

как показатель их предрасположенности к оползанию.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1984, № 6, с.51—54.

8. *Габриелян Г. К.* Русловая эрозия в бассейне озера Севан.—В кн. Вопросы географии. Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 1—2. Эрозион. и селевые явления Севанского бассейна. Ереван: Изд. ЕрГУ, 1984, с.120—131.
9. *Гагинян Р. Х.* Палеогеоморфология погребенных под лавами долины Сюникского вулканического нагорья.—Уч. зап. ЕрГУ, Ест. науки, 1984, № 2, с.137—143.
10. *Зейдис И. М., Симонов Ю. Г.* Эффект структурной памяти в динамике географических явлений.—Вест. МГУ, География, 1980, № 4, с.21—26.
11. *Cisternas A., Philip H., Bousquet G. C., Cara M., Deschamps A., Dorbath L., Dorbath C., Haessler H., Gimenez E., Nercessian A., Rivera L., Romanowicz B., Kvisshiani A., Shebalin N. V., Aptekman I., Areflew S., Borisov B. A., Gorshkov A., Graizer V., Lander A., Pletnev K., Rogozhin A. I., Talevossian R.* The Spitak (Armenia) earthquake of 7 December 1988: field observations, seismology and tectonics.—Nature, vol. 339, 29 June, 1989, p. 675—679.
12. *Wiegand G.* Zur Entstehung der Oberflächenformen in der westlichen und zentralen Türkei zugleich ein Beitrag zur Hangentwicklung und Pediplonation. Würzburg: geogr. Inst. der Univ, Würzburg, 1970, 97 s

Известия НАН РА, Науки о Земле, 1993, XLVI, № 1, 45—52

УДК 550.344; 550.348

С. Н. НАЗАРЕТЯН, Л. А. АРАКЕЛЯН

ВЕРОЯТНЫЙ МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 7 ДЕКАБРЯ 1988 г.

На основе данных о Спитакском землетрясении предлагается вероятный механизм возникновения Спитакского землетрясения 1988 г. вследствие активизации нескольких крупных разломов разной ориентировки, составляющих дизъюнктивный узел. Возможность накопления больших тектонических напряжений в узловой зоне объясняется переграждением пути движения одного блока краем другого. Дается пространственное расположение очагов трех отдельных сотрясений основного события и очередность их возникновения.

Предполагается, что очаги всех трех сотрясений расположены вдоль разлома северо-западного простирания, который во время землетрясения проявился на земной поверхности в виде взбросо-сдвига.

Накопленные факты, связанные со Спитакским землетрясением и процессами, происходящими в очаговой зоне, дают возможность установить механизм возникновения землетрясения.

Понимая, что процессы подготовки самого землетрясения пока еще слабо изучены, а многие вопросы спорные и нерешенные, нами предлагается лишь вариант вероятного механизма возникновения Спитакского землетрясения, который не противоречит существующим фактическим данным.

Вкратце отметим те факты и данные, на которых базируется предлагаемый механизм возникновения землетрясения.

Известно, что во время землетрясения на поверхности земли образовался (обновился) разлом типа взбросо-сдвиг, длиной 35 км, с азимутом простирания 300—320°. Плоскость разлома падает на северо-восток под углом в среднем 50—80°. Северо-восточное крыло надвинуто на юго-западное с вертикальной амплитудой до 2,5 м. Вследствие правостороннего сдвига произошло горизонтальное перемещение блоков величиной 40—150 см. Разлом на поверхности имеет прерывистый характер. Наибольшие протяженные фрагменты разлома

имеют длину около 10 км (у с. Алавар Гугаркского района и между населенными пунктами Спитак-Гехасар) [3].

Другой, важной на наш взгляд, сейсмодислокацией, образованной во время Спитакского землетрясения, является Дзорашенская сейсмогравитационная структура. По небольшому склону горы огромная масса, весом около 2 млн. тонн, была переброшена на расстояние 30—50 м, что дает нам основание предполагать наличие эпицентра сильного толчка именно в этом месте.

Согласно карте изосейст Спитакского землетрясения десятибалльная изосейста вытянута вдоль сеймотектонической структуры. Изосейста проведена по степени разрушения зданий двенадцати населенных пунктов. Кроме того установлено, что интенсивность землетрясения в городах Ленинакан и Степанаван составляла 9 баллов, а в Кировакане—8—9 баллов. Интенсивность землетрясения в гор. Спитаке, селах Алавар, Гехасар, Дзорашен составляла 10 баллов [6].

После установления временных сейсмических станций специалистами США и Франции в районе Спитакского землетрясения стало возможным более точное определение параметров афтершоков и, что особенно важно, изучение направления их миграции во времени. При таком подходе возможно довольно точно определить местоположение разрывов, активизированных после землетрясения. Выделяется несколько направлений концентрации эпицентров афтершоков [6].

Генеральное направление афтершоковой активизации совпадает с сеймотектоническим разломом северо-западного простирания (по направлению Алавар-Спитак-Дзорашен-Мусаелян) и известным Базум-Севанским разломом близширотного простирания.

Установлено также, что глубина гипоцентров афтершоков на участке Алавар-Спитак меньше (до 5 км), чем на участке Спитак-Гехасар-Джаджур (до 15 км) [10, 11].

Кроме указанных двух основных направлений миграции афтершоков выделяются также северо-восточное (вдоль Дигор-Степанаванского разлома) и меридиональное (вдоль Арарат-Спитак-Калининского разлома) направления. Таким образом, после Спитакского землетрясения активизировались все основные крупные разломы, составляющие Спитакский дизъюнктивный узел.

Сейсмологами установлено, что основное событие 7 декабря состоит из трех самостоятельных толчков, с интервалами между ними 5 и 14 секунд. Расположение этих толчков по записям трудно или невозможно установить. Поэтому ряд специалистов предполагают, что они разбросаны в пространстве [10], а Н. В. Шебалин считает, что они произошли почти в одном и том же месте (в районе г. Спитака), но на разных глубинах [9]. Мы, очевидцы, в г. Ленинакане землетрясение почувствовали таким образом: оно началось очень медленно, потом постепенно усилилось. Продолжительность этого толчка, по ощущению, длилось около 20 секунд, после чего наступило затишье, продолжительностью 10—15 секунд. Во время первого (по ощущению) толчка больших разрушений не было. Потом последовал второй сильный толчок, причинивший основной ущерб городу. Во время второго толчка невозможно было устоять на ногах. Таким образом, в г. Ленинакане имели место два ощутимых толчка, причем второй из них был более сильный. Отделить друг от друга первый и

второй толчки, выделившиеся на записях, по ощущению было затруднительно или невозможно.

В. И. Халтурин на основе записей основных толчков заключает, что в земной коре происходило не вспарывание разлома, а «ломка» на его отдельных участках зацепки. На остальных участках разлом был подготовлен. К большим спорам приводит определение глубины залегания гипоцентра основного толчка. По разным данным, гипоцентр располагался на глубине от 2,5 (М. А. Алексидзе) до 20 км и более (Н. В. Шебалин). В настоящее время специалисты считают, что глубина составляли около 10 км. Так как имели место три самостоятельных толчка, значит надо говорить о глубине каждого из них или рассматривать развитие очага (как единого процесса) в пространстве и во времени.

По-видимому, глубина залегания гипоцентров этих трех толчков разная (об этом свидетельствует разная глубина концентраций афтершоков). Важно установить, какой из них имел поверхностное или глубинное расположение.

До Спитакского землетрясения путем обобщения данных параметров механизма очагов более 150 землетрясений с $M \geq 4$ было получено, что верхняя часть земной коры территории республики подвергается меридиональному региональному сжатию. Причем наиболее подвижными должны были быть диагональные разломы. По северо-западным разломам, вероятно, были правосторонние подвижки, а по северо-восточным—левосторонние [4].

Был предложен возможный механизм возникновения сильных землетрясений в дизъюнктивных узлах территории Армянской ССР [7]. Согласно этому механизму, когда один блок своим краем преграждает путь движению другого блока, вследствие горизонтального движения минимум по двум разломам разной ориентировки, тогда возможно накопление больших тектонических напряжений, следовательно, и возникновение сильного землетрясения.

Вероятный механизм возникновения Спитакского землетрясения

На основе вышеуказанных фактов и предположений нами предлагается следующий механизм возникновения Спитакского землетрясения.

Минимум по двум разломам, образующим Спитакский дизъюнктивный узел (рис. 1а), произошли горизонтальные перемещения. Причем, по субширотному разлому в какой-то период были более интенсивные движения, чем по северо-западному разлому (рис. 1б). Вследствие этого был прегражден путь движению по северо-западному разлому, что послужило основной причиной накопления больших тектонических напряжений в дизъюнктивном узле (рис. 1в). Накопленное напряжение в конце-концов привело к разрыву (активизации) северо-западного разлома, что и отразилось на дневной поверхности в виде сейсмогенного разрыва (рис. 1г).

Одновременно в разных масштабах, по величине уступающих северо-западному разлому, активизировались и другие разломы: субширотное, меридиональное, северо-восточные (рис. 1д).

По типам механизмов очагов афтершоков и их пространственному распределению выделяются три (иногда пять) основных участ-

ков, которые довольно неустойчивы во времени [2]. Этот факт указывает на сложную сеймотектоническую ситуацию района. Здесь пересекаются разломы разных направлений, отдельные фрагменты которых активизировались во время и после основного события. Причем по одним фрагментам наблюдалось сжатие, а по другим — растяжение. Интересно то, что северо-восточнее г. Ленинакан были афтершоки с $K \geq 10$, с левосторонним сдвигом. По всей вероятности, они связаны с Дигор-Степанаванским северо-восточным разломом [7].

Образованные на поверхности разломы (остаточные деформации) и характер движения по ним [8] согласуются с вышеизложенным механизмом.

Расположение очагов основных толчков в пространстве

Для установления местоположения и очередности основных толчков, нами использованы вышеизложенный механизм, величина интенсивности проявления землетрясения на территории разных населенных пунктов, сейсмодислокации и ряд других данных. Нам кажется, что все три толчка основного события расположены вдоль образованного на поверхности земли Алавар-Спитак-Гехасар-Дзорашенского

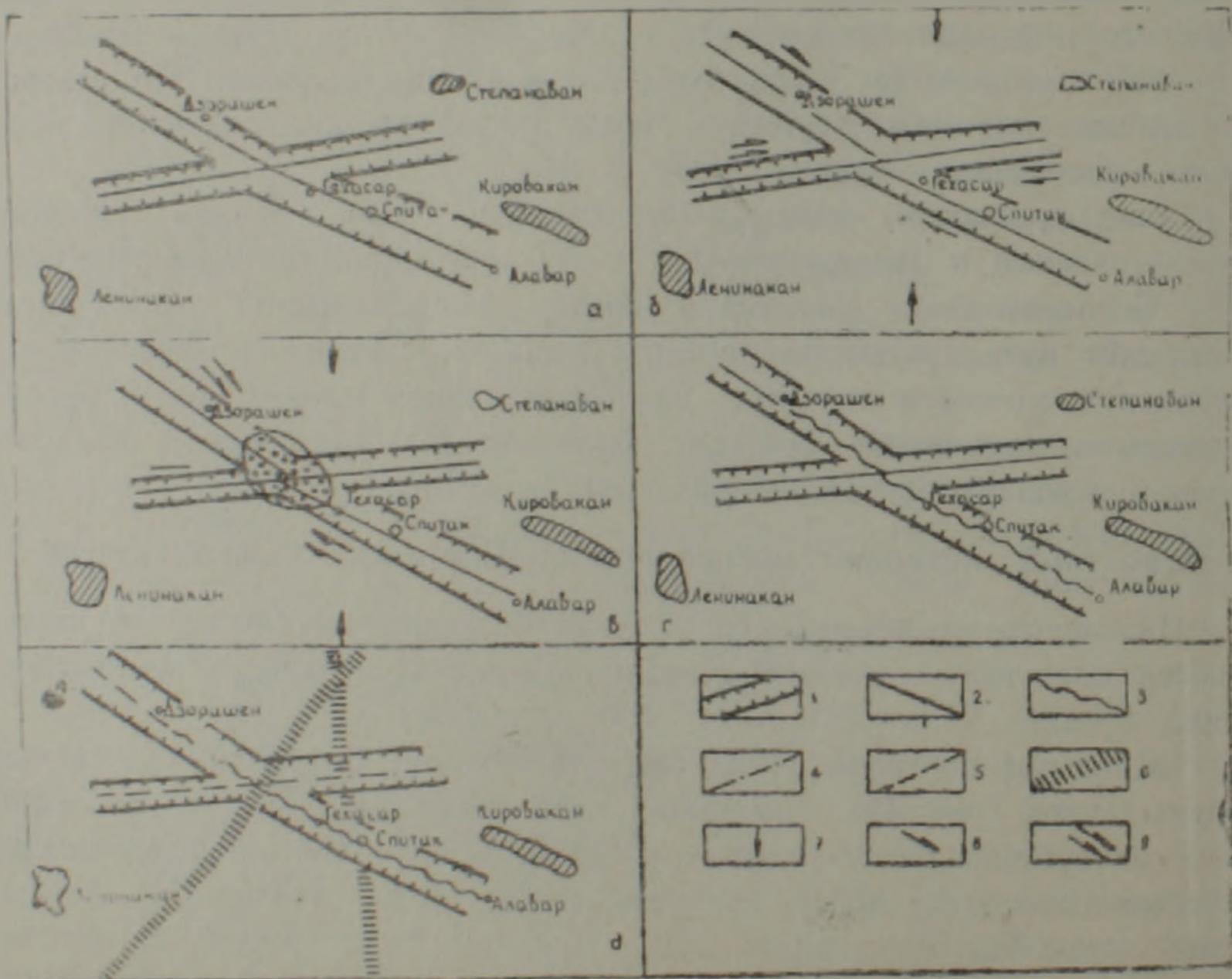


Рис. 1. Вероятный механизм (этапы) возникновения Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г. 1—условные границы зон глубинных разломов; 2—оси глубинных разломов; 3—сеймотектонический разлом (взбросо-сдвиг), вышедший на поверхность Земли; 4—оси активизированных во время землетрясения разломов по расположению афтершоков; 5—ось активизированного во время землетрясения Базум-Севанского разлома, слабо и фрагментарно выраженного на земной поверхности; 6—глубинные разломы, активизированные во время и после Спитакского землетрясения; 7—направление вектора регионального сжатия по параметрам механизма очагов; 8—направление горизонтальных движений; 9—направление активных горизонтальных движений.

разлома северо-западного простирания. Наличие двух непрерывных фрагментов разломов длиной около 10 км у села Алавар и между населенными пунктами Спитак-Гехасар указывает на местоположение двух толчков, а об эпицентре третьего толчка указывает мощная сейсмогравитационная дислокация у села Дзорашен Гюкасянского района. По-видимому, образование разрыва началось у села Алавар, по-

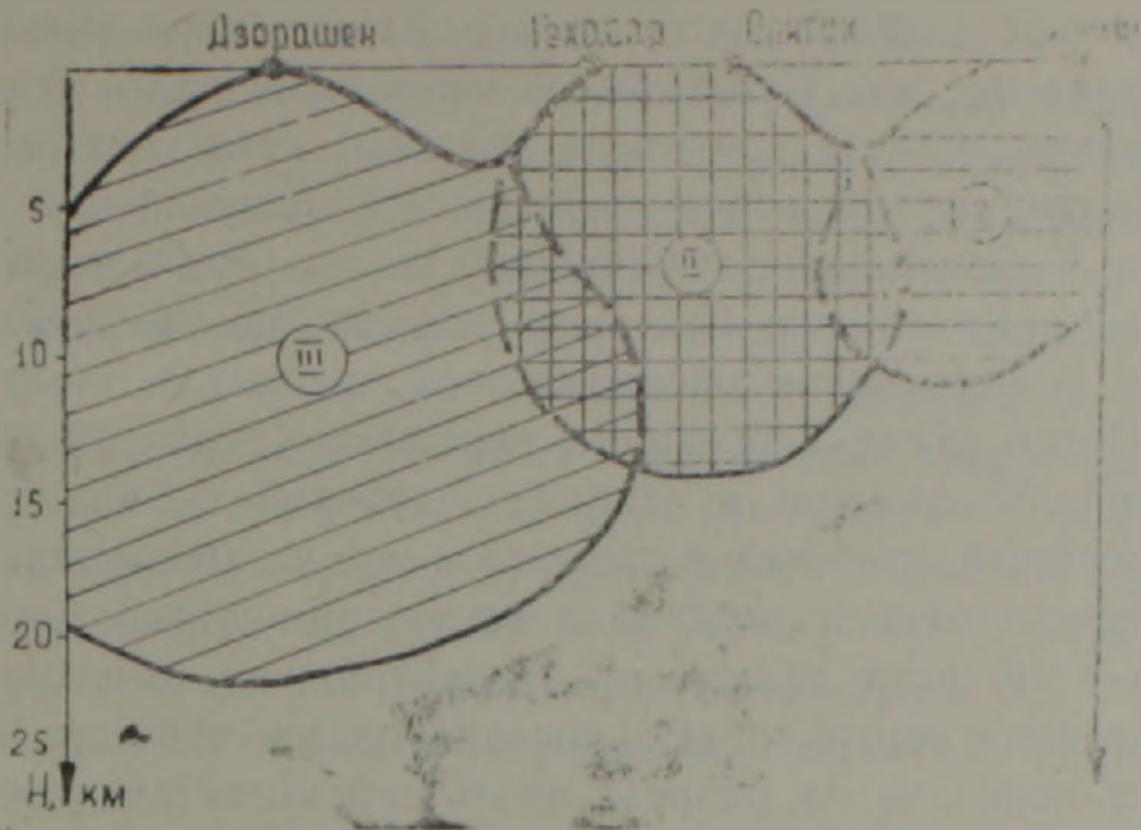


Рис. 2 Расположение очагов отдельных сотрясений основного события 7 декабря 1988 г в разрезе земной коры.

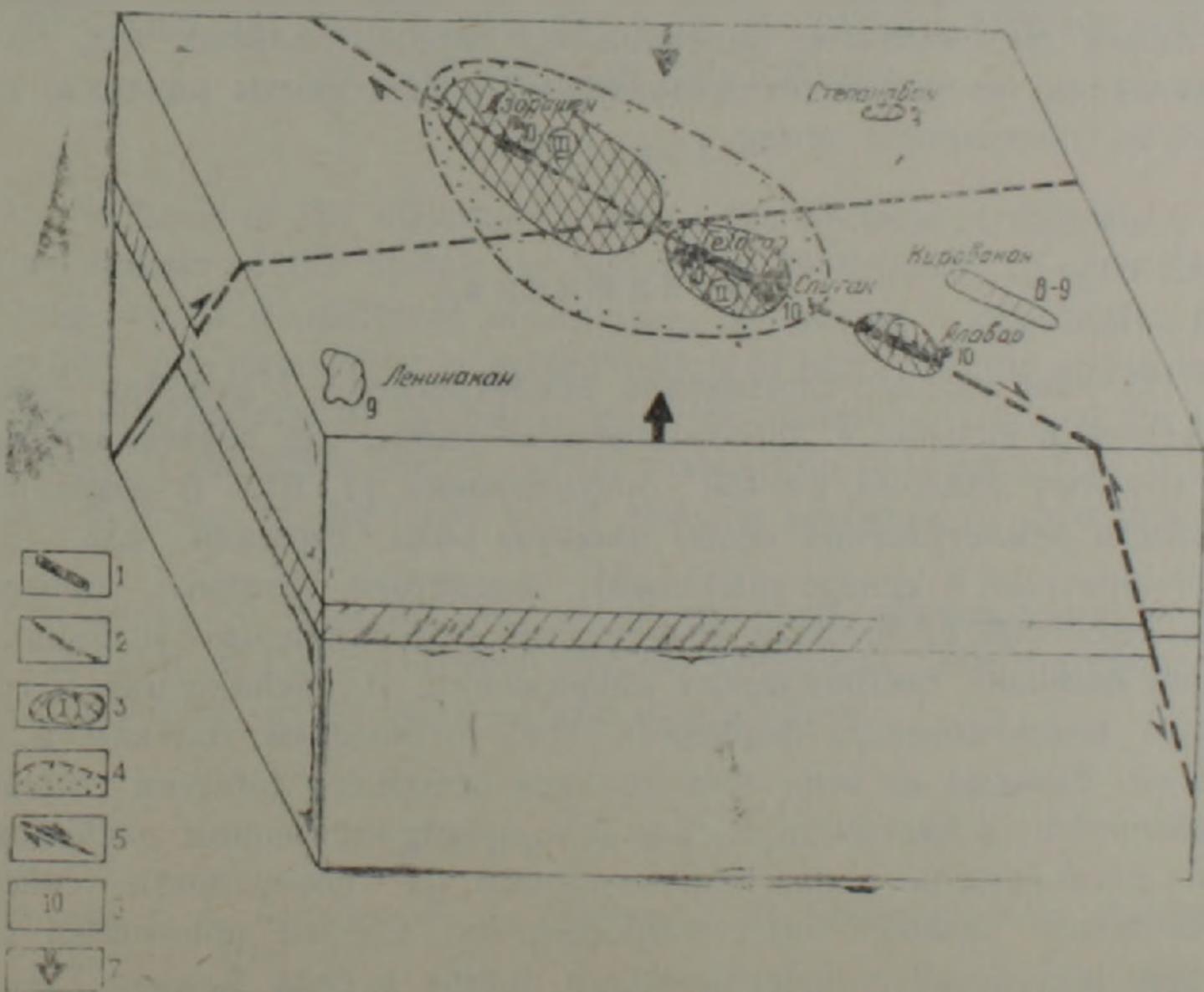


Рис. 3 Блок-диаграмма сеймотектонической ситуации эпицентральной зоны Спитакского землетрясения 1988 г. 1—фрагменты сеймотектонического разлома, вышедшие на поверхность земли; 2—оси активизированных во время землетрясения разломов; 3—эпицентральные области трех отдельных сотрясений; 4—основная область накопления тектонических напряжений; 5—направление горизонтальных перемещений; 6—величина интенсивности землетрясения в баллах; 7—направление региональных тектонических напряжений

том через 5 с продолжалось на участке Спитак-Гехасар, а уже потом, после 15-секундного перерыва был третий толчок с эпицентром у села Дзорашен. Так как первый толчок (Алаварский) произошел в 6—8 км от г. Кировакана, который относительно несильно пострадал, следовательно, можно предположить, что первый толчок был несильный и очень поверхностный, с глубиной гипоцентра до 5 км (об этом свидетельствует глубина афтершоков). Затем было довольно сильное второе сотрясение под Спитаком, которое разрушило город и близлежащие села (в том числе Гехасар). Этот толчок по сравнению с первым имел большую глубину и большую силу. Оба толчка ощущались в Ленинакане и Степанаване, но они, в отличие от городов Спитак и Кировакан, большого ущерба не причинили, так как Ленинакан и Степанаван располагались далеко от эпицентров этих толчков. Потом после небольшого перерыва (около 15 секунд) был третий наиболее сильный и наиболее глубокий толчок с эпицентром у села Дзорашен, который и разрушил города Ленинакан и Степанаван. Кировакан меньше пострадал от этого мощного толчка, так как находился в 1,5 раза дальше от эпицентра, чем вышеотмеченные города. Описанная картина расположения очагов трех толчков основного события показана на разрезе вдоль сейсмоструктурного разлома (рис. 2) и на блок-диаграмме эпицентральной области Спитакского землетрясения (рис. 3). Наиболее универсальной является блок-диаграмма эпицентральной области, на которой показаны направления подвижек по разломам, расположение эпицентральных зон, областей накопления тектонических напряжений и фрагменты разлома, вышедшего на поверхность земли.

З а к л ю ч е н и е

На наш взгляд, Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 года генетически связано с дизъюнктивным узлом, где пересекаются четыре крупных разлома разной ориентировки [1, 6]. В возникновении сильного землетрясения особо важную роль сыграли два разлома (субширотный и северо-западный), вследствие активных горизонтальных движений, по которым создавались благоприятные условия накопления больших тектонических напряжений. Их релаксация и соответствует возникновению форшоков, трем отдельным толчкам и афтершокам. Каждый из этих трех толчков основного события имеет свои особенности, в частности в силе и в пространственном расположении. Они расположены вдоль образованного на поверхности сейсмоструктурного разлома типа взбросо-сдвиг. Сперва произошел относительно несильный и поверхностный толчок у села Алавар Гугаркского района, затем после небольшого (5 с) перерыва было сильное и относительно глубокое сотрясение между с. Гехасар и г. Спитак, а потом уже через 15 с. произошел третий, самый сильный и более глубокий толчок с эпицентром у с. Дзорашен Гугасянского района (рис. 3). Были подвижки также по широтному разлому, которые четко не отразились на поверхности земли.

1988 թ. ԳԵԿՏԵՄԲԵՐԻ 7-Ի ՍՊԻՏԱԿԻ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ԱՌԱՋԱՑՄԱՆ
ՀԱՎԱՆԱԿԱՆ ՄԵԽԱՆԻԶՄԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հենվելով Սպիտակի երկրաշարժի մասին եղած փաստացի նյութերից և որոշ եզրահանգումներից առաջարկվում է նրա առաջացման հավանական մեխանիզմը: Հստակ այդ մեխանիզմի Սպիտակի խզումնային հանդույցը կազմող առնվազն երկու բեկվածքներով տեղի են ունեցել ակտիվ հորիզոնական շարժումներ, որի հետևանքով երկրակեղևի մեկ բլոկը իրեն եզրով փակել է մյուս բեկվածքով տեղի ունեցող շարժման ճանապարհը դրանով իսկ պատճառ հանդիսանալով տեկտոնական մեծ լարումների կուտակման: Կուտակված լարումների բեռնաթափումը համընկնում է երկրաշարժի հետ: Ենթադրվում է, որ երկրաշարժի հիմնական մասը կազմող երեք տարբեր ցնցումները դասավորված են երկրի մակերեսը դուրս եկած խզման ուղղությամբ, այսինքն Գուգարքի շրջանի Ալավար գյուղից մինչև Ղուկասյանի շրջանի Չորաշեն գյուղի մոտերքը: Ավելի մեծ ուժի ցնցումը եղել է Չորաշենի մոտ, որը և ունեցել է ավելի մեծ հիպոկենտրոնի խորություն: Այս հաստատված էլ եղել է լենինական և Ստեփանավան քաղաքների ավերման հիմնական պատճառը:

S. N. NAZARETIAN, L. A. ARAKELIAN

A MECHANISM OF ORIGIN OF THE SPITACK EARTHQUAKE
ON THE 7-TH OF DECEMBER

Abstract

On the basis of the information about the Spitack earthquake a possible mechanism of the Spitak earthquake in 1988 owing to activities of some huge faults of different orientation, composing a disjunctive knot, is proposed. The possibility of accumulation of high tectonic stress in the knot zone is explained by the partition of the movement track of the block by the edge of the other one. A spatial disposition of seismic foci of three different shakings of the basic event and the sequence of their origin is given.

It is supposed, that the foci of all the three shakings are situated along the fault of the north-west stretch, which has been manifested on the Earth's surface as an uplift and displacement.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Габриелян А. А., Сиркисян О. А., Симонян Г. П. Сейсмоструктура Армянской ССР. Ереван: Изд. ЕГУ, 1981, 270с.
2. Гедакян Э. Г., Агаронян В. Ж., Данилова М. А., Юнга С. Л. Особенности фокальных механизмов афтершоков Спитакского землетрясения.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, № 3, 1989, с.71—77.
3. Караханян А. С. Результаты наземного и аэрокосмического изучения активных разломов и сейсмических деформаций Спитакского землетрясения 1988 г.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, № 3, с.20—23.
4. Киракосян А. А., Назаретян С. Н. Определение возможных направлений активизации глубинных разломов территории Армянской ССР на основе региональных напряжений.—Тезисы докл. III семинара школы «Геодинамика Кавказа» Ереван: Изд. АН АрмССР, 1986, с.121—122

5. Милановский Е. Е. Геологическое строение района катастрофического землетрясения в Северной Армении и тектонические условия его возникновения.—Геотектоника, 1990, № 1, с.3—11.
6. Назаретян С. Н. Ретроспективный прогноз Спитакского землетрясения 1988 г.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, № 4, с.30—35.
7. Назаретян С. Н. Возможный механизм возникновения сильных землетрясений в дизъюнктивных узлах территории Армянской ССР.—ДАН АрмССР, 1987, т. LXXXV, № 5, с.203—207.
8. Никонов А. Л. Катастрофическое Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г. в северной Армении: вопросы сеймотектоники и механизма очага.—Геотектоника, 1990, № 1, с.25—31.
9. Шебалян Н. В., Борисов Б. А. Спитакское землетрясение. Журнал «Гитутюн еа техника», № 12, 1989, с.17—23.
10. Filson J., Borchardt R. et al.—Results and 89 data from Seismologic and Geologic studies following earthquakes of December 7, 1988, Near Spitak, Armenian SSB, USA, 1989, 188 p.
11. Cisternas A., Philip H., et al. The Spitak (Armenia) Earthquake of December 7, 1988. Field observations, Seismology and Tectonics. Strasbourg (France), 1989, 13 p.

Известия НАН РА. Науки о Земле, 1993, XLVI, № 1, 52—62.

УДК 624.131.526

С. Ш. ПУРИДЖАНИЯН

ОСЕСИММЕТРИЧНАЯ ЗАДАЧА КОНСОЛИДАЦИИ С УЧЕТОМ НАЧАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА НАПОРА

Рассматривается осесимметричная задача консолидации водонасыщенного глинистого грунта. Принято, что фильтрация воды в грунте не подчиняется закону Дарси из-за наличия начального градиента напора. Получены аналитические выражения для прогнозирования средней степени консолидации.

Результаты многочисленных экспериментальных исследований ученых показали, что фильтрация воды в некоторых глинистых грунтах и илах протекает с отклонением от закона Дарси. Скорость фильтрации в этих грунтах при малых градиентах напора настолько мала, по сравнению со скоростью при больших градиентах напора, что ее можно принять равной нулю. Тогда закон Дарси, обычно записываемый в виде $v = ki$, при учете начального градиента напора будет выглядеть следующим образом:

$$v = k(i - i_0) \text{ при } i > i_0 \text{ и } v = 0 \text{ при } i < i_0. \quad (1)$$

Здесь величину i_0 называют начальным градиентом напора.

В случае наличия начального градиента напора его учет при прогнозировании консолидации является обязательным, т. к. он оказывает существенное влияние на скорость протекания процесса уплотнения и, что самое главное, существенно уменьшается величина конечной осадки. Впервые корректная постановка одномерной задачи консолидации с учетом начального градиента напора была дана В. А. Флоринным в [1]. М. Ю. Абелевым в [2] рассмотрены методы расчета вертикальных дрен и прорезей с учетом начального градиента напора и структурной прочности сжатия грунтов. Однако, на наш взгляд, в постановке задач им допущена существенная ошибка, о которой подробнее будет сказано ниже.

Прогноз уплотнения водонасыщенных глинистых грунтов при применении вертикальных дрен осуществляется с использованием теории