикальным смещением 1,6 м района г. Спитака.

Перед землетрясением и непосредственно после него отмечались многочисленные биопредвестники (лай собак, массовый уход кошек, беспокойство рыб). Заслуживает внимания также аномальная метеорологическая обстановка непосредственно перед землетрясением и после него. За несколько недель до землетрясения здесь установилась необычно теплая погода. В день землетрясения утром по всей эпицентральной зоне стоял густой туман. За 30 минут до землетрясения туман стал быстро рассеиваться, однако непосредственно перед разрушительным толчком туман снова резко сгустился, а после землетрясения — рассеялся.

Геологические, гидрогеологические, термальные, эманационные, геофизические процессы, как видно, проявились вдоль сравнительно небольшого фрагмента Североанатолийского глубинного разлома — южного надвигового крыла Базумо-Заингезурской зоны и ограничиваются зонами близмеридиональных разломов, к востоку и западу от которых афтершоковая активность почти не проявлена. В пределах той же территории, судя по развитию палеосеймотектонических и палеосейсмогравитационных дислокаций, в геологическом прошлом неоднократно происходили сильные землетрясения. Значительные по силе землетрясения ( $M=4-5$ ) аналогичного характера (взброс с правосто-

րոնիմ սдвигом) имели место здесь сравнительно недавно (30.01 67г., 17.01.78 г.).

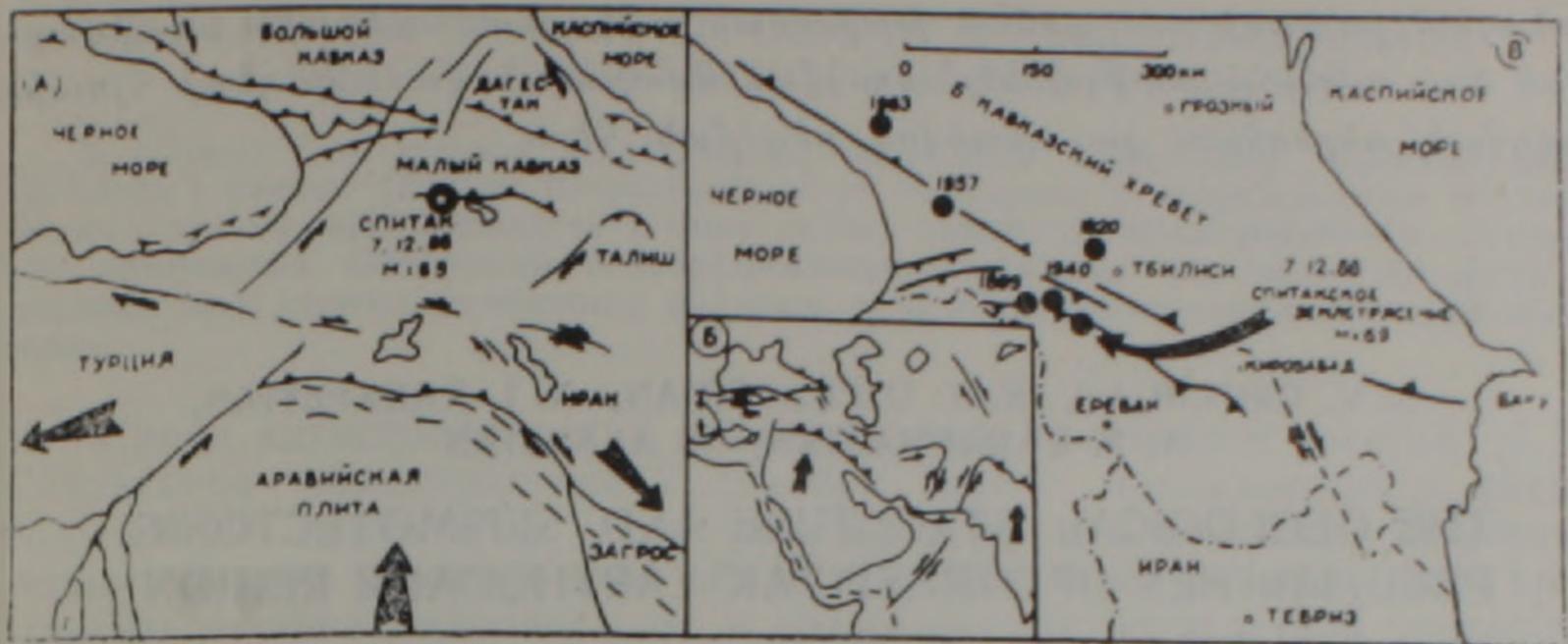


Рис. 5. Динамика крупных структурных единиц региона Спитакского землетрясения 7.12. 1988 г. (А и Б по [7], В по [8])

Вышеотмеченные данные приводят к предположению, что геодинамические условия Спитакского землетрясения 07.12. 88г. обусловлены активизацией глубинных разломов преимущественно близширотного простирания. Отмеченные выше геологические процессы и формы их проявления при землетрясении могут рассматриваться как выражения более сложных и глубинных процессов тектоно-магматической активизации континентальной коры региона в перманентной обстановке коллизии ограничивающих главных литосферных плит (рис. 5).

Институт геологических наук  
АН Армянской ССР

Поступила 7 IV 1989.

Ս. Վ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Ռ. Տ. ՋՐԲԱՇՅԱՆ, Ա. Ի. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ա. Ս. ԿԱՐԱԽԱՆՅԱՆ,  
Մ. Ա. ՍԱԹԻՅԱՆ

ԸՊԻՏԱԿԻ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ԽԱՐՋԻ ԵՐԿՐԱՐԱՆԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԸ ԵՎ  
ՍԵՅՍՄԱՏԵԿՏՈՆՍԿԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

### Ա մ փ ո փ ու մ

Հողվածում դիտվում են երկրաշարժի մարզի երկրաբանական կառուցվածքի և սեյսմատեկտոնիկայի հիմնական գծերը, մարզ, որն իրենից ներկայացնում է երեք կառուցվածքային-ֆորմացիոն զոնաների զուգակցման մի բարդ հանգույց: Նկարագրվում են 1988 թ. դեկտեմբերի 7-ի երկրաշարժի հետ կապված երկրաբանական կառուցվածքի և ուղիների ձևախախտումները, չրային հաշվեկշռի փոփոխությունները, ջերմային և էմանացիոն ակտիվության երևալումները: Իրանք բոլորը հիմնականում տեղի են ունեցել Հյուսիս-Անատոլիան խորքային բեկվածքի Բաղում-Սեանյան գոտու հարավային՝ վրաշարժային թևում և սահմանափակվում են մերձմիջօրիական տարածման խախտման գոտիներով, որոնցից դեպի արևելք և արևմուտք ափսերշողային ակտիվություն համարյա չի արտահայտվում: Այդ նույն տարածքի սահմաններում, ելնելով սլաոնեղ տարածված հնասեյսմատեկտոնական և հնապրավիտացիոն տեղափոխումների առկայությունից, ենթադրվում է երկրաբանական անցյալում ևս ուժեղ երկրաշարժերի տեղի ունենալը: Նույն բնույթի (աչ կողաշարժով վերնետք) զգալի ուժի ( $M=4-5$ ) երկրաշարժեր այստեղ տեղի են

ունեցել համեմատաբար ոչ վաղ անցյալում (30.01.67 և 17.01.78), Այս ամենը թույլ է տալիս եզրակացնելու, որ 7.12.88 Սպիտակի երկրաշարժն առաջացնող երկրադինամիկ պայմաններն իրենցից ներկայացնում են կոլիզիոն դոնայում լայնակի տարածման խտիտման տեկտոնամագմատիկ ակտիվացման նոր արտահայտություններ՝ կապված Լեռաբլան վահանի դեպի հյուսիս ուղղված անընդհատ շարունակվող սեղմման հետ:

S. V. GRIGORIAN, R. T. DJERBASHIAN, A. I. KARAPETIAN,  
A. S. KARAKHANIAN, M. A. SATIAN

## THE GEOLOGICAL STRUCTURE AND SEISMOTECTONIC PECULIARITIES OF THE SPITAK EARTHQUAKE REGION

### A b s t r a c t

The main features of the geological structure and seismotectonics of the earthquake zone are considered, which is a complex joint of three structural-formational zones. The geological structure and relief deformations, water balance changes, thermal and emanation activities manifestations are described, which were the after-effects of the Spitak earthquake, December 7, 1988.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Асланян А. Т., Сатян М. А. Тектонические условия становления сфенолитовых зон. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1987, 159 с.
2. Волчанская И. К., Джрбашян Р. Т., Меликсетян Б. М., Саркисян О. А., Фаворская М. А. Блоковое строение северо-западной Армении и особенности размещения магматических и рудных проявлений. Советская геология 8, 1971, с. 15—27.
3. Габриелян А. А., Саркисян О. А., Симесян Г. П.,—Сейсмотектоника Армянской ССР. Ереван: Изд. ЕГУ, 1981, 282 с.
4. Джрбашян Р. Т.—Палеогеновый вулканизм Сепано-Ширакского синклиория. В кн.: Геология АрмССР, т. IV. Петрография. Вулканические породы. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1970 с., 225—278.
5. Милановский Е. Е.—Геологическое строение Кавказа. М: Изд. МГУ, 1963, 356 с.
6. Bergougnan H.—Structure de la Chaîne pontique dans le Haut-Kalkit (Nord-East l'Anatolie). „Bull. Soc. geol. France”. v. 18. № 3, 1976, p.p. 670—690.
7. A. Clsteras, H. Phillip, J. C. Bousquet, M. Cara, L. Dorbath, C. Dorbath, H. Haessler, E. Jlmner, A. Nercessian, L. Rivera, B. Romanowicz and S. Arefiev, B. Borisov, A. Gershkov, V. Gralzer, A. Geishlani, A. Lander, A. Ragozhin, N. Shebalin—The Spitak (Armenia) Earthquake of December 7, 1988. Field observations, Seismology and Tectonics. Strasbourg. (France), 1989, p. 13.
8. J. Filson, R. Forcherdt, R. Sharp, D. Simpson, C. Langer, E. Sembera, C. Dietl, E. Granswick, C. Mueller, G. Noche, M. Andrews, G. Glassmoyer, G. Maxwell, J. Sena, M. Kennedy, G. Jenson, J. Wan Schaub, A. der Kinreghian, C. Valdes, E. Granswick.—, Results and data from Seismologic studies following earthquakes of December 7, 1987. Near Spittak, Armenian S. R. USA, 1989, p. 189.

А. В. ВАРДАНЯН, П. Л. МУРАДЯН, М. А. САТИАН

## О ТЕКТОНИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ И РАЙОНИРОВАНИИ ОБЛАСТИ СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В области Спитакского землетрясения обсуждены особенности строения зоны глубинного смятия (Базумо-Ширакской) и ее сочленения с сопредельными тектоническими зонами, приуроченность к зоне смятия эпицентра землетрясения и эпицентров афтершоков. Обсуждены геоморфологические признаки блоковой тектоники и значение зоны смятия, поперечных разломов в целях сеймотектонического районирования.

Среди катастрофических землетрясений Армянского нагорья [8, 7] Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г. принадлежит к числу сильнейших (магнитуда 7, интенсивность до 10,5 баллов). Изучение геологического строения этой области представляет важную часть программы изучения предпосылок и геологических последствий землетрясения.

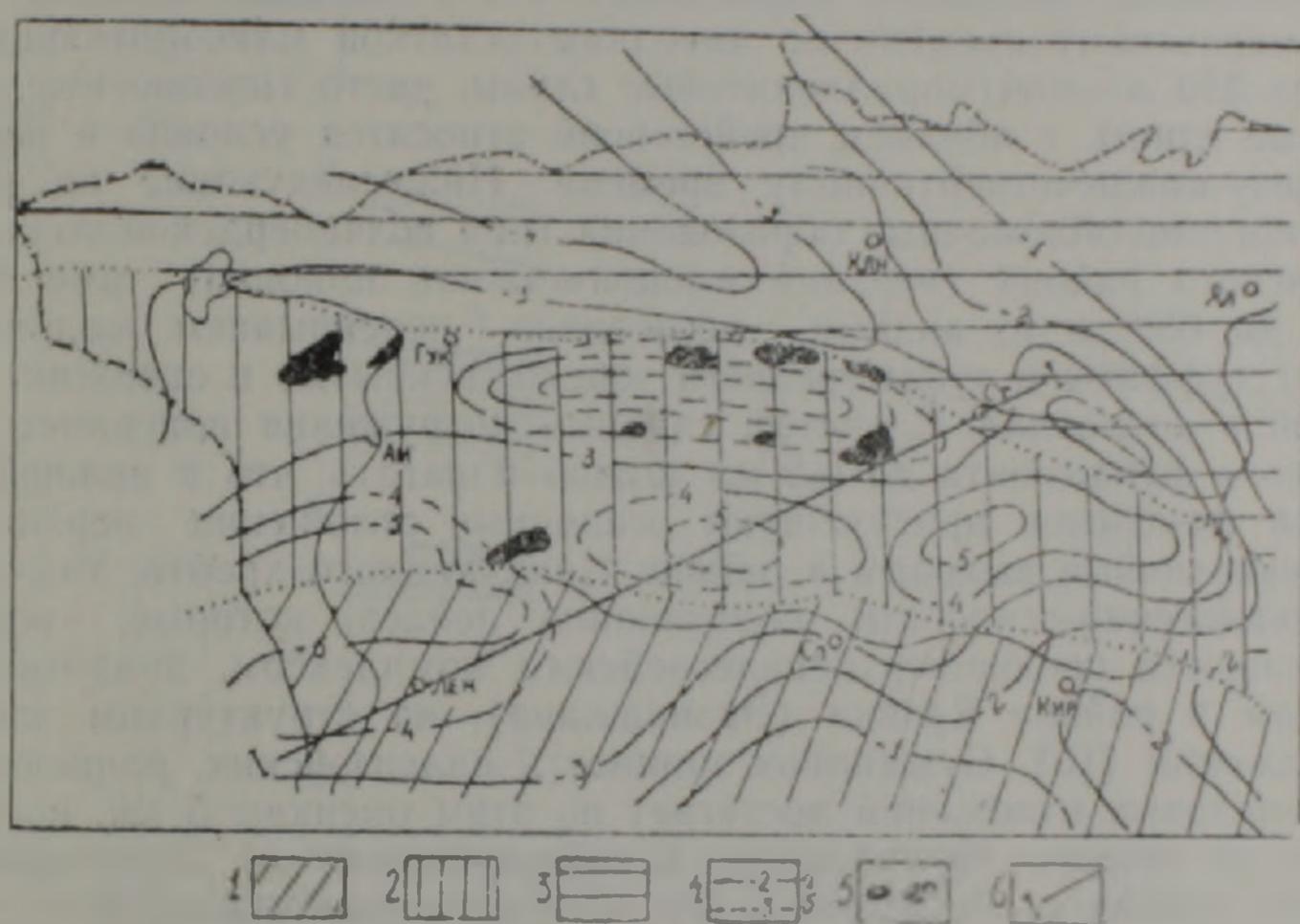


Рис. 1. Схема тектонической зональности и строения области Спитакского землетрясения.

1. Анкаван-Мегринский срединный массив. 2. Ерзика-Севанский офиолитовый синтаксис (Базумо-Ширакская зона смятия). 3. Сомхето-Карабахская зона. 4. Изогипсы поверхности метаморфического фундамента. 5. Выходы гипербазитов. 6. Линия структурного профиля.

В современной гетерогенной структуре области обособляются следующие тектонические сооружения I порядка (рис. 1): 1) Северная периферия Анкаван-Мегринского среднего массива; 2) Зона Ерзика (Эрзинджан)—Севанского офиолитового синтаксиса, состоящая из офиолитовых зон—Амасийско-Севанской на севере и Ширако-Зангезурской—на юге и промежуточных между ними блоков деградировавшей коры континентального типа [3]; 3) Сомхето-Карабахская зона—ее южный край, бронированный на западе плиоцен—четвертичным вулканическим комплексом.

В пределах каждой структуры выделяются тектонические блоки мелкого порядка, которые должны быть учтены при крупномасштабном сеймотектоническом районировании.

Данные геокартирования и специализированных тектонических, литологических и геоморфологических исследований, с вовлечением в

обсуждение результатов геофизического изучения строения коры, обобщены в виде скважинных профилей, проходящих с юго-запада на северо-восток по линии р. Ахурян—г. Ленинанкая—с. Лусахпюр—г. Степанаван—с. Агви (рис. 2).

Геоморфологический профиль (А) дает представление о связи морфоструктур различного порядка с современным рельефом, а также о закономерностях их взаимосвязи в пространстве. Четко вырисовываются котловины, наложенные эрозионные амфитеатры, купола, горстовые и брахисводовые поднятия. На профиле (Б) показан структурный уровень или положение зеркала складчатости, некая условная поверхность по важнейшей стратиграфической границе (в данном случае— подошва верхнего сенона), которая характеризует гипсометрическое положение определенного типа складок [4, 14]. Учитывая положение структурного уровня, на профиле Б выделены пять ступеней. В ступени 1 структурный уровень опущен от нулевой линии на 1,5—2 до 3 км и соответствует Ленинанканскому (Ширакскому) прогибу. Здесь наиболее верхняя, изученная часть разреза складается верхнеплиоцен-четвертичным аллювиально-озерным комплексом мощностью до 400 м. Верхние 50 м—галечники, пески с прослоями и гнездами глин, а также горизонтом спекшихся туфов относятся к миндель-рисскому, отчасти миндельскому времени по находкам остатков млекопитающих [2], нижние 350 м—монтмориллонитовые глины, часто гипсоносные, диатомитовые глины, с обилием дрейссеней относятся условно к верхнему плиоцену-нижнечетвертичному времени. Нижеследующие по разрезу вулканогенно-обломочные образования типа вохчабердской толщи приереванского района (верхний миоцен-нижний плиоцен) имеют мощность до 650 м и, видимо, несогласно перекрывают маломощные (250 м) туффиты и туфы среднего эоцена, вскрытые в скважине, заложеной в котловине. С учетом глубины погружения поверхности байкальского фундамента до 6,5 км можно полагать, что в нижней части разреза фанерозоя присутствуют осадочные отложения верхнего мела—аналогичные выходам в районе Цахкуняцкого хребта, так же как и вулканогенно-осадочные образования лейаса, которые, вероятно, подстилаются средне-верхнепалеозойским комплексом, аналогичные их выходам в районе Ерзнка (Эрзинджана), на структурном западном продолжении [15]. Суммарная мощность палеозойских, раннеюрских и верхнемеловых отложений достигает по этим оценкам 5 км, восполняя разрез до кровли фундамента. К северо-востоку от Ленинанканского прогиба, между с. Лусахпюр и гор. Степанаваном наблюдается резкое воздымание структурного уровня—ступени 2—4. Ступень 2 представляет собой Лусахпюрскую брахиантиклиналь, ступень 3 соответствует Западно-Памбакской синклинали, а ступень 4—Базумскому горст-антиклинорию. Выделенные 2 и 3 ступени сложены палеогеновыми вулканогенными образованиями, местами интрузиями кислых и щелочных пород. Ступени 2, 3 и 4 обладают сложным структурным планом. Современная их структура вырисовывается при анализе приведенной геоморфологической карты (рис. 3), на которой показаны суммарная амплитуда поднятий и опусканий за неотектонический этап. Из анализа речной и овражной сети выявляется, что новейшим движениям обязаны определенные системы трещиноватости. На разных ступенях преобладающее направление морфометрических линейментов различно. Так, например, в западной части ступени 1 преобладают субмеридиональные, а на восточной—диагональное направления. Южнее линии Лусахпюр-Спитак-Кировакан происходит резкая смена направления и густоты морфолинейментов. Наиболее четко это наблюдается по обе стороны меридиана гор. Спитака, где разница фоновых значений абсолютных высот морфоструктур западнее и восточнее вышеуказанного меридиана достигает 200 м. Морфометрические элементы отличаются резкой контрастностью на ступенях 3, 4 и 5. Абсолютные отметки отрицательных форм рельефа—прогибов долины колеблются от 1200 м

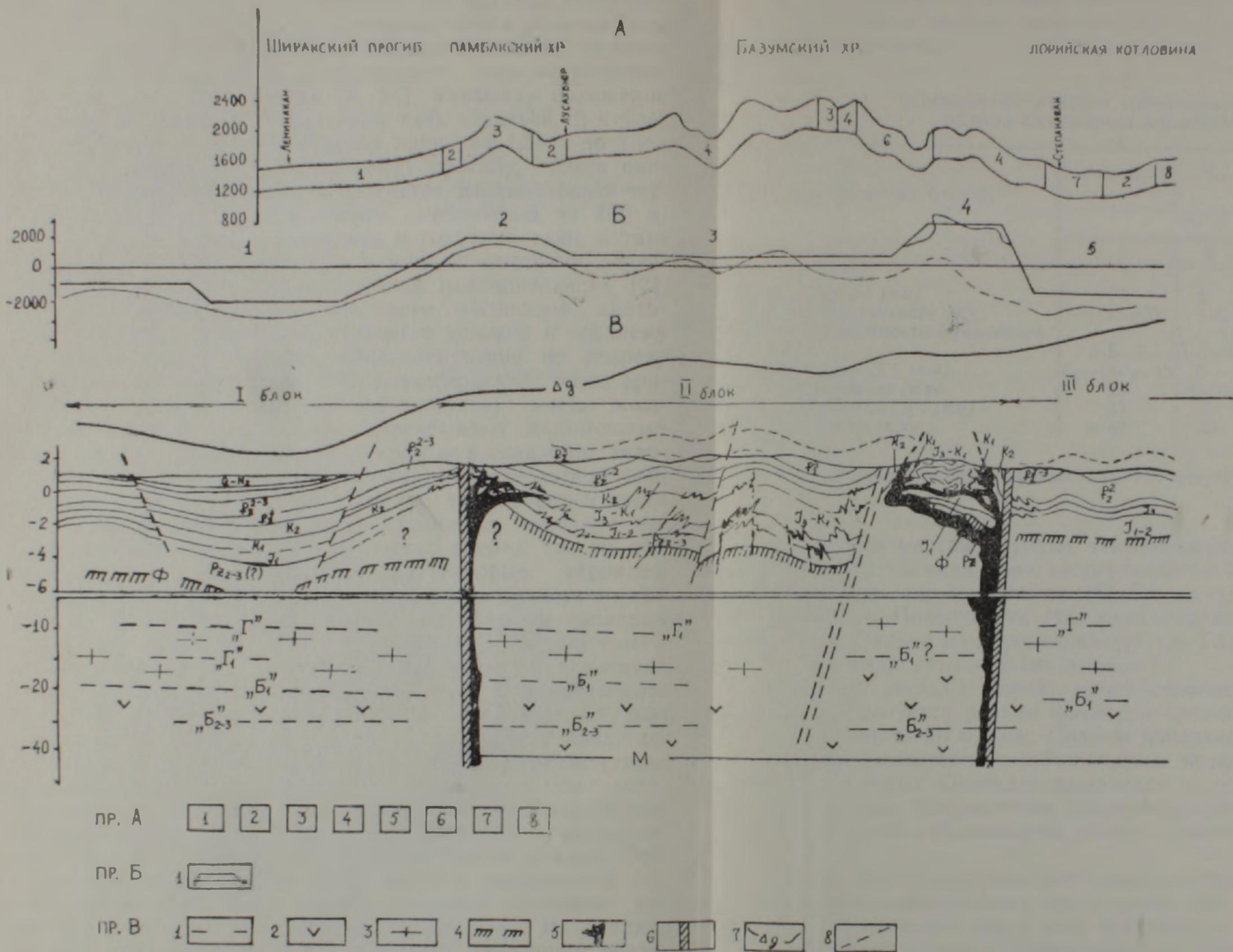


Рис. 2. Профили по линии гор, Ленинakan-Степанаван.

**А. Геоморфологический профиль.**  
 1. Высокоприподнятые озерно-аллювиальные равнины, развитые в грабен-синклинальных котловинах. 2. Умеренноприподнятые грабен-синклинальные котловинные долины. 3. Интенсивно расчлененный пологий склон асимметричных сводов. 4. Горстые средневысотные горы. 5. Наложённые блюдцевидные высокогорья. 6. Наложённые блюдцевидные слабые понижения. 7. Субгоризонтальные плато, развитые в слабоприподнятых прогибах. 8. Горст-куполовидные средневысотные горы.

**Б. Условный профиль по подошве верхнего сенона.**  
 1. Структурный уровень зеркала складчатости.

**В. Геолого-геофизический профиль.**  
 1. Поверхность Мохоровичича. 2. «Базальтовый» слой. 3. «Гранитный» слой. 4. Поверхность фундамента. 5. Офиолиты. 6. Краевые швы зоны глубинного смятия и разломы. 7—8. Кривые (см. текст).

(с. Качачкут, 5 ступень) до 1800 м (р. Чичхан, 2 ступень), положительных форм—от 2200 м на Памбакском, до 2400 м—Базумском хребтах. Спитакская и Кироваканская котловины относительно опускаются [9].

Резюмируя геоморфологические данные, предполагается, что котловины региона за весь неотектонический этап воздымались со скоростью 1,6—1,8 мм/год, а горстовые, горст-сводовые поднятия—в среднем 2,2—2,4 мм/год, а в некоторых случаях до 2,6—2,8 мм/год (осевые части Базумского и Памбакского хребтов) [10].

На основании геолого-геофизических данных рассмотрим глубинное строение региона.

Особенности структуры тектонических блоков области Спитакского землетрясения

Таблица 1

Характеристика блоков	Б л о к и				
	I	II		III	
	С т у п е н и				
	1	2	3	4	5
1. Ширина блока (к.м)	15	5	20	5—6	>10
2. Зеркало складчатости (к.м)	-(1,5÷3)	+1,5	0,5÷1,5	2,5	-(0,75÷3)
3. Глубина поверхности фундамента (к.м) *)	5,5—6	3,5—4	—	—	2,5—3
4. Глубина слоя „Г“ (к.м)	Г <sub>1</sub> —10 Г <sub>2</sub> —15	9	—	—	11
5. Граница Конрада (к.м)	20	18—19	14	14(?)	20
6. Глубина слоя „Б <sub>2-3</sub> “ (к.м)	33	31	31,5	31,5	31
7. Граница Мохо (к.м)	43	43	43	43	43

\*) В глубинном строении офиолитовых зон отсутствуют горизонты «Ф», «К», «Б».

Он разделяется на три крупных тектонических блока—структур I порядка (рис. 2). Земная кора по вертикали и латерали неоднородна и подразделяется на 3 мегаслоя [6, 7]: «осадочный», «гранитный» и «базальтовый». Поверхность Мохоровичича во всех блоках расположена горизонтально на глубине 43—44 км. Глубинное строение земной коры по профилю суммировано в табл. 1.

Западная часть I блока, принадлежащего Анкаван-Мегринской зоне, характеризуется резким флексуробразным погружением поверхности фундамента до 6,5 км. Подъем поверхности его к югу и на восток хорошо согласуется с сейсмическим профилем и выходами позднепериферейских пород. Очевидно выпадение из разреза среднего-верхнего палеозоя в этом направлении. Характерно наличие горизонтов отражения обменных сейсмических волн, с обособлением «Ф», а также «Г», «Б».

Блок II имеет сложное тектоническое строение, представляя место сближения офиолитовых зон и совместно с промежуточными блоками континентальной коры зону глубинного смятия. Вдоль южного края блока простирается Ширако-Зангезурская офиолитовая зона [3, 13]. Она сопровождается гравитационными  $\Delta g$  и магнитными  $\Delta T$  аномалиями (рис. 2). Ее западным структурным продолжением является Северо-Анатолийская офиолитовая зона, которая совместно с Южно-Анатолийской офиолитовой зоной формирует зону синтаксиса вблизи г. Ерзнка [3, 15].

Ширако-Зангезурская офиолитовая зона—это крупный рубеж в тектонической зональности региона, в целом еще недостаточно полно изученный и оцененный с позиций тектонического районирования. Проблема заключается в выявлении самостоятельности данной офиолитовой зоны относительно ранее известной Амасийско-Севанской офиолитовой зоны [3, 13].

Возникновение этих глубинных структур—результат растяжения мезозойской континентальной коры до ее полного разрыва, мантийного диапиризма, сопровождаемого базальтоидным вулканизмом и глубоководной седиментацией (радиоляриты, микритовые известняки), закрытие этих прогибов произошло до сензона в обстановке компрессии. Сформировались в итоге протяженные, в сотни км и узкие, до 10—20 км зоны смятия мантийного вещества и стратифицированных кремнисто-вулканогенных и других толщ. Здесь важно подчеркнуть отличие этих структур от прочих глубинных разломов, по геофизическим данным также достигающих мантии: *офиолитовые зоны глубинного смятия*,— наиболее крупные в иерархии сквозькоровых структур, выполненные мантийным веществом и его метаморфогенными производными, наиболее пластичными компонентами, на поверхности маркируются кремнисто-вулканогенными толщами, прорванными ультрабазитами. Их геокартирование даже в случае малых размеров выходов весьма важно для сеймотектонического районирования.

Выходы мантийных и прочих пород офиолитовой ассоциации в Ширакском фрагменте Ширако-Зангезурской зоны, так же как и в Амасийско-Севанской зоне, достаточно подробно охарактеризованы [1, 13]. Поэтому в целях тектонического районирования лишь обратим внимание на следующие обстоятельства: приуроченность их выходов в Ширакском фрагменте к ядрам мелких брахиантиклиналей, сложенных по крыльям верхнемеловыми конгломератами и известняками, сильную тектоническую нарушенность пород кремнисто-вулканогенной формации до стадии меланжа, малые размеры ультрабазитов. Между тем в Амасийско-Севанской зоне ультрабазиты, в разной мере серпентинизированные, представляют более крупные и протяженные, хотя и прерывистые тела, в пространственной сочлененности с более мощными и глубоководными по парагенезам кремнисто-вулканогенными толщами, деструктурированными лишь фрагментами до тектонического меланжа [3]. Общими для офиолитовых зон признаками являются: широкое развитие, помимо меланжа, сейсмогравитационных и мелких оползней, формирование узких, сжатых и нередко опрокинутых складок надофиолитового чехла, развитие олистостромово-олистолитовых образований. Большинство из них—это признаки длительной, в понимании геологического времени, сеймотектонической активности офиолитовых зон. Также характерно отсутствие интрузий гранитоидов, весьма ограниченное развитие плиоцен-четвертичной вулканогенной формации.

Промежуточный между офиолитовыми блоками Лусахпюрский блок континентальной коры сложен туфогенными отложениями среднего эоцена, включающими силлы и дайки габброндов, перекрывающими, по-видимому, маломощный разрез осадочного верхнего мела, а также предположительно средне-верхнеюрский вулканогенный комплекс и осадочный комплекс среднего-верхнего палеозоя—аналогичные разрезы известны, при более хорошей обнаженности, в районе г. г. Эрзерума и Ерзика [15]. Поверхность фундамента, а также горизонты «Г», «Б» почти на всем пересечении блока зафиксированы ст. «Земля». Они теряются на подступах и в пределах Базумского горст-антиклинория. Предполагается аллохтонное залегание изоклиinally складчатых плитчатых известняков титона-некома, подобно Чимендагскому комплексу района Ерзика [15]. Мощность этого аллохтона превышает 1 км, по данным бурения структурной скважины в среднем течении р. Чкнах, забой которой остался в этих породах. Вулканогенные песчаники-прослой в плитчатых известняках включают обломки основных и средних эффузивов (данные Куртиян Э. Н.), возможно, они служат указанием наличия в основании аллохтона ранне-среднеюрского вулканогенного комплекса. Допускается тектоническое сочленение с ним офиолитового меланжа (рис. 2).

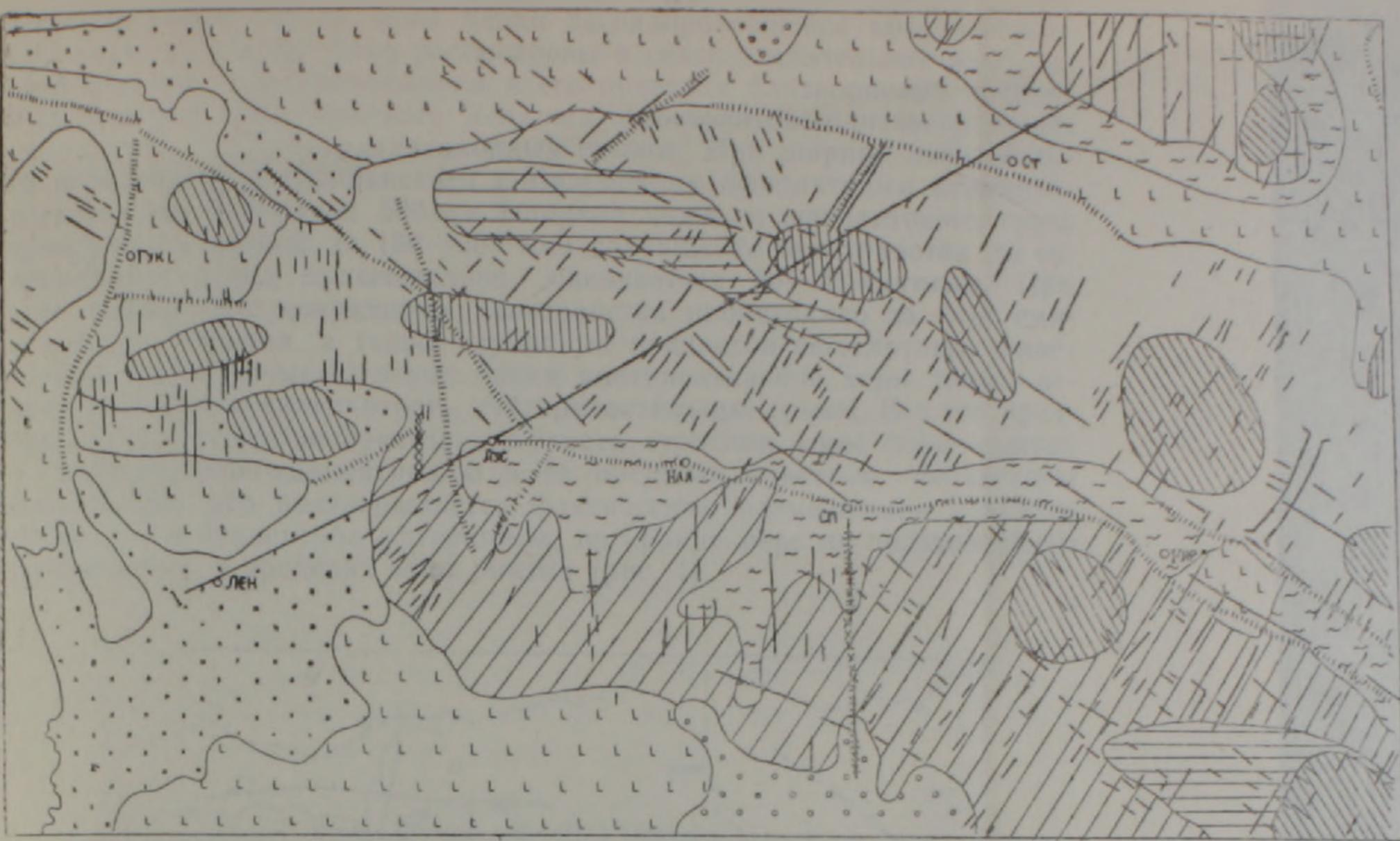


Рис. 3. Схематическая карта морфоструктур северной Армении  
Складчато-глыбовые горы.

1. Горст-своды. 2. Горст-купола. 3. Асимметричные своды.

Вулканические горы.

4. Щитовидные массивы, плато. Межгорные аккумулятивные равнины. Днища межгорных впадин. 5. Озерно-аллювиально-флювиогляциальные равнины, развитые в синклинальных впадинах. 6. Озерно-аллювиальные равнины, развитые в грабен-синклинальных и синклинальных котловинах.

Котловинные долины.

7. Грабен-синклинали.

Наложенные морфоструктуры.

8. Брахисводы. 9. Купола. 10. Мульдово-эрозионные амфитеатры, блюдцевидные мульдодовые понижения. 11. Седловины на поперечных поднятиях. 12. Разломы (границы морфоструктур). 13. Антецедентные долины. 14. Морфографические линеаменты.

15. Линия профиля.

Зона глубинного смятия, включающая офиолитовые швы, а также промежуточные между ними блоки деградировавшей континентальной коры в данной схеме рассмотрены в связи с длительной компресией региона, с формированием в его пределах близкорневых покровных пластин, тектонического меланжа, олистолитово-олистостромовых накоплений и сейсмогравитационных срывов. При ширине мезозойского пересечения от Ширакского к Базумскому офиолитовым ограничительным швам порядка 500 км (ширина каждого офиолитового трога принимается равной до 150—200 км) сокращение пространства до современного этапа включительно оценивается 20—25-кратным. При этом наибольшее сокращение пространства происходило за счет смятия и выпячивания, а также глубинных поддвигов офиолитовых пластичных масс. Промежуточные блоки континентальной коры также испытали сильную складчатость, субгоризонтальные срывы. Все это предопределило существенную нарушенность строения коры зоны смятия и соответственно-концентрацию в ее пределах участков релаксации напряжений, что подтверждается фактическим размещением главного эпицентра и эпицентров афтершоков, по крайней мере их подавляющего большинства, в пределах зоны смятия (рис. 4).

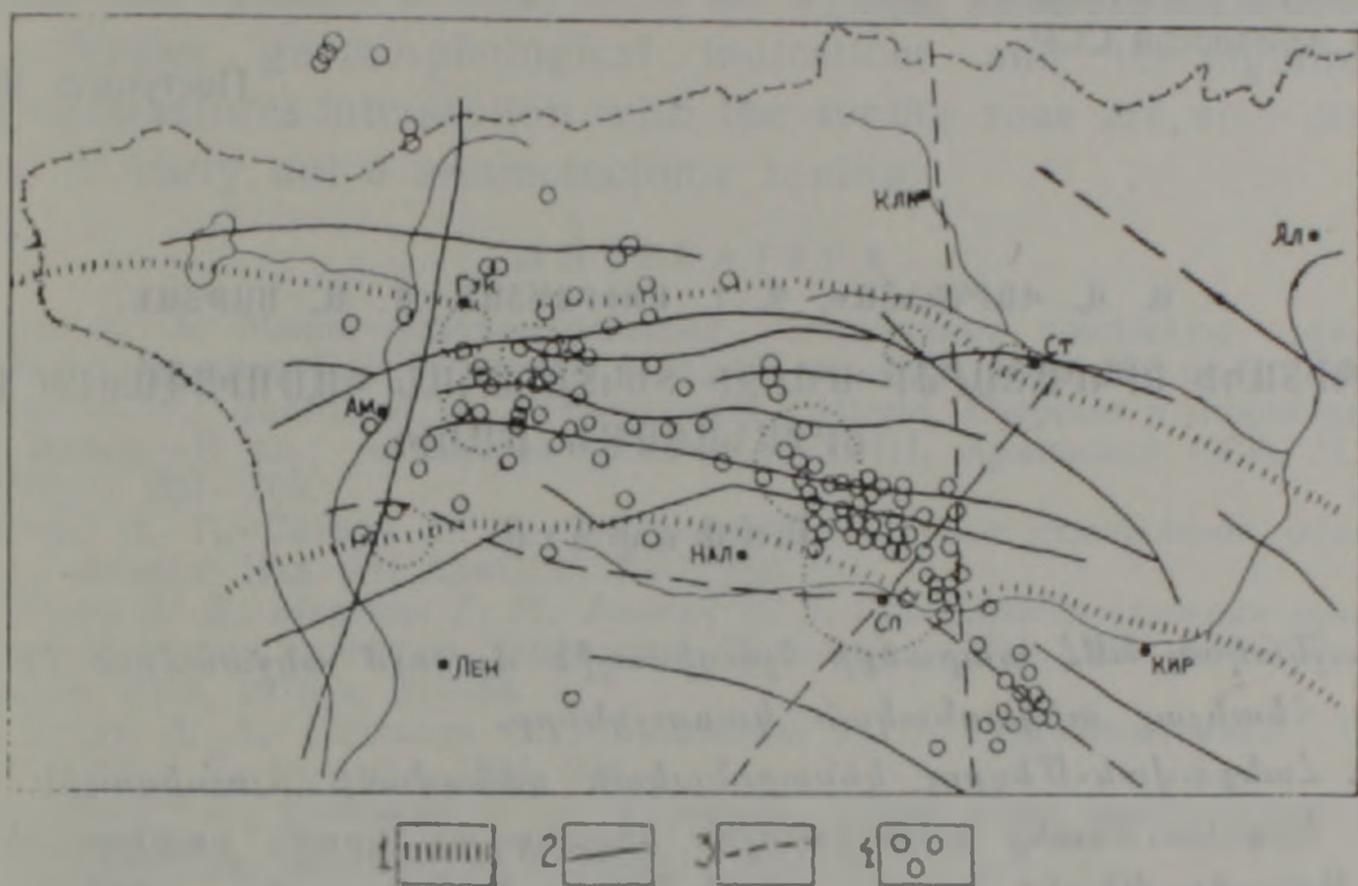


Рис. 4. Схема тектонических разрывных нарушений и распределения эпицентров афтершоков Спитакского землетрясения.

1. Зоны глубинного смятия (офиолитовые швы). 2. Внутрикоровые разломы по геологическим данным. 3. Разломы по геофизическим данным. 4. Эпицентры афтершоков (по данным на январь 1989 г. включительно (16)). Кружки пунктиром — участки сгущения эпицентров афтершоков.

Блок III относится к южной периферии Сомхето-Карабахской тектонической зоны, причем граница с зоной смятия (блоком II) отбивается и геологическим картированием, и сейсмопрофилированием, а также по магнитным аномалиям и градиентам поля тяжести (II). Верхнемеловые отложения, относящиеся ко II блоку и слагающие северное крыло Базумского горст-антиклинария, надвинуты на вулканогенно-осадочную толщу эоцена, принадлежащую блоку III. Следует также отметить сложность рассматриваемого региона рядом относительно менее глубоких разломов преимущественно близширотного и диагонального простирания, ограничивающих мелкие наложенные грабены и горсты (Гогаранский, Арчутский, Овандаринский и др.), а также наличие глубинного разлома северо-восточного простирания по линии Арагац-Спитак-Привольное [5, 12].

## Выводы

Анализ тектонически сложной блоковой структуры области землетрясения приводит к выводу о тяготении эпицентра, а также эпицентров афтершоков Спитакского землетрясения к Базумо-Ширакской зоне глубинного смятия, заложение которой обусловлено было еще на этапе формирования офиолитовых сблизженных в пространстве трогов и затем—при сжатии офиолитовых трогов и промежуточных между ними блоков континентальной коры. Процесс этот, наиболее интенсивно проявившийся на неотектоническом этапе, обусловил возникновение наложенных структур в зоне смятия, вдоль границ которых концентрируются эпицентры афтершоков.

Область Спитакского землетрясения по сложности геологического строения и сейсмической активности, в том числе и потенциальной, коррелируется с зоной Эрзинджанского синтаксиса, северо-восточным продолжением которого она и является. Эти особенности сейсмотектонического характера должны быть приняты во внимание при проведении разноцелевого строительства в пределах рассматриваемого региона.

Институт геологических наук  
АН Армянской ССР

Поступила 10.IV.1989.

Ա. Վ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Գ. Լ. ՄՈՒՐԱԴՅԱՆ, Մ. Ա. ՍԱԽՅԱՆ

ՍՊԻՏԱԿԻ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ՄԱՐԶԻ ՏԵԿՏՈՆԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ԵՎ  
ՇՐՋԱՆԱՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

### Ա մ փ ո փ ու մ

Հայկական ԽՍՀ տարածքի հյուսիսային մասում անջատվում են առաջին կարգի հետևյալ տեկտոնական կառույցները.

1. Հանքավան-Մեղրու կենտրոնական զանգվածի հյուսիսային մաս,
2. Երզնկա-Սևանի օֆիոլիտային մերձեցման գոտի, բաղկացած հյուսիսում՝ Ամասիա-Սևանի և հարավում՝ Շիրակ-Ջանգեղուրի գոտիներից, նրանց միջև տեղադրված անցումային մայրցամաքային երկրակեղևի բեկորներով,
3. Սոմխեթա-Ղարաբաղի գոտու հարավային մաս:

Տեկտոնական, երկրաբանական, քարաբանական և երկրաֆիզիկական տվյալների հիման վրա լեռնինական-Ստեփանավան ուղղութամբ միջանցիկ կտրվածքներ են կազմված, որոնք ընդլայնակի հատում են վերոհիշյալ բոլոր երեք կառույցները:

Կտրվածքները դիտարկելիս եղրահանգում ենք, որ յուրահատուկ և ամենաբարդ կառուցվածք ունի Երզնկա-Սևանի գոտին: Այս կառույցում տարածված են երկրապատյանի և օֆիոլիտային զուգակցության ապարները: Սույն օֆիոլիտային գոտին նպատակահարմար է դիտել որպես բուն օֆիոլիտների և նրանց միջև տեղակայված մայրցամաքային զանգվածների ճղմման, մերձեցման մի տարածք, որը ժամանակակից կառուցվածքում իր արտահայտություն է գտնում տեկտոնական մելանժի, թեփուկային վրաշարժերի, օլիստոստրոմ-օլիստոլիթների և սեյսմագրավիտացիոն փլուզումների տեսքով:

Նշանակալի է, որ ըստ երկրաշարժաբանական տվյալների, Սպիտակի երկրաշարժի և աֆտերշոկերի էպիկենտրոնները տեղադրված են օֆիոլիտային գոտիների մերձեցման և նրանց միջև գտնվող անցումային մայրցամաքային

կեղևի գարդացման շրջանում, ընդ որում, նրանք կենտրոնացած են իզոմենների և վրադրված նեոտեկտոնական կառույցների հանդույցում:

Վերը բերված տվյալները ցույց են տալիս, որ Երզնկա-Սևանի օֆիոլիտային գոտին իր հարակից շրջաններով հանդերձ տեկտոնապես շատ ակտիվ է և որ այն մշտապես ուշադրության կենտրոնում պետք է գտնվի տարբեր ինժեներաերկրաբանական խնդիրների լուծման ժամանակ:

A. V. VARDANIAN, P. I. MOURADIAN, M. A. SATIAN

## ON THE TECTONIC STRUCTURE AND ZONING OF THE SPITAK EARTHQUAKE REGION

### A b s t r a c t

The Amasia-Sevan syntax zone (including the ophiolite zones) and its joint with adjacent tectonic zones structural peculiarities, as well as the connection of the earthquake epicentre and aftershocks epicentres (including the January events) with the syntax zone are considered. The block tectonics geomorphological indications and the significance of transversal fractures intersection with the syntax zone are also discussed, in order to carry out a seismotectonic zoning.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Абовян С. Б. Мафит-ультрамафитовые интрузивные комплексы офиолитовых поясов Армянской ССР. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1981, 306 с.
2. Авакян Л. А., Давтян А. Р. Четвертичная система. Озерные и озерно-речные отложения.—В кн.: «Геология СССР», т. XLIII, Армянская ССР. М.: Недра, 1970, с. 203—209.
3. Асланян А. Т., Сатян М. А. Тектонические условия становления офиолитовых зон. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1987, 159 с.
4. Варданян А. В., Мкртчян Г. Р., Ананян Э. В. Особенности строения земной коры по сквозному профилю Леникан—Ноемберян.—Изв. АН АрмССР. Науки о Земле, № 4, 1976, с. 31—38.
5. Габриелян Л. А., Саркисян О. А., Симонян Г. П. Сейсмотектоника Армянской ССР. Изд. Ер. госунта, 1981, 283 с.
6. Егоркина Г. В., Соколова И. А. Строение земной коры северо-западной части Армении. Сов. геология, № 6, 1973, с. 80—91.
7. Егоркина Г. В., Соколова И. А., Егорова Л. М. Изучение глубинных разломов по материалам станции «Земля» на территории Армении. Разведочная геофизика, вып. 72, М.: Недра, 1976, с. 29—40.
8. Карапетян Н. К. Сейсмичность Эрзинджан-Бингельского региона.—Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 4, 1985, с. 38—47.
9. Матцова В. А., Сидоров В. А. Некоторые вопросы составления карт современных вертикальных движений земной коры.—В кн.: Современные движения земной коры, № 5, Тарту, 1973, с. 58—65.
10. Милановский Е. Е., Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1968, 281 с.
11. Никольский Ю. И., Милай Т. Ф., Коган Л. З. Геолого-геофизические исследования тектоники, магматизма и металлогении Кавказа. Л.: Недра, 1975, 216 с.
12. Саркисян О. А. Блоковое строение территории Армянской ССР и смежных областей. Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, № 4, 1973, с.
13. Сатян М. А. Позднемеловой литогенез офиолитовых зон Армянской ССР. Ереван Изд. АН АрмССР, 1979, 168 с.
14. Шолпо В. Н. Типы и условия формирования складчатости Сланцевого Дагестана. М.: Наука, 1964, 167 с.
15. Bergougnan H.—Structure de la Chaîne pontique dans le Haut-Kalkit (Nord-Est L'Anatolie). Bull. Soc. geol. France\*, 1976, v. 18, № 3, pp. 670—690.
16. Filson J., Borchardt R., Sharp R., Simpson D., Langer G., Sambera G., Dietel C., Cranswick E., Mueller C., Noce T., Cranswick E. e. a. — Results and data from Seismologic and Geologic studies following earthquakes of December 7, 1988, near Spitak, Armenia SSR, USA, GSA, report, 1989, pp. 188.
17. Ilhan E.—Earthquakes in Turkey. In: Geology and history of Turkey, edited by A. S. Campbell. Tripoli, Libya, 1971, pp. 431—442.

А. С. КАРАХАНИЯН

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАЗЕМНОГО И АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ И СЕЙСМОГЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 1988 ГОДА

Рассмотрены результаты наземного и аэрокосмического изучения сейсмогеологических последствий и сеймотектонических условий реализации Спитакского землетрясения 1988 г. Приводится морфоструктурное описание и кинематическая характеристика Спитакской сеймодислокации, а также активных разломов региона, в том числе активизировавшихся и при землетрясении 1988 гг.

Полевые обследования, начавшиеся 7 декабря 1988 г. и дешифрирование материалов аэросъемки, произведенной с 10 декабря, а также их сопоставления с данными съемки, полученными до землетрясения, показали наличие многочисленных сейсмогенных новообразований, развитых в эпицентральной зоне Спитакского землетрясения.

На участке от развалин с. Гетик (Гукасянский р-н, к Ю—В от с. Сарapat) до с. Алавар (Гугаркский р-н) зафиксирована сеймотектоническая дислокация общей длиной до 35 км, выраженная в рельефе уступом высотой от 0,2 до 2 м и серией малоамплитудных трещин (рис. 1)\*.

Азимут простирания дислокации С-З—300—320°, морфологически она представлена ветвящимися субпараллельными разрывами, часто имеющими четкообразное строение и кулисно подставляющими друг друга (рис. 1а, б, в). Падение плоскости разрыва на С-В с углом, варьирующим от 60—80° до 10—15°, с взбрасыванием и надвиганием С-В крыла.

Кинематическая характеристика главного разрыва уверенно определяется как взбросо-сдвиг с взбрасыванием северо-восточного активного крыла и его правосторонним смещением. Максимальная амплитуда вертикальной составляющей—2 м, а горизонтальной—до 1,5 м, сближение крыльев до 2,0 м. Определение кинематических характеристик разрыва основывается на его морфологии, величинах смещения форм микрорельефа, изучении поверхности зеркал скольжения, а также нижеследующих фактах.

При пересечении разломом железной дороги Ширакамут-Спитак отмечается разрыв стыка рельс с надвиганием восточной части полотна амплитудой 30 см (рис. 1). В 700 метрах к востоку от надвигания полотна, за железнодорожным мостом, зафиксирован разрыв стыка рельс с растяжением на 22 см, а восточнее последнего еще на 800 м разрыв самих рельс с раздвижением на 15 см. На всем протяжении разорванного участка пути произошло смещение рельс к западу амплитудой 20—25 см. Шпалы прочно сидят в насыпи, однако, рельсы сорваны с костылей и след их скольжения хорошо заметен в густой смазке нижней части рельс. В то же время после смещения на запад произошла обратная подвижка рельс на восток амплитудой до 7 см, что также фиксировано на рельсах. На железнодорожном мосту отмечено продольное сжатие железных поручней, а также общее горизонтальное изгибание путей. Указанное обстоятельство однозначно свидетельствует об активности северо-восточного крыла разлома, то есть о его взбросовом характере, а также господствующем субгоризонтальном меридиональном сжатии.

Об этом же свидетельствуют и результаты повторных нивелировок первого класса, проведенных по трассе шоссеной дороги Алагяз-Спитак, любезно предоставленные нам из АрмГИИГИСа Р. Э. Ара-

\*) Ю—В продолжение сеймотектонической дислокации от гор. Спитака до с. Алавар прослежено при совместных исследованиях с сотрудниками ГИН АН СССР В. Г. Трифоновым, А. И. Кожуриным и профессором Лиссабонского университета А. Рибейро.

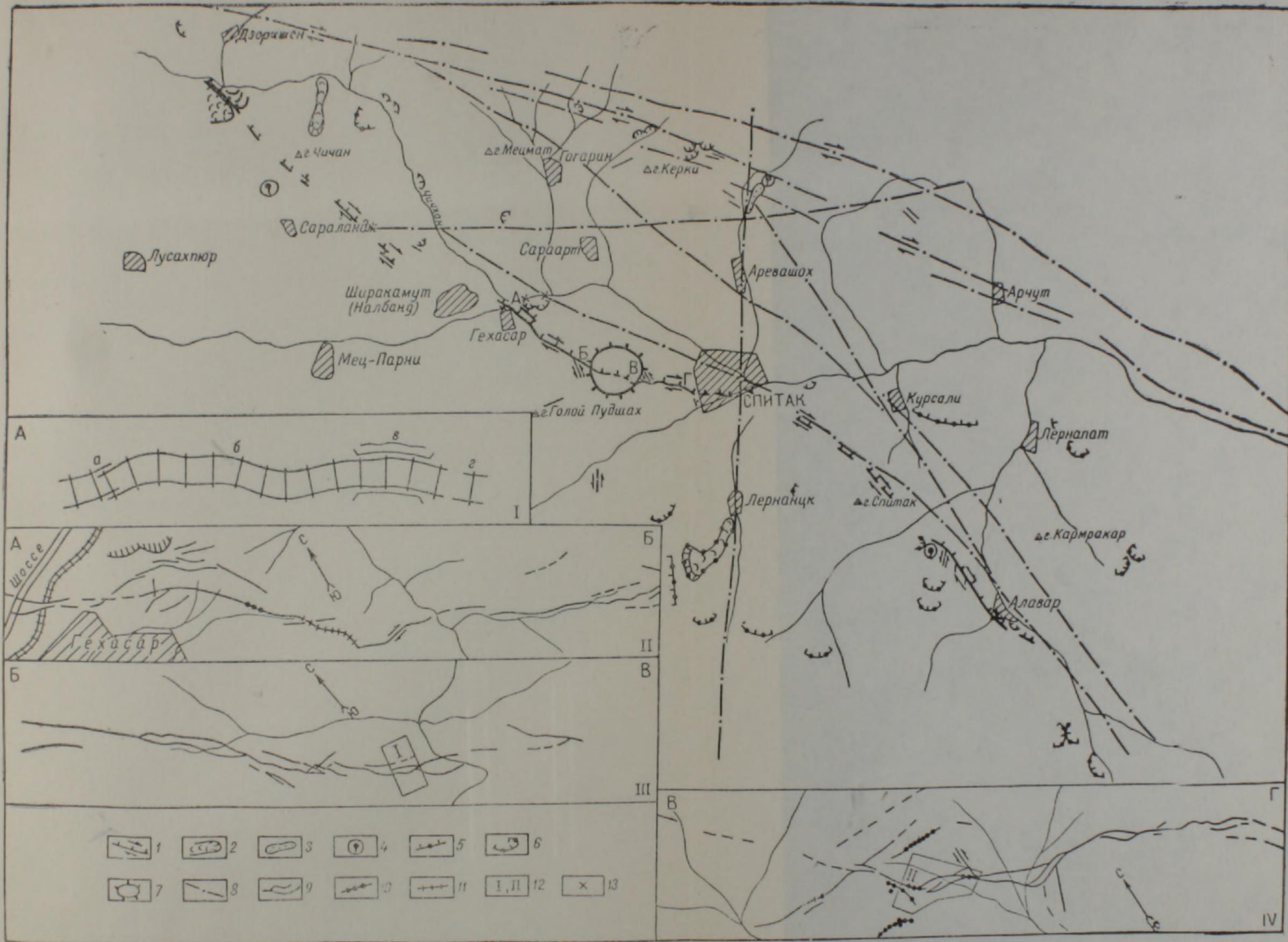


Рис. 1. Карта сейсмогенных дислокаций и разломов, очаговой зоны Спитакского землетрясения 1988 года.

Условные обозначения к карте: 1. Сейсмотектоническая дислокация (взбросо-сдвиг), возникшая 7/XII—88 г.; 2. Сейсмогравитационные дислокации 7/XII—88 г.; 3. Сейсмогравитационные дислокации 7/XII—88 г.; 4. Фонтанирующие родники; 5. Предполагаемые палеосейсмотектонические дислокации; 6. Предполагаемые палеосейсмогравитационные дислокации; 7. Кольцевая вулканотектоническая структура; 8. Крупнейшие разломы; 9. Сейсмотектоническая дислокация; 10. Участки сгоревшей растительности; 11. Участок протаивания снега; 12. Геодинамические полигоны; 13. Участки разрыва рельса.

Условные обозначения к врезкам: I—смещение железнодорожных путей (а—над выгнутые рельсы; б—искривление путей; в—искривление поручней; г—разрыв стыка рельсов); II, III, IV—А—Б, Б—В, В—Г—план сейсмотектонической дислокации; 9—сейсмотектоническая дислокация; 10—участки сгоревшей растительности; 11—участок протаивания снега; 12—геодинамические полигоны.

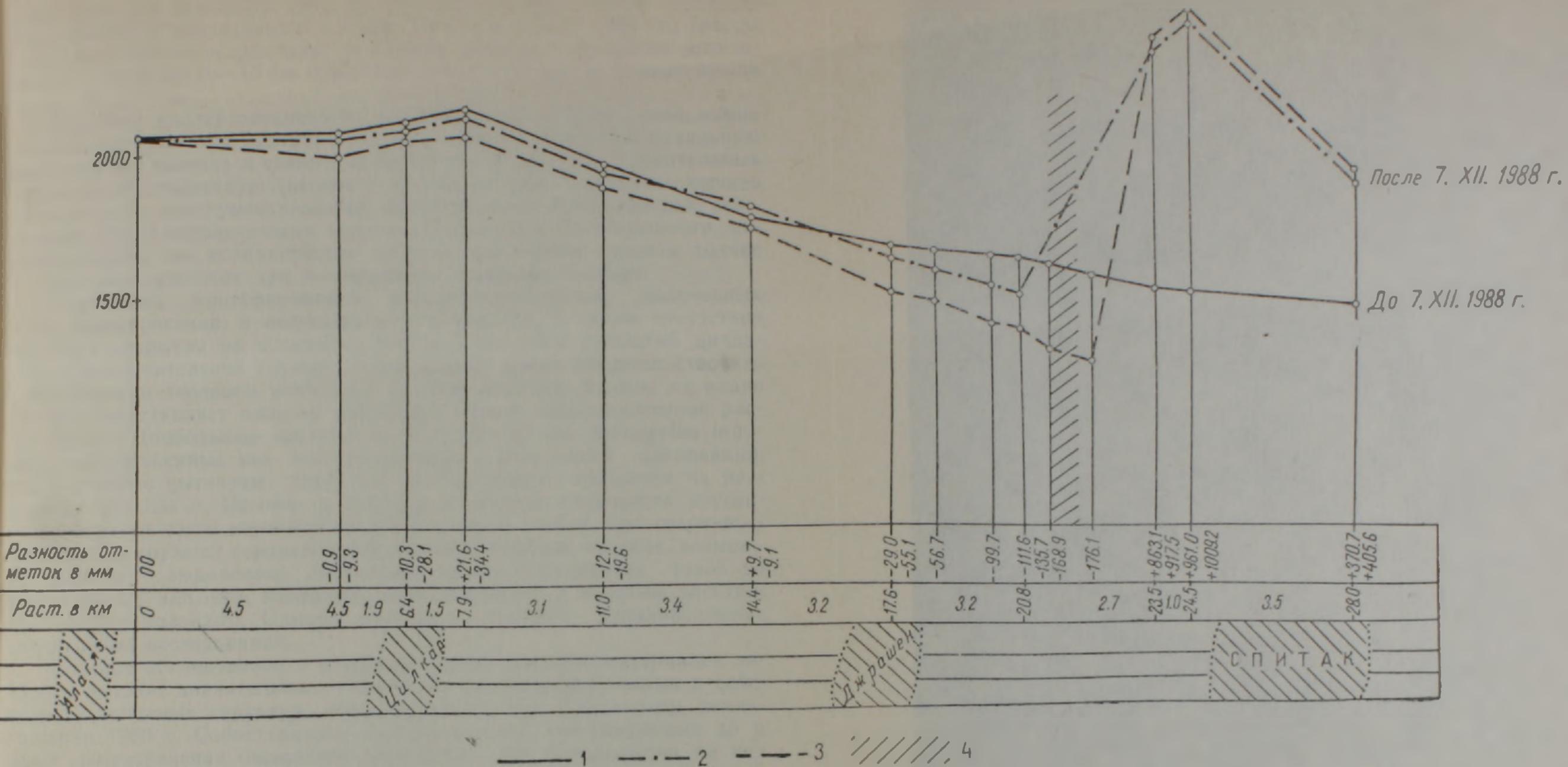


Рис. 2. График повторного нивелирования по линии Алагяз-Спитак.  
 1—линия нивелирования 1986 г.; 2—линия нивелирования на конец декабря 1988 г.—  
 начало января 1989 г.; 3—то же за февраль 1989 г.; 4—сейсмотектоническая дисло-  
 кация.

зьяном и Н. Д. Воробцом (рис. 2). На участке пересечения профиля нивелирования проведенного в конце 1988 и в начале 1989 гг., трассы новообразовавшегося разлома, отчетливо заметно опускание юго-западного крыла на 10—15 см, при взбрасывании северо-восточного крыла более чем на 1 м.

Изучение последовательности возникновения борозд скольжения на плоскости разлома указывает на взбросовые смещения в начальную фазу (первый толчок) и сдвиговые перемещения двух последовательных направлений в конечную (второй и третий толчок). Указанное хорошо согласуется с инструментальными определениями американских сейсмологов [4] и независимыми макросейсмическими наблюдениями, интерпретируясь как возникновение взброса при первом главном толчке и сдвиговых подвижек при последующих основных толчках.

Результаты дешифрирования аэрофотоматериалов, полученных после землетрясения, в инфракрасном диапазоне, а также отсутствие снежного покрытия на отдельных отрезках разлома (видимый диапазон) при значительной глубине снега вокруг, могут свидетельствовать о повышенном тепловом излучении из зоны разлома. В этом же плане интерес представляет наличие отдельных очагов свежесожженной растительности (небольшие кусты высотой 20—40 см, *Astragalus lagugus*), расположенных как непосредственно в зоне самой дислокации, так и линейно вытянутых вдоль нее по опсряющим трещинам на расстоянии 50—100 м. Причем, в отдельных случаях отмечается обугливание верхней части корневой системы и низов стебля, при сохранности наиболее горючей верхней части кустов. Подобное явление, возможно, связано с выделением каких-либо самовозгорающихся газов во время толчка или, что, возможно, более вероятно, с мощным электростатическим разрядом. Однако, эти факты требуют дополнительных специальных исследований.

Полевое обследование и дешифрирование аэрофотоматериалов показало наличие значительного количества сейсмовибрационных и сейсмогравитационных структур, образовавшихся при Спитакском землетрясении 1988 г. Сопоставление аэрофотосъемок, произведенных до и после землетрясения, позволяет определить, что большинство из них развилось по местам развития старых заколов и склоновых смещений или участкам значительного обводения грунта.

Дешифрирование аэрокосмической информации, полученной до и после землетрясения, и полевые обследования как всей эпицентральной зоны, так и района Спитакской сейсмодислокации показали наличие крупных палеосеймотектонических и палеосейсмогравитационных дислокаций (рис. 1,3). Так, возникшая при Спитакском землетрясении сеймотектоническая дислокация несомненно наследует более ранний разрыв, а по некоторым участкам идет параллельно или пересекает уступ подобной же, но более ранней сеймотектонической дислокации.

Указанное свидетельствует, что данный регион и в прошлом неоднократно подвергался сейсмическим катастрофам, подобным землетрясению 7/XII—88 года или еще более сильным.

Дешифрирование аэрокосмической информации позволило выявить и уточнить местоположение крупных разломов и линеаментов (рис. 3).

Среди структур общекавказского направления наибольшего внимания заслуживает зона Базумо-Севанской системы глубинных разломов, крупный разрыв, протягивающийся вдоль долины р. Памбак в широтном направлении, а также разлом, дешифрируемый по северному подножию вулканического массива г. Арагац.

Из меридиональных структур следует отметить Арагац-Спитакский разлом, систему северо-западных и северо-восточных разломов, образующих крупный дизъюнктивный узел в районе г. Аглаган-2 (Базумский хребет, западнее г. Урасар—6 км). Заслуживает внимания активный разлом ВСВ простирания, протягивающийся от с. Джрадзор в сторону

Степанавана, по которому фиксируются стчетливые левосдвиговые смещения.

Основной задачей дешифрирования являлось выделение тектонически и сейсмически активных разломов, а также разрывных структур, активизировавшихся при Спитакском землетрясении 1988 г. Указанная задача решалась на основе подбора комплекса признаков, включающих: дешифровочные критерии активных структур [2], приуроченность к зоне разломов динамически активных геологических объектов (оползни, палео- и современные сейсмодетформации, участки эманационной активности, факторы резкого изменения водного режима и т. д.), а также по сопоставлению с сейсмологической информацией и макросейсмическими данными.

Полученные результаты свидетельствуют, что эпицентр Спитакского землетрясения, определенный инструментально в 5—6 км к северу от г. Спитака, приурочен к узлу пересечения южного крыла Базумо-Севанской системы глубинных разломов с меридиональным Арагац-Спитакским нарушением и стыку последних с разломом северо-западного простирания, протягивающимся от с. Алавар в направлении на г. Спитак (рис. 3).

Комплекс дешифровочных признаков свидетельствует, что тектонически наиболее активным является южное крыло Базумо-Севанской зоны глубинных разломов, а именно Гогаранский разлом, протягивающийся в С-З направлении несколько севернее г. Кировакана, сс. Арчут, Аревашох, Гогаран, Дзорашен, Сарапат и далее на запад. По данным дешифрирования и полевых обследований, разлом имеет взбросовый характер в сочетании с интенсивными правосторонними сдвиговыми смещениями. К нему приурочены палеосейсмодислокации, большинство сейсмовибрационных и сейсмогравитационных образований, возникших при Спитакском землетрясении, а также родники, по которым отмечалось повышение температуры воды, ее помутнение, загазованность (сероводород) и фонтанирование.

Активные дешифровочные признаки и приуроченность современных сейсмодетформаций отмечаются и по Алаварскому разлому.

Сопоставление полученной разломной структуры с зонами афтершоковой активности, полученной американскими и советско-французскими экспедициями [4, 3], свидетельствует о полном пространственном совпадении афтершоковой активности с Гогаранским и Алаварским разломами (рис. 3). Афтершоковая активность приурочена к центральному отрезку Гогаранского разлома до узла пересечения последнего с Арагац-Спитакским нарушением, а далее она перераспределяется на Алаварский разлом. Последнее обстоятельство хорошо объясняет и глубинность распределения зоны афтершоков—более глубинная часть ее приурочена к Гогаранскому разлому, а менее глубокая—к Алаварскому нарушению.

Необходимо отметить, что к Гогаранскому разлому приурочены и эпицентры Спитакских землетрясений 1967 г. ( $M=5$ ), 1975 г. ( $M=3,8$ ) и Кироваканского—1978 г. ( $M=4$ ), а решение механизма Спитакского землетрясения 1988 г. ( $M=7$ ) (взброс с правым сдвигом [3, 4]) и землетрясений 1967 г. (взброс—правый сдвиг) и 1978 г. (правый сдвиг—взброс) [1], отлично сочетается с такими же результатами, полученными по определению кинематической характеристики разлома на поверхности. По-видимому, землетрясения 1967, 1975 и 1978 гг. являлись дальними событиями, предворающими Спитакское землетрясение 1988 года.

Таким образом, данные дешифрирования аэрокосмической информации, наряду с сейсмологическими и сейсмогеологическими результатами, свидетельствуют о глубинной активации южного крыла Базумо-Севанской системы глубинных разломов, происходящей в условиях господствующего близгоризонтального меридионального сжатия, вызванного, по-видимому, активизацией давления Аравийской плиты в се-

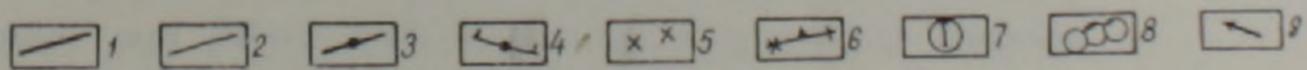
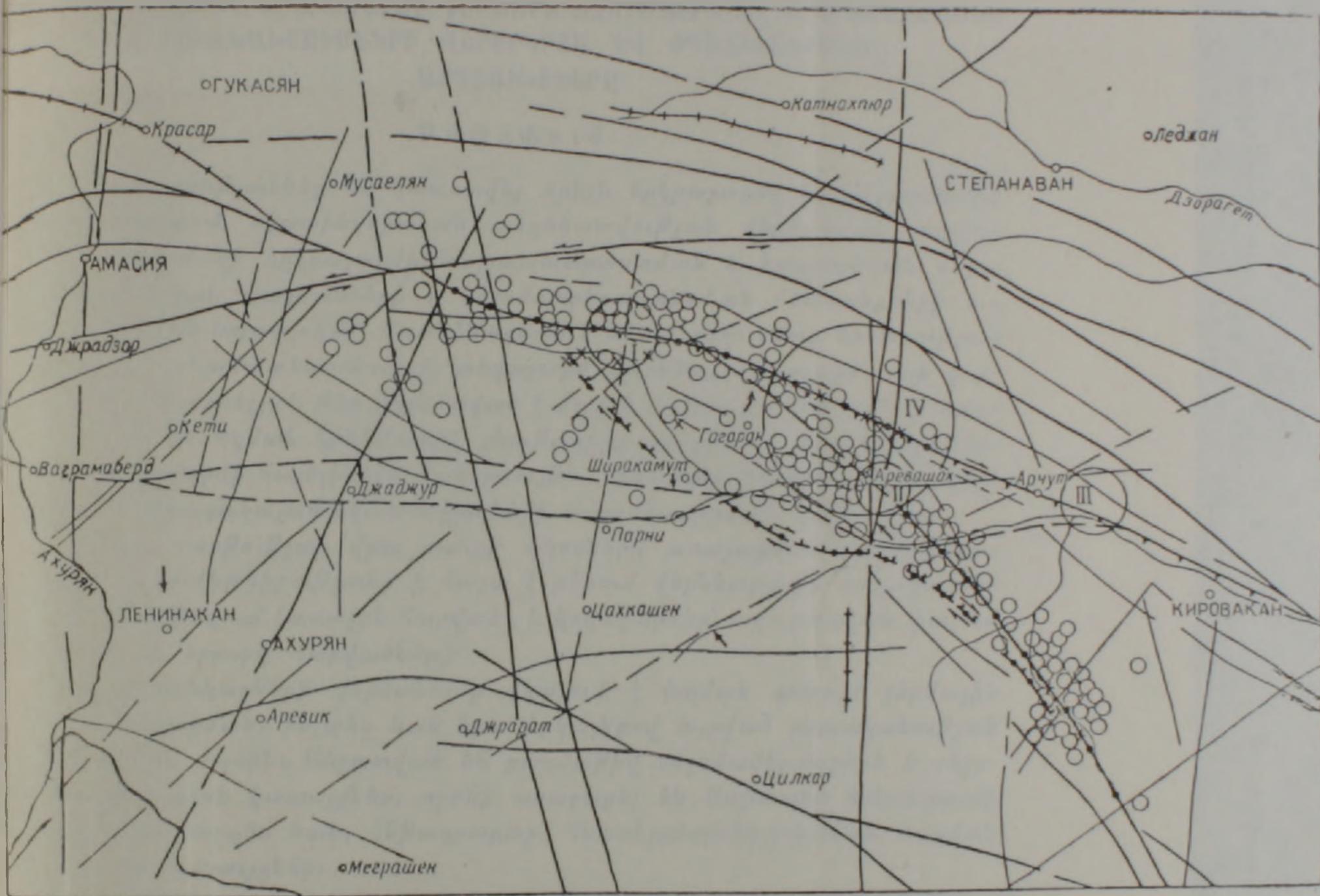


Рис. 3. Карта активных разломов и сейсмогенных дислокаций эпицентральной зоны Спитакского землетрясения 1988 г.

1—главнейшие разломы и линейaments; 2—второстепенные разломы и линейaments; 3—разломы, активизировавшиеся при Спитакском землетрясении 1988 г.; 4—сейсмоструктурная дислокация 7/XII—88 г.; 5—прочие сейсмогенные образования Спитакского землетрясения; 6—предполагаемые палеосейсмодислокации; 7—эпицентры сильных землетрясений: I—1967 г. II—1975 г. III—1978 г. IV—1988 г. 8—зона афтершоковой активности Спитакского землетрясения 1988 г.; 9—направление сейсмоструктурных смещений грунта при Спитакском землетрясении 1988 г. по результатам макросейсмического обследования гаммагипсов.

верном направлении. А само Спитакское землетрясение 1988 года связано с накоплением и разрядкой тектонических напряжений на стыке Гогаранского и Алаварского разломов с испарыванием, в ходе реализации толчка, тектонической перемычки между ними и выходом на поверхность сейсмотектонической дислокации, соединившей эти два нарушения.

Институт геологических наук  
АН Армянской ССР

Поступила 18 IV 1989

Ա. Ս. ԿԱՐԱԽԱՆՅԱՆ

ՍՊԻՏԱԿԻ 1988 թ. ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ԳՈՐԾՈՒՆ ԽՁՈՒՄՆԵՐԻ ԵՎ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԱՍԻՆ  
ՁԵՎԱՆԱԽՏՈՒՄՆԵՐԻ ՎԵՐԵՐԿՐՅԱ ԵՎ ՕԴԱՏԻԵԶԵՐԱԿԱՆ  
ԱՐԻՅՈՒՆՔՆԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հետազոտություններ են կատարվել մինչև երկրաշարժը և երկրաշարժից հետո ստացված օդատիեզերական տեղեկատվության վերծանման ուղղությամբ՝ Սպիտակի երկրաշարժի նախապատրաստման և իրագործման սեյսմատեկտոնական պայմանների և սեյսմաերկրաբանական հետևանքների ուսումնասիրման նպատակով: Առանձնացված է 35 կմ ընդհանուր երկարություն ունեցող մի սեյսմատեկտոնական տեղաշարժ՝ վերնետք-կողաշարժ, որի գործուն հյուսիս-արևելյան թևը վերնետված է մոտ 2 մ, իսկ աջ կողաշարժը կազմում է 1,5 մ: Խզման կինեմատիկ բնութագիրը որոշված է նրա ձևաբանության, տեղաշարժի հայելիների մակերևույթի, երկաթգծի խախտումների, կրկրնվող մակարդակաչափական տվյալների ուսումնասիրման հիման վրա:

Խզման հարթության վրա սահքի ակոսների առաջացման հաջորդականության ուսումնասիրությունը ի հայտ է բերում վերնետքային տեղաշարժեր սկզբնական փուլում (առաջին հարված) և կողաշարժեր՝ ավարտական փուլում (երկրորդ և երրորդ հարվածներ):

Օդաչուսանկարների վերծանումը վկայում է խզման գոտում ջերմային հոսքի ուժեղացման, ինչպես նաև նրա երկայնքով այրված բուսականության առկայության մասին: Անջատված են բազմաթիվ սեյսմավիբրացիոն և սեյսմապրավիտացիոն կառույցներ, որոնք առաջացել են Սպիտակի երկրաշարժի հետևանքով, ինչպես նաև, ենթադրաբար, հնասեյսմատեկտոնական ժազման այլ խոշոր կառույցներ:

Օդատիեզերական տեղեկատվության վերծանումը ի հայտ բերեց խոշոր խզումների համակարգեր, այդ թվում նաև Սպիտակի երկրաշարժի շնորհիվ ակտիվացած խզումներ:

Սպիտակի 1988 թ. երկրաշարժի էպիկենտրոնը հարում է մի բարդ հանգույցի, որտեղ հատվում են Բազում-Սևանի խորքային բեկվածքների համակարգն Արագած-Սպիտակի միջորեական տարածման խախտման և հյուսիս-արևմտյան տարածման մեկ այլ խախտման հետ:

Տեկտոնապես և սեյսմոկորին առավել գործուն է Գոգարանի խախտումը, որի կենտրոնական հստակացումն է հարում Սպիտակի երկրաշարժի աֆտերշոկային ակտիվությունը, վերջինս Արագած-Սպիտակի խախտման հետ հատվելուց հետո վերարաշխվում է Հալավարի խզմամբ:

Գոգարանի խախտումն է հարում ոչ միայն Սպիտակի 1988 թ. երկրաշարժի ( $M=7$ ), այլ նաև 1967 թ. ( $M=5$ ) և 1978 թ. ( $M=4$ ) երկրաշարժերի էպիկենտրոնները, որոնք ունեն օգտիային մեխանիզմի համանման լուծումներ: Հավանաբար, գրանք հանդիսացել են Սպիտակի 1988 թ. երկրաշարժի վաղ նախադիպքերը:

Օդատիեզերական տեղեկությունը վերծանման տվյալները, սեյսմակրթաբանական և սեյսմատեկտոնական արդյունքների հետ մեկտեղ, վկայում են Բազում-Սևանի գոտու բեկվածքների հարավային թևի խորքային ակտիվացման մասին, որը տեղի է ունեցել գերազանցապես հորիզոնականին մոտ մերձմիջօրեական ուղղության սեղմման պայմաններում՝ Արարական սալի ղեպի հյուսիս շարժման հավանական սկստիվացման պատճառով:

A. S. KARAKHANIAN

## THE FIELD, AERIAL AND SPACE INVESTIGATION RESULTS OF THE SPITAK EARTHQUAKE, 1988, ACTIVE FRACTURES AND SEISMOGENOUS DEFORMATIONS

### Abstract

The field, aerial and space information application results on the Spitak earthquake seismogeological after-effects and realization conditions study are considered. The morphostructural description and kinematical characteristic of the seismogenous deformations, as well as the region general fractures (including the activated during the earthquake ones) are brought.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Карпетян Н. К. Механизм очагов землетрясений Ленинбаканского региона.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1987, № 1, с. 33—40.
2. Трифонов В. Г., Макаров В. И., Скобелев С. Ф. Аэрокосмические методы изучения современных и новейших тектонических процессов. М.: Наука, 1988. с. 87—100.
3. A. Clsteras, H. Philip, J. C. Bousquet, M. Cara, L. Dorbath, C. Dorbath, H. Haessler, E. Jimener, A. Nerseslian, L. Rivera, B. Romanovic and S. Arefiev, B. Borisov, A. Corshkov, V. Cratzer, A. Gvishiani, A. Lander, A. Ragozhin, N. Shehalin.—The Spitak (Armenia) Earthquake of December 7, 1988; Field observations, Seismology and Tectonics. Strasbourg, (France), 1989. p. 13.
4. J. Filson, R. Borchardt, R. Sharp, D. Simpson, C. Langer, G. Sembera, C. Dietel, E. Cranswick, C. Mueller, T. Noch, M. Andrews, G. Classmoyer, G. Maxwell, J. Seale, M. Kennedy, G. Jensen, J. Wan Sinaach, A. Der Kingeghlan, C. Valdes, E. Cranswick.—Results and data from Seismologic and Geologic studies following earthquakes of December 7, 1988, Near Spitak, Armenian SSR, Usa, 1989, p. 188.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XLII, № 3, 24—34

УДК: 550.348.436:550.84 (479.25)

В. А. ИГУМНОВ, З. Г. СТЕПАНЯН

### НЕКОТОРЫЕ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В статье рассматриваются различные изменения гидрогеохимических и гидродинамических показателей на наблюдательных скважинах территории Армянской ССР, связанные со Спитакским землетрясением 07.12.1988 г.

Спитакское землетрясение 7.12.88 г. нарушило локальные поля напряжений на территории Армении. Об этом свидетельствуют также различные изменения в геофизических, гидродинамических, гидрогеохимических и других полях. После землетрясения было совершено

Օդատիեզերական տեղեկությունը վերծանման տվյալները, սեյսմակրթաբանական և սեյսմատեկտոնական արդյունքների հետ մեկտեղ, վկայում են Բազում-Սևանի գոտու բեկվածքների հարավային թևի խորքային ակտիվացման մասին, որը տեղի է ունեցել գերազանցապես հորիզոնականին մոտ մերձմիջօրեական ուղղության սեղմման պայմաններում՝ Արարական սալի ղեպի հյուսիս շարժման հավանական սկստիվացման պատճառով:

A. S. KARAKHANIAN

## THE FIELD, AERIAL AND SPACE INVESTIGATION RESULTS OF THE SPITAK EARTHQUAKE, 1988, ACTIVE FRACTURES AND SEISMOGENOUS DEFORMATIONS

### Abstract

The field, aerial and space information application results on the Spitak earthquake seismogeological after-effects and realization conditions study are considered. The morphostructural description and kinematical characteristic of the seismogenous deformations, as well as the region general fractures (including the activated during the earthquake ones) are brought.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Карпетян Н. К. Механизм очагов землетрясений Ленинбаканского региона.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1987, № 1, с. 33—40.
2. Трифонов В. Г., Макаров В. И., Скобелев С. Ф. Аэрокосмические методы изучения современных и новейших тектонических процессов. М.: Наука, 1988. с. 87—100.
3. A. Clsteras, H. Philip, J. C. Bousquet, M. Cara, L. Dorbath, C. Dorbath, H. Haessler, E. Jimener, A. Nerseslian, L. Rivera, B. Romanovic and S. Arefiev, B. Borisov, A. Corshkov, V. Cratzer, A. Gvishiani, A. Lander, A. Ragozhin, N. Shehalin.—The Spitak (Armenia) Earthquake of December 7, 1988; Field observations, Seismology and Tectonics. Strasbourg, (France), 1989. p. 13.
4. J. Filson, R. Borchardt, R. Sharp, D. Simpson, C. Langer, G. Sembera, C. Dietel, E. Granswick, C. Mueller, T. Noch, M. Andrews, G. Classmoyer, G. Maxwell, J. Seale, M. Kennedy, G. Jensen, J. Wan Sinaach, A. Der Kingeghlan, C. Valdes, E. Granswick.—Results and data from Seismologic and Geologic studies following earthquakes of December 7, 1988, Near Spitak, Armenian SSR, Usa, 1989, p. 188.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XLII, № 3, 24—34

УДК: 550.348.436:550.84 (479.25)

В. А. ИГУМНОВ, З. Г. СТЕПАНЯН

### НЕКОТОРЫЕ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В статье рассматриваются различные изменения гидрогеохимических и гидродинамических показателей на наблюдательных скважинах территории Армянской ССР, связанные со Спитакским землетрясением 07.12.1988 г.

Спитакское землетрясение 7.12.88 г. нарушило локальные поля напряжений на территории Армении. Об этом свидетельствуют также различные изменения в геофизических, гидродинамических, гидрогеохимических и других полях. После землетрясения было совершено

сколько маршрутов с целью опробования минеральных вод, находящихся под режимными наблюдениями с разным интервалом отбора проб, чтобы оценить степень воздействия землетрясения в разных районах по геохимическим данным.

Маршруты: 1. Ереван-Талин-Маралик-Ленинакан; 2. Ереван-Ара-рат-Ехегнадзор-Джермук-Сисиан-Кафан-Каджаран; 3. Ереван-Севан-Кировакан-Спитак; 4. Ереван-Арзни-Артакан-Раздан-Анкаван. Исследовался химический состав, газы, температура, где было возможно—дебит и газовый фактор.

Основной объем проб проанализирован в АрмНИГС ГЕОХИ АН СССР, аналитики—Степанян З. Г., Давтян Н. С., Петросян Л. Г., Ару-тюнян А. М.; некоторые пробы—в НИИЖ и ФМЗ АрмССР, аналитик—Дарбинян Л. Г.; элементный анализ благородных газов и их изотоп-ные соотношения—в ГЕОХИ АН СССР, аналитик—Арутюнян Р. М. В измерениях гелня, напора и температуры на Араратской наблюдатель-ной скважине участвовал Мкртчян Ю. С.

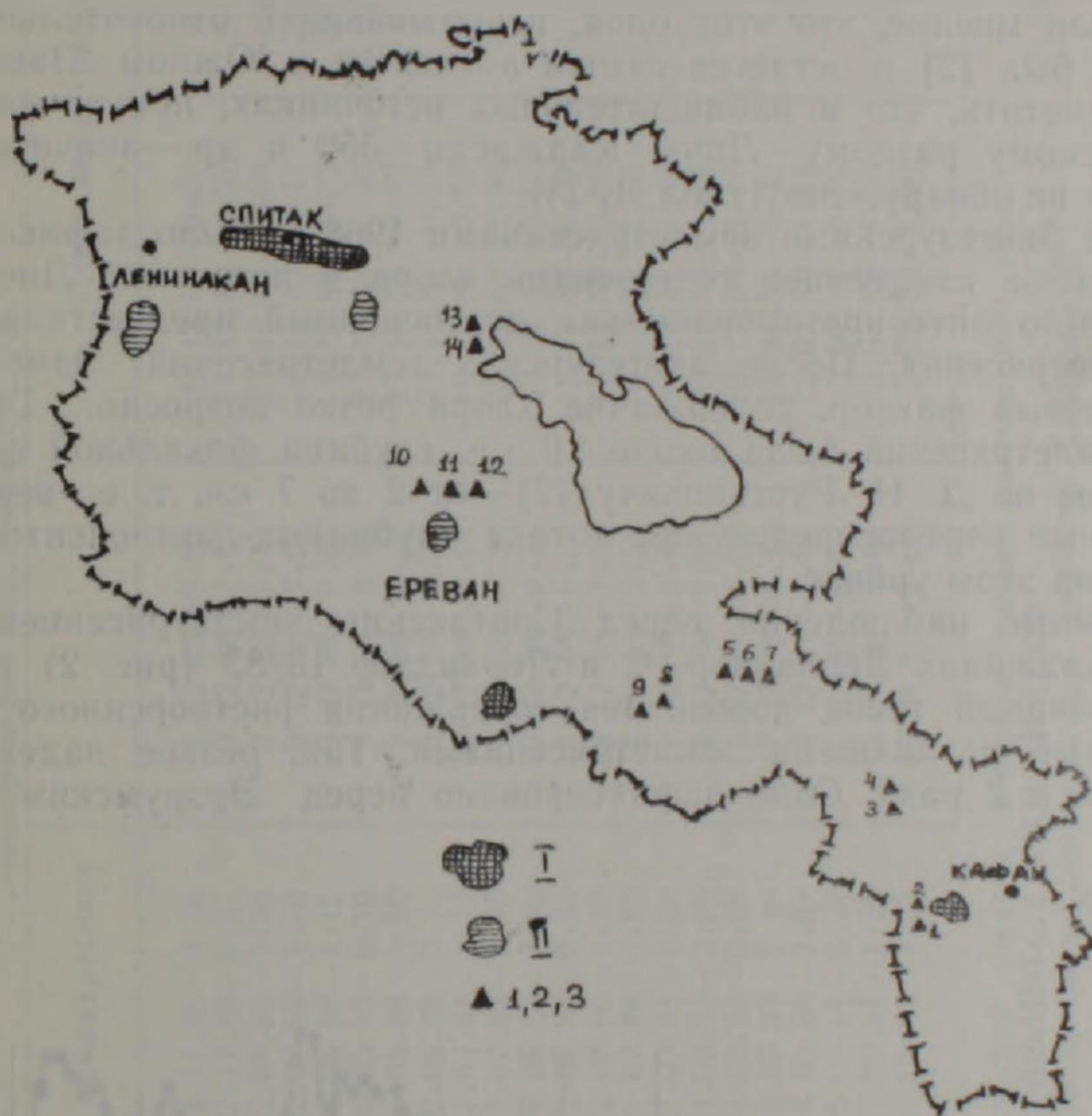


Рис. 1. Схема опробования и степени изменения гидрогеохимических и гидродинамических параметров в связи со Спитакским землетрясением.

I—области с аномальными изменениями, выходящими за пределы различных вариаций. II—области со слабыми изменениями, сравнимыми с внутригодовыми вариациями. 1,2,3—номера исследованных скважин с изменениями, попадающими в «коридор погрешностей» отбора и анализа. Список скважин приводится в тексте.

Схема опробования и степени изменения гидрогеохимических и гидродинамических параметров представлена на рис. 1. По результатам предварительного анализа на территории Армении выделены области: 1) существенных изменений не обнаружено, незначительные изменения попадают в «коридор погрешностей» отбора и анализа; 2) слабые изменения, сравнимые с внутригодовыми вариациями; 3) аномальные изменения, выходящие за пределы различных вариаций. Обнаруженные области изменений этих параметров не зависят ни от расстояния и азимута от эпицентральной области, ни от плана тектонических нарушений верхнего структурного этажа.

Самые значительные изменения в гидрогеохимическом и гидродинамическом режимах после Спитакского землетрясения произошли в Южном Зангезуре. На наблюдательных скважинах Лернадзор—2 и Лернадзор 13/83 резко упал газ-фактор ( $\sim$  в 2,5 раза), дебит уменьшился с 0,7 до 0,5 л/сек (Лернадзор—2). Но особенно резко упало содержание растворенного гелия и углекислого газа, почти в 3—5 раз (табл. 1, 2), при очень слабых изменениях в химическом составе. Такое уменьшение газового фактора и, особенно, гелия заставило нас увеличить интервал отбора и анализа гелия автоматической установкой «Регион», чтобы обеспечить метрологию записи в аналоговом варианте на самописце.

Вариации геохимических параметров, указывавшие на современную активизацию субширотных структур Центрального блока [1], к которым и приурочены наблюдательные скважины, усилились после Спитакского землетрясения. Резкие изменения содержания гелия и углекислого газа на субширотной Охчинской структуре между субмеридиональными Дебаклинским и Хуступ-Гиратахским разломами подтвердили мнение, что этот блок, испытывающий относительное погружение, был [2] и остается самым активным в Южном Зангезуре. Нужно отметить, что в наблюдательных источниках, приуроченных к Дебаклинскому разлому—Личк, Каджаран—550 и др.—значительных изменений не обнаружено (табл. 1, 2).

Перед Зангезурскими землетрясениями 1968 г. было зафиксировано длительное изменение содержания хлора в источнике Личк [2], которое было интерпретировано как долгосрочный предвестник местного землетрясения. После Зангезурских землетрясений изменились дебит, газовый фактор, содержание хлора резко возросло. Глубина очагов землетрясений была около 10 км, глубина фокальной области афтершоков по Д. Н. Рустановичу [2]—от 2 до 7 км, т. е., вероятно, что основные перераспределения потока глубинных компонентов происходили на этом уровне.

Режимные наблюдения перед Спитакским землетрясением 7.12.88 г. на скважинах Лернадзор—2 и Лернадзор 13/83 (рис. 2) установили устойчивый тренд повышения содержания растворенного гелия, прерываемый различными землетрясениями. Так, резкое падение гелия, почти в 2 раза, было зафиксировано перед Эрзрумским земле-

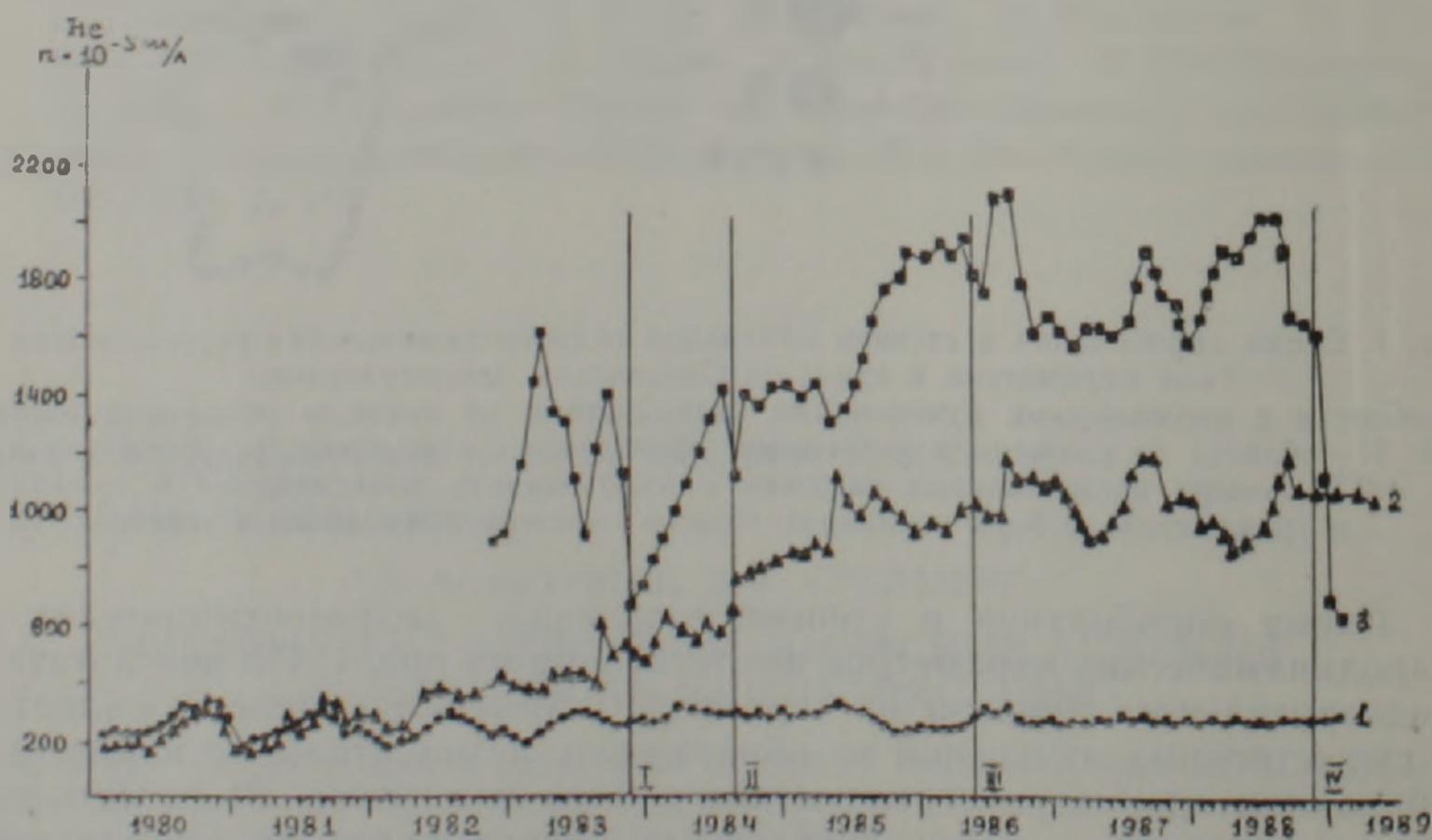


Рис. 2 Вариации растворенного гелия в наблюдательных скважинах Армянской ССР. Среднемесячные содержания.  
1—сква. Арарат, 2—сква. Суренаван, 3—сква. Каджаран, Лернадзор—2.  
Землетрясения: I—Эрзрумское 1983 г., II—Ереванское 1984 г., III—Джавахетское 1986 г., IV—Спитакское 1988 г.

Вариации растворенного углекислого газа  
в минеральных водах Армянской ССР, г/л.

№№	Место отбора пробы	До землетрясения					После землетрясения	
		28.11.88	22.11.88	12.08.88	9.12.88	8.12.88	9.12.88	14.12.88
1	Арарат	0.38	0.87	1.38	0.61	0.68	0.45	0.69
2	Суренаван	0.87	1.0	1.0	1.4	1.07	1.48	1.37
3	Арзни, скв. 3 62	1.38	1.0	1.0	1.13	1.68	1.51	1.51
4	Арзни, скв. 6 64	1.0	1.12	1.0	1.97	2.11	1.58	1.58
5	Арзни, скв. 1 62	1.12	0.70	0.93	0.93	1.35	1.51	1.51
6	Артикан, 40°С	0.70	0.90	0.68	0.68	0.56	0.66	0.71
7	Ардзакан, 33°С	0.90	0.75	0.87	0.87	0.82	0.84	0.91
8	Сенак—2,23°С	0.75	1.72	0.78	0.78	0.68	0.68	0.68
9	Кировакан, "Лори"	1.72	1.96	1.84	1.84	0.83	1.61	1.61
10	Спитак, Сирали	1.96	1.10	3.38	3.38	1.36	1.36	1.36
11	Ахурян, Лунсахпюр	1.10	1.10	0.77	0.77	0.80	0.80	0.80
12	Ахурян, Гетк	1.10	0.30	0.3	0.3	0.20	0.20	0.20
13	Ахурян, Норзбер	0.30	1.40	1.5	1.5	0.86	0.86	0.86
14	Егегнадзор, Агаракадзор	1.40	1.50	1.54	1.54	1.60	1.60	1.60
15	Егегнадзор, Малишка	1.50	1.80	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46
16	Сенак, 24	1.80	1.60	1.81	1.81	1.74	1.74	1.74
17	Сиснак Уз "Новая"	1.60	0.58	1.07	1.07	1.17	1.17	1.17
18	Каджаран, Лернадзор-2	0.58	1.0	0.46	0.46	0.22	0.26	0.26
19	— " — Лернадзор 13 83	1.0	2.02	1.97	1.97	1.44	1.44	1.44
20	Каджаран, скв. 550	2.02	0.97	0.62	0.62	0.70	0.70	0.70
21	— " — скв. 513	0.97	1.59	1.44	1.44	1.56	1.56	1.56
22	— " — скв. 558	1.59	1.23	1.08	1.08	1.50	1.50	1.50

\* Анализ с помощью баритовой зарядки, контроль—анализ равновесного пара  
[7] Аналитик—Степанян З. Г., АрмНИГС ГЕОХИ АН СССР.

\*\* Спитакские и ахурянские пробы до землетрясения—аналитик Дарбинян Л. Г.,  
НИИК и ФМЗ АрмССР

Вариации растворенного гелия в минеральных водах АрмССР,  $\mu \cdot 10^{-5}$  мл/л.

Таблица 2

№№	Место отбора пробы	До землетрясения	После землетрясения			
			1	2	3	4
1	Арарат	6.12.88 — 28.0	7.12.88 — 240.0	8.12.88 — 313.0	12.12.88 — 327.0	18.02.89 — 290.0
2	Суденатап	6.12.88 — 1059.0	7.12.88 — 1078.0	8.12.88 — 1145.0	12.12.88 — 1156.0	18.02.89 — 1006.0
3	Арзни, скв. 664	18.09.88 — фон	9.12.88 — 49.0	27.12.88 — фон	24.01.89 — фон	—
4	Арзакан, 33 С	18.09.88 — 18.0	9.12.88 — 25.0	27.12.88 — 29.0	4.01.89 — 23.0	24.01.89 — 16.0
5	Севан, — 223 С	22.09.88 — 7950.0	10.12.88 — 6173.0	17.12.88 — 7620.0	24.12.88 — 8126.0	—
6	Кировакан, „Лори“	22.09.88 — 312.0	10.12.88 — 348.0	17.12.88 — 288.0	24.12.88 — 241.0	—
7	Ахурян, Луйсахиср	11.07.87 — 51.0	13.12.88 — 87.0	19.12.88 — 105.0	—	—
8	Каджаран, Лернадзор—2	6.12.88 — 1681.0	12.12.88 — 1758.0	16.12.88 — 1005.0	26.12.88 — 497.0	10.03.89 — 929.0
9	—, — Лернадзор 1383	22.11.88 — 513.0	12.12.88 — 415.0	16.12.88 — 467.0	16.01.89 — 295.0	4.02.89 — 399.0
10	Каджаран, скв. 550	23.11.88 — 242.0	18.12.88 — 286.0	15.01.89 — 370.0	—	—
11	—, — скв. 513	23.11.88 — 19.0	18.12.88 — 18.0	15.01.89 — 16.0	—	—

\* Анализ с помощью ИНГЕМа—1, аналитик—Игумнов В. А., АрмНИГС ГЕОХИ АН СССР

рясеннем 1983 г. Наряду с таким длительным трендом по гелию наблюдается динамика изотопного соотношения  $^3\text{He}/^4\text{He}$  за последние десять лет (с  $1,14 \cdot 10^{-6}$  до  $3,9 \cdot 10^{-6}$ ). В работе [6] приводится аналогичный пример значительного изменения  $^3\text{He}/^4\text{He}$  и  $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$  при почти двадцатилетних наблюдениях в Уполни.

Такой длительный подъем содержания гелия, изменение в изотопном соотношении в сторону увеличения мантийной компоненты, возможно, связан с современным относительным опусканием Центрального блока на фоне относительного подъема Западного блока—Зангезурский хребет и Восточного блока—зона Хуступ-Гиратахского разлома. Резкий спад содержания гелия в Центральном блоке после Спитакского землетрясения, вероятно, указывает на изменение режима вертикальных движений или на смену знака напряжений: растяжение—сжатие. Подобная смена «подъем-опускание-подъем» была зафиксирована во время Нингатского землетрясения 1964 г. [4].

Для ориентировочной оценки глубины изменения тектонических напряжений можно воспользоваться изотопным соотношением  $^3\text{He}/^4\text{He}$ , которое является надежным трассером ювенильных летучих компонентов. В настоящее время, зная соотношение  $^3\text{He}/^4\text{He}$  в исследуемой воде, можно определить мантийную компоненту, оценив вклад гелия различного генезиса: атмосферы ( $^3\text{He}/^4\text{He} 1,4 \cdot 10^{-6}$ ), коры ( $2 \cdot 10^{-6}$ ) и мантии ( $1,2 \cdot 10^{-6}$ ). Увеличение мантийной составляющей гелия (с  $1,14 \cdot 10^{-6}$  до  $3,9 \cdot 10^{-6}$ ), изменения в соотношении  $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$  (от 20,4 до 33,1), прослеженные при режимных наблюдениях в Южном Зангезуре, указывают, что поля напряжений здесь меняются на значительную глубину, возможно, на всю мощность коры.

Следующей областью, где зафиксированы аномальные изменения в гидрогеохимических и гидродинамических полях, является Арарат-Суренаванский участок. В Араратских скважинах после Спитакского землетрясения резко увеличился дебит (наблюдательная—с 0,25 до 0,5 л/сек; скважина рядом с профилакторием—с 0,3 до 0,7 л/сек), рядом с наблюдательной стала изливаться бывшая сухая скважина с дебитом 0,5 л/сек, газ-фактором  $\sim 0,2$  того же химического состава ( $\text{HCO}_3\text{—Ca}$ ), температуры ( $t=22,4^\circ\text{C}$ ) и содержания гелия. В течение первого после землетрясения месяца резко и неперiodически изменялся газовый фактор. Аналогичные изменения происходили и в Суренаванской скважине. Резко менялось содержание гелия и углекислого газа (табл. 1, 2). На рис. 3 представлены изменения температуры и напора (манометрическое измерение), в Араратской наблюдательной скважине напор после землетрясения повысился почти в три раза. Такие резкие изменения заставили нас скорректировать интервал отбора и анализа гелия автоматической установкой с режимом газоотделения с помощью газоотделителя новой конструкции.

Режимные наблюдения за содержанием растворенного гелия с 1980 г. по 1989 г. (рис. 2) установили устойчивое увеличение содержания гелия за этот период в Суренаванской скважине почти в 5 раз. Интересно отметить, что тренд гелия проходил на фоне длительного уменьшения минерализации (с 6,0 до  $\sim 4,5$  г/л). Возможно, что подъем содержания гелия в Суренаване за такой период связан с относительным опусканием Араратской котловины на фоне относительного подъема соседнего Урцского блока. Мантийная компонента гелия ( $^3\text{He}/^4\text{He} 1,5 \pm 0,065 \cdot 10^{-6}$ ) и углерод  $\text{CO}_2$  по величине  $\delta^{13}\text{C}$  ( $-6,0\text{‰}^*$ ), отвечающий углероду  $\text{CO}_2$  мантийного генезиса, в скважине Суренаван указывают, что режим изменения тектонических напряжений затрагивает глубины, соизмеримые с мощностью земной коры. Судя по графику изменения содержания гелия (рис. 2) Суренаванская скважина не «среагировала» непосредственно после Спитакского землетрясения.

\* Анализ сделан в лаборатории ВНИГНИ Мингео СССР, аналитик—Мехтиева В. Л.

как, например, Калжаранская. Эффект «запаздывания» вариаций гелия в Суренаванской скважине в связи с землетрясениями уже отмечался в работе [3]. Поэтому спад содержания гелия в Суренаванской скважине возможен в 1989 г. За два года до Спитакского землетрясения в Араратской скважине исчезли вариации гелия с приблизительно годовым циклом (рис. 2).

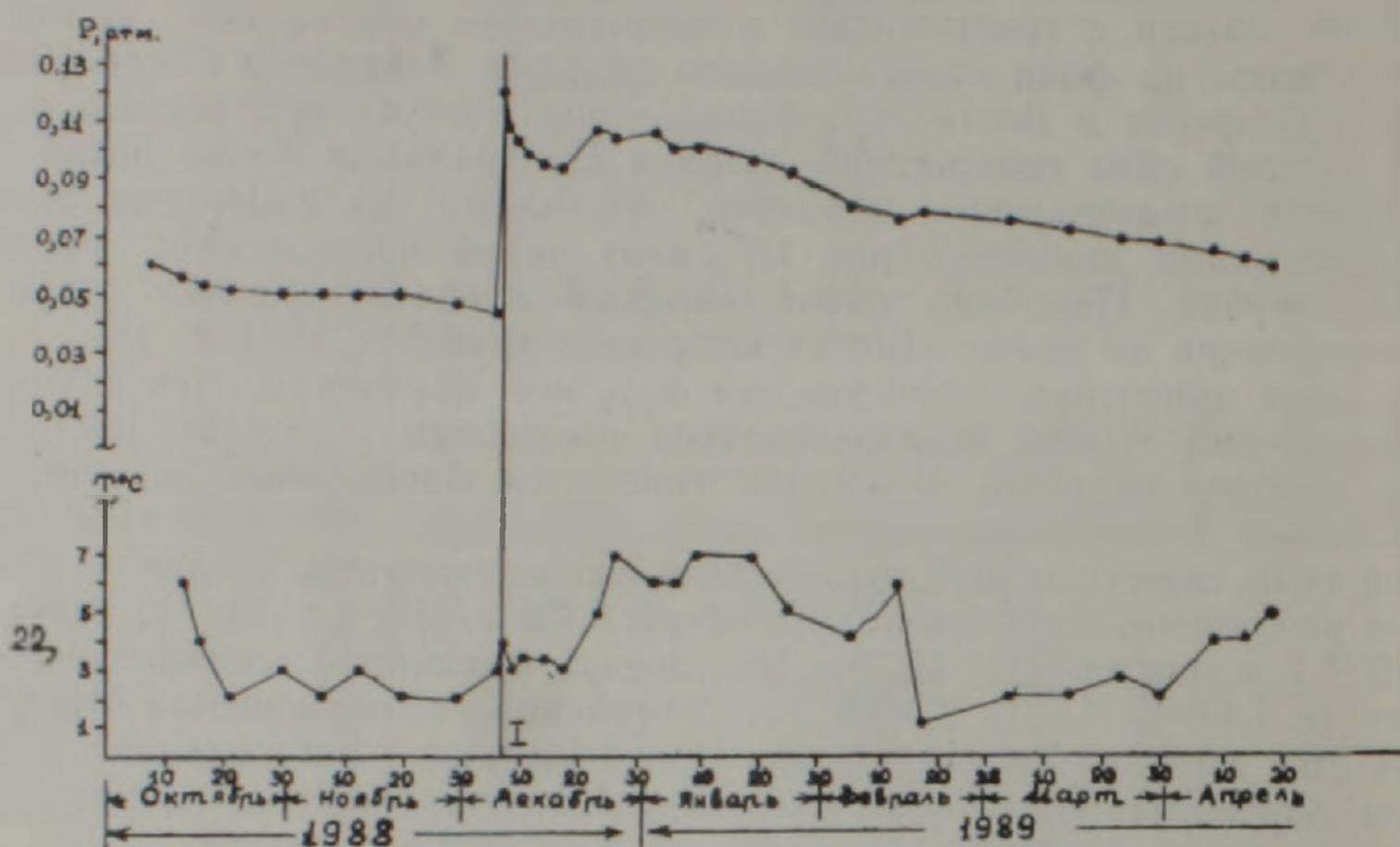


Рис. 3. Графики изменения давления и температуры на наблюдательной скважине Арарат.  
I—Спитакское землетрясение 1988 г.

Трудности опробования в эпицентральной зоне непосредственно после землетрясения сузили круг анализируемых скважин. Однако, даже по двум исследованным скважинам (Кировакан «Лори» и Спитак-Сарали) можно судить о тех значительных изменениях в гидрохимическом и гидродинамическом режимах скважин эпицентральной зоны после Спитакского землетрясения. Так, в Кироваканской скважине увеличился дебит, усилились резкие неперiodические выбросы газа при относительно постоянных температуре и химическом составе. Резкие изменения произошли и в содержании растворенных гелия и углекислого газа (табл. 1, 2). По данным «Армгеокаптажминвод» на 27.12.88 г., минерализация воды «Лори» составила 6,3 г/л, до землетрясения была 7,4 г/л. Особенно изменилось содержание углекислого газа в Саралинской скважине (табл. 1). Такие изменения сопровождались увеличением дебита и газового фактора, в то время как химический состав и температура почти не изменились.

Несмотря на относительную близость к эпицентральной зоне, изменения в гидрохимическом и гидродинамическом режимах на Арзинском, Анкаванском и Ахуринском участках гораздо слабее, чем в более удаленных Араратской и Загезурской областях. В Арзии исследовались скважины 1/62, 3/62 и 6/64. По нашим данным, изменения растворенного  $\text{CO}_2$  после Спитакского землетрясения не превышали 50—60% (табл. 1), по данным «Армгескаптажминвод», в скважине 1/62 до землетрясения было  $\sim 4,0$  г/л растворенного  $\text{CO}_2$ , после— 0,38 г/л. Интересно появление на короткий срок в скважине 6/64 после землетрясения растворенного гелия (табл. 2). Возможным источником гелия мог быть водоносный горизонт в соленосных глинах на глубине 500—600 м (скв. 10/62), где содержание гелия достигало 80-10 мл/л, или глубинный гелий из-под фундамента. После землетрясения минерализация вод всех эксплуатируемых скважин Арзии увеличилась. На рис. 4 приведены графики изменения минерализации в Арзинских скважинах за более чем двадцатилетний период наблюдений.

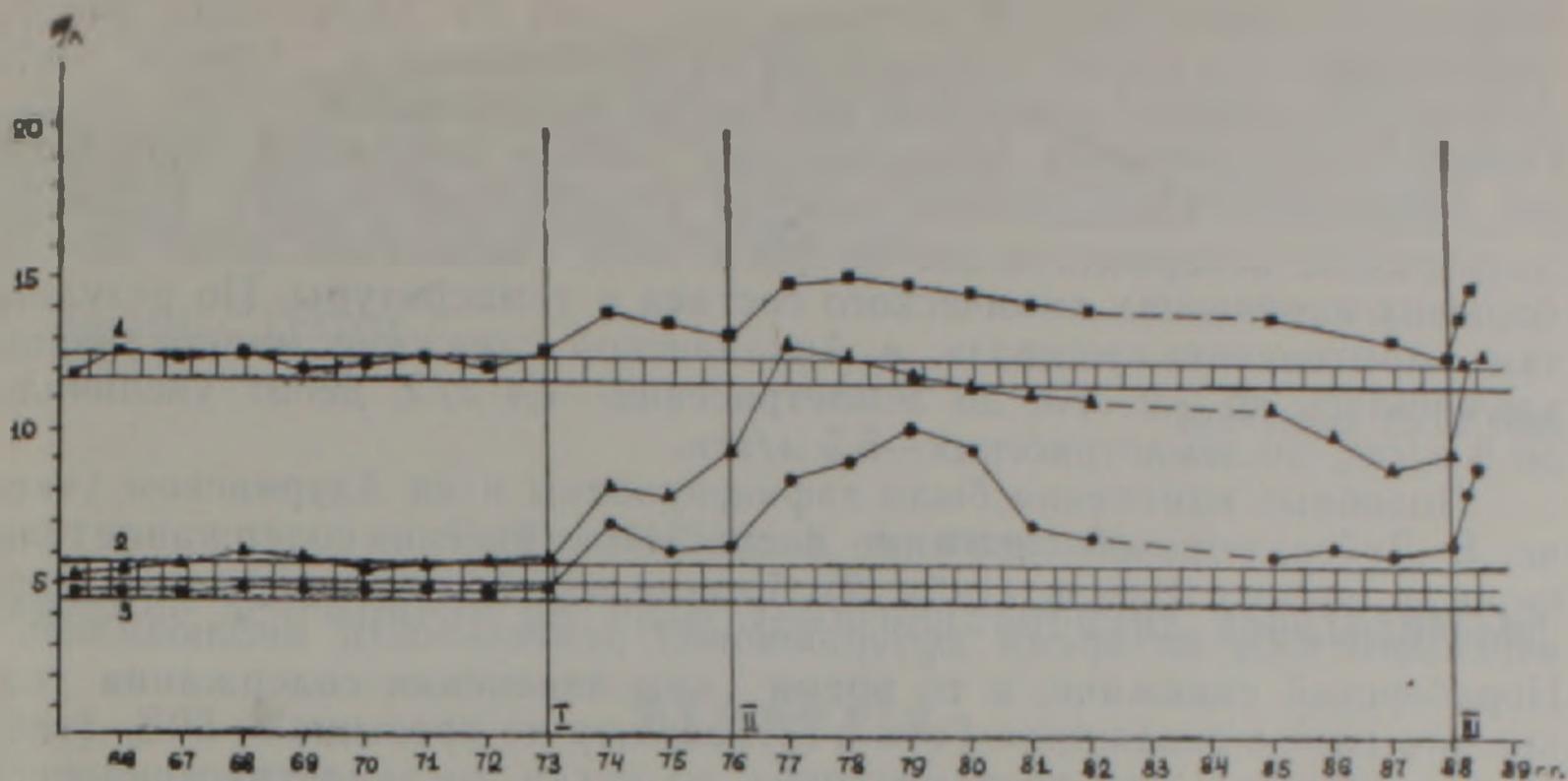


Рис. 4. Изменение минерализации в Арзинских водах. Среднегодовые значения.  
1—скв. 1/62. 2—скв. 3/62. 3—скв. 6/64.

Аналитики—О. П. Бозоян, Ж. А. Ханбекян, Л. Г. Дарбинян (НИИК и ФМЗ Арм ССР), З. Г. Степанян (АрмНИИ С. ГЕОХИ АН СССР).

Землетрясения: I—Ереванское 16.06.73,  $M=4,0$ ,  $l=0,0$  км, 5 баллов. II—Чалдыранское 24.11.76,  $M=7,0$ ,  $l=130,0$  км, 5 баллов. III—Спитакское 07.12.88,  $M=7,0$ ,  $l=80,0$  км, 5—6 баллов.

Резкое увеличение минерализации вод всех скважин после землетрясений (в скв. 3/62 после Чалдыранского землетрясения 1976 г.— почти в 3 раза по отношению к норме, нормируемые пределы минерализации для каждой скважины на рис. 4 показаны штриховкой) свидетельствует о перетоках из более глубоких водоносных горизонтов с солеными и рассольными водами. Интересно отметить, что изменения минерализации в Арзинских скважинах после Спитакского землетрясения напоминает реакцию скважин на Чалдыранское землетрясение 1976 г. Для Арзинского участка оба землетрясения почти одинаковы по сейсмологическим характеристикам (рис. 4). Рост происходит за счет основных минералообразующих компонентов: хлора, натрия и магния, в то время как содержание гидрокарбонат-иона изменяется слабее, а кальций и сульфат-ион почти не меняются.

На участке Арзни эксплуатируемые водоносные горизонты неглубокие (до 200 м), наиболее минерализована вода скв. 1/62 (до 13 г/л). Нижние горизонты содержат соленые и рассольные воды хлоридного магниево-натриевого состава: горизонт 500—600 м с  $M$  23 г/л по скв. 10/62, горизонт 1050—1077 м с  $M$  47 г/л по скв. Раздан—4 и так вплоть до Птгинских рассолов с  $M$  200—250 г/л. Гидрохимический разрез на границе с фундаментом претерпевает инверсию, из-под фундамента, представленного кристаллическими сланцами, выходят более горячие, но слабоминерализованные воды ( $M$  до 10 г/л), примером являются гелиеносные воды Бжни-Арзаканского участка.

Подобные изменения минерализации, увеличение натрия, магния, хлора, появление гелия после землетрясения свидетельствуют о том, что все воды участка Арзни (вероятно, до фундамента) составляют единую гидравлическую систему с усиливающимися перетоками после сильных землетрясений. В сейсмически спокойные периоды гидравлическая связь между различными водоносными горизонтами затруднена. Увеличение минерализации в спокойные периоды можно объяснить только поднятием гидрохимического купола более минерализованных вод за счет интенсивного забора межлаговых потоков пресной воды и слабоминерализованных вод эксплуатационными скважинами, уменьшением близповерхностных подпоров и образованием депрессионных воронок. Преобладающий в газовом составе  $CO_2$  играет очень сложную

роль в создании подпоров и перетоков из различных горизонтов. Для воссоздания более полной картины перетоков на Арзнинском участке необходимы режимные наблюдения за химическим и газовым составом, температурные измерения, изотопные исследования.

После Спитакского землетрясения слабые изменения произошли и в скважинах Анкаванского участка (Разданский район). Наблюдались резкие неперiodические выбросы газа, увеличился дебит при небольших изменениях химического состава и температуры. По результатам «Армгеокаптажминвод», в Анкаванской скважине минерализация увеличилась до 7,9 г/л, до землетрясения—7,4 г/л, дебит увеличился до 8 л/сек, до землетрясения—5,5 л/сек.

Подобные изменения были зафиксированы и на Ахурянском участке. В Луйсахпюрской скважине после землетрясения содержание гелия выросло почти в 2 раза (табл. 2). Резкие колебания содержания растворенного  $\text{CO}_2$  во время афтершоковой деятельности наблюдались в Нораберекской скважине, в то время как изменения содержания углекислого газа в скважинах Гетк и Луйсахпюр не превышали 50% (табл. 1). По свидетельству пограничников, за сутки до землетрясения перестала изливаться минеральная вода из скв. Баяндур, расположенной на территории погранзаставы. После землетрясения вода изливалась беспрерывно трое суток.

В остальных исследованных источниках различные изменения в химическом и газовом составе не превысили пределов «коридора погрешностей» (табл. 1,2). Эти скважины обозначены на рис. 1: 1. Каджаран «Тгу-джур», 2. Каджаран—550, 3. Сисиан, лесопитомник, 4. Сисиан, с. Уз «Новая», 5. Джермук, скв. 30/62, 6. Джермук, скв. 2/61, 7. Джермук, скв. 4-к, 8. Ехегнадзор, с. Малишка, 9. Ехегнадзор, Аяр, 10. Арзакан, 33°C, 11. Арзакан, 40°C, 12. Арзакан, 50°C, 13. Севан—2,23°C, 14. Севан—2,18°C.

Исходя из вышесказанного, можно сделать некоторые выводы.

По предварительным расчетам увеличение выноса некоторых газовых компонентов ( $\text{He}$ ,  $\text{CO}_2$ ) в пунктах Арарат, Арзни, Кировакан компенсируется снижением концентраций гелия и углекислого газа в других пунктах (Каджаран, Сисиан и др.), что может свидетельствовать о незначительных изменениях в суммарном выносе  $\text{He}$  и  $\text{CO}_2$  на территории Армении. Это положение заставляет с осторожностью относиться к выводам авторов [8], у которых вынос  $\text{H}_2$ ,  $\text{He}$ ,  $\text{CO}_2$  после Дагестанского землетрясения 1970 г. с магнитудой 7,0 был превышен на порядки.

Ареалы проявления гидрогеохимических и гидродинамических вариаций, предшествующих землетрясению и после него, значительно превосходят площади Араратского и Зангезурского прогностических полигонов и не согласуются с планом тектонических нарушений верхнего структурного этажа. Объяснить такие разнообразные изменения без знания глубинного геологического строения весьма трудно. Длительный опыт американских ученых, изучающих поля напряжений на территории США, в частности, зоны Сан-Андреасского разлома, свидетельствует, что распределение тектонических напряжений изменяется по глубине, включая и подкоровые области [10], а в различных структурных этажах—и по латерали [9]. Этим, очевидно, объясняется и встречающееся несоответствие плана тектонических нарушений на разных по глубине структурных этажах. Несовпадение плана изменений в гидрогеохимических и гидродинамических полях после Спитакского землетрясения с планом тектонических нарушений подтверждает эту точку зрения и согласуется с моделью разномасштабной «кусковатости» структуры геофизической среды [5].

Аномальные уменьшения содержания гелия и углекислого газа в Южном Зангезуре, рассмотренные как последствия Спитакского землетрясения, не исключают интерпретацию предвестника местного землетрясения в результате смены знака напряжений с растяжения на сжатие.

Вывод о связи длительных трендов повышения содержания гелия в Южном Закавказье и Араратской котловине с режимом опускания, интерпретированных как долгосрочный предвестник землетрясения, должен приниматься с большой осторожностью. Пример «Палмдейлского горба» (к СВ от Лос-Анджелеса, зона разлома Сан-Андреас) свидетельствует, что смена режимов «подъем-опускание-подъем» может происходить и без землетрясений [4].

АрмНИГС ГЕОХИ  
АН СССР

Поступила 25.IV.1989

Վ. Ա. ԻԳՈՒՄՆՈՎ, Է. Գ. ՍՏԵՓԱՆԻԱՆ

ՍՊԻՏԱԿԻ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ՄԻ ՔԱՆԻ ԶՐԱԵՐԿՐԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ՏԵՍԱՆԿՅՈՒՆՆԵՐ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. մ.

Սպիտակի 1988 թ. դեկտեմբերի 7-ի երկրաշարժը խախտեց լարվածության տեղական դաշտերը, որն անուղղակիորեն արտահայտվեց դիտարկման հորատանցքերում ջրաքիմիական և ջրադինամիկ ուժիմների վրա: Մինչև երկրաշարժը կատարված երկարատև դիտարկումների տվյալներով և աֆտերշոկային գործունեության ընթացքում երթուղային ուսումնասիրությունների արդյունքներով Հայկական ԽՍՀ տարածքում առանձնացվել են մարզեր, որոնք բնորոշվում են թույլ և շնչին անոմալ փոփոխություններով, որոնց մեծությունը դուրս չի գալիս նմուշարկման և անալիզի սխալների սահմաններից: Այդ մարզերի տեղաբաշխումը կախված չէ ոչ էպիկենտրոնական գոտուց ունեցած հեռավորությունից և ուղղությունից, ոչ էլ տեկտոնական խախտումների մակերևութային պլանից: Փոփոխությունները հիմնականում կապված են տեղամասի երկրաբանա-տեկտոնական կառուցվածքից, ջրաքիմիական կտրվածքից և տարրեր կառուցվածքային հարկերում ըստ խորության և հորիզոնական ուղղությամբ ֆլուիդների հոսքի բարդ վերաբաշխումից: Պատենային բաղադրամասն ըստ հելիումի և ածխածնի գազի վկայում է այն մասին, որ տեկտոնական լարումների փոփոխությունը ներառել է այնպիսի խորություններ, որոնք համաչափելի են երկրակեղևի հզորության հետ:

V. A. IGUMNOV, E. G. STEPANIAN

## SOME HYDROGEOCHEMICAL ASPECTS OF THE SPITAK EARTHQUAKE

### Abstract

The hydrogeochemical and hydrodynamical indices various changes in the Armenian SSR territory observation wells are considered, in connection with the Spitak earthquake, December 7, 1988.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Игумнов В. А., Таян Р. Н. Тез. докл. III семинара-школы «Геодинамика Кавказа». Ереван: Изд. АН Арм.ССР, 1986, с. 89
2. Игумнов В. А., Халатян Э. С. Геохимические исследования с целью прогноза землетрясений на территории Армянской ССР. Геохимия, 1979, № 3, с. 365—372.
3. Игумнов В. А., Геворкян Р. Г. Поиски геохимических предвестников землетрясений на прогностических полигонах Армянской ССР.—Матер. II Международного симпозиума «Методы прикладной геохимии». Новосибирск: Наука, 1983, с. 130.
4. Могои К. Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1988, 52 с.

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. Хахенберг 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)

И. 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) воли, 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.

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. Хахенберг 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) воли, 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 продолжают 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», «Ленинакан», «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 географов 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 значения  $V_p/V_s$  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				Численный 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 VI	1973	23	24	10—11	—	1,756	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	1,650	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	—	—	1,736	1,667	1,652	1,869	—	1,731	1,769	1,725	1,769
31	7 XII 1988	11 01	10—11	—	—	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	—	1,650	1,738	1,686	1,670	1,730	1,677	1,711	1,772	1,701	1,803
33	7 XII 1988	12 09	10—11	—	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	—	1,690	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	—	1,756	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	—	1,703	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	—	1,768	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	—	1,761	1,707	—	1,684	1,724	1,721	1,741	—	1,786	1,724
41	7 XII 1988	16 50	10—11	—	—	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
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	1,688
48	7 XII 1988	22 03	10	—	1,659	1,655	—	1,652	—	1,685	—	1,703	1,709	1,740
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
50	8 XII 1988	01 15	11—12	—	—	1,755	1,722	1,769	1,802	1,747	—	1,738	1,654	1,748
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
52	8 XII 1988	02 09	11	—	—	1,714	1,714	1,753	—	1,684	1,712	1,692	1,776	1,826
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
57	8 XII 1988	09 07	9—10	—	—	1,643	1,726	1,654	1,699	1,743	—	1,735	—	1,687
58	8 XII 1988	10 14	10—11	—	—	1,629	1,713	—	1,688	1,718	—	1,737	1,726	1,694
59	8 XII 1988	17 19	9—10	—	—	—	1,654	1,659	1,733	1,697	—	1,700	1,718	1,672
60	8 XII 1988	20 32	12	—	—	1,784	1,775	1,806	1,788	—	1,750	1,748	1,741	1,810
61	9 XII 1988	01 12	10	—	—	1,734	1,714	1,724	1,736	1,649	—	1,720	1,702	1,760
62	9 XII 1988	04 50	9—10	—	—	1,683	1,683	1,674	1,657	1,690	—	1,719	—	1,706
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
65	9 XII 1988	14 13	10	—	1,675	1,646	1,710	1,677	1,688	—	1,711	1,694	1,723	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	1.857	—	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	1.032	—	1.729	1.659
94	19 XII	1988 02 35	10	1.694	—	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	1,703	—	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 23	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	1.941	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	1.739	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—Бакуртани, 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 «Накалакари» ( $V_p/V_s=1,818$ ). 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 ԱՎԻՔՆԵՐԻ 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 օստրալիական գիտնականների աշխատություններում այդ հարաբերության որոշման մեթոդների վերլուծությունը:

«Երևան», «Վարդենիս», «Լենինական», «Ստեփանավան», «Աբասթումանի», «Ախալքալակի», «Բակուրիանի», «Բոգոյանովկա», «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 մեթոդները:

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

### Abstract

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.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Поспи 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, 1988, 382 с.
4. Нерсесов Н. Л., Семенов А. Н., Симбирева И. 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 сейсмической станции 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  $t_s/t_p$  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 G. L. Earthquake prediction: Variation of seismic velocities before the San Fernando earthquake.—Science, 1973, v. 180.

Г. М. АВЧЯН, Г. П. СИМОНЯН

## О ВОЗМОЖНЫХ (ПРОГНОЗНЫХ) НАПРАВЛЕНИЯХ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ПОРОД (НА ПРИМЕРЕ СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ, АРМССР 7. XII. 1988 г.)

С позиции пространственно-направленной палеомагнитной слоистости пород расчетным путем определены возможные направления разрыва при Спитакском землетрясении 7 декабря 1988 г.

Показано, что основные направления трещинообразования и разрывов совпадают с палеомагнитными плоскостями, обусловленными магнитным полем времени и места формирования пород. Путем палеомагнитных исследований определяется направление древнего геомагнитного поля и по направлению этого поля—относительное расположение вышеуказанных плоскостей.

По данной методике ранее прогнозировались направления разрушения пород в лабораторных условиях, установлена связь между осью образованных или активизированных вытянутых структур и направленностью древнего геомагнитного поля.

По этой же методике установлено, что на территории, охваченной землетрясением, должны быть два главных направления трещинообразования и разрывов. Азимут первого направления  $90\text{—}120^\circ$ , а наклонение  $48\text{—}54^\circ$  СВ или  $42\text{—}36^\circ$  ЮЗ. Азимут второго направления  $0\text{—}30^\circ$  с наклонением  $90^\circ$ . Сравнение этих данных с инструментально наблюдаемыми показывает хорошее согласие с первым расчетным направлением. Выдвигается предположение, что на рассматриваемой территории должны быть разрывы или системы трещиноватости и по второму расчетному направлению, т. е. с азимутом  $0\text{—}30^\circ$  и наклонением  $90^\circ$ .

Одной из основных петрофизических характеристик горных пород является направление их разрушения при воздействии механических сил. Определение или прогнозирование направления возникновения новых магистральных основных или главных трещин имеет важное практическое значение при микросейсморайонировании городов в сейсмоактивных районах (особенно в районах массовой застройки промышленных и жилых объектов), для повышения эффективности применяемых на практике методов разработки месторождений полезных ископаемых, при проектировании и строительстве гидротехнических сооружений и т. д.

До настоящего времени предполагается, что направление разрушения в основном произвольное или совпадает с направлением воздействия силы. В случае наличия в породе дефектов в виде трещин разрушение идет параллельно плоскости трещиноватости, если направление воздействия силы близко или совпадает с плоскостью трещиноватости. Более сложная картина разрушений наблюдается при наличии в породах нескольких систем трещиноватости, тем более, если направление каждой системы составляет угол по отношению к направлению действующей силы более  $45^\circ$ .

Таким образом, прогноз направления разрушения пород фактически сводится к определению направления (плоскости) трещиноватости и направления этой плоскости относительно действующих механических сил.

Согласно пространственно-направленной палеомагнитной анизотропии пород [1, 2, 3, 4] в последних, кроме гравитационной (горизонтальной) слоистости, имеются слои, взаимное расположение которых определяется направлением древнего геомагнитного поля места и времени формирования породы. Здесь термин «слоистость» не является синонимом термина, обозначающего сложение пород из масс, различающихся по составу [9]. Условно под «слоистостью» мы подразумеваем расположение частиц определенного состава (распределение напряжений, деформаций и т. д.) по определенным направлениям. Эта «слоистость» не имеет визуальной поверхности раздела по параллельным направлениям, как например, при текстурной слоистости или при напластовании.

При наличии в породе нескольких пересекающихся систем трещи-

поватости район их пересечения в интервале острых углов вследствие своей жесткости является концентратором напряжений и энергетически выгодным местом для развития неупругих деформаций и образования разрывов [6]. При этом величины этих напряжений зависят от числа пересекающихся систем трещиноватости « $n$ », их интенсивности  $K_{гр,i}$  и значений углов между ними ( $j_1 - j_2 = \Delta j$ ). Параметр, характеризующий возможность концентрации напряжений в направлении  $\varphi$  и  $D_{пр}$  (параметр накопления напряжений) определяется уравнением [5].

$$L = \frac{A}{\left| -(n-1) + \sum_{i=1}^n (1 + Aa_i^2)^{1/2} \right| - 1} \quad (1)$$

где

$$A = \beta_{гр, \max} / (\beta_{тв} + \beta_{гр} K_{гр}); \quad (2)$$

$$a_i = \cos \gamma_i \cos \beta \operatorname{str} j_i \operatorname{str} (D_{гр} - D_i) - \sin \beta \cos i_i \cos \gamma_i + \cos \varphi \cos \gamma_i \cos (D_{пр} - D_i);$$

$\beta_{тв}$ ,  $\beta_{гр}$  — сжимаемость соответственно гранулярных пор и твердой фазы породы;  $\beta_{гр, \max}$  — максимальная сжимаемость трещины по направлению, перпендикулярному к плоскости трещины. Углы  $\gamma_i$ ,  $\varphi$  и  $j_i$  отсчитываются относительно горизонтальной плоскости, а  $D_{пр}$  и  $D_i$  — относительно современного магнитного меридиана.

Наличие в породах нескольких систем трещиноватости создает условия для их энергетического взаимодействия как в зоне пересечений, так и в пространстве, заключенном между этими системами. При значительной разности интенсивности объемной или линейной трещиноватости рассматриваемых систем, зона разрушений больше будет примыкать к системе с большей интенсивностью трещиноватости [6].

При переходе от палеомагнитных направлений к истинным направлениям в природе необходимо кроме учета направления действия механических сил также учитывать положение пласта в пространстве, т. е. тектоническое положение пласта и направления палеомагнитных слоев в древней системе координат. На рис. 1 приведена схема расположения палеомагнитных слоев в пласте до (а) и после (б) образования структуры.

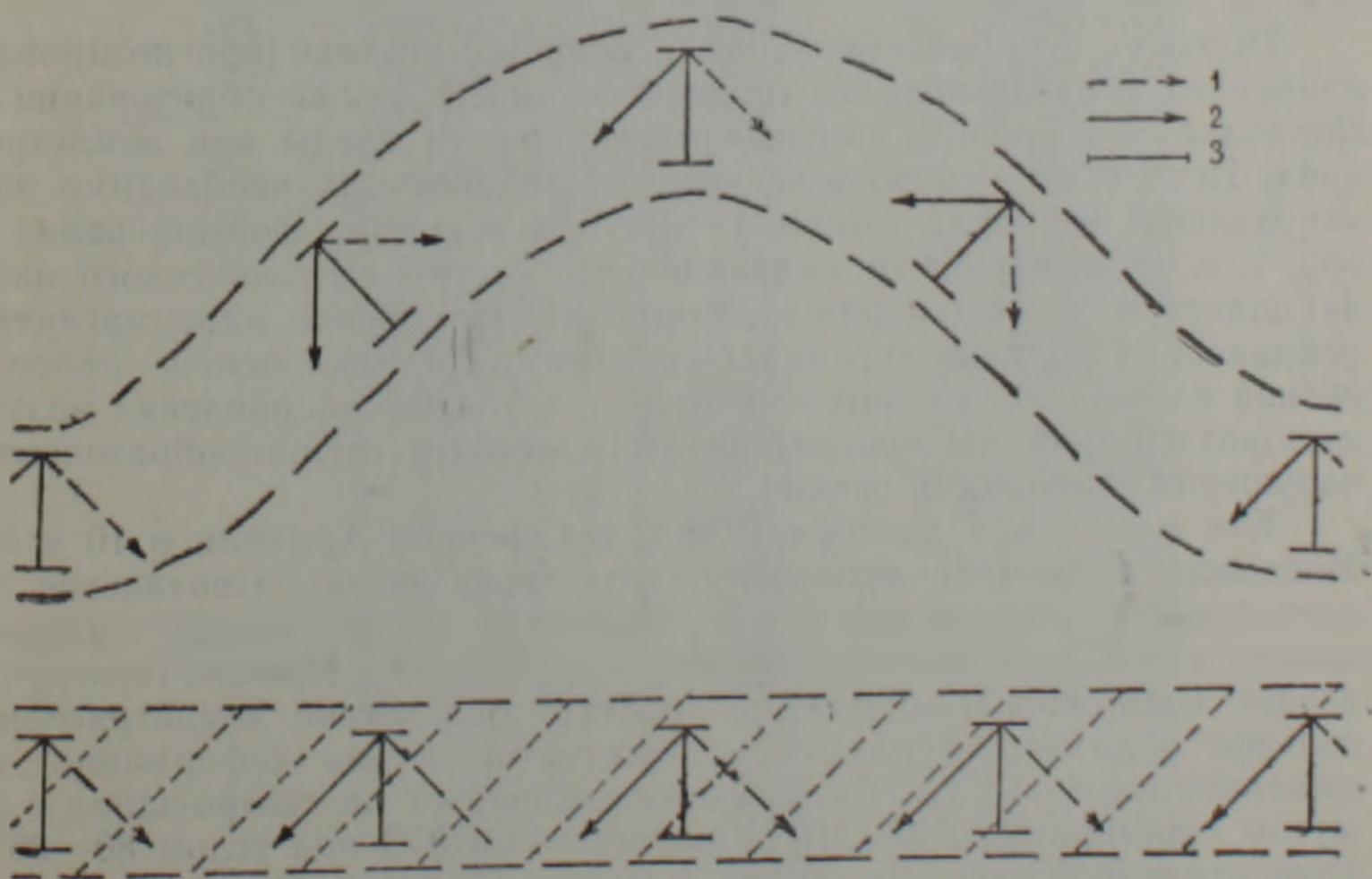


Рис. 1. Положение магнитных слоев I вида и гравимагнитных слоев до и после образования геологической структуры (складки)  
а — до образования структуры; б — после образования. 1 — магнитные слои I вида; 2 — гравимагнитные слои; 3 — направление, перпендикулярное плоскости напластования.

Если до образования структуры гравимагнитные слои направлены под углом  $j$  относительно вертикальной оси  $z$ , то после формирования антиклинальной или синклинальной структуры или складки направления гравимагнитных слоев на разных крыльях складки будут иметь разные значения, равные  $j \pm \alpha$ , где  $\alpha$  — угол падения складки.

В частности, если  $j = 45^\circ$  и  $\alpha = 45^\circ$ , то на одном крыле гравимагнитные слои будут направлены горизонтально, а на противоположном — вертикально. Эта особенность имеет важное значение не только при анализе процессов трещинообразования, но и при анализе условий движения гидротермальных растворов и рудообразовательных процессов по системам трещин, развитым параллельно направлениям палеомагнитной слоистости, в случае изучения условий миграции нефти и газа в пределах нефтегазоносных структур, при эксплуатации месторождений, расположенных на разных крыльях структуры, при определении проницаемости и нефтеотдачи пласта и т. д. Эти вопросы имеют важное практическое значение и должны быть предметом особого рассмотрения. В данной статье мы ограничиваемся только указанием необходимости анализа этих процессов с позиции палеомагнитной слоистости.

Рассмотренные концепции о наличии в породе палеомагнитной слоистости и концентрации напряжений в районах острых углов при нескольких системах трещиноватости были положены в основу прогнозирования направления разрушения пород в лабораторных условиях в случае внедрения цилиндрического штампа [1]. Отклонение направления разрушения от теоретически рассчитанного не превышало  $\pm 15^\circ$  в 42 случаях из 52, т. е. составляло 80%. Лишь для 6 образцов это отклонение достигало  $30-40^\circ$ .

С позиции направленного изгибания пластов с палеомагнитной слоистостью были изучены соотношения между осью образованных или активизированных вытянутых структур и направленностью геомагнитного поля данного времени на территории Армянской ССР [3]. Угол между этими направлениями в 14 случаях из 17 соответствует теоретически рассчитанному. Отклонение не превышало  $\pm 9^\circ$ . В трех случаях отклонение составляло  $30^\circ$ . Аналогичные исследования для территории Азербайджанской ССР показали, что в 6 случаях из 8 это отклонение не превышает  $\pm 2^\circ$ . В двух случаях различие достигало  $30^\circ$  [5].

Положим эти же концепции в основу методики прогнозирования направления возникновения трещиноватости, а также образования магистральных трещин и нарушения сплошности среды при землетрясениях. Исходя из вышеизложенного, в этих случаях необходимо знать направление геомагнитного поля места и времени формирования пород, т. е. палеомагнитное направление с учетом тектонического наклона пласта в древней системе координат. На основе палеомагнитного направления должны определяться азимуты и наклоны палеомагнитной слоистости, их интенсивность, и с учетом направления возможного воздействия сил прогнозировать плоскости трещинообразования и нарушения сплошности среды.

Как известно, 7 декабря 1988 г. в Северной Армении в 10 ч 40 м Московского времени произошло катастрофическое Спитакское землетрясение с магнитудой  $M=7$ . Эпицентр землетрясения находился между гор. Спитак и г. Гехасар, на левом берегу р. Памбак (северо-восточное подножье Памбакского хребта). Вследствие землетрясения в рельефе образовался разлом (сеймотектоническая деформация), протяженностью 8—10 км. Разлом прослеживается на северо-запад с азимутом простирания  $300-310^\circ$  с падением на ЮЗ под углом  $80-85^\circ$  (в эпицентральной зоне) до  $60^\circ$  на флангах. На поверхности разлом сбросо-сдвигового типа с амплитудой вертикального перемещения до 1,5 м в эпицентре (рис. 2), которая на флангах уменьшается до 50—30 см. Амплитуда горизонтального смещения оценивается до 1,0 м в районе

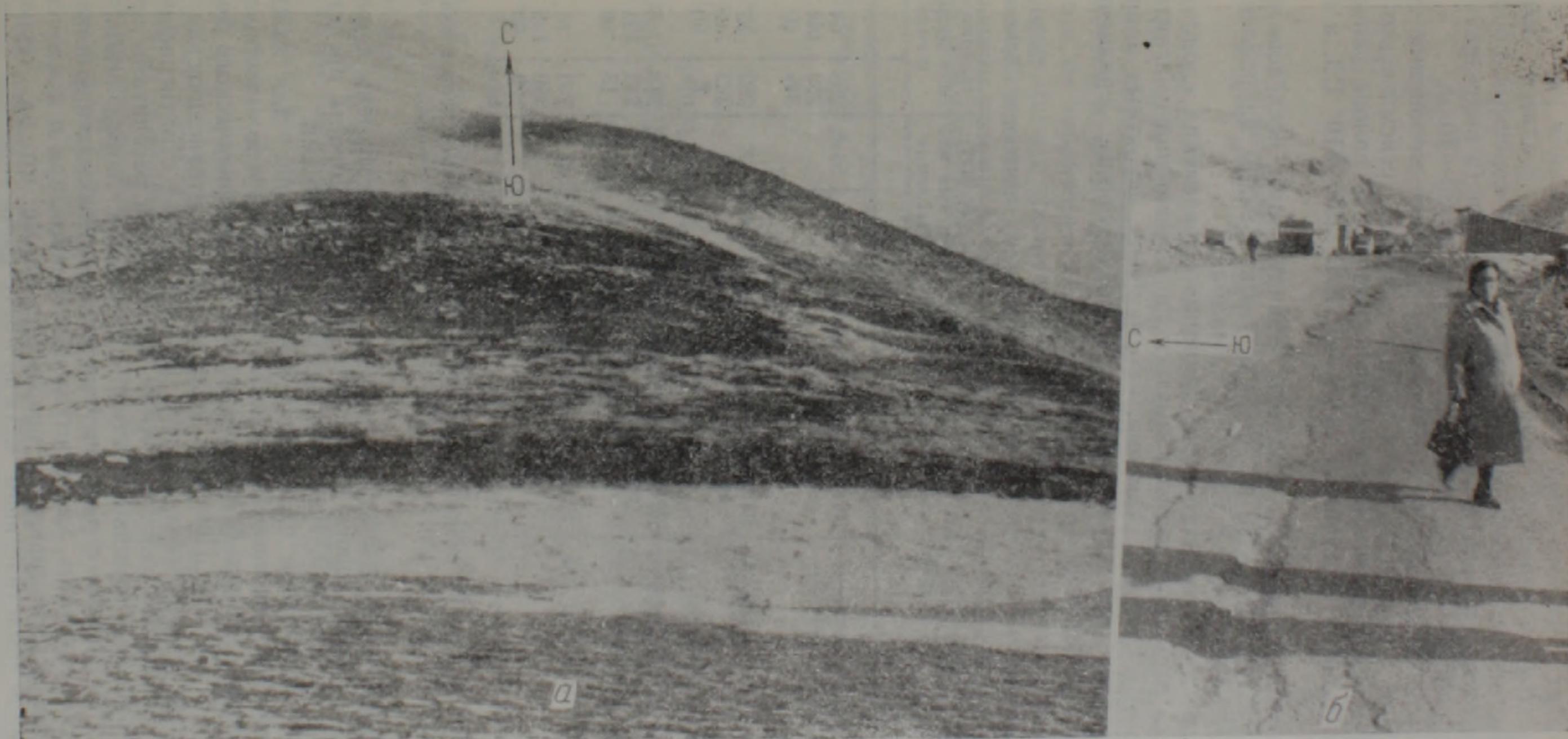


Рис. 2. а) Разлом сбросо-сдвигового типа (сеймотектоническая дислокация) образованный в эпицентре Спитакского 10-балльного землетрясения 7.12. 1988 года.  
б) Трещины на дороге Спитак-Налбанд после землетрясения. Азимут простирания  $110^{\circ}$  ЮВ— $290^{\circ}$  СЗ.

ж. д. станции Налбанд и несколько десятков сантиметров к ЮЗ и СЗ от эпицентра. Судя по расположению афтершоков, на глубине сбросо-сдвиг переходит в взбросо-сдвиг. Эпицентр землетрясения расположен в гидротермально измененных туфогенных породах среднего эоцена [6]. Параллельно основному сейсмическому шву в коренных породах в почвенном слое образовалась зона трещиноватости (в виде зияющих трещин шириной 25—30 см) общей мощностью до 30—40 м.

По мнению американских сейсмологов (устное сообщение д-ра Симонса и д-ра Роджерса), при обработке данных сейсмических исследований азимут простирания основного разрыва в районе эпицентра (Спитак-Налбанд) составляет 110—130° ЮВ, 290—310° СЗ, а наклонение 45° СВ.

Аналогичные результаты получены французскими исследователями (ИФЗ г. Страсбург). По их данным, также разлом направлен по линии З-СЗ-Ю-ЮВ между г. Спитак и с. Налбанд.

На основе предложенного нами принципа определения слоистости пород оценим расчетным путем азимуты и наклонения палеомагнитных слоев для пород Северной Армении, как наиболее вероятных направлений разрушения при землетрясениях, с последующим сравнением этих данных с практически наблюдаемыми.

Таблица 1

Палеомагнитные направления стратиграфических единиц по территории Армении:

№№ п п	Индексы данных из сводного каталога, использованные для расчета	Возраст	Объект исследования	палеомагнитные направления		направления разрушения	
1	01031—01045 02045—02047	четвер- тичные	лава, туфы, осажжен- ные осадки	349	53.8	259	54 СВ
						259	144 ЮВ
						349	90
2	03018—03034	палеоген	песчаники, туфы, анде- зиты	2.4°	52°	282	52° СВ
						282	142° ЮЗ
						Z	90°
3	04039—04048	м е л	эффузивные осадочные порфириты	13.3	48.9	233	4° СВ
						283	139 ЮЗ
						13	90
4	05021—05041	ю р а	порфириты, туфопесча- ники	20.8	47.8	290	48 СВ
						290	138 ЮЗ
						20	90°

Здесь приведены индексы по сводному каталогу I «Палеомагнитные направления...» [8].

Как отмечалось, в районе землетрясения распространены породы четвертичного, палеогенового и мелового возраста. Породы представлены туфами, андезитами, туфопесчаниками, известняками.

В табл. 1 приведены палеомагнитные направления для каждой стратиграфической единицы. Эти данные рассчитаны по материалам Мирового центра данных Б Межведомственного геофизического комитета при АН СССР [8]. При этом была проведена статистическая обработка данных по методике Фишера [10] на уровне стратиграфических единиц. На основе палеомагнитных направлений рассчитаны прогнозные направления трещиноватости и разрушения пород (табл. 1). Сравнение этих данных с результатами полевых наблюдений показывает хорошую сходимость, как азимута простирания, так и наклонения плоскости сброса. Это сравнение показывает также, что на территории, охваченной землетрясением, должно иметь место еще одно направление разрывов с азимутом (350—30°) — (170—210°). Угол падения должен быть близким к 90°.



սիս-արևելք  $48-54^\circ$ , կամ հարավ-արևմուտք՝  $36-42^\circ$ , երկրորդ ուղղության ազիմուտը  $0-30^\circ$  է,  $90^\circ$ -անոց անկմամբ: Այդ տվյալների համադրումը գործիքային դիտարկումների հետ ցույց է տալիս նրանց լավ համապատասխանությունը առաջին հաշվարկային ուղղության հետ: Ենթադրություն է արվում, որ դիտարկվող տարածքում պետք է գոյություն ունենա նաև խզումների կամ ճեղքերի համակարգեր երկրորդ հաշվարկային ուղղությամբ, այսինքն՝  $0-30^\circ$  ազիմուտով և  $90^\circ$  անկմամբ:

H. M. AVCHIAN, G. P. SIMONIAN

ON POSSIBLE (PROGNOSTIC) DIRECTIONS OF THE ROCKS FRACTURING AND DESTRUCTION (THE ARMENIAN SSR, SPITAK EARTHQUAKE, DECEMBER 7, 1988, BEING AN EXAMPLE)

A b s t r a c t

From the position of the rocks paleomagnetic bedding direction, the Spitak earthquake fractures possible directions are calculated. It is shown, that the fracturing general directions coincide with the paleomagnetic planes, origin of which is stipulated by the paleomagnetic field and the place of the rocks formation. By means of the paleomagnetic investigations the direction of the ancient geomagnetic field is determined and, hence, the relative position of above mentioned planes is determined.

By these methods the rocks fracturing directions have been experimentally determined. The relation between newly formed or activated elongated structures axis and the ancient geomagnetic field direction is established.

By these methods it is also established, that there must be two general directions of fracturing. The first one has an azimuth  $90^\circ-120^\circ$  with a dip NE  $48^\circ-54^\circ$  or SW  $36^\circ-42^\circ$  and the second one has an azimuth  $0^\circ-30^\circ$  with a dip  $90^\circ$ . These data and the instrumentally observed ones are in a good accord with the first direction. It is supposed the presence of the second one in the earthquake region.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авчян Г. М., Маркосян Г. В. Прогноз направления разрушения пород—Изв АН АрмССР, Науки о Земле, 1987, № 1, с. 62—66
2. Авчян Г. М., Гентеман Л., Маркосян Г. В. Анизотропия скорости упругих волн в горных породах—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1988, № 3, с. 39—46
3. Авчян Г. М., Маркосян Г. Г., Назаретян С. Н. Связь между направлением геомагнитного поля и геоструктурами Армении в период их заложения.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1985, № 6, с. 49—54
4. Авчян Г. М., Маркосян Г. Г., Оганесян С. Р. Роль магнитного поля при осаждении частиц—ДАН АрмССР, т. 87, № 1, с. 79—84.
5. Авчян Г. М., Исмаил-Заде Т. А., Маркосян Г. Г., Назаретян С. Н. Соотношение направлений осей некоторых палеоструктур Азербайджана и геомагнитного поля периода их заложения.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, XL, № 4, 1987, с. 61—63
6. Авчян Г. М., Микаелян А. О. О конфигурации линейментов и связи ее с сейсмичностью (в печати)
7. Габриелян А. А., Саркисян О. А., Симонян Г. П. Сейсмотектоника Армянской ССР, Ер.: Изд. Ереванского университета, 1981, 284 с.
8. Материалы мирового центра данных. Палеомагнитные направления и положения палеомагнитных полюсов. Данные по СССР. Сводный каталог 1. Международный геофизический комитет при президиуме АН СССР, М., 1984, 94 с.
9. Петрографический словарь, М., Госгеолтехиздат, 1963, 447 с
10. Храмов Л. Н., Шолло Л. Е. Палеомагнетизм, Принципы, методы и геологические приложения палеомагнетологии, Л.: Недра, 1967, 252 с.

Б. К. КАРАПЕТЯН

## СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 7 ДЕКАБРЯ 1988 г. И НЕКОТОРЫЕ НЕОТЛОЖНЫЕ ЗАДАЧИ

Установлено специфическое воздействие Спитакского землетрясения, выразившееся в виде двух сильных толчков, превалировании вертикальной составляющей колебаний, сейсмического эффекта грунтов, взаимодействия между зданиями и их основаниями, появлении резонанса. Осуществлен анализ поведения зданий различных конструктивных решений, возведенных на территории г. Ленинакана. Даны предложения в части осуществления строительства в пострадавшей от землетрясения области. Указаны некоторые неотложные задачи, которые подлежат решению в ближайшее время.

Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 года является специфическим, с весьма существенными отличительными особенностями в сейсмическом проявлении.

Первая специфическая особенность этого землетрясения заключается в том, что оно произошло с двумя следующими один за другим толчками. Возможно, второй толчок являлся афтершоком, но это, в смысле его воздействия, не играет никакой роли. Интенсивности этих толчков отличались примерно в два раза, то есть на один балл. Это можно усмотреть из записи по составляющей В—З (составляющие С—Ю и вертикальная зашкалены), полученной на сейсмической станции «Ленинакан», а также из записей по трем составляющим, полученных на инженерно-сейсмометрической станции в г. Гукасяне. Интенсивность основного первого толчка Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года в г. Ленинакане определена в соответствии с MSK—64 [1] по записям приборов балльности—СБМ, установленных на станциях инженерно-сейсмометрической службы: по улице Калинина, где максимальное отклонение составило 10 мм, что является нижним пределом 9 баллов; по улице Спандаряна, дом 24, где максимальное отклонение составило 15 мм, что является верхним пределом для 9 баллов, и по улице Ленинградян, дом № 5 (во дворе ИГИС), где максимальное отклонение составило 18 мм, что является нижним пределом для 10 баллов (записи получены Л. А. Мхитарян).

Таким образом, если учесть, что кроме основного толчка интенсивностью 9—10 баллов в г. Ленинакане, фактически на здания и сооружения, рассчитанные на 7—8 баллов, воздействовал еще один толчок интенсивностью 8—9 баллов через 4 минуты и 20 секунд после начала первого, то можно представить состояние зданий и сооружений, когда они, уже доведенные до предельного состояния, были подвержены новому сильному воздействию, в результате чего полностью разрушались и обваливались. Повторное сейсмическое воздействие большой силы (намного больше расчетной) уже является пагубным для зданий и сооружений. Но это еще более усугубляется, если оно происходит через такое короткое время, какое имело место, когда здания и сооружения не успели прийти в новое, в некотором смысле, стабильное состояние. В Нормативах и правилах по строительству в сейсмических районах как у нас в СССР, так и за рубежом повторное воздействие землетрясения на здания и сооружения не учитывается. О необходимости учета повторности сейсмического воздействия мы указывали давно (примерно 20 лет тому назад). Некоторые исследования нами были проведены. В настоящее время систематические исследования в этом направлении уже второй год под нашим руководством проводятся в Ереванском политехническом институте.

Другой специфической особенностью, на которую следует обратить особое внимание, является то, что разрушения и различной степени повреждения в зданиях и сооружениях почти всех имеющихся

конструктивных решений носили примерно одинаковый характер, с некоторыми отклонениями. Они произошли вследствие потери вертикальной устойчивости зданий и сооружений в результате совместного воздействия больших величин вертикальной и горизонтальной составляющих сейсмической нагрузки. При этом вначале происходило разрушение одних элементов, возможно даже и не несущих, затем они вызвали разрушение других, уже несущих элементов, и в результате имело место полное обрушение на участке схваченном планом здания, в некоторых случаях с погружением в грунт на большую глубину. Такой характер разрушения возможен при существенной величине вертикальной составляющей, что может быть в случае близвертикального падения плоскости разрыва в очаге и большой протяженности очаговой области землетрясения, находящейся вблизи г. Ленинакана. О преобладании вертикальной составляющей также можно судить, исходя из анализа инструментальных данных, полученных с помощью маятниковых сейсмометров, установленных на станциях Инженерно-сейсмометрической службы г. Ленинакана и на сейсмической станции «Ереван». Это подтверждают и зашкаленные записи на сейсмической станции «Ленинакан» по вертикальной и наибольшей горизонтальной (С—Ю) составляющим. По данным американских сейсмологов, работающих в эпицентральной зоне землетрясения, на полученных 1-ми записях сильных афтершоков вертикальная и максимальная горизонтальная составляющие были примерно одинаковой величины, что является еще одним подтверждением нашего утверждения о большой величине вертикальной составляющей колебаний при этом землетрясении. В Нормативах и правилах по строительству в сейсмических районах как у нас в СССР, так и за рубежом в расчетах на сейсмические воздействия вертикальная составляющая в основном не учитывается, в частности в случае высоких железобетонных зданий.

При Спитакском землетрясении 7 декабря 1988 г. сильно сказались влияние грунтовых условий, особенно в г. Ленинакане, в результате чего произошло усиление воздействия землетрясения из-за «тройного сейсмического эффекта». Грунтовые условия в г. Ленинакане за последние годы сильно ухудшились, повысился уровень грунтовых вод. В связи с этим и произошло сильное нарастание колебаний. Свидетельством этому являются данные, приведенные в меморандуме Р. Борхердта [2], где он приводит записи афтершока от 31 декабря 1988 г. с магнитудой около 4,5 и полученное соотношение амплитуд спектров колебаний грунта для Ленинакана и Кета. При этом на периодах 1—2 с возрастание колебаний в Ленинакане доходит до 10—15 раз. Это возрастание и является первым, увеличивающим сейсмический эффект землетрясения грунтовым фактором, зависящим от свойств самого грунта. Вторым грунтовым фактором является совпадение периода колебаний грунта с собственным периодом колебаний возведенных на нем зданий и сооружений. Об этом говорят результаты проведенного японским ученым Г. Кобояши исследования колебаний в различных грунтовых условиях г. Ленинакана. В частности, им получено, что на участке, где были возведены разрушенные при землетрясении 9-этажные каркасно-панельные здания, имеющие период основного тона свободных колебаний 0,5—0,6 с, период колебаний грунта находился в тех же пределах 0,5—0,6 с, а на участке, где были возведены разрушенные при землетрясении 4—5-этажные каменные здания с периодом основного тона свободных колебаний 0,25...0,35 с, период колебаний грунта был в том же диапазоне 0,25...0,35 с, то есть в обоих случаях имело место явление резонанса, которое существенно способствовало разрушению этих зданий. В связи с этим следует отметить, что такие же здания указанных двух конструктивных решений были возведены также и в г. Кировакане, находившемся даже ближе к эпицентру землетрясения, но там они не разрушились. Наконец, третьим фак-

тором, связанным с грунтами, является взаимодействие между зданием или сооружением и его грунтовым основанием. Следует отметить, что в случае слабых грунтов и гибких сооружений сейсмический эффект вследствие взаимодействия усиливается, что и имело место в случае указанных двух видов зданий.

Таким образом, в г. Ленинкане из-за плохих грунтовых условий, вследствие «тройного сейсмического эффекта» имело место весьма существенное усиление колебаний зданий и сооружений, воспринявших и без того колебания, намного превышающие их расчетную сейсмичность.

При этом землетрясении, конечно, определенную роль сыграло и качество строительства, которое является одним из основных принципов строительства вообще и в сейсмических районах в особенности. Оно, как известно, складывается из качества выпускаемой строительной продукции и строительно-монтажных работ при сборном строительстве, качества возведения при монолитном строительстве, а также качества выполнения антисейсмических мероприятий. С качеством строительства у нас в СССР дело обстоит плохо. Это касается всех районов и особенно сейсмических районов, к которым должны предъявляться более жесткие требования. В связи с этим является крайней необходимостью разработка новых подходов в управлении качеством строительства в сейсмических районах.

Таким образом, качество является одним из важных принципов строительства в сейсмических районах. Другими не менее важными принципами сейсмостойкости являются правильный выбор площадки строительства; снижение величин сейсмических нагрузок, путем применения рациональных конструктивных решений зданий и сооружений, а также облегчения их веса; обеспечение равномерности сейсмических нагрузок, путем соблюдения условий симметрии и равномерного распределения жесткостей конструкций и их масс; создание монолитности и однородности конструкций; использование пластических свойств материалов конструкций с обеспечением общей устойчивости зданий и сооружений.

Что касается Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года, то при этом землетрясении решающую роль, конечно, сыграли непредусмотренная большая его сила в 9—10 баллов, в несколько раз превышающая расчетную для возведенных зданий и сооружений (7—8 баллов), и их повторность в виде двух сильных толчков и большой величины вертикальная составляющая колебаний, которые не отражены в Нормах и правилах по строительству в сейсмических районах и, следовательно, не были учтены при расчете зданий и сооружений, возведенных на пострадавшей от землетрясения территории.

Переходя к анализу поведения зданий и сооружений, имеющих различные конструктивные решения, следует отметить, что каменные здания, особенно малоэтажные, в ряде случаев вели себя лучше. Однако обвалы, разрушения и повреждения были также в каменных зданиях. В зданиях в 4—5 этажей они происходили примерно по указанной нами схеме, несмотря на то, что в них были применены антисейсмические мероприятия, а в расчетах вертикальная составляющая сейсмического воздействия учитывалась более, чем в достаточной мере. Однако при землетрясении сейсмическое воздействие (горизонтальная и вертикальная составляющие колебаний) оказалось выше расчетной на 2 и более балла. В каменных зданиях в 1—3 этажа как с антисейсмическими мероприятиями, так и без них, повреждений и разрушений было относительно меньше из-за их большой жесткости, в результате чего в ряде случаев хотя они и отрывались от основания, однако в них возникали различной степени повреждения и разрушения, но не обвалы. Помимо этого, горизонтальные нагрузки на эти здания, исходя из инструментальных данных, полученных в г. Ленинкане, были существенно меньше, чем на здания в 4—5 этажей. Помимо этого каменные здания, как и каркасные, каркасно-панельные и возведенные ме-

тодом подъема перекрытий здания вели себя лучше в случае их малых размеров в плане, то есть при «точечном» решении, из-за их большей жесткости в вертикальном направлении, и вследствие этого лучшего восприятия вертикальной нагрузки при землетрясении. Что касается крупнопанельных зданий, то они при землетрясении повели себя намного лучше. Это объясняется тем, что они, во-первых, были намного жестче и, во-вторых, имея ячеистую структуру в плане, лучше восприняли большой величины вертикальную нагрузку.

Обобщая изложенное, необходимо отметить, что в наших Нормам и правилах по строительству в сейсмических районах, как и за рубежом, не учтены указанные нами весьма важные обстоятельства, которые и привели к таким трагическим последствиям. Их обязательно следует учесть при проектировании и строительстве новых зданий и сооружений в районах, пострадавших от Спитякского землетрясения 7 декабря 1988 года, а также при составлении новых Норм и правил строительства в сейсмических районах в дальнейшем.

Перейдем к некоторым неотложным задачам, которые должны быть решены в самое ближайшее время.

Еще в июне 1980 года А. Г. Назаров обратился к Председателю Совета Министров Армянской ССР с предложением создать Правительственную комиссию по прогнозу землетрясений и защите населения от последствий сильных землетрясений.

На основании полученного согласия Председателя СМ Армянской ССР, по предложению А. Г. Назарова, руководство АН Армянской ССР поручило мне подготовить проект Постановления и программу намечаемых при этом работ. Подготовленные мною материалы в начале 1981 г. были переданы в Отдел науки Совета Министров Армянской ССР.

Предлагалось принять Постановление ЦК КП Армении и СМ Армянской ССР о создании постоянно действующей Правительственной комиссии по прогнозу землетрясений и защите населения от последствий сильных землетрясений под председательством Председателя СМ Армянской ССР, включающей в свой состав представителей около 20 организаций республики, связанных с этой проблемой. Перед Комиссией ставилась задача—регулировать и контролировать текущую работу этих организаций, ответственных за выполнение указанной проблемы. Правительственной комиссии должен был подчиняться Научно-координационный комитет по проблеме «Прогноз землетрясений и защита населения от последствий сильных землетрясений», который периодически, не реже одного раза в квартал, должен был рассматривать научные, научно-организационные и технические вопросы по проблеме и при необходимости выносить на заседание Правительственной комиссии.

В проекте Постановления указывалось, что несмотря на то, что в республике проделана определенная работа по прогнозированию землетрясений и сейсмостойкому строительству, однако имеется существенное отставание в работах по выявлению предвестников землетрясений, сильно затрудняющих решение проблемы прогнозирования землетрясений, пока еще нет полной уверенности в сейсмостойкости возводимых и существующих зданий и сооружений, не разработаны мероприятия по защите населения в случае разрушительного землетрясения.

С целью решения этих и ряда других задач к проекту Постановления была приложена разработанная нами программа работ, включающая следующие пять разделов:

1. Прогнозирование землетрясений.
2. Обеспечение сейсмостойкости зданий и сооружений.
3. Разработка мероприятий по защите населения от сильных землетрясений.
4. Организация спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ.

## 5. Ликвидация последствий разрушительных землетрясений.

Указанное Постановление не было принято и приведенные в нем задачи, в основном, не были решены.

Необходимо хотя бы сейчас, уже после Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года, явившегося трагедией для многострадального армянского народа, снова вернуться к этому вопросу, с учетом уроков землетрясения и создать предложенную в свое время постоянно действующую Правительственную комиссию.

С целью создания реальных возможностей для прогнозирования землетрясений и получения достоверных инструментальных данных по инженерной сейсмологии, предлагается иметь общую сеть по регистрации землетрясений на территории Армянской ССР, состоящую из следующих 5-ти сетей: 1) сети сейсмологических наблюдений; 2) сети полигонных наблюдений; 3) сети инженерно-сейсмологических наблюдений на зданиях; 4) сети инженерно-сейсмологических наблюдений на гидротехнических сооружениях; 5) сети сильных движений.

1. Сеть сейсмологических наблюдений включает 16 сейсмологических станций, которые следует довести до уровня международных стандартов как в смысле помещений (зданий станций), так и, в особенности, оснащения современной аппаратурой с телеметрической регистрацией, по примеру имеющейся в Калифорнийском университете в г. Беркли сейсмологической сети, руководимой профессором Брусом Болтом.

2. Сеть полигонных наблюдений осуществляется на трех полигонах на территории Армянской ССР (сеймопрогностических полигонах), на которых должны осуществляться геофизические, сейсмологические, геохимические, инженерно-сейсмологические и другие исследования. Предлагается на каждом полигоне иметь 6 станций наблюдений с радиотелеметрической регистрацией, выпускаемые американской фирмой «Кинеметрикс».

3. Сеть инженерно-сейсмологических наблюдений на территории Армянской ССР должна иметь станции в характерных зданиях и различных грунтовых условиях в количествах: в Ереване—10, в Ленинакане—10, в Кировакане—6, в Степанаване—5, в Дилижане—5 (всего 36 станций). Следует ввести коренные улучшения в работу этой сети, оснастить ее современной аппаратурой и обеспечить ее бесперебойную работу.

4. Сеть инженерно-сейсмометрических наблюдений на 20-и действующих крупных водохранилищах и гидротехнических сооружениях организуется с целью проведения постоянного изучения поведения этих сооружений и сейсмического режима их территорий при землетрясениях.

5. Сеть сильных движений должна дополняться имеющиеся в четырех указанных выше сетях аппаратуру для записи сильных землетрясений, путем организации на территории Армянской ССР 30 пунктов наблюдений, оснащенных маятниковыми сейсмометрами усовершенствованной конструкции. Следует к имеющимся в них 4-м, записывающим вертикальные колебания, маятникам добавить еще два маятника (конструктивно это возможно осуществить путем их установки по краям прибора, рядом с имеющимися). Учитывая существенную роль вертикальных колебаний не только для каменных зданий, но и для других зданий, особенно гибких (каркасных и каркасно-панельных), выявленную при Спитакском землетрясении 7 декабря 1988 г., предлагается иметь маятники для записи вертикальной составляющей колебаний следующих периодов: 0,05; 0,10; 0,25; 0,40; 0,60; 0,80 секунд.

В связи с тем, что, таким образом, на территории Армянской ССР необходимо будет установить 120 маятниковых сейсмометров, организовать в СОКТИ АН Армянской ССР разработку усовершенствованной конструкции сейсмометров и их выпуск.

Кроме указанного, в Институте геофизики и инженерной сейсмо-

логии АН Армянской ССР необходимо иметь группы передвижных комплексных геофизических, геохимических, сейсмологических и инженерно-сейсмологических станций для срочной регистрации сопутствующих сильному землетрясению серий повторных толчков непосредственно в эпицентральной зоне и проведения детальных наблюдений за динамикой сейсмоактивных разломов. Институту строительства и архитектуры Госстроя Армянской ССР необходимо иметь комплексные экспедиции для организации макросейсмических наблюдений на территории, пострадавшей от сильного, разрушительного землетрясения.

Очень большая работа должна проводиться в части разработки мероприятий по подготовке и защите населения при сильных землетрясениях. Недавно, после землетрясения, профессор Калифорнийского университета в г. Беркли (США) Армен Тер-Кюреgian передал АН Армянской ССР обширный материал по подготовке населения, предприятий и учреждений на случай сильного землетрясения в Калифорнии. Необходимо эти материалы использовать с целью разработки соответствующих мероприятий для условий Армянской ССР.

Ереванский политехнический институт

Поступила 12.V.1989.

Բ. Կ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ՍՊԻՏԱԿԻ 1988 թ. ԴԵԿՏԵՄԲԵՐԻ 7-Ի ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ՍԵՅՍՄԻԿ ՆԵՐԳՈՐԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՄԻ ՔԱՆԻ ԱՆՇԵՏԱԶԳԵԼԻ ԽՆԴԻՐՆԵՐ

#### Ա մ փ ո փ ու մ

Սպիտակի երկրաշարժը շատ կարևոր է իր սեյսմիկ ազդեցությամբ և առանձնահատկություններով: Նախ, երկրաշարժը տևողի է ունեցել իրար հաջորդած երկու հզոր ցնցումներով, որոնց ինտենսիվության տարբերությունը գրեթե մեկ բալ է կազմել: Երկրորդ, Հենինականում գրեթե բոլոր տեսակների կառուցվածքային լուծումներ ունեցող շենքերի ու կառույցների ավերումները և տարբեր աստիճանի վնասվածքները մոտավորապես միատեսակ բնույթ են կրում: Դրանց պատճառը ուղղաձիգ և հորիզոնական սեյսմիկ մեծ բեռնվածությունների հետևանքով կայունության կորուստն է: Ըստ որում, սկզբում վրնասվել են շինարարական որոշ, գուցե և ոչ կրող տարրեր, այնուհետև ավերվել են մյուս՝ արդեն կրող տարրերը, ինչի պատճառով էլ լիովին փլվել են ցնցումների ազդեցությանը ենթարկված շենքերը, մի շարք դեպքերում խրվելով գետնի մեջ:

Այս կարգի ավերումներ կարող են տևողի ունենալ սառսանումների ուղղաձիգ բաղադրիչի գերակշռության, ինչպես նաև երկրաշարժի օջախում խախտման հարթության ուղղաձիգին մոտ անկման և երկրաշարժի օջախի ձգվածության դեպքում:

Որակն ընդհանրապես շինարարության հիմնական սկզբունքներից է, իսկ երկրաշարժերի ենթակա շրջանների համար այն առանձնահատուկ նշանակություն ունի: Շինարարության որակը պայմանավորվում է թողարկվող շինարարական արտադրանքի և հավաքովի շինարարության ժամանակ կատարվող շինմոնտաժային աշխատանքների որակով, ինչպես նաև հակասեյսմիկ միջոցառումների կիրառման մակարդակով: Շինարարության որակը մեր երկրում, հարկավ, բարելավման կարիք է պահում: Սա վերաբերվում է բոլոր շրջաններին և, հարկ է կրկնել, հասկապես երկրաշարժերի ազդեցությանը ենթակա շրջաններին:

Ինչ վերաբերվում է ղեկավարների 7-ի երկրաշարժին, ապա պրանում վճռական դեր են խաղացել, իհարկե, 9—10 բալանոց աննախընթաց ուժի ներգոր-

ծությունը, որը մի քանի անգամ գերազանցում է շենքերի ու կառույցների համար հաշվարկածը, ինչպես նաև ցնցումների կրկնությունը և տատանումների ուղղաձիգ բաղադրիչների գերակշռությունը:

Հարց է ծագում, թե ինչու քարե շենքերը, հատկապես ցածրահարկերը, մի շարք դեպքերում շեն վնասվելու Փլուզումներ, ավերումներ և վնասվածքներ են տեղի ունեցել նաև քարե շենքերում: 4—5 հարկանի շենքերում դրանք տեղի են ունեցել մոտավորապես վերը նշված սիեմայով, շնայած ունեցել են հակասեյսմիկ սլաշտսյանություն, իսկ տատանումների ուղղաձիգ բաղադրիչը հաշվարկված է եղել հաշվարկային ուժի երկրաշարժի համար, այսինքն՝ հաշվի է առնվել տատանումների հորիզոնական և ուղղաձիգ բաղադրիչների համատեղ ներգործությունը: Բայց տեղի ունեցած երկրաշարժը հաշվարկայինից 2—5 անգամ ավելի ուժեղ էր: 1—3 հարկանի քարե շենքերում (ինչպես հակասեյսմիկ սլաշտսյանությամբ, այնպես էլ դրա բացակայությամբ) վնասվածքներն ու ավերումները համեմատաբար քիչ են եղել՝ շենքերի կոշտության շնորհիվ: Մի շարք դեպքերում շենքերը պոկվել են իրենց հիմքերից և որոշ շտիփով վնասվել ու ավերվելու Դրանից բացի, 4—5 հարկանի շենքերի համեմատությամբ, ավելի ցածրահարկերի վրա ընկնող հորիզոնական բեռնվածությունները էապես նվազ են եղել, ինչի մասին են վկայում ստացված գործիքային տվյալները:

Ընդհանրացնելով վերը շարադրվածը հարկ է նշել, որ ինչպես մեր երկրում, այնպես էլ արտասահմանում գործող նորմերը հաշվի չեն առնում նրշված կարևոր հանգամանքները, որոնք էլ հանգեցրել են նման ողբերգական հետևանքների: Աղետյալ շրջաններում նոր շենքեր նախադժելիս ու կառուցելիս, ինչպես նաև հետագայում երկրաշարժերի ենթակա շրջաններում շինարարության նոր նորմեր ու կանոններ սահմանելիս, հարկավոր է պարտադիր կարգով հաշվի առնել դրանք:

Առաջարկվում է հանրապետությունում կազմակերպել ժամանակակից գործիքներով և սարքավորումներով համալրված սեյսմիկ կայանների մի ցանց, ստեղծել երկրաֆիզիկական, երկրաբիմիական, երկրաշարժաբանական և ինժեներա-երկրաշարժաբանական համալիր շարժական կայաններ, ինչպես նաև համալիր արշավախմբեր՝ մակրոսեյսմիկ դիտարկումներ կազմակերպելու համար:

B. K. KARAPETIAN

## THE SPITAK EARTHQUAKE, DECEMBER 7, 1989. SEISMIC INFLUENCE AND SOME URGENT PROBLEMS

### Abstract

The Spitak earthquake specific influence is established, expressed by followings: two strong shocks, the prevalence of the vibrations vertical component, the grounds seismic effect, the interaction between buildings and their bases, the resonance appearance. The behaviour of erected in the Leninakan territory buildings of various structural treatments is analysed. Some proposals are made for building in the region suffered from the earthquake. There are raised some urgent problems, which must be solved in the near future.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шкала сейсмической интенсивности М.: 1965, 11 с.
2. Borchardt R. Requested Summary of Highlights and Activities of Seismological Studies in Armenia. — Memorandum, Menlo Park, 1989, 9 p.

Т. О. БАБАЯН

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ  
ПОСЛЕДСТВИЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 7 ДЕКАБРЯ 1988 г.  
НА ТЕРРИТОРИИ ГОР. ЛЕНИНАКАНА

Землетрясение 7 декабря 1988 года выявило множество закономерностей и особенностей, недостатки в некоторых инструкциях, изменило наши представления о некоторых проявлениях. Исследование и учет их необходимы во избежание трагических последствий разрушительных землетрясений на территории города, находящегося в зоне высокой сейсмоопасности.

Насколько детально бы не были изучены последствия землетрясения 1926 года, вполне ясно, что исследование последствий землетрясения седьмого декабря должно быть выполнено на новом научно-техническом уровне.

В настоящей статье нами сделана попытка обобщить результаты наших исследований и наблюдений на данном этапе их изучения с учетом вышеотмеченных замечаний.

Шкала MSK—64 не всегда дает возможность определить достаточно объективную величину балльности. Приведем несколько замечаний по этому поводу.

В небольших населенных пунктах обычно не проводятся инженерно-геологические изыскания, и при их макросейсмическом обследовании часто учитываются только видимые повреждения зданий и сооружений, без учета грунтов, на которых фундаменты они. Но ведь, например, если населенный пункт расположен на скалах достаточной мощности, то ясно, что исходный балл (на исходных грунтах) будет на один порядок больше, чем здесь визуально определен по повреждениям.

На территории города Ленинакана в большей степени пострадали пяти- и более этажные здания, возведенные в основном с антисейсмическими мероприятиями и не классифицированные в MSK—64, поэтому определить балльность по шкале очень трудно [4]. Этот недостаток шкалы MSK—64 должен быть восполнен, т. к. мы имеем множество примеров (в данном случае, Газли и т. д.), когда в сейсмически менее активной зоне возникают землетрясения сильнее, разрушительнее, между тем, здесь уже были построены здания и сооружения с меньшей сейсмостойкостью. Следовательно, в шкалу сейсмической интенсивности необходимо включить и отмеченные типы зданий и сооружений, возведенные с антисейсмическими мероприятиями.

Шкала не дает возможности определить степень повреждения зданий в зависимости от сочетания параметров этих зданий и колебаний грунтов от землетрясения. Одной из вероятных причин сильных повреждений и разрушений сравнительно гибких зданий (рис. 1) и сооружений надо считать преобладание длиннопериодных волн от землетрясения в грунтах, почти совпадающих или близких с периодами колебаний этих зданий (эпицентральное расстояние около тридцати километров).

Между тем малоэтажные, сравнительно жесткие, даже не качественные дома, часто на том же грунте, рядом, пострадали меньше, что, конечно, в данном случае не должно привести к занижению балльности. Город Ленинакан находится в зоне Ахурянского тектонического нарушения, и близкие очаги, генерируя высокочастотные колебания, как это было в 1926 году, разрушают, на этот раз малоэтажные здания



Рис. 1. Все, что осталось от девятиэтажного здания.

В рекомендациях [3] основное внимание при исследовании сейсмических свойств грунтов уделяется верхней части геологического разреза, до глубины 20 метров. Землетрясение седьмого декабря показало, что для территории района города Лениакана такой подход далеко не соответствует истинной картине возможного проявления сейсмичности. Основную роль здесь сыграли мощные (до 350 м), высокопластичные озерные глины, которые не послужили демпфером, поглощающим сейсмические колебания, а наоборот, усилили интенсивность и увеличили продолжительность колебаний, как это видно, например, на рис. 2, где приведены акселерограммы (составляющие В—З) афтершока 31 декабря 1988 года, эпицентр которого находился на расстоянии около 13 км от с. Кети, расположенного на андезито-базальтах (рис. 2), и 15 км от гор. Лениакана.

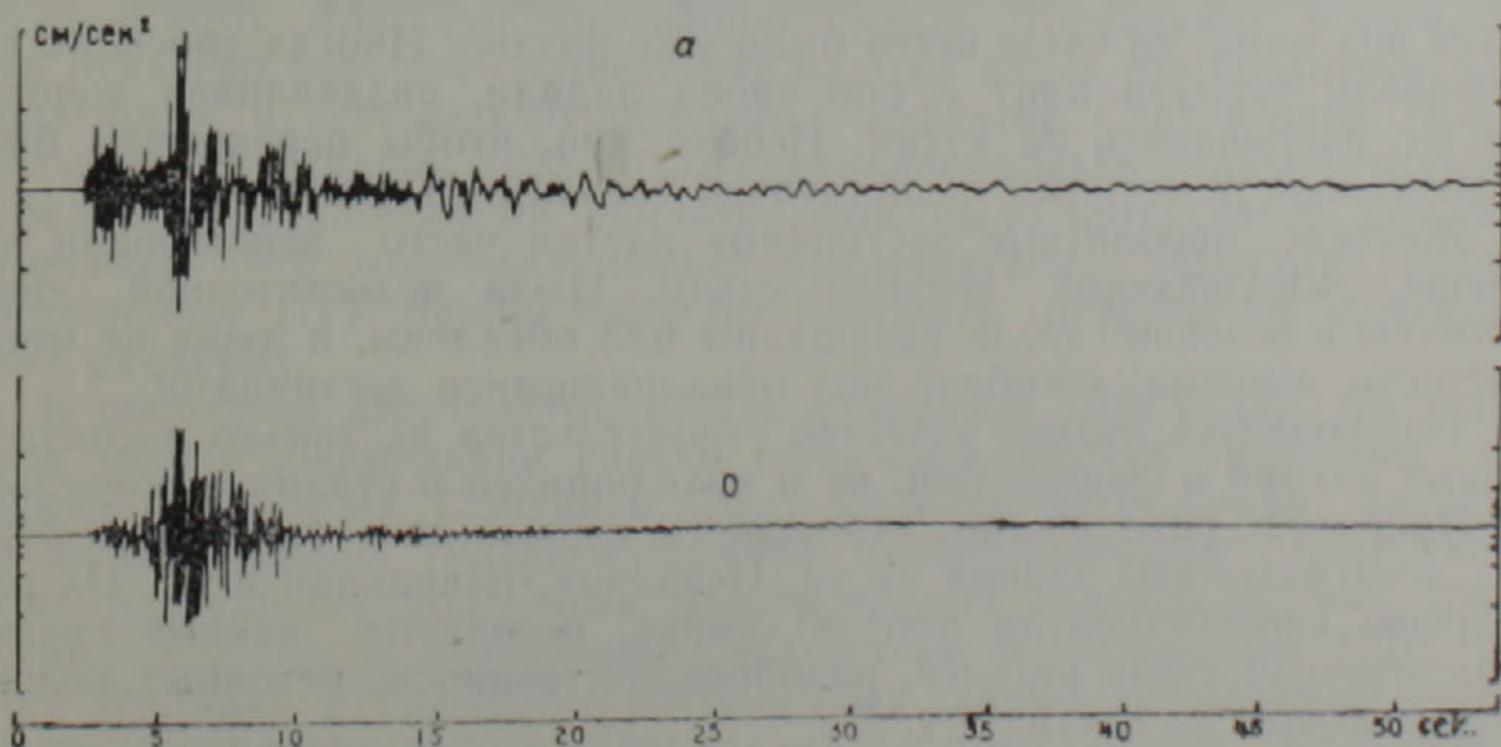


Рис. 2. Акселерограммы афтершока 31 декабря 1988 года: а) запись на северной части г. Лениакана, б) запись на андезито-базальтах.

Интересно, что даже на расстоянии около 200 км от эпицентра землетрясения 24 ноября 1976 года в районе озера Ван, в гор. Лениканане оно ощущалось с интенсивностью 5—6 баллов [2], причем также пострадали многоэтажные (особенно 10—12-этажные) здания.

Наряду с отмеченными необходимо учесть и другие, не менее важные, причины разрушений высотных зданий, одним из которых является их конструкция. Ведь полностью сохранились (повреждения первой степени) все девятиэтажные крупнопанельные (более жесткие) здания в микрорайоне Вардбах, когда железобетонные каркасно-панельные или полностью разрушились (пятая степень), или получили повреждения четвертой степени, хотя они все были фундаментированы на туфах (вследствие сравнительно благоприятных условий фундаментирования—туфы, здесь больше всего сохранились здания, получившие повреждения четвертой степени, по сравнению с другими районами города). В железобетонных каркасно-панельных зданиях железобетонные колонны, имеющие одинаковые размеры (45×45 см) поперечного сечения по всей высоте здания, при динамическом воздействии не смогли вынести нагрузку верхних этажей и или разрушились полностью, или остались верхние деформированные 3—4 этажа на куче полностью разрушенных нижних этажей, или же колонны первых этажей, деформируясь, как бы выпучивались наружу. Следовательно, необходимо исключить строительство определенного типа сейсмостойких зданий не оправдавших себя, а при включении в шкалу балльности зданий различной конструкции, имеющих необходимую сейсмостойкость, нужно выделить их как отдельные типы.

При проектировании зданий в сейсмических районах немаловажное значение имеет их форма. Здания, квадратные в плане, сравнительно лучше перенесли землетрясение, между тем протяженные, в частности девятиэтажные, если даже частично сохранились, то были разрушены их центральные или боковые части, или же были сильно деформированы и как бы остыли в определенной форме колебания.

При обследовании квартир, школ и детских садов, где выпали перегородки, пришли к выводу, что перегородочные плиты следует собирать через арматуру и закреплять, ведь не пострадали деревянные закрепленные перегородки в старых каменных зданиях.

Большое количество жертв осталось под обвалившимися тяжелыми бетонными плитами перекрытий, а деревянные перекрытия домов типа Б очень редко пострадали. Спасательные работы были сильно затруднены из-за тяжести этих массивных плит. Прибывшие с большим опозданием подъемные краны с грузом и огромной тратой времени поднимали эти плиты, чтобы спасти еще живых людей, оставшихся под ними, но чаще всего было уже поздно. Иногда тросы не выдерживали тяжести плит и они снова падали, раздавливая жертвы, или же рассыпались на куски. Необходимо, чтобы перекрытия были по возможности легкими и достаточно связаны со стенами.

Жесткие, монолитные лестничные клетки часто действовали как тараны, разрушающие несущие стены. Из-за недостаточной связи лестницы в основном были распатаны или обвалены, и люди не могли спастись, выбегая, погибали под обвалившимися лестницами.

Наблюдалось низкое качество строительства не только эксплуатируемых зданий и сооружений, но и находящихся в стадии строительства. Например, разрушились строящиеся первые два—три этажа будущих девятиэтажных зданий на ул. Исаякяна, Ширакани и др. Их разрушению способствовали плохая сварка, незалитые ваннные сварки, недостаточная связь ригелей, недоброкачество бетонных колонн, изготовленных на местах и т. д.

На территории мясокомбината, выделенной нами (на карте сейсмического микрорайонирования) как самый благоприятный участок, железобетонные каркасные, с большими пролетами и др. сооружения, це-

ха получили повреждения лишь первой второй степени. Между тем, подобные же сооружения на территории завода Строймаш (двухэтажное административное здание завода хорошо сохранилось), по всей вероятности, построенные на стыке зон, с различным инженерно-геологическим строением, характеризующихся различными параметрами колебаний, получили повреждения четвертой-пятой степени.



Рис. 3. Деформация здания центрального универсама, построенного в зоне исключаемой для строительства.

Неправильная планировка, расположение зданий сыграли свою отрицательную роль во многих случаях. Ведь центральный универсам, где погибли сотни людей (рис. 3), запрещалось строить на участке, исключаемом для строительства (водонасыщенные, рыхлые пески). Или же довольно качественное здание школы № 16, разрушилось из-за того, что оно было фундаментовано на различных грунтах (туфы и суглинисто-супесчаные). При соблюдении указаний и рекомендаций по сейсмическому микрорайонированию города Лениакана (специалистами отмечено хорошее соответствие на этой карте зон различной сейсмоопасности и сейсморазрушительных эффектов Спитакского землетрясения 7-го декабря 1988 года, изменилась только величина исходного балла, т. к. Спитакское землетрясение было интенсивнее, чем землетрясение 1926 года—сильнейшее землетрясение, пережитое прежде Лениаканом [1]), можно было бы избежать разрушений и жертв в таких размерах.

В последние десятилетия (после изысканий 1963 года) на территории города Лениакана сильно повысился уровень грунтовых вод (иногда на 5—6 м). Причиной этому служили интенсивная фильтрация из Ширканала, неупорядоченное, ненормированное орошение, а также разрушения подземных водопроводных галерей-лагунов (построенных задолго до революции), вследствие землетрясения 1926 года и при закладке фундаментов современных зданий. Необходимо учесть, что восстановление города Лениакана невозможно без восстановления отмеченной системы лагунов. Необходимо также дать прогнозную оценку сейсмических высокопористых глини и суглинков в сухом и влажном состоянии.

При проектировании новых зданий необходимо пересмотреть от-

меченные звездочкой зоны города (менее благоприятные при данной интенсивности) в сторону его повышения, (как предполагалось) учитывая и изменение величины исходного балла после землетрясения 7-го декабря 1988 года.

Все сказанное выше не может отрицать тот факт, что землетрясение 7-го декабря было разрушительным для города Ленинакана.

Сейсмическая волна по своему фронту распространения неоднородна как вследствие простиранния и неоднородности геолого-тектонических структур, направления от очага, границ преломления, отражения, сейсмических волн на своем пути, и угла их выхода, так и неоднородности и параметров собственных колебаний грунтов оснований и сооружений и т. д. Совокупность этих факторов приводила нередко к тому, что стоящие рядом, даже на одних и тех грунтово-гидрогеологических условиях доброкачественные сооружения разрушались, как, например, была разрушена церковь Аменапркич на Площади Майского восстания (рис. 4) (во время землетрясения 1926 года здесь появилась только одна трещина—армянские церкви разрушаются лишь при 10 и более баллах), а аварийное, некачественное сохранилось рядом, получив второй—третьей степени повреждения, или одно из совершенно однотипных сооружений, стоящих рядом, было разрушено, а другое—получило умеренные повреждения.



Рис. 4. Разрушенная 7-го декабря церковь Аменапркич, сохранившаяся после землетрясения 1926 года.

По нашим наблюдениям и рассказам очевидцев, здания были разрушены когда горизонтальным колебаниям последовали вертикальные сильные толчки. На кладбищах одетые и укрепленные на семисантиметровых вертикальных шпильках надгробные плиты вылетели из этих шпилек, упали, разбились. Имели место также сильные крутильные колебания, которые людей, упавших на землю, крутя волокли несколько метров, не давая подняться на ноги. Многочисленные наблюдения над фактами поворотов различных частей сооружений, надгробных плит и памятников еще раз подтверждают это. Подобные колебания почвы были характерны также для землетрясения 1926 года [1]. Все это говорит о том, что при любой жесткости, при любом конструктивном решении зданий необходимо учитывать не только горизонтальные, но и вертикальные и крутильные колебания.

### Выводы

1. Так как город Лениканан может подвергаться разрушительному воздействию и близких, и далеких очагов землетрясений, как это показывают факты, необходимо очень осторожно и обоснованно подойти к выбору типа и конструкции зданий, которые будут построены. Они должны выдержать и высокочастотные, и низкочастотные, и горизонтальные, и вертикальные и крутильные колебания. Необходимо особое внимание обратить на форму зданий, легкость и надежное укрепление перекрытий, лестничных клеток, перегородок.

2. Необходимо строго соблюдать указания и рекомендации по сейсмическому микрорайонированию, исключая из-под строительства неблагоприятные участки, в том числе и границы различных инженерно-геологических зон.

3. Проявление сейсмической интенсивности в грунтах, слагающих город Лениканан, обусловлено в основном не верхней 20-метровой частью инженерно-геологического разреза, а резонансными свойствами всего комплекса, представленного озерными, речными образованиями и туфами небольшой мощности.

Институт геофизики и  
инженерной сейсмологии  
АН АрмССР

Поступила 27.IV.1989.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бабаян Т. О. О зоне Ахурянского сейсмогенного тектонического нарушения. Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1984, № 5.
2. Результаты макросейсмического обследования зданий города Лениканана при Турецком землетрясении 24-го ноября 1976 г. Мат. Респ. конференции мол. геофизиков, посв. 60-летию Великого Октября. Лениканан, 1977.
3. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства. М., 1985.
4. Строительство в сейсмических районах СНиП П 7-81, М., 1982.

М. М. БАСЕНЦЯН, В. П. РУДАКОВ

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

## РАДОНОВЫЙ ПРЕДВЕСТНИК СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 7 ДЕКАБРЯ 1988 ГОДА.

Ранее [1, 2] нами обращалось внимание на особенности поведения поля подпочвенного радона в период подготовки сильных и слабых (местных) землетрясений на территории Армении и сопредельных территориях Грузии, Азербайджана, Турции и Ирана.

При подготовке сильных землетрясений эти особенности выражаются в изменении амплитуды сезонных составляющих поля подпочвенного радона (в ее уменьшении или увеличении до 20 и более процентов относительно среднего за период наблюдений значения) и отражают, в некотором роде, этап длительного изменения напряженно-деформированного состояния земной коры региона.

В период подготовки местных (слабых, но близких к станции) землетрясений наблюдается бухтообразное изменение радонового поля, сопровождающееся, как правило, увеличением дисперсии среднесуточных значений регистрируемой величины. Эти изменения радонового поля, как правило, наблюдаются от нескольких суток до нескольких часов до землетрясения.

На прогностическом полигоне Армении измерение вариаций поля подпочвенного радона ведется на станции Джермук с 1981 года, на станции Лениакан и Степанаван с 1986 года, на станции Жанфида с 1987 года.

Регистрация концентрации радиоактивной эманации осуществляется с помощью аппаратуры и в соответствии с методикой, разработанными на кафедре ядерно-радиометрических методов Московского геологоразведочного института им. Серго Орджоникидзе [3].

Основным методическим условием режимных эманационных измерений является необходимость регистрации вариаций поля подпочвенного радона в зоне влияния тектонических разломов, реагирующих на приливные деформации земной коры, поэтому наиболее благоприятным с этой точки зрения является положение станции Джермук, находящейся в зоне влияния мощного тектонического нарушения субмеридионального простирания, пересекающего всю территорию Армении с севера на юг.

Непосредственно перед Спитакским землетрясением (в день землетрясения) и после него работали станции в Лениакане и Джермуке. В Лениакане после землетрясения регистрация была возобновлена лишь через неделю.

На рис. 1, а и б приведены исходные кривые изменения среднесуточных значений концентрации подпочвенного радона среднее из 5—7 замеров в день в осенне-зимний период 1988/89 гг. и сейсмическая активность (рис. 1, в) за соответствующий промежуток времени. Приведены землетрясения с классом более 10.

Как следует из рисунка, землетрясение произошло на общем фоне увеличения концентраций радона, которое отражает соответствующий цикл роста напряженно-деформированного состояния пород горного массива, обусловленного сезонным изменением угловой скорости вращения Земли вследствие зональной циркуляции атмосферы [1].

Оперативный предвестник в поле подпочвенного радона на станциях Джермук и Лениакан проявился непосредственно в день землетрясения (в ночное время измерения на станциях не ведутся, в связи с чем отсутствует информация об изменении поля радона в ночные часы) и выразился на станции Джермук в резком увеличении концентрации радона (на 300 процентов относительно вариаций, наблюдае-

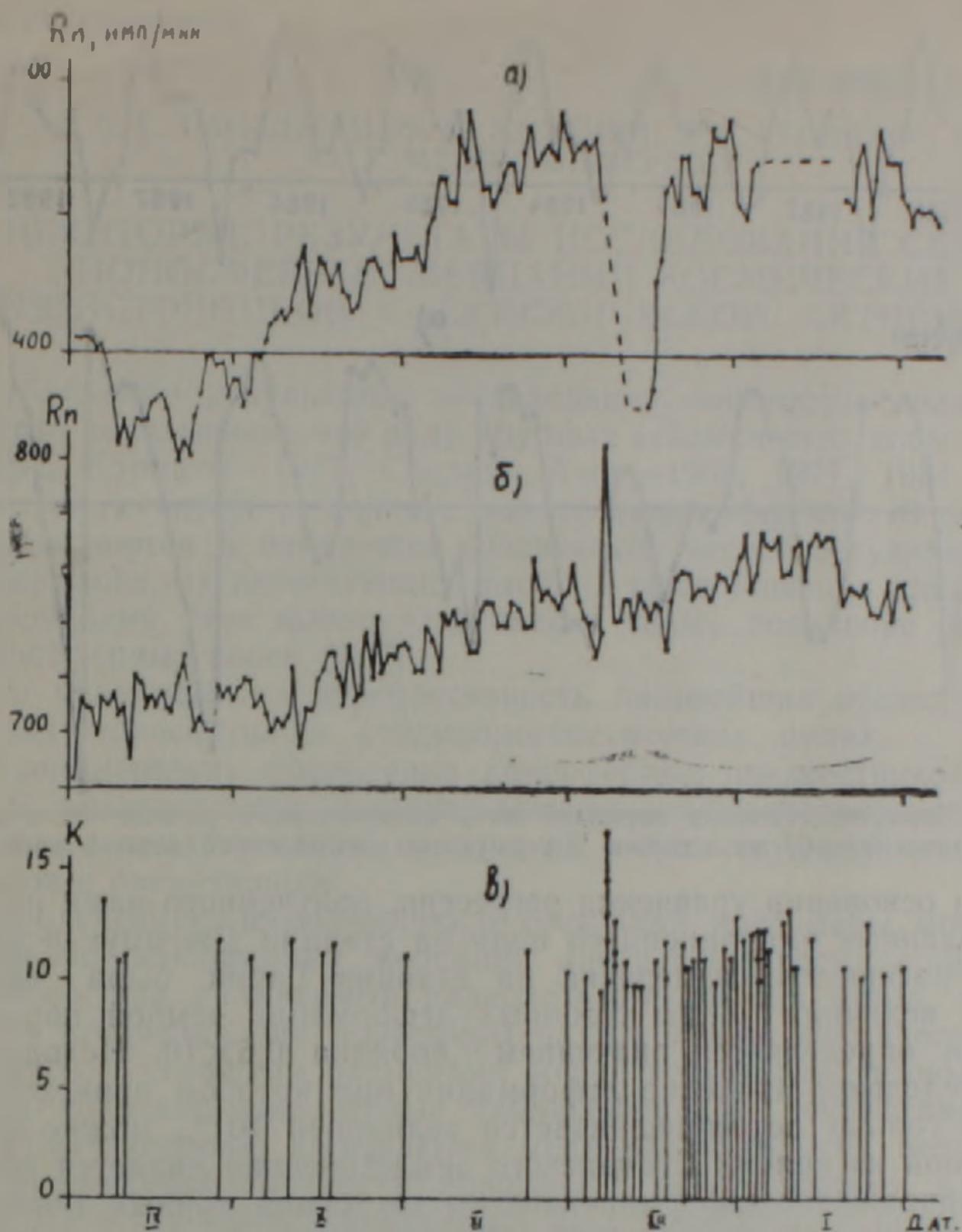


Рис. 1. Оперативные предвестники Спитакского землетрясения а) на станции Ленинанкан; б) на станции Джермук; в) сейсмическая активность в регионе,  $K \geq 10$ .

ных в предшествующие дни) и в некотором (примерно на 20 процентов относительно вариаций в предшествующие дни) уменьшении концентрации радона. На станции Ленинанкан до 11 часов 41 мин (по местн. времени) 7 декабря было осуществлено 3 замера, по которым наблюдается явная тенденция к резкому спаду концентрации радона. После включения станции 15 декабря в течение 4 дней наблюдалось восстановление эманационного поля до уровня, предшествующего моменту землетрясения, т. е. по всей видимости, в течение 8 дней в результате нарушения гидродинамического режима вследствие афтершоковой активности в эпицентральной зоне (г. Ленинанкан) наблюдалось ослабление процесса радоновыделения.

На станции Джермук значение концентрации радона достигло максимального уровня непосредственно к моменту землетрясения и в течение дня уменьшилось до значений несколько меньших по сравнению с предшествующими днями. Общий уровень концентрации подпочвенного радона, наблюдаемый на станции Джермук в ноябре и начале декабря 1988 года значительно превысил уровень тех же месяцев в предшествующие годы (в 1987 на 12%; 1988 — на 15%). Причем, как это следует из рис. 2., аномальный ход концентрации подпочвенного радона стал проявляться практически начиная с марта 1987 года и выразился в увеличении амплитуды сезонной составляющей эманационного поля, которая в 1988 году возросла еще сильнее.

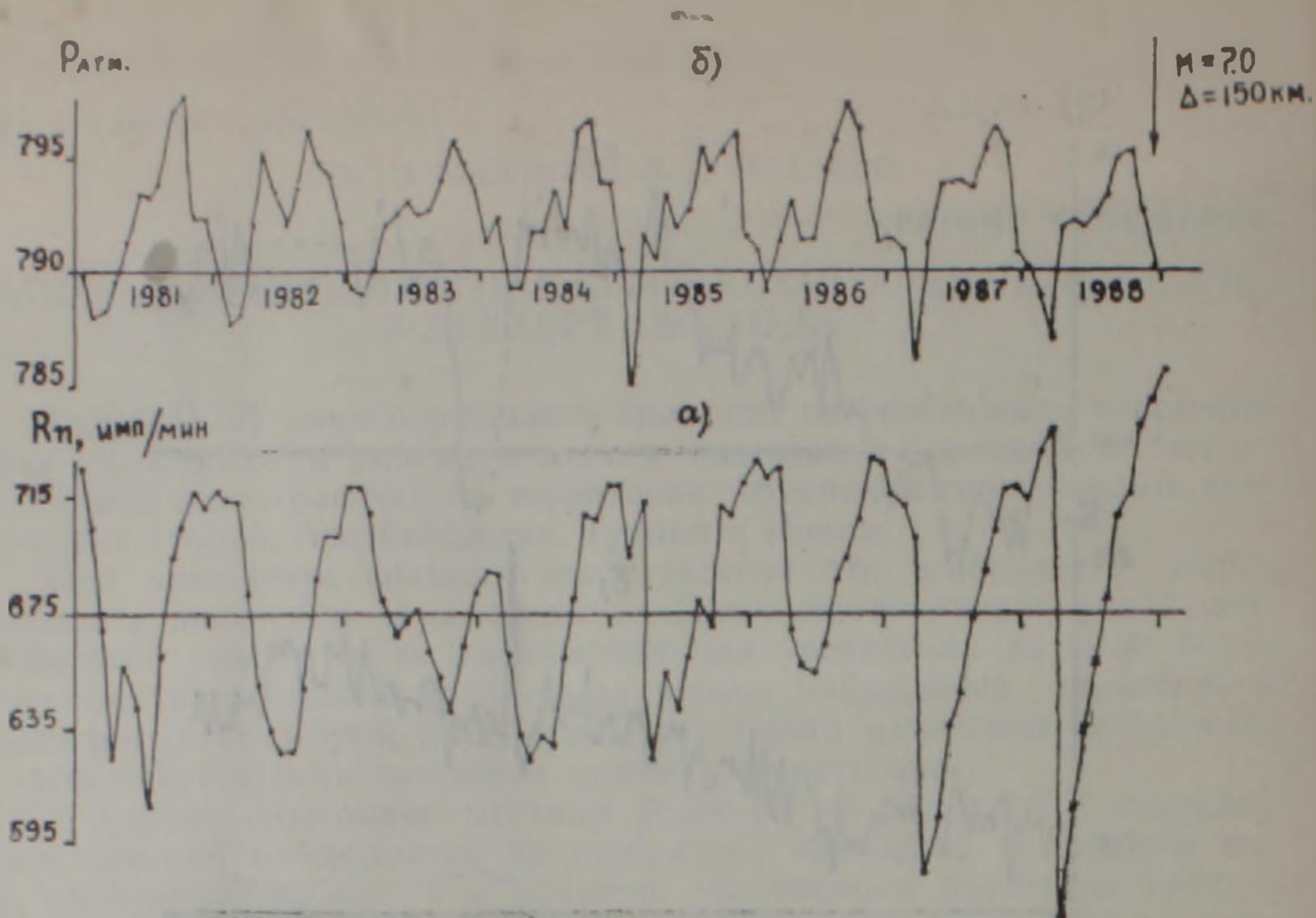


Рис. 2. Характер сезонных вариаций поля подпочвенного радона—а) и атмосферного давления—б) на станции Джермук за восьмилетний период наблюдений.

На основании уравнения регрессии, полученного нами из сопоставления данных эманационного поля на станции Джермук и данных деформографических измерений на станции Гарни, была произведена оценка величины волны сезонных деформаций земной коры региона, которая определяется значением порядка  $0,6 \times 10^{-4}$ . Исходя из того, что предельное значение деформации при котором происходит разрушение горных пород оценивается величиной  $10^{-4}$ , можно заключить, что одной из причин Спитакского землетрясения является аномальный рост напряженно-деформированного состояния горных пород региона в осенне-зимний период 1988—89 г.г., который, по всей видимости, был усилен падением атмосферного давления (рис. 2б) вследствие наблюдавшегося в этот период резкого потепления.

Спусковым же крючком землетрясения, происшедшего в 11 часов 41 минуту 7 декабря, явилось землетрясение, происшедшее в районе Спитака к вечеру 6 декабря, которое, в свою очередь, быть может было спровоцировано наблюдавшимся 6 декабря существенным перепадом атмосферного давления.

Таким образом, анализ поведения эманационного поля до и после Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года позволяет сделать следующие выводы.

1. Землетрясение произошло при аномально высоких значениях сезонного хода деформаций горного массива, который в радоновом поле начал проявляться уже в 1987 году.

2. Оперативный предвестник в радоновом поле выразился на станции Лениакан—в незначительном, но заметном уменьшении концентрации за несколько часов до землетрясения.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии АН АрмССР,  
Московский геологоразведочный институт им. С. Орджоникидзе

Поступила 26.4.1989.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Басенцян М. М., Кучмин О. А., Рудаков В. П. Некоторые особенности динамики поля подпочвенного радона в условиях прогностического полигона Армении.— Изв. АН АрмССР. Науки о Земле. 1988, 41, № 1, с. 65—67.
2. Рудаков В. П., Петров А. В., Басенцян М. М. О сезонных вариациях поля подпочвенного радона. Докл. АН СССР. 1988, т. 300, № 2, с. 332—334.
3. Рудаков В. П. К вопросу о мониторинге подпочвенного радона на прогностических полигонах.—Геол. и геофизика. 1985, № 1, с. 63—67

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

В. Г. ПАНАДЖЯН, Ф. П. МИРАНЯН, Э. Г. ГЕОДАКЯН,  
Ю. Г. МЕЛИК-АЛАВЕРДЯННЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВЯЗИ  
ИОНОСФЕРНЫХ МЕРЦАНИЙ КОСМИЧЕСКИХ  
РАДИОИСТОЧНИКОВ С СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Публикации результатов исследований ионосферы последних десятилетий показывают, что ряду крупных сейсмических событий (Аляска—1964, Карпаты—1977, Средняя Азия—1966, 1977, 1984, Китай—1986) предшествуют различные ионосферные эффекты. В частности, они проявляются в изменении критических частот регулярных ионосферных слоев, их действующих высот, в возникновении длиннопериодных колебаний этих высот. Отмечалось также появление спорадических ионосферных слоев [1, 7].

Это указывает на перспективность дальнейших исследований параметров ионосферы в сейсмопрогностических целях.

Закономерность проявления ионосферных предвестников за 1—3 суток до землетрясения, сопровождающих заключительную стадию развития очага землетрясения, относит их в существующей системе предвестников к оперативным.

Определенную информацию о состоянии ионосферы может дать наблюдение ионосферных мерцаний дискретных космических радиосточников, так называемый радиоастрономический метод, заключающийся в просвечивании ионосферы радиоволнами космических радиосточников с угловыми размерами менее нескольких угловых минут.

Как показали уже первые наблюдения [8], ионосферные мерцания радиосточников вызываются мелкомасштабными неоднородностями электронной плотности ионосферы, возникающими в основном вблизи F слоя и ориентированными по геомагнитному полю.

Вероятность наблюдения эффектов мерцания зависит от времени суток, частоты принимаемого радиосигнала, географического места наблюдения, а также от геофизических явлений, лежащих в основе эффекта мерцаний и ответственных за возникновение в ионосфере неоднородностей различных масштабов.

В качестве характеристики степени возмущенности ионосферы используется индекс мерцаний, определяемый по известной формуле

$$m = \frac{(\overline{\Delta I^2} - \overline{\Delta I_m^2})^{1/2}}{\overline{I_0}}$$

где  $\overline{\Delta I^2}$ —среднеквадратическое значение флуктуации интенсивности радиоизлучения.

$\overline{I_0}$ —среднее значение интенсивности радиоизлучения,

$\overline{\Delta I_m^2}$ —среднеквадратическое значение флуктуаций выхода радиометра в отсутствие радиосточника.

Считается установленным [8], что аномальное увеличение индекса ионосферных мерцаний связано с появлением размывтия слоя F<sub>2</sub>, обусловленного возникновением различного масштаба неоднородностей электронной плотности.

Существующие модели объясняют образование крупномасштабных неоднородностей вблизи слоя F ионосферы возникновением локальных неустойчивостей в плазме, воздействием флуктуирующего электрического поля, вызывающего дрейф из E слоя или мезосферы в F слой, воздействием магнитогидродинамических волн, возникающих в магнитосфере и распространяющихся до F слоя.

Возникновение неоднородностей может быть обусловлено также крупномасштабными гравитационными волнами ( $\lambda \approx 100-300$  км) при нелинейном распаде которых возникают волны меньшего масштаба (неустойчивости), вызывающие градиентную неустойчивость, приводящую к образованию неоднородностей меньшего масштаба.

По существующим оценкам [4, 5, 6] процессы подготовки сильных землетрясений также способствуют возникновению неоднородностей в надэпицентральной области, т. к. на заключительной стадии подготовки землетрясения могут возникать сильные квазистационарные электрические и электромагнитные поля, распространяющиеся до высот ионосферы, обусловленные напряжением, а также возможным синхронным микрорастрескиванием разрушающихся горных пород. Суммарное эффективное воздействие электрических, электромагнитных полей, а также акустико-гравитационных волн на ионосферную и магнитосферную плазму стимулирует развитие этажей турбулентности в плазме, появление зон индуцированных излучений в верхней атмосфере на резонансных частотах плазмы, а также вызывает разогрев и ионизацию ионосферной плазмы [2, 3, 9]. Вопрос о точном физическом механизме сейсмоионосферного взаимодействия остается открытым, но исследования в этом направлении продолжаются.

Опытно-методической сейсмопрогностической экспедицией ИГИС АН АрмССР в творческом содружестве с Бюраканской астрофизической обсерваторией проводятся регулярные наблюдения ионосферных мерцаний космических радиоисточников в сейсмопрогностических целях.

Блок-схема измерительной установки приведена на рис. 1. Она состоит из приемной антенны (А), радиометра (Р), имеющего выход на аналоговое регистрирующее устройство (КСП-4), а также цифровой выход на измерительно-вычислительный комплекс (ИВК).

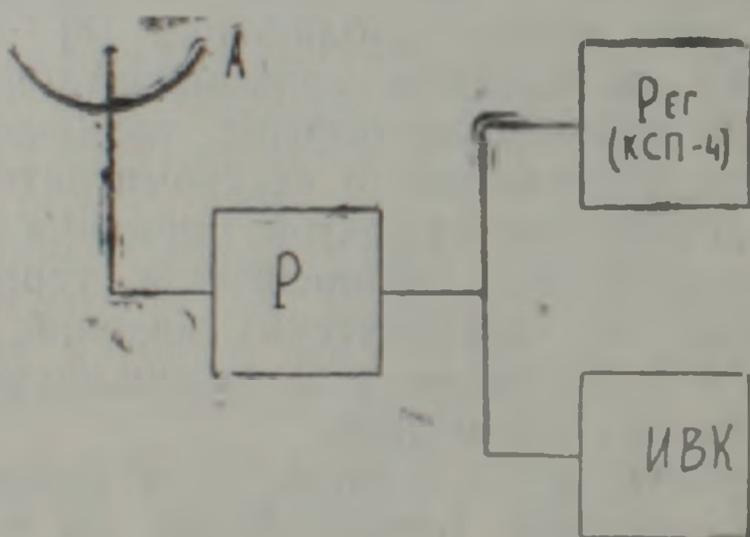


Рис. 1. Блок-схема измерительной установки.

В связи с тем, что наблюдения проводятся в промышленно развитом районе с усиленным фоном радиопомех, используется радиометр с узкой полосой пропускания  $2\Delta f \approx 100$  кГц, с постоянной времени выхода  $\tau \approx 1$  с. Эффективная площадь антенны  $A_{эф} \approx 40$  м<sup>2</sup>. Наблюдения ведутся на частоте 74 мГц. В качестве наблюдаемого источника выбран наиболее удобный для широты места наблюдения ( $\varphi \approx 40^\circ$ ) радиоисточник Лебедь—А ( $\alpha = 19^\circ 58'$ ,  $\lambda \approx 40^\circ$ ) плотность потока которого на частоте 74 мГц равна 16 000 Ян.

Типичный пример развития возмущенности ионосферы перед землетрясением приведен на рис. 2, который отождествлен с сейсмическим событием, происшедшим 05.07.88 г. ( $\varphi = 38^\circ 80'$ ;  $\lambda = 44^\circ 08'$ ;  $K = 10,3$ ;  $UT = 03^h 44^m$ ).

На рис. 3 представлены временные вариации индекса ионосферных мерцаний ( $m$ ) в сопоставлении с мировыми данными по текущей солнечной (R9) и геомагнитной обстановке ( $C_p9$ ), где R9 — число солнечных пятен (число Вольфа),  $C_p9$  — среднесуточный индекс геомагнитной активности по девятиклассной шкале.

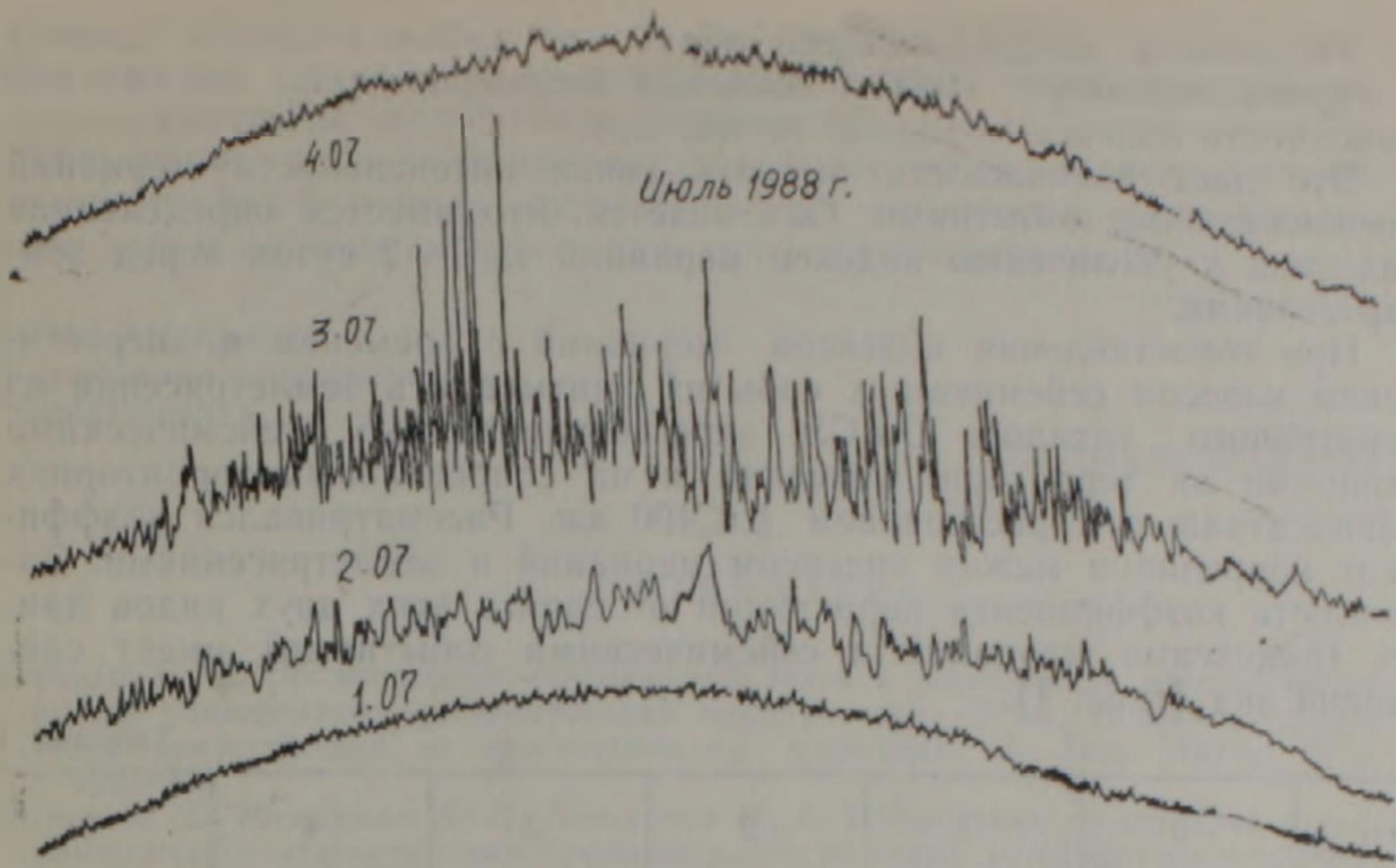


Рис. 2. Типичные аналоговые записи ионосферных мерцаний радиостанции Лебедь—А.

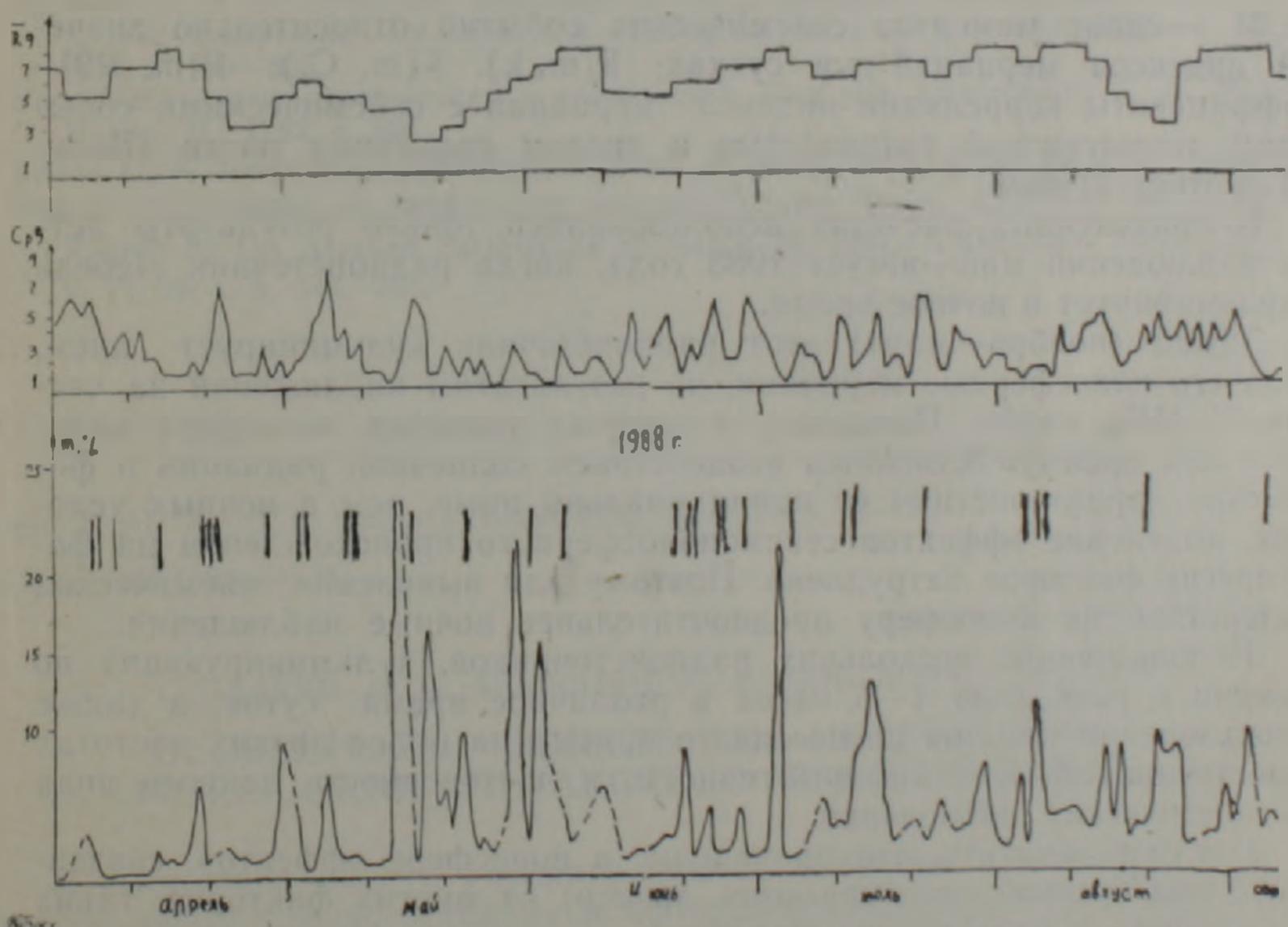


Рис. 3. Временные вариации индекса ионосферных мерцаний ( $m$ ) в сопоставлении с текущей солнечной ( $R9$ ) и геомагнитной обстановкой ( $Cp9$ ), где  $R9$ —количество солнечных пятен, усредненное за 3 дня,  $Cp9$ —среднесуточный индекс геомагнитной активности (данные по солнечной и геомагнитной активности получены Институтом геофизики г. Геттинген, ФРГ). Стрелками обозначены моменты сейсмических событий

(1)

Результаты предварительной обработки наблюдательных данных за период май-август 1988 г. показали отсутствие ярко выраженной зависимости индекса мерцаний от  $R9$ ,  $C_p9$ .

Это дает возможность выявить связи интенсивности мерцаний с сейсмическими событиями. Оказывается, что имеется определенная тенденция к увеличению индекса мерцаний за 1—2 суток перед землетрясениями.

При сопоставлении индексов мерцаний с временем и энергетическим классом сейсмических событий учитывались землетрясения из оперативного каталога ОМСЭ, зарегистрированные сейсмическими станциями на территории Армении и на сопредельных территориях с эпицентральным расстоянием  $L \leq 400$  км. Рассматривался коэффициент корреляции между индексом мерцаний и землетрясениями. Зависимость коэффициента корреляции от сдвига этих двух рядов данных (индексами мерцаний и сейсмическими событиями) имеет следующий вид (табл. 1).

Таблица 1

Сдвиг $\Delta t$	0	1	2	3	4	5
$R(m, k)$	0.09	0.21	-0.07	-0.05	-0.05	-0.01
$R(m, C_p)$	-0.07	-0.06	-0.017	-0.019	-0.08	-0.055
$R(m, R9)$	-0.16	-0.14	-0.14	-0.16	-0.17	-0.16

где  $\Delta t$  — сдвиг моментов сейсмических событий относительно значений индексов мерцаний  $m$  в сутках;  $R(m, k)$ ,  $R(m, C_p)$ ,  $R(m, R9)$  — коэффициенты корреляции индекса мерцаний с сейсмическими событиями, геомагнитной активностью и числом солнечных пятен (Вольфа) соответственно.

В приведенных расчетах использовались только результаты летних наблюдений май—август 1988 года, когда радионисточник Лебедь  $A$  кульминирует в ночное время.

Зимой (ноябрь—март) этот радионисточник кульминирует днем, когда его ионосферные мерцания, по результатам наблюдений на частоте 74 МГц, слабы. Поскольку в дневных условиях ионосфера находится под преимущественным воздействием солнечной радиации и физические характеристики ее принципиально иные, чем в ночных условиях, выделение эффектов сейсмоионосферного происхождения на фоне других факторов затруднено. Поэтому для выявления сейсмических воздействий на ионосферу предпочтительнее ночные наблюдения.

Использование нескольких радионисточников, кульминирующих по времени с разностью 4—5 часов в различное время суток, а также использование методов разносенного приема на более низких частотах существенно повысит информативность и достоверность данного вида прогностических наблюдений.

Следует заметить, что проявление в ионосфере эффектов, связанных с подготовкой землетрясения, зависит от многих факторов, таких как глубина и удаленность эпицентра, его энергетических характеристик, геологических особенностей рассматриваемого района, состояния атмосферы и ионосферы.

В связи с этим трудно ожидать качественного и количественного совпадения ионосферных эффектов даже для одного типа землетрясений.

Для точного выделения образа сигнала предвестника с учетом перечисленных выше факторов необходимо накопление достаточного

статистического материала, а также необходимо комплексирование различных видов прогностических наблюдений.

Дальнейшие исследования позволят более исчерпывающе оценить возможности данного вида прогностических наблюдений для использования его в системе оперативного сейсмопрогнозирования.

ИГИС АН АрмССР,  
Бюраканская астрофизическая  
обсерватория

Поступила 18.IV.1989

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бирфельд Я. Ч. Об ионосферно-сейсмической связи и возможности использования ее для ионосферного прогнозирования землетрясений.—В кн.: Поиск предвестников землетрясений на прогностических полигонах. М.: Изд. Наука, 1974, с. 200—202.
2. Гохберг М. Б. Пилипенко В. Л. Похотелов О. А. Наблюдения со спутника электромагнитного излучения над эпицентральной областью готовящегося землетрясения.—ДАН СССР, 1983, т. 268, № 1, с. 56—58.
3. Гохберг М. Б. Гухфельд И. Л. Кустов А. В. Липеровский В. А. Булошников А. М. Пилипенко В. А. Похотелов О. А. Шалимов С. А. Возбуждение электростатической волновой турбулентности в ионосфере, как один из эффектов сейсмической активности.—Препринт № 16. М., ИФЗ АН СССР, 1983, с. 53.
4. Гохберг М. Б. Гершензон Н. И. Гухфельд И. Л. Кустов А. В. Липеровский В. А. Хусамеддинов С. С. О возможных эффектах воздействия электрических полей сейсмического происхождения на ионосферу.—Геомagnetизм и Аэрoномия, 1984, т. 24, № 2, с. 217—223.
5. Моргунов В. А. К природе литосферно-ионосферных связей.—Изв. АН СССР, Физика Земли, М., 1988, с. 79—87.
6. Руденко Г. В. Возбуждение ионосферного МГД-волновода подземными токами в зоне подготовки землетрясений.—Геомagnetизм и Аэрoномия, 1985, т. 25, № 5, с. 799—805.
7. Электромагнитные предвестники землетрясений. Под ред. Садовского М. Л. Изд. Наука, М.: 1982, с. 89.
8. Crane R. K. Ionospheric Scintillation, Proc. of IREE, 1977, v. 65, № 2, p. 5—29.
9. Row R. V. Evidence of Long-Period Acoustic-Gravity Waves Launched into the F Region by the Alaskan Earthquake of March 28, 1964—J. Geophys. Res., 1966, v. 71, № 1, p. 343—345.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XLII, № 3, 71—77.

УДК 550.348.436 (479.25)

#### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Э. Г. ГЕОДАКЯН, В. Ж. АГАРОНЯН, М. А. ДАНИЛОВА, С. Л. ЮНГА

#### ОСОБЕННОСТИ ФОКАЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ АФТЕРШОКОВ СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В настоящей работе рассматриваются основные особенности механизма очага главного толчка и афтершоков Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года. Афтершоковым процессом охвачена область приблизительно запад-северо-западного простирания с разворотом в восточной ее части к юго-восточному простиранию. В этой области и ее окрестностях известно несколько сильных исторических землетрясений, начиная с землетрясения 1046 года, разрушившего древнюю столицу Армении Ани. Можно отметить приуроченность эпицентров этих разрушительных землетрясений к системе глубинных разломов субширотного простирания в основной части рассматриваемой области, сменяющегося в районе эпицентра землетрясения 1988 года на

статистического материала, а также необходимо комплексирование различных видов прогностических наблюдений.

Дальнейшие исследования позволят более исчерпывающе оценить возможности данного вида прогностических наблюдений для использования его в системе оперативного сейсмопрогнозирования.

ИГИС АН АрмССР,  
Бюраканская астрофизическая  
обсерватория

Поступила 18.IV.1989

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бирфельд Я. Ч. Об ионосферно-сейсмической связи и возможности использования ее для ионосферного прогнозирования землетрясений.—В кн.: Поиск предвестников землетрясений на прогностических полигонах. М.: Изд. Наука, 1974, с. 200—202.
2. Гохберг М. Б. Пилипенко В. Л. Похотелов О. А. Наблюдения со спутника электромагнитного излучения над эпицентральной областью готовящегося землетрясения.—ДАН СССР, 1983, т. 268, № 1, с. 56—58.
3. Гохберг М. Б. Гухфельд И. Л. Кустов А. В. Липеровский В. А. Булошников А. М. Пилипенко В. А. Похотелов О. А. Шалимов С. А. Возбуждение электростатической волновой турбулентности в ионосфере, как один из эффектов сейсмической активности.—Препринт № 16. М., ИФЗ АН СССР, 1983, с. 53.
4. Гохберг М. Б. Гершензон Н. И. Гухфельд И. Л. Кустов А. В. Липеровский В. А. Хусамеддинов С. С. О возможных эффектах воздействия электрических полей сейсмического происхождения на ионосферу.—Геомagnetизм и Аэрoномия, 1984, т. 24, № 2, с. 217—223.
5. Моргунов В. А. К природе литосферно-ионосферных связей.—Изв. АН СССР, Физика Земли, М., 1988, с. 79—87.
6. Руденко Г. В. Возбуждение ионосферного МГД-волновода подземными токами в зоне подготовки землетрясений.—Геомagnetизм и Аэрoномия, 1985, т. 25, № 5, с. 799—805.
7. Электромагнитные предвестники землетрясений. Под ред. Садовского М. Л. Изд. Наука, М.: 1982, с. 89.
8. Crane R. K. Ionospheric Scintillation, Proc. of IREE, 1977, v. 65, № 2, p. 5—29.
9. Row R. V. Evidence of Long-Period Acoustic-Gravity Waves Launched into the F Region by the Alaskan Earthquake of March 28, 1964—J. Geophys. Res., 1966, v. 71, № 1, p. 343—345.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XLII, № 3, 71—77.

УДК 550.348.436 (479.25)

#### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Э. Г. ГЕОДАКЯН, В. Ж. АГАРОНЯН, М. А. ДАНИЛОВА, С. Л. ЮНГА

#### ОСОБЕННОСТИ ФОКАЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ АФТЕРШОКОВ СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В настоящей работе рассматриваются основные особенности механизма очага главного толчка и афтершоков Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года. Афтершоковым процессом охвачена область приблизительно запад-северо-западного простирания с разворотом в восточной ее части к юго-восточному простиранию. В этой области и ее окрестностях известно несколько сильных исторических землетрясений, начиная с землетрясения 1046 года, разрушившего древнюю столицу Армении Ани. Можно отметить приуроченность эпицентров этих разрушительных землетрясений к системе глубинных разломов субширотного простирания в основной части рассматриваемой области, сменяющегося в районе эпицентра землетрясения 1988 года на

СЗ-ЮВ простирание. Данную систему разломов, по-видимому, можно рассматривать как одно из ответвлений Северо-Анатолийской системы глубинных разломов, характеризующейся в целом правосторонними сдвиговыми перемещениями [3]. Механизмы очагов землетрясений Северной Армении, изученные за период времени с 1971 по 1983 г.г. в работе [1], указывают на значительное разнообразие типов движения, отвечающих, тем не менее, преобладанию сжатия земной коры в рассматриваемой области в север-северо-восточном направлении.

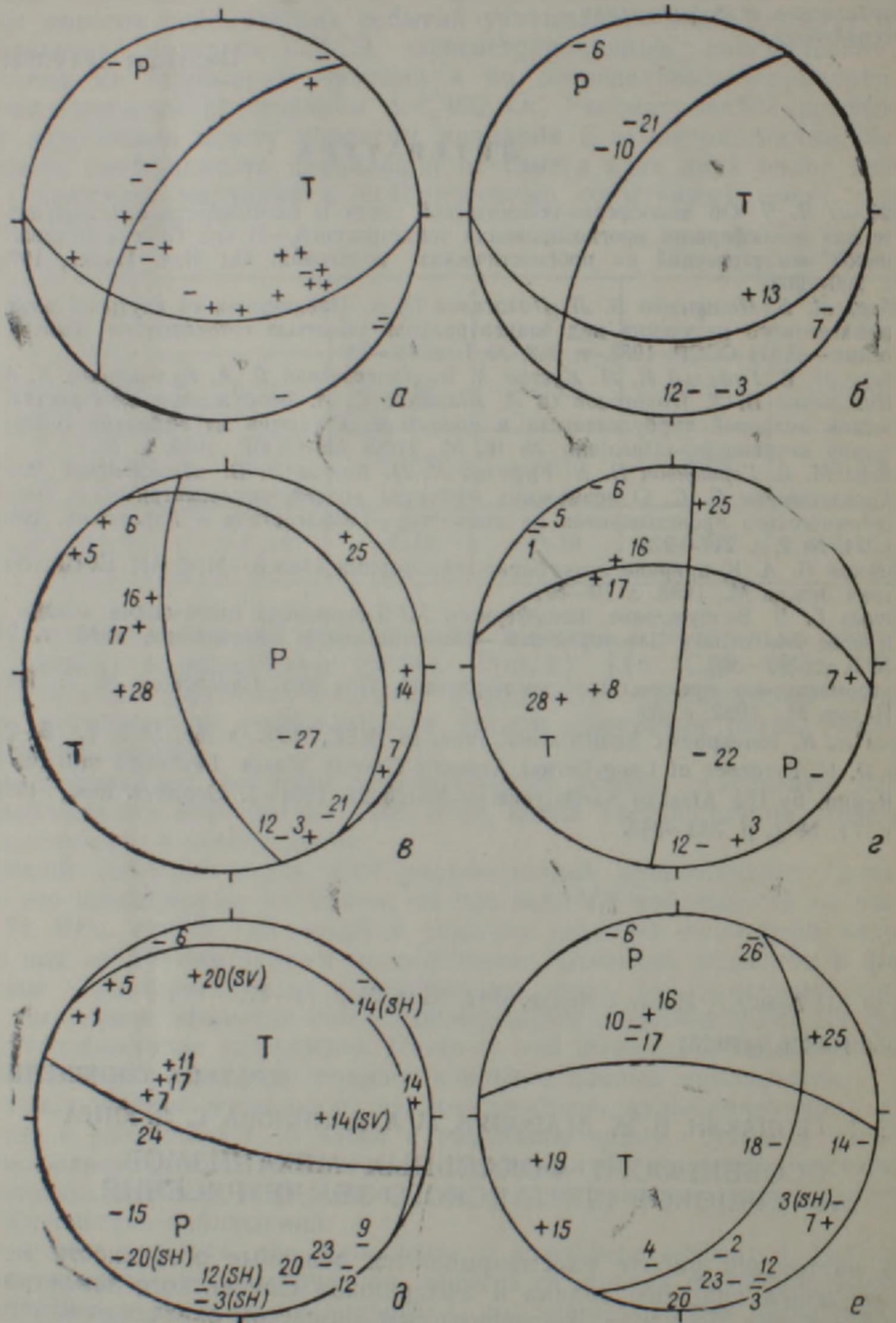


Рис. 1. Механизм очага главного толчка Спитакского землетрясения (а). Примеры определения механизма очага для афтершоков Спитакского землетрясения: б) 07.12.88 в 08—06 К=13; в) 07.12.88 в 09—31 К=13; г) 07.12.88 в 10—57 К=12; д) 12.12.88 в 01—15; К=10; е) 31.12.88 в 01—07, К=13.

Обозначения: P, T—оси сжатия и растяжения, соответственно.  
 Сейсмические станции: 1—Абастумани, 2—Алагит, 3—Арарат, 4—Артик, 5—Ахалкалаки, 6—Бакураты, 7—Варденис, 8—Гарм, 9—Гарни, 10—Горис, 11—Джермук, 12—Ереван, 13—Цебельда, 14—Иджеван, 15—Исаахян, 16—Каджарэн, 17—Кармракар, 18—Кироваван, 19—Ленинакан, 20—Мецамор, 21—Нахичеван, 22—Они, 23—Паракар, 24—Ширкули, 25—Степанаван, 26—Тбилиси, 27—Цагверн, 28—Шени.

Механизм очага главного толчка Спитакского землетрясения (07.12.88 07—41) был построен в первую неделю после землетрясения одним из авторов (С. Л. Юнга) по данным о знаках первых вступлений продольных волн на сети армянских сейсмостанций, а также по данным, переданным со станций сети СССР и мировой сети (рис. 1а). В дальнейшем был построен механизм по данным о знаках первых вступлений Р-волн на станциях сейсмических сетей Армении, Грузии и Азербайджана. Полученные решения в пределах точности определений не противоречат друг другу.

Механизм очага главного толчка относится к взбросо-сдвиговому типу. Судя по макросейсмическим данным и расположению афтершоков, nodальная плоскость приблизительно близширотного простирания является плоскостью подвижки. Плоскость падает на север под углом около  $55^\circ$ . По ней произошел взброс северного крыла с правосторонним сдвигом. Ось сжатия близгоризонтальна с азимутом  $340^\circ$ .

Отметим, что характер соответствия данного типа подвижки установленному предшествующим исследованием [1] напряженному состоянию является довольно сложным. Так, взброс по близширотной плоскости представляется вполне типичным в данной ситуации. Однако характер сдвига не связывается однозначным образом с региональным напряженным состоянием, временные вариации которого в период, предшествующий землетрясению, остаются до сих пор за рамками исследования [1].

Механизмы очага афтершоков Спитакского землетрясения определялись по данным о знаках первых вступлений продольных и в ряде случаев поперечных волн на 14 сейсмических станциях армянской сети и по данным о знаках первых вступлений продольных волн, полученных по телетайпу с азербайджанских и грузинских сейсмостанций. Использовалась методика перевода знака S-волн в знаки Р-волн на фиктивных сейсмостанциях, предложенная в работе [2]. Построение фокальных механизмов проводилось на персональном компьютере на сейсмостанции «Ереван».

Определен 91 механизм очага афтершоков Спитакского землетрясения за период с 7 декабря 1988 года по 31 января 1989 г.г. Из них 3 механизма очага с  $K=13$ , 10 механизмов с  $K=12$ , 31 механизм с  $K=11$  и 47 механизмов с  $K=10$ . Механизмы очагов землетрясений с  $K \geq 11$  охвачены полностью. Для землетрясений с  $K=10$  определениями охвачено почти 70% всех событий за этот период времени.

На рис. 1 б—с приведены примеры определения механизма очага афтершоков с разными энергетическими классами. Для землетрясений с  $K \geq 11$  обычно использовались преимущественно данные о знаках Р-волн, тогда как для  $K=10$  удавалось привлекать дополнительно данные по знакам вступлений S-волн. В случае, когда механизмы очага получались неоднозначными, нами принимались наиболее вероятные варианты.

Рассмотрим сначала характер движений в очагах землетрясений 07.12.88, проходящих непосредственно после главного толчка в течение первых суток. Первый из определенных механизмов очага относится к взбросо-сдвиговому типу и аналогичен механизму главного толчка (рис. 1 б). Однако, определение механизма очага этого афтершока является неоднозначным. Афтершок произошел западнее эпицентра главного толчка, полученного, по данным макросейсмике, в 8 часов 6 минут с  $K=13$ .

В дальнейшем 7 декабря наблюдаются механизмы типа сброса, сбросо-сдвига и сдвига (рис. 2,3). Номера афтершоков на рисунке соответствуют нумерации событий в таблице.

Область сбросов наблюдается в центральной части афтершоковой зоны в районе эпицентра главного толчка и на восточной части. Nодальные плоскости механизмов этих афтершоков секут широтное простирание зоны афтершоков таким образом, что можно предположить прогибание области, в которой произошел главный толчок.

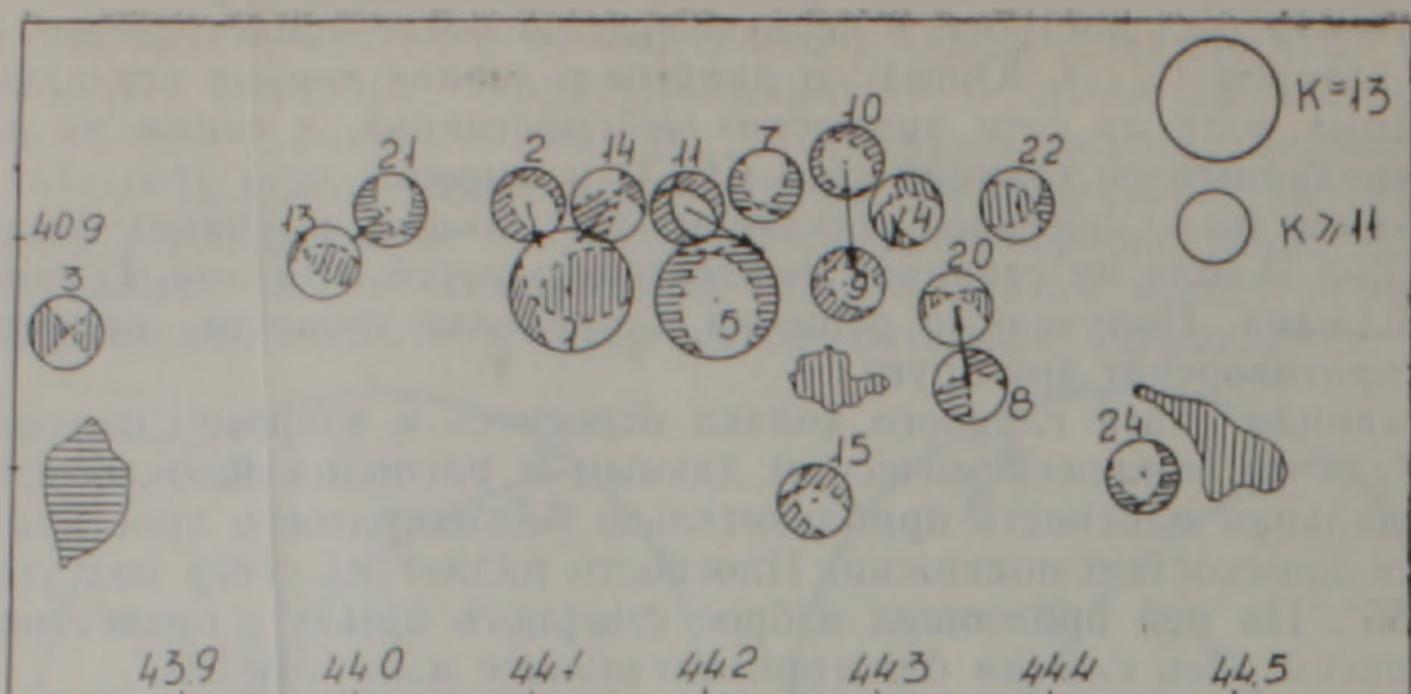


Рис. 2. Механизмы очага афтершоков Спитакского землетрясения с  $K \geq 11$  за 7 декабря 1988 г.

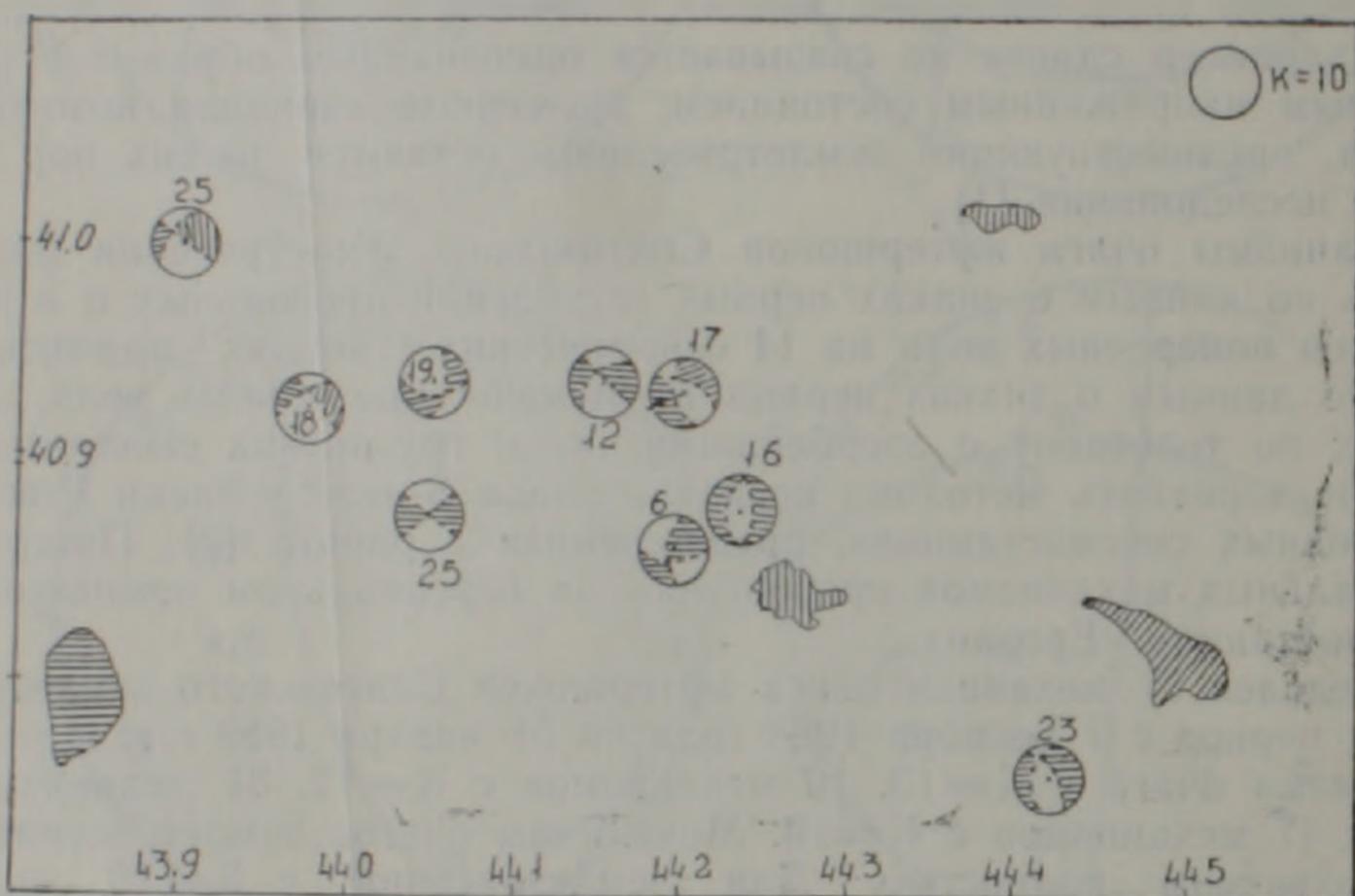


Рис. 3. Механизмы очага афтершоков Спитакского землетрясения с  $K = 10$  за 7 декабря 1988 года.

Сдвиговые механизмы в очагах этой зоны соответствуют механизму главного толчка и отвечают правостороннему движению по близширотным плоскостям. В юго-западной части зоны около г. Ленинакана в 9 часов 18 минут наблюдалось землетрясение с  $K = 11$  с левосторонним сдвигом по крутой плоскости северо-восточного простирания. В западной части зоны 7 декабря произошло землетрясение, механизм которого относится к взбросо-сдвиговому типу (в 14 часов 4 мин), при этом по близширотной плоскости, падающей на юг, также наблюдается левосторонний сдвиг. Механизму очага 7.12. в 15 ч 53 мин с  $K = 10$  в этой же части зоны соответствует левосторонний сдвиг по пологой плоскости, падающей на юго-восток, с опусканием в сторону эпицентра главного толчка. В 22 ч 03 мин в северо-западной части афтершоковой области произошло землетрясение с  $K = 10$  с механизмом сдвигового типа. Если предположить, что в западной части зоны происходит разветвление разлома на северо-западную и юго-западную части, то можно считать, что для этого землетрясения тип движения соответствует правостороннему сдвигу по крутой плоскости северо-западного простирания.

В последующий период времени, начиная с 8 декабря, характер движений в очагах афтершоков существенно изменяется (рис. 4, 5).

Афтершоки Спитакского землетрясения, для которых определены механизмы очага

Таблица 1

№	Дата	Время	№№	Дата	Время
1	07.12.88	08-06	47	12.12.88	15-36
2	—	08-57	48	13.12.88	04-21
3	—	09-18	49	—	21-35
4	—	09-28	50	15.12.88	04-14
5	—	09-34	51	—	15-43
6	—	09-42	52	16.12.88	18-54
7	—	10-20	53	17.12.88	23-33
8	—	10-57	54	18.12.88	04-08
9	—	11-01	55	—	17-49
10	—	11-03	56	19.12.88	02-35
11	—	12-09	57	—	05-22
12	—	12-47	58	—	17-29
13	—	14-04	59	20.12.88	00-05
14	—	14-10	60	—	10-34
15	—	14-37	61	22.12.88	02-20
16	—	14-46	62	—	12-24
17	—	15-03	63	—	18-13
18	—	15-51	64	22.12.88	18-19
19	07.12.88	16-50	65	—	21-23
20	—	18-05	66	23.12.88	07-42
21	—	18-26	67	24.12.88	05-45
22	—	19-17	68	27.12.88	07-45
23	—	19-28	69	28.12.88	03-46
24	—	20-07	70	29.12.88	10-08
25	—	20-35	71	—	18-44
26	—	22-03	72	30.12.88	13-23
27	08.12.88	01-15	73	31.12.88	04-07
28	—	01-49	74	—	15-35
29	—	02-09	75	—	15-51
30	—	02-46	76	—	17-22
31	—	04-48	77	01.01.89	22-59
32	—	06-04	78	03.01.89	08-19
33	—	06-28	79	04.01.89	07-29
34	—	07-45	80	—	07-38
35	—	09-07	81	—	07-40
36	—	12-46	82	05.01.89	08-15
37	08.12.88	20-32	83	08.01.89	13-09
38	09.12.88	04-50	84	—	16-53
39	—	14-01	85	09.01.89	20-01
40	—	20-24	86	11.01.89	19-33
41	10.12.88	19-12	87	14.01.89	15-52
42	—	19-46	88	—	21-26
43	—	21-25	89	17.01.89	12-05
44	11.12.88	04-58	90	20.01.89	02-40
45	—	12-20	91	24.01.89	02-31
46	12.12.88	01-15			

По типам механизмов и их пространственной приуроченности представляется возможным выделить три основные части рассматриваемой области.

Центральная часть, имеющая субширотное простирание, характеризуется в целом механизмами очагов взбросо-сдвигового типа, одна из нодальных плоскостей которых, как правило, имеет примерно такое же простирание. Вместе с тем, имеются также движения типа сброса, например, при землетрясении 08.12.88 в 04 ч 07 мин. Однако движения типа сброса в этот период времени не являются преобладающими, в отличие от афтершоков, имевших место 7 декабря. Преимущественными являются взбросо-сдвиги типа механизма главного толчка, взбросы, правосторонние сдвиги по субширотным плоскостям и плоскостям северо-западного простирания.

В восточной части рассматриваемой области уверенно намечается приуроченность простирания нодальных плоскостей к северо-западному направлению. Наблюдается также целый ряд механизмов взрезного типа, с вертикальным движением по близвертикальным

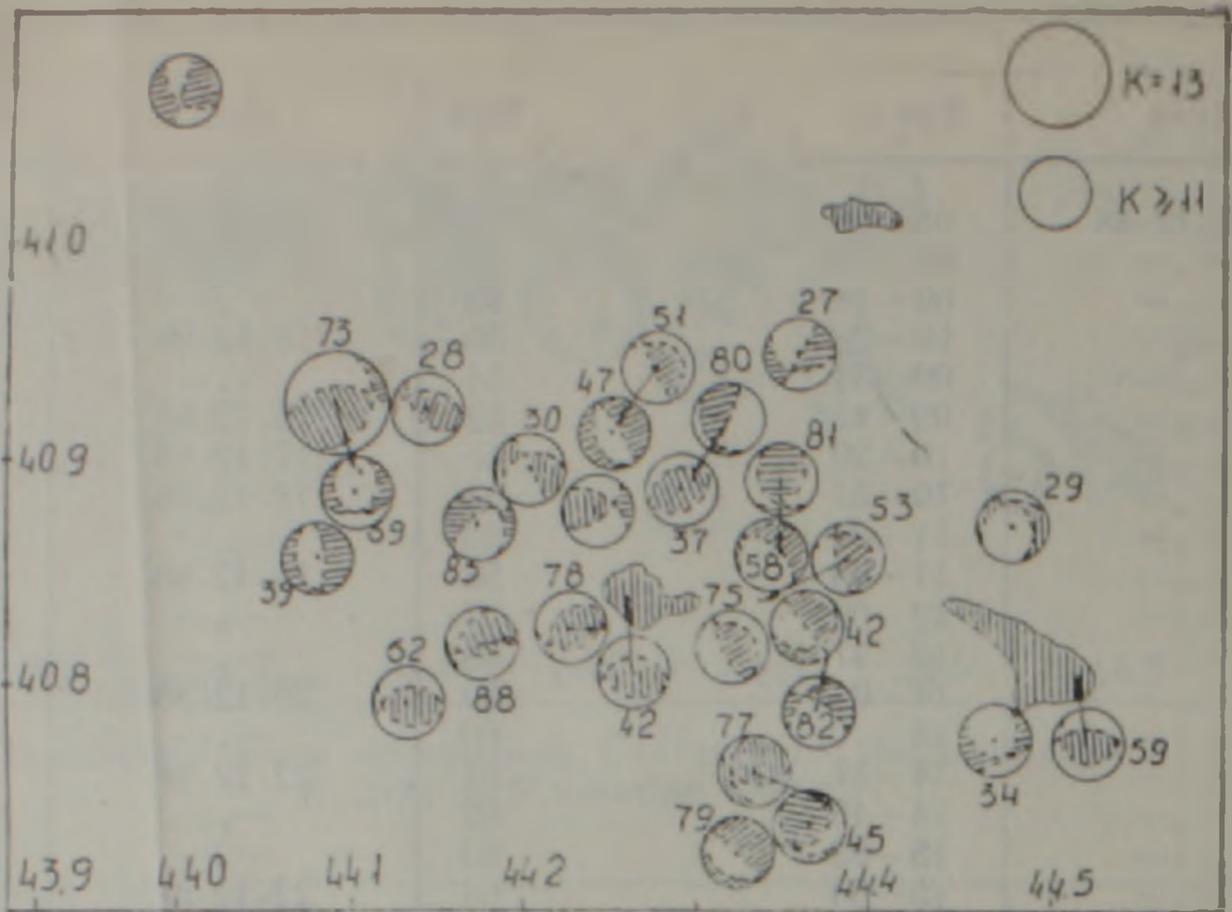


Рис. 4. Механизмы очага афтершоков Спитакского землетрясения с  $K \geq 11$  за период с 8 декабря по 31 января 1989 года.

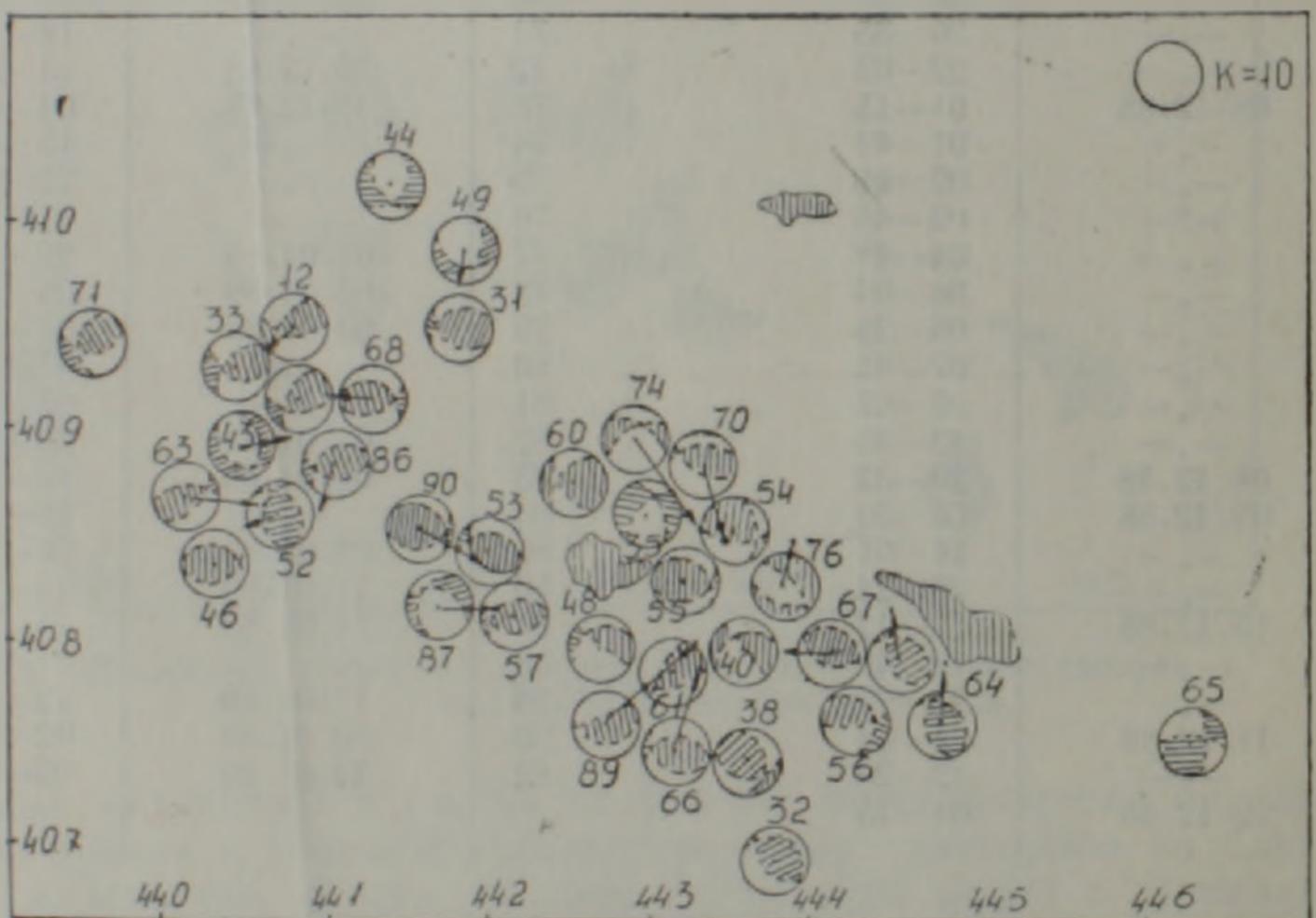


Рис. 5. Механизмы очага афтершоков Спитакского землетрясения с  $K = 10$  за период с 8 декабря по 31 января 1989 года.  
Обозначения: заштрихована область растяжения.

плоскостям, которые в совокупности позволяют предположить возможность поворотов отдельных блоков земной коры. Об этом свидетельствует также определенная упорядоченность промежуточных осей механизмов этой части зоны.

В западной части области не исключена возможность разветвления зоны активизировавшихся разрывов на две подобласти: северо-западного и запад-юго-западного простирания. По разрывам северо-западного простирания достаточно типичным представляются движения правостороннего типа с заметными взбросовыми компонентами. Примерно к этому же типу относится сильный афтершок, происшедший 30 марта 1989 г. в 16 ч 36 мин и определенный по предварительным данным. В целом в западной части развиты также правосторонние сдви-

ги со взбросом по широтным плоскостям, взбросы со взрезом по плоскостям северо-западного простирания, взрезы по плоскостям северо-западного простирания с подъемом северо-восточного крыла.

**Выводы.** Определен механизм очага главного толчка Спитакского землетрясения. Взбросовая компонента движения в очаге представляется взаимосвязанной с общей обстановкой близмеридионального регионального сжатия земной коры Северной Армении.

Изучены механизмы очага 91 афтершока с  $K \geq 10$ . Полностью охвачены афтершоки с  $K \geq 11$ . Обнаружены значительные изменения во времени типа подвижек в очагах афтершоков в течение 7 декабря после землетрясения и определенная пространственная приуроченность типов механизмов афтершоков в последующий период времени.

Авторы признательны члену-корр. АН АрмССР Нерсесову, И. Л., Попандопуло Г. А., Ахвердян Л. А., а также выражают благодарность Саргсяну Н. М., Саргсян Г. В. за предоставление сводных каталогов и помощь в подборе сейсмограмм, Товмасян А. К., Гаспарян Р. В. за помощь в обработке сейсмограмм, Амирбекяну Р. В. и Данояну А. Ю. за содействие, оказанное в работе на компьютере.

ИГИС АН АрмССР,  
ИФЗ АН СССР

Поступила 11.4.1989.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шагоян Т. Г. Параметры механизма очагов землетрясений территории Армении и сопредельных районов за 1971—1983 гг.—Деп. в ВИНИТИ 20.04.88. № 3039—В88. 1988, 14 с.
2. Юнга С. Л. Теоретико-методические элементы определения фокального механизма землетрясения.—Изв. АН СССР. Физика Земли, 1981, № 4, с. 33—42
3. Jackson J., D. McKenzie—Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between Turkey and Pakistan.—Geophys. J. R. astr. Soc., 1984, v. 77, p. 185—264.

ՌԱՏԱՅԻՆ ՀԱՅԿԱԶԻ ՎԱՆՅԱՆ



1989 թվականի հունվարի 13-ին կյանքից վաղաժամ հեռացավ հայ անվանի աշխարհագրագետ, Հայկական աշխարհագրական ընկերության գիտական քարտուղար, գիտության հմուտ կազմակերպիչ, ԽՍՀՄ անդամ Ռաֆայել Հայկազի Վանյանը:

Ռ. Հ. Վանյանը ծնվել է 1932 թվականի հունիսի 25-ին Ադրբեջանական ԽՍՀ Խանլարի շրջանի Զովդար գյուղում, կուլտնտեսականի ընտանիքում: Միջնակարգ կրթությունն ստացել է Խանլարում: 1951 թվականին ընդունվել է Երևանի Պետական համալսարանի աշխարհագրական ֆակուլտետը և 1956 թվականին հաջողությամբ ավսուրտել այդ ֆակուլտետի գեոմորֆոլոգիական բաժինը: Սովորելու տարիներին սկսել է մասնակցել է համալսարանի ուսանողական և հասարակական կյանքին, երկու անգամ ընտրվել է աշխարհագրական ֆակուլտետի ԼԿՄ կազմակերպության առաջին քարտուղար և համալսարանի ԼԿՄ կոմիտեի անդամ:

Համալսարանն ավարտելուց հետո, Ռ. Հ. Վանյանը գործուղվում է Հայկական ԽՍՀ Եղեգնաձորի շրջան՝ մասնակավարժական աշխատանքի: Դասավանդում է Եղեգնաձորում, եղել է Արենի գյուղի միջնակարգ դպրոցի դիրեկտոր: Այստեղ դրսևորվել են երիտասարդ մասնագետի ակնառու կազմակերպչական ընդունակությունները և կարճ ժամանակ հետո նա դառնում է տեղի երիտասարդության ճանաչված ու հարգված ղեկավարը, ընտրվում է շրջանի կոմերիտմիության շրջկոմի երկրորդ, ապա և ստաջին քարտուղար: Շուտով առաջ է քաշվում կուսակցական աշխատանքի և մի շարք տարիներ վարում է Եղեգնաձորի կուսակցական շրջկոմի բյուրոյի անդամի և կուսակցական-կազմակերպչական բաժնի վարիչի պաշտոնը:

Սղեղնաձորի շրջանում կատարած կուսակցական և հասարակական ակտիվ աշխատանքի համար 1961 թվականին Ռ. Հ. Վանյանը պարգևատրվում է ՀԽՍՀ Գերագույն խորհրդի նախագահության պատվոգրով:

Ռ. Հ. Վանյանը 1963 թվականին ընդունվում է Երևանի Պետական համալսարանի ասպիրանտուրան և իրեն նվիրում հայրենի երկրի լանդշաֆտների խոշոր մասշտաբի ուսումնասիրության ու քարտեզագրման աշխատանքներին, որոնց արդյունքների ղգալի մասը հրատարակվում է բազմաթիվ գիտական հոդվածներում: Ասպիրանտուրան ավարտելուց հետո, 1965 թվականին նա աշխատանքի է անցնում Հայկ. ԽՍՀ ԳԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի աշխարհագրական բաժնում՝ որպես կրտսեր գիտական աշխատող:

Հանրապետության աշխարհագրական հասարակայնությունը բարձր գնահատելով Ռ. Հ. Վանյանի կարողություններն ու գիտական ընդունակությունները, 1967 թվականին նրան ընտրում է Հայկական աշխարհագրական ընկերության գիտական քարտուղարի պատասխանատու պաշտոնում, որտեղ լիովին լքրսևորվեց նրա կազմակերպչական տաղանդը, անդավաճան նվիրվածությունը աշխարհագրական գիտությանը, մարդկանց հետ աշխատելու և վարվեցողության շնորհքը: Այս աշխատանքում նա կարողացավ համախմբել և կոորդինացնել հանրապետությունով մեկ սփռված աշխարհագրագետ մասնագետների ջանքերը աշխարհագրական ընկերության շրջանակներում: Վերջին 20 տարիների ընթացքում, երբ նա անընդմեջ վարել է գիտական քարտուղարի պատասխանությունները, Ռ. Վանյանի ջանքերով Հայկական աշխարհագրական ընկերությունը գիտական կապեր է հաստատել ԽՍՀՄ հանրապետությունների, ուղիալիստական մի շարք երկրների աշխարհագրական ընկերությունների հետ, կատարել է արժեքավոր ինքնուրույն գիտահետազոտական ուսումնասիրություններ, նպաստել է ընկերության կազմակերպչական ամրապնդմանը:

Ռ. Հ. Վանյանը ԽՍՀՄ աշխարհագրական ընկերության անդամ էր, բազմիցս ընտրվել է ԽՍՀՄ աշխարհագրական ընկերության համագումարների պատգամավոր: Մի շարք գիտական զեկուցումներով հանդես է եկել Միութենական գիտական նստաշրջաններում և աշխարհագրական համագումարներում:

Ռ. Հ. Վանյանը մեծ նվիրումով էր կազմակերպում դաշտային հետազոտման արշավախմբերը, ինքն էլ հանդիսանալով նրա ակտիվ մասնակիցն ու խորհրդատուն: Նրա ղեկավարությամբ կատարվում էր հանրապետության տարածքի քարանձավների հետազոտման և շտապարման աշխատանքները, որն ունի խոշոր կիրառական, գիտական-ճանաչողական և հայրենանվեր նշանակություն:

Ռ. Հ. Վանյանը անցել է կյանքի թեև կարճատև, բայց բովանդակալից տղի: Նա իր ողջ գիտակցական կյանքը նվիրաբերել է աշխարհագրական գիտելիքների պրոպագանդման, մատուղ սերնդի կոմունիստական դաստիարակության գործին: Ռ. Հ. Վանյանն աչքի էր ընկնում իր հոետորական ձիրքով, բազմակողմանի գիտելիքներով, հայրենասիրությամբ:

Ռ. Հ. Վանյանին ճանաչում էին ինչպես Հայաստանի, այնպես էլ խորհրդային Միության անվանի աշխարհագրագետները, նա վայելում էր գիտական հասարակայնության լայն շրջանների հարգանքն ու համակրանքը:

Ռաֆայել Հայկազի Վանյանի՝ յզնիվ ու սկզբունքային կոմունիստի, հայրենասերի, օրինակելի մարդու, անվանի աշխարհագրագետ-հետազոտողի, ընկերոջ ու քաղաքացու հիշատակը միշտ վսու կմնա մեր սրտերում: