

## СЕЙСМИЧЕСКАЯ ТРЕЩИНОВАТОСТЬ И ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ АРМЯНСКОГО НАГОРЬЯ

© 1996 г. А. Х. Баграмян

*Институт геофизики и инженерной сейсмологии НАН РА  
377515 г. Гюмри, ул. Ленинградян 5, Республика Армения  
Поступила в редакцию 24.05.91*

На основе исследования механизмов и пространственно-временного распределения очагов землетрясений детально изучены тонкая структура трещиноватости земной коры, напряженно-деформированное состояние среды и изменения во времени быстрых сеймотектонических процессов в земной коре в районе АрмАЭС.

Для изыскания предвестников землетрясений детально изучены тонкая структура трещиноватости земной коры, напряженно-деформированное состояние среды и изменения во времени быстрых сеймотектонических процессов в земной коре в центральной части Армянского нагорья.

Установлено существование определенной системы в трещиноватости земной коры Армянского нагорья по целому комплексу геолого-геофизических данных, определен вид напряженно-деформированного состояния земной коры этого региона и обнаружены значимые временные изменения параметров напряженно-деформированного состояния и характер прорабатываемых в различное время структур трещиноватости. Можно считать установленным, что связанные в пространстве и времени линейные последовательности эпицентров землетрясений—цепочки землетрясений—являются маркирующими элементами зон развития быстрых деформаций при протекании сеймотектонического процесса, и наблюдаемые изменения во времени рисунка цепочек землетрясений отражают динамику этого процесса.

Армянская атомная электростанция расположена в Араратской долине РА, характеризующейся весьма высокой сейсмической активностью, где произошло множество сильных и разрушительных землетрясений [2]. Это обстоятельство требует проведение непрерывных инструментальных наблюдений над сильными и слабыми землетрясениями, изучение строения, напряженно-деформированного состояния и условий сейсмичности, что будет способствовать выявлению предвестников землетрясений в районе ААЭС. Используя геолого-геофизические данные, а также результаты исследований на станциях «Земля», детально изучены строение земной коры и сейсмические условия рассматриваемой территории [4, 5, 6, 12].

С целью детального изучения трещиноватости и напряженно-деформированного состояния центральной части Армянского нагорья в районе исследования были организованы временные сейсмические станции, оборудованные короткопериодными сейсмографами с высокой чувствительностью.

Анализ азимутальных гистограмм различных по своей физической природе линейных элементов показал, что между сейсмической трещиноватостью, геолого-тектоническими линейными элементами, выделяемыми при полевых и воздушных наблюдениях, и линейными эпозонными элементами

дневной поверхности существует определенная генетическая связь, природу которой мы предположительно видим в существовании трещиноватости земной коры [7, 8, 9, 10]. Пространственное распределение этой трещиноватости обладает хорошо выраженной анизотропией. В земной коре Армянского нагорья наблюдается определенная система в ориентации ее трещиноватости. При этом определяющей является взаимно сопряженная ортогональная система близширотной и близмеридиональной трещиноватости.

В качестве «трещиноватости земной коры» мы рассмотрели: карту эрозионной сети, сетку разрывных геолого-тектонических нарушений, структуру линсаментов, выделяемых по аэрокосмическим снимкам, ориентацию плоскостей разрывов в очагах землетрясений, определяемую из решений механизмов очагов землетрясений, считывались азимуты всех спрямленных участков речных долин, водостоков, оврагов и балок.

На рис. 1, а, б, в, г приведены все цепочки, выделенные по годовым данным за период времени 1980—1983 гг. Наблюдается определенная система в ориентации цепочек: это преимущественно северо-западное-юго-восточное и северо-восточное-юго-западное направления, т. е.

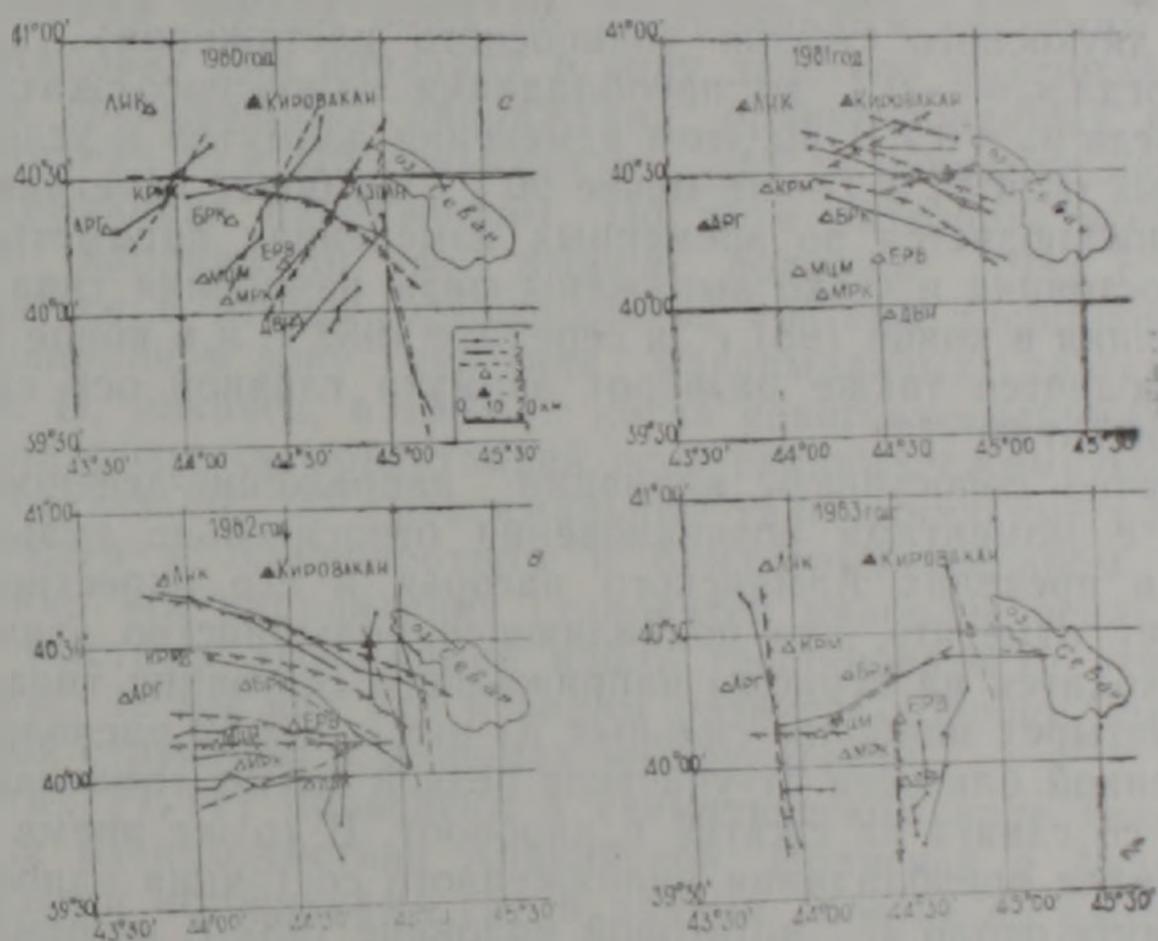


Рис. 1. а. Цепочки землетрясений за 1980 г. 1—цепочки землетрясений; 2—главнейшие трансрегиональные линсаменты, 3—региональные и локальные линсаменты; 4—сейсмические станции; 5—населенные пункты. б. Цепочки землетрясений за 1981 г. в. Цепочки землетрясений за 1982 г. г. Цепочки землетрясений за 1983 г.

диагональная система, и близширотное и близмеридиональное направления—ортогональная система, где рисунок цепочек землетрясений заметно меняется от года к году.

Из рассмотренных выше аналогий следует ожидать, что цепочки землетрясений маркируют определенные ослабленные зоны в земной коре Армянского нагорья.

Представляет определенный интерес рассмотрение возможных изменений во времени напряженно-деформированного состояния. Этот аспект исследования приобретает очень важное значение в вопросах изучения возможностей прогноза сильных землетрясений. Анализ воз-

возможностей изучения временных вариаций напряженно-деформированного состояния мы провели на материале определений механизмов очагов слабых землетрясений за время с 1981 по сентябрь 1983 гг. Механизмы очагов слабых землетрясений определялись по знакам первых вступлений продольных волн, зарегистрированных восемью временными и стационарными сейсмическими станциями. Определения проводились на ЭВМ СМ-4 в комплексной сейсмологической экспедиции Института Физики Земли АН СССР в Гарме по программе, разработанной А. А. Лукком и С. Л. Юнгой.

Результаты временных вариаций параметров напряженно-деформированного состояния указывают на временный ход величин таких параметров STD (сейсмотектонической деформации) как коэффициент Лодде-Надаи— $\mu_n$ , описывающий вид деформированного состояния, ориентации главных осей сжатия  $P_1$  и растяжения  $T_1$ , задаваемых азимутами и углом наклона ( $A_1$  и  $\alpha$ ). Получены изменения во времени типа напряженного состояния, задаваемого величиной угла  $\omega$  (угол вида напряженного состояния), и азимута  $A_2$  главной оси напряжения сжатия  $P_2$ .

Наиболее резкие изменения в характере сейсмотектонического деформирования произошли в конце 1981—начале 1982 гг., затем во второй половине 1982 г. При этом вид деформированного состояния изменился от двухосного сжатия (одноосного растяжения) в середине 1982 г., когда  $\mu_n = -0,7$ , до преобладания одноосного сжатия в конце 1982 г., когда  $\mu_n = 0,7$ . При этом изменения азимуты и углы наклона главных осей  $P_1$  и  $T_1$ —не менее  $90^\circ$ . Еще более отчетливая закономерность наблюдается во временных изменениях параметров напряженного состояния и четко выражены фазы изменения типа напряженного состояния в конце 1981 г., в середине 1982 г. и в конце 1982 г. При этом наблюдается также разворот азимута главной оси сжатия  $P_1$  на величину около  $90^\circ$  [3].

Интересно сопоставить вариации напряженно-деформированного состояния с моментами возникновения относительно сильных землетрясений в пределах Армянского нагорья и его окрестностей.

Следует отметить, что подавляющее большинство этих землетрясений приходится на периоды напряженного состояния типа сдвига, а моменты четырех наиболее сильных из них с  $K \approx 12$  расположены в непосредственной близости от участков резкой смены типа напряженного состояния со сдвига на сжатие и наоборот. В то же время во временном интервале преобладания напряженного состояния одноосного сжатия в азимуте около  $45^\circ$ , во второй половине 1982 г. не отмечено практически ни одного относительно сильного землетрясения. Создается впечатление, что в этот момент времени происходит накопление упругой энергии в деформируемом материале земной коры, которая затем разряжается в процессе сдвиговых перемещений блоков земной коры на стадии сдвигового напряженного состояния.

Цепочки землетрясений выступают в качестве маркирующих элементов сейсмотектонического процесса, указывающих на линейные структуры в земной коре, в пределах которых в данный момент развиваются быстрые деформации. Иными словами, цепочки землетрясений могут выступать в качестве индикаторов динамики сейсмотектонического процесса, чутко реагируя на временные вариации напряженно-деформированного состояния в земной коре изучаемого региона.

Так, на рис. 1а наиболее ярко проработано цепочками землетрясений в 1980 г. диагональное северо-восточное-юго-западное простирание трещиноватости земной коры и сопряженная с ней система в виде одной протяженной цепочки землетрясений. В то же время наме-

чена и ортогональная система в виде двух сопряженных цепочек землетрясений. В следующем 1981 г., согласно рис. 1б мы видим, что от ярко выраженной диагональной структуры цепочек осталась лишь одна, но зато очень ярко проработано сопряженное северо-западное-юго-западное направление в структуре диагональной трещиноватости. В следующем 1982 г. (рис. 1в) вместе с продолжающейся проработкой диагонального северо-западного-юго-восточного направления начинается проработка ортогональной системы трещиноватости. Близширотные и близмеридиональные направления в рисунке цепочек землетрясений становятся преобладающими. И, наконец, на рис. 1г мы видим яркое преобладание в последующем 1983 г. именно этих двух направлений в ориентации цепочек землетрясений.

Одновременная проработка цепочками двух систем трещиноватости земной коры может находить удовлетворительное объяснение в наблюдаемых изменениях в ориентации осей главных сжимающих напряжений в течение второй половины 1982 г. от близмеридионального до диагонального в азимуте около  $45^\circ$ . В первом случае, когда ось главных сжимающих напряжений была ориентирована в близмеридиональном направлении, предпочтительными являлись сдвиговые деформации материала земной коры по диагональным системам трещиноватости, поскольку они попадали в зону действия максимальных тангенциальных срезающих напряжений, ориентированных в данном случае в азимутах  $45$  и  $315^\circ$  (под углом  $45^\circ$  к направлению действия главных сжимающих напряжений). По мере разворота осей главных сжимающих напряжений во второй половине 1982 г. начинает прорабатываться и вторая ортогональная система трещиноватости по мере ее попадания в зону действия максимальных тангенциальных напряжений. И, наконец, в 1983 г., когда сдвиговое напряженное состояние характеризуется ориентацией осей главных сжимающих напряжений в азимутах  $20-60^\circ$ , максимальные тангенциальные напряжения концентрируются в близширотном и близмеридиональном направлениях и именно эти направления становятся наиболее реальными для реализации быстрых деформаций вдоль трещиноватости этих простираний. На рис. 1г мы как раз и видим развитие хорошо выраженной ортогональной структуры в цепочках землетрясений.

В работах [1, 11] приведена в схематическом виде такая реконструкция для взаимодействия Аравийской, Иранской и Анатолийской плит. Основными источниками сил в данном регионе по рассматриваемой реконструкции является взаимодействие перемещающейся в северном направлении Аравийской плиты и неподвижной, выступающей в качестве упора Европейской плиты. Развивающиеся в зоне их коллизии на Кавказе интенсивные сжимающие напряжения и являются, по широко распространенному мнению, причиной кавказского орогенеза в этой части Альпийского геосинклинального пояса. Вместе с тем на фронте перемещающейся к северу Аравийской плиты происходит выталкивание двух малых литосферных плит—Иранской и Анатолийской. При этом Анатолийская плита перемещается в западном направлении, закрывая северо-восточную часть Средиземного моря, а Иранская плита перемещается в северо-восточном направлении, наезжая в своей срединной части на Каспийское море.

В таких условиях действия сил литосфера Малого Кавказа может подвергаться попеременно воздействию то близмеридиональных, то сжимающих напряжений под углом  $45^\circ$  к этим направлениям. Указанные изменения в ориентации сжимающих напряжений могут быть обусловлены условиями взаимодействия Аравийской и Иранской литосферных плит в данный отрезок времени.

Попробуем приложить эти представления к обоснованию реальной возможности значимых временных вариаций напряженно-деформированного состояния изучаемого региона.

Во-первых, само существование описанной выше системы трещиноватости в земной коре Малого Кавказа удовлетворительно укладывается в схему сил, действующих в зоне коллизии Аравийской и Европейской литосферных плит. Максимальные тангенциальные напряжения в рассматриваемом регионе должны действовать в широтном и меридиональном направлениях за счет воздействия Аравийской плиты и под  $45^\circ$  к ним за счет воздействия Иранской плиты.

Во-вторых, ориентация главной оси сжимающих напряжений, оцененная по многолетним наблюдениям за механизмами очагов относительно сильных землетрясений Малого Кавказа, находится в удовлетворительном согласии с направлением движения к северу Аравийской плиты. По-видимому, в целом для Малого Кавказа, определяющими являются близмеридиональные горизонтальные сжимающие напряжения, обусловленные давлением Аравийской плиты.

В-третьих, отмеченный разворот оси максимальных сжимающих напряжений на  $45^\circ$  от близмеридионального направления в течение 1982—1983 гг. вполне может быть увязан с направлением перемещения Иранской плиты в азимуте  $45^\circ$ . При этом, несомненно, должна возрастать роль близгоризонтального одноосного сжатия или взбросового типа напряжений в литосфере Малого Кавказа, взамен преобладания сдвиговых напряжений, поскольку направление сжатия в данном случае начинает действовать нормально к структурам «кавказского простирания». Общее же преобладание сдвигового типа напряжений в литосфере Малого Кавказа можно пытаться объяснить способностью к проскальзыванию материала литосферы по разрывным нарушениям вдоль структур «кавказского простирания», когда преобладает близмеридиональное сжатие за счет движения Аравийской плиты. Конкурирующее влияние в преобладании сжимающих напряжений за счет Аравийской или Иранской плит и определяет, по-видимому, динамику развития сейсмостектонического процесса в литосфере (земной коре) Малого Кавказа. Отражением этой динамики и можно считать наблюдаемые нами вариации во времени рисунка структуры цепочек землетрясений и вида напряженно-деформированного состояния.

**ՀԱՅԿԱԿԱՆ ԼԵՒՆԱՇԽԱՐԶԻ ԿԵՆՏՐՈՆԱԿԱՆ ՄԱՍԻ ԵՐԿՐԱԿԵՂԵՎԻ  
ՍԵՅՍՄԻԿ ԺԵՂՔՎԱԾՔԱՎՈՐՈՒՄԸ ԵՎ ԸՍՏ ԺԱՄԱՆԱԿԻ  
ԼԱՐՎԱԾԱ-ԴԵՖՈՐՄԱՑԻԱՅԻ ԱՅԻ ՎԻՃԱԿԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Ա. Խ. Բաղդամյան

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Երկրաշարժերի կանխագուշակման նախանշանները հայտնաբերելու նպատակով, երկրաբանական և երկրաֆիզիկական լրիվ կոմպլեքս տվյալներով, մանրամասնորեն ուսումնասիրված է հայկական լեռնաշխարհի կենտրոնական մասի երկրակեղևի ճեղքվածքավոր կառուցվածքը, ըստ ժամանակի սեյսմատեկտոնական արագ պրոցեսները և միջավայրի լարվածա-դեֆորմացիային վրձակը: Հաստատված է, որ երկրաշարժերի էպիկենտրոնների ժամանակի և տարածության պծային հաջորդականության կապը, հանդիսանում է գրոշմող էլեմենտ: Սեյսատեկտոնիկ պրոցեսների ընթացքում տվյալ շրջանի գլխավոր պրոցեսները արտացոլվում են արագ դեֆորմացիաների դարգացմամբ և ըստ ժամանակի թույլ երկրաշարժերի շղթայի տեսքի փոփոխմամբ:

# SEISMIC FRACTURING AND TIME VARIATIONS OF STRESS-DEFORMED STATE OF THE EARTH'S CRUST IN THE CENTRAL AREA OF THE ARMENIAN HIGHLAND

A. Kh. Baghramian

## Abstract

Basing on the investigation of mechanisms and spatial-and temporal distribution of earthquake foci the fine structure of the Earth's crust fracturing, the stress-deformed state of medium and time variations of fast seismotectonic processes in the Earth's crust in the ANPP region are studied in detail.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Акопян С. Ц. Тектоника плит в Альпийско-Гималайском поясе и некоторые прогностические критерии.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1985, XXXVIII, № 6, с. 39—49.
2. Асланян А. Т., Аракелян Ф. О., Агамалян К. А., Баграмян А. Х. и др. Анализ сейсмических условий района Армянской атомной электростанции (Арагатская долина).—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1982, № 5, с. 3—18.
3. Баграмян А. Х. Сейсмотектоническая деформация и напряженное состояние земной коры в районе Армянской АЭС.—ДАН АрмССР, 1987, т. LXXXV, № 5, с. 200—202.
4. Баграмян А. Х. Стрессные земной коры в различных регионах Кавказа. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1974, 106 с.
5. Карапетян Н. К. Механизм возникновения землетрясений Армянского нагорья. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1986, с. 228.
6. Карапетян Н. К. Сейсмогеодинамика и механизм возникновения землетрясений Армянского нагорья. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1990, с. 264.
7. Лукк А. А., Леонов В. Г. Трещиноватость земной коры Гармского района по статистике механизмов очагов слабых землетрясений.—Изв. АН СССР, Физика Земли, 1978, № 8, с. 33—45.
8. Лукк А. А. Сейсмическая трещиноватость, эрозивная сеть и напряженно-деформированное состояние Гармского района.—Изв. АН СССР, Физика Земли, 1980, № 3, с. 18—29.
9. Лукк А. А., Юнга С. Л. и др. Сейсмотектоническая деформация и напряженное состояние земной коры Средней Азии и Казахстана.—В кн.: Землетрясения Средней Азии и Казахстана, 1981, Душанбе: Дониш, 1983, с. 118—135.
10. Нерсесов И. Л., Лукк А. А., Юнга С. Л. Временные вариации механизма очагов землетрясений Гармского района.—Изв. АН СССР, Физика Земли, 1980, № 2, с. 10—21.
11. Сихарулидзе Д. И., Тутберидзе Н. П., Баграмян А. Х. и др. Мегаблок Кавказской литосферы.—В кн.: Методика и результаты выделения блоков земной коры и сейсмически активных зон. Тбилиси: «Меципереба», 1989, с. 16—20.
12. Сихарулидзе Д. И., Тутберидзе Н. П., Баграмян А. Х. и др. Стрессное, напряженно-деформированное состояние и условия сейсмичности литосферы Малого Кавказа. Тбилиси: Изд. «Меципереба», 1983, 123 с.