

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АРМЕНИИ  
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

МКРТЧЯН Мариам Борисовна

УДК 550.34

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ  
АРМЯНСКОГО НАГОРЬЯ В КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ.

04.00.22 - геофизика

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Ереван - 1993

Работа выполнена в Институте физики Земли им. О. Ю. Шмидта  
Российской Академии наук и Институте геофизики и инженерной  
сейсмологии Национальной Академии наук Армении.

Научный руководитель - доктор физ.мат.наук, профессор  
Надежда Владимировна КОНДОРСКАЯ  
/Институт физики Земли РАН/

Официальные оппоненты: кандидат геол.-мин.наук  
Марат Арисович ГРИГОРЯН /Ереванский  
Гос.университет/  
доктор физ.-мат.наук  
Самвел Цолакович АКОПЯН /НССЗ при  
Совмине РА/

Ведущая организация - Институт геологических наук Националь-  
ной Академии наук Армении

Защита состоится " 29 " сентября 1993г. в 11 часов  
на заседании Специализированного Совета К055.01.10 при Ереван-  
ском Государственном Университете.

Адрес: 375049 Ереван, ул.Алека Манусяна, 1 ЕГУ

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ереванского  
Гос.университета.

Автореферат разослан " 23 " августа 1993г.

Ученый секретарь Специализированного  
Совета, доктор геол.-мин.наук

*А. Сагоян*  
А. А. САГОЯН

Актуальность. Работа над проблемой прогноза предполагает комплексное изучение землетрясений. Большое внимание, в частности, уделяется выявлению пространственно-временных закономерностей проявления сейсмичности и их связей с современными тектоническими процессами. Для выполнения этих исследований с необходимой детальностью, первоочередной задачей является обеспечение высокой точности определения координат гипоцентров землетрясений с одновременным изучением динамики процессов в очагах.

Армянское нагорье, безусловно, является одним из самых сейсмоактивных районов Средиземноморского сейсмического пояса, известное катастрофическими землетрясениями с древних времен по настоящее время.

На это указывают также инструментальные и макросейсмические данные о сильных и разрушительных землетрясениях, происшедших в последние десятилетия на Армянском нагорье, в том числе и Спитакское землетрясение 7.12.88г.

Сейсмологические исследования советских и зарубежных ученых показали, что тектонические процессы, происходящие в этом регионе характеризуются большой сложностью, в то же время для Армянского нагорья наблюдается разрозненность сведений о параметрах очагов землетрясений, недостаточная точность в определении их глубины, механизме их возникновения отсутствие сведений о процессе разрывообразования, в особенности западной ее части, выходящей за пределы границ регионализации, приведенных в Новом каталоге сильных землетрясений с древнейших времен до 1977г., что затрудняет изучение взаимосвязи землетрясений в регионе. Для Армянского нагорья в расширенных границах не проводилось достаточно работ по уточнению параметров гипоцентров, тем более комплексной интерпретации инструментальных сейсмологических данных, единого подхода к изучению сильных землетрясений, который может дать ценные сведения для выяснения природы происходящих в регионе современных тектонических процессов.

Унифицированная система сейсмических наблюдений Е.СН, повышение точности сейсмологических наблюдений в последние годы, разработка новых методик по уточнению параметров гипоцентров землетрясений и их афтершоков, интерпретации сейсмограмм по 1-миковой картине, наряду с изучением механизмов очагов, позволяют по новому подойти к сейсмотектоническому изучению региона, провести комплексный анализ происшедших в последние годы сильных землетрясений

и их афтершоков.

Цель исследований. Основной целью работы является комплексная интерпретация инструментальных данных, заключающаяся в определении параметров гипоцентров сильных землетрясений и их афтершоков, разрывообразования, механизма очага на примере ряда сильных землетрясений Армянского нагорья в расширенных границах, установление специфических закономерностей, характеризующих очаг землетрясений и сеймотектоническую обстановку в регионе. Для выполнения этих исследований необходимо решить следующие основные задачи:

1. Изучение сильных землетрясений Армянского нагорья и их афтершоков для комплексной интерпретации инструментальных сейсмологических данных современными методами.

2. Составление с единых позиций унифицированного каталога параметров гипоцентров, разрывообразования, механизмов очагов землетрясений региона за период 1960-88 гг.

3. Выявление специфических закономерностей, характеризующих сеймотектоническую обстановку в регионе.

#### Научная новизна.

- Рассмотрен ряд методических вопросов комплексной интерпретации инструментальных сейсмологических данных применительно к сильным землетрясениям Армянского нагорья и их афтершокам.

- Отдельно для каждой из 5 выбранных очаговых зон рассчитаны стационарные поправки к осредненному региональному годографу Армянского нагорья, благодаря чему повышена точность определения параметров гипоцентров землетрясений до 1-3 км.

- Составлен унифицированный каталог параметров гипоцентров землетрясений за 1960-88 гг.

- Впервые для сильных землетрясений Армянского нагорья определены параметры разрывообразования, направления, длина и скорость вспарывания разрыва. Проведена классификация землетрясений по точности определения параметров механизмов очагов.

- На основании комплексной интерпретации результатов по гипоцентрии, разрывообразованию и механизму очага получены новые представления по проявлению сейсмичности и тектонике региона.

Практическая ценность. Предложенный подход комплексной интерпретации инструментальных сейсмологических данных позволяет с единых позиций изучить сильные землетрясения и их афтершоки, что

имеет существенное значение для геолого-тектонических представлений о изучаемом регионе. Станционные поправки к региональному топографу для отдельных 5 очаговых зон Армянского нагорья позволяют значительно повысить точность определения параметров гипоцентров землетрясений. Результаты совместного изучения процессов разрывообразования и механизма очагов позволяют проследить за динамикой процессов в очаге, а полученные закономерности между динамическими характеристиками очагов могут быть использованы при составлении карт сейсмической опасности.

Автор защищает:

1. Методические вопросы комплексной интерпретации сейсмологических данных применительно к землетрясениям Армянского нагорья и их афтершокам:

а/ групповая гипоцентриа, позволяющая существенно повысить точность локализации гипоцентров до 1-3 км для 60% землетрясений, до 3-5 км для 20%.

б/ параметры разрывообразования для 21 землетрясения: направление, длина и скорость вспарывания разрыва в широком азимутальном и эпицентральных диапазонах.

в/ классификация землетрясений по точности определения параметров механизма очагов.

2. Выявление оптимальной скоростной модели земной коры Армянского нагорья со станционными поправками в виде изолиний с длиной для каждой очаговой зоны.

3. Унифицированный каталог 525 сильных землетрясений Армянского нагорья за период 1960-81гг.

4. Новые представления о сеймотектонической обстановке в регионе.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на Региональном совещании Комиссии ЕСН и Кавказского регионального центра /Бакуриани, 1981/, 36-ом совещании Комиссии ЕСН /Нарочь, БССР, 1989/, Научной сессии Годового общего собрания АН Армении /Ереван, 1991/, на научных семинарах лаборатории 110 и отдела сейсмологии Института физики Земли АН СССР, Института геофизики и инженерной сейсмологии АН Армении.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 4 научные статьи.

Объем работы составляет 130 страниц машинописного текста,

45 рисун. и, 16 таблиц. Библиография содержит 165 наименований.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения.

Дополнительные сведения. Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю, доктору физико-математических наук, профессору Н.В. Кондорской за постоянное внимание и неизменную поддержку в процессе выполнения работы. Искреннюю признательность автор приносит кандидату физ.мат.наук Горбуновой И.В., кандидату физ.-мат.наук Захаровой А.И., кандидату физ.-мат.наук Чепкунас Л.С. за ценные консультации и содействие при выполнении работы. Автор выражает благодарность Брчку М.Г., Лаговой Н.А. за помощь при использовании вычислительных программ, сотрудникам ЦСО "Обнинск" за предоставленную возможность пользоваться сейсмограммами ЕССН СССР, сотрудникам лаборатории 110 ИФЗ АН СССР за помощь и поддержку во время выполнения работы.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Глава 1. Состояние исследований.

В этой главе дан обзор основных работ, формировавших представление о скоростных моделях среды Армянского нагорья, о дискретном развитии процесса разрушения в очаге землетрясения, состоянии вопроса об изученности механизмов очагов, и проводится критический анализ результатов рассматриваемых исследований.

В вводной части отмечено, что несмотря на давнюю историю исследования землетрясений Армянского нагорья, отдельные районы его до настоящего времени изучены неоднородно из-за ограничения риска регионализации. Сейсмичность территории Армении в пределах Малого Кавказа изучена полнее и детальнее по сравнению с западной частью. Последнее привело к разработке комплексного подхода к изучению землетрясений всего Армянского нагорья, где за последние 30 лет произошли 5 землетрясений с  $M \geq 6,3$  с многочисленными афтершоками, оставшиеся вне детального изучения.

В первом параграфе этой главы дается обзор существующих географов и скоростных разрезов для определения параметров гипоцентров. Отмечено, что для локализации гипоцентров землетрясе-

ний Армянского нагорья в пределах Малого Кавказа были рассмотрены ряд годографов /Левицкая А.Я., Лебедева Т.М., 1953; Карапетян Н.К., 1956, 1974; Пивоварова Н.В., Славина Л.Б., 1985/ и др. В сейсмологической практике эти годографы имели ограниченное применение в связи с недостатками, связанными в основном с использованием неадекватной скоростной модели и ограниченным количеством станций на изучаемой территории. Новый подход к вопросу уточнения скоростной модели среды был предложен Кондорским Н.В., Саянским А.А. /1984/, в результате которого построена осредненная скоростная модель Армянского нагорья, оптимальная для существующей системы наблюдений, однако тоже для ограниченной территории. Таким образом, отсутствие детальной скоростной модели земной коры для всего Армянского нагорья не позволяло провести должную работу по уточнению параметров гипоцентров землетрясений и оценки их точности.

Во втором параграфе дается обзор работ, описывающих различные подходы к изучению разрывов в очагах землетрясений. Анализ теоретико-модельных представлений свидетельствует о протяженности и дискретном развитии процесса разрушения в очаге, и позволяет рассматривать сильные землетрясения не как одиночный импульс, а как цепь последовательных, динамически связанных во времени и пространстве толчков, как единый процесс в достаточно короткий промежуток времени /Шамина О.Г., 1981; Виноградов С.Д., 1980; Москвина А.Т., 1969; Костров Б.В., 1975/. С учетом этих представлений и анализа реальных сейсмограмм, Горбуновой И.В. /1986/ был предложен новый метод интерпретации волновой картины с позиции протяженного очага, позволяющий определить параметры разрывообразования при сильных землетрясениях: направление, длину и скорость вспарывания разрыва.

В третьем параграфе дан обзор работ по определению механизмов очагов землетрясений Армянского нагорья. В основном это работы Широковой Е.И. /1968/, Карапетян Н.К. /1973, 1977, 1982/. Механизм отдельных сильных землетрясений определен в работах Захаровой А.И., Чепкунас Л.С. /1980/, Moazami-Goudarzi K., Akashev B., /1977/, Toksoz M.N., Nabelek T., et al. /1978/, Dzierwonsky A.M. et al. /1984/.

Эти исследования явились основой для дальнейшего изучения действующего поля напряжений и динамического состояния земной коры в регионе, однако в этих работах при определении механизмов

не оценивалась точность их определения и не выделялась действующая плоскость разрыва.

Выводы к 1 главе:

1. Для детального изучения особенностей проявления сейсмичности Армянского нагорья необходимо изучение землетрясений в расширенных границах по сравнению с Новым каталогом сильных землетрясений территории СССР с древнейших времен до 1977г.

2. Повышение точности определения параметров гипоцентров требует в первую очередь уточнения скоростной модели среды как для всего региона, так и отдельных его очаговых зон.

3. Результаты метода деских разработок последних лет открывают новые пути для определения и изучения параметров разрывообразования при сильных землетрясениях.

4. В имеющихся данных механизмов очагов отсутствует однозначное установление действующей плоскости разрыва и оценки точности параметров.

Глава II. Методические вопросы определения кинематических и геометрических параметров очагов землетрясений Армянского нагорья.

Вторая глава работы состоит из трех частей, в которых последовательно рассматриваются при отдельных методических вопросах:

1. Определение параметров гипоцентров сильных землетрясений и их афтершоков на основании времен вступления объемных  $P$  и  $S$  сейсмических волн.

2. Определение параметров протяженного очага по волновой картине и записи землетрясений.

3. Определение механизмов очагов землетрясений с оценкой точности параметров и выбором действующей плоскости разрыва.

До описания методических подходов, изученных в сильных землетрясениях Армянского нагорья начато с выделения границ отдельных очаговых зон. За основу принято разделение на регионы, предложенное Карапетян Н.К. /1986/ на основе систематизации макросейсмических и инструментальных данных о землетрясениях исследуемой территории. Приуроченные к очагам сильных землетрясений, они с ответственностью названы: Ванская, Эрзинжан-Бингельская, Карс-

Эрзрумская, Спитакская, Ереванская, Зангезурская очаговые зоны.

Определение параметров гипоцентров сильных землетрясений и их афтершоков проводилось модифицированным методом групповой гипоцентрии, позволившим выявить адекватность выбранной скоростной модели и вычислить станционные поправки /Кондорская Н.В., Брук М.Г. и др., 1986; Брук М.Г., Кондорская Н.В. и др. 1988/. Отдельно для каждой из очаговых зон был проведен расчет по разным выборкам из серии землетрясений с использованием различных скоростных моделей земной коры: модели Джеффриса-Буллена и средней скоростной модели земной коры Армянского нагорья.

Стабильность станционных поправок при переходе от одной группы землетрясений к другой и их величины в пределах одной и той же очаговой зоны свидетельствуют об адекватности выбранной модели земной коры реальной. С использованием модифицированного метода групповой гипоцентрии применительно к землетрясениям Армянского нагорья решаются вопросы: а/ выбора скоростной модели земной коры Армянского нагорья и правомочность ее использования. б/ расчет станционных поправок и построение их карт изолиний отдельно для каждой очаговой зоны.

В результате проведенного анализа выяснилось, что осредненная скоростная модель земной коры Армянского нагорья наиболее соответствует реальной среде и к ней рассчитываются станционные поправки для отдельных очаговых зон. Критерием надежности определения гипоцентров считается результат многократного перебора определения станционных поправок и координат гипоцентров, когда результат заданного гипоцентра и полученного совпадают при минимальной среднеквадратичной невязке.

Определение параметров протяженного очага по волновой картине на записи землетрясений осуществлялось на основе методического подхода к интерпретации сейсмограмм с позиции протяженного очага с определением направления, длины и скорости вспарывания разрыва /Горбунова И.В. 1984/. В основу методики положено представление об очаге в виде сейсмического источника, в котором в качестве модели излучателя в очаге землетрясения избрана линейная цепочка последовательно включаемых точечных сейсмических источников, в которых максимальная энергия при излучении приходится на интервал времени  $\tau$ , когда количество точечных

Источников максимально. Основная отличительная особенность методики заключается в построении азимутальных годографов на основе интерпретации волн по сейсмограммам совокупности станций, образующих азимутальную систему наблюдений. Азимутальный годограф указывает запаздывание времен пробега волн в зависимости от азимута, и по существу, отражает очаговый процесс. На основании построенных азимутальных годографов определяются азимут направления разрыва и рассчитываются длина и скорость вспарывания возможного разрыва.

Определение механизмов очагов землетрясений Армянского нагорья сводится к нахождению параметров модели "двойн и диполь". Исследование сделано на основе данных о знаках первых вступлений короткопериодных продольных волн, снятых с сейсмограмм и опубликованных в бюллетенях Международного сейсмологического центра. Механизм землетрясений определялся по методу максимального правдоподобия по программе массового счета /Желанкина Т.С. и др. 1971; Алехман Е.А. и др. 1979/. Выбор методики определения механизмов очагов обусловлен тем, что в результате определения получается не одно "наилучшее" решение, а совокупность решений заданного уровня доверия, совместимых с наблюдаемыми данными, что дает возможность полнее характеризовать точность и степень неопределенности искомой модели в каждом конкретном случае.

В результате счета для каждого очага получены значения угловых координат /азимут и угол с вертикалью/ для пары ортогональных единичных векторов в виде 85% вероятительной области. Это вектор подвижки  $\vec{b}$  и вектор нормали к плоскости разрыва  $\vec{n}$ .

Анализ размеров и характера вероятительных областей полученных решений показывает, что целесообразно все решения разделить на 3 группы надежности:

I группа - область решений невелика и состоит из двух компактных групп, изменение ориентации хотя бы одной из осей меньше  $20^\circ$ .

II группа - область решений сравнительно невелика и состоит из двух компактных групп, но изменение ориентации осей больше  $20^\circ$ .

III группа - область решений сравнительно велика и состоит из нескольких компактных групп решений.

Классификация исследованных 90 землетрясений на указанные

группы дала следующий результат: к первой группе относятся 15% случаев, ко II - 33%, к III-ей - 52%. Следовательно, почти почти все решения дают неопределенную информацию об ориентации источника. Надежность полученных результатов характеризовалась еще и коэффициентом непротиворечивости знаков  $\eta = 1 - 1/\varepsilon$ , где  $\varepsilon$  - число противоречивых знаков для решения, соответствующего максимальной функции правдоподобия. В 75% случаев получены значения  $\eta = 0,71-0,90$ . Значения  $0,50 \leq \eta \leq 0,70$  получены для 3,5% случаев и  $0,90 \leq \eta \leq 1,0$  в 22,5% случаев. Высокие значения  $\eta$  свидетельствуют о хорошем соответствии модели двойной диполь очагам землетрясений. Из-за принципиальной невозможности отличить, какая из двух чадальных плоскостей модели является плоскостью разрыва в очаге, были привлечены независимые данные /азимут разрывообразования и направление распределения облака афтершоков/.

#### Выводы ко II главе:

1. Метод групповой гипоцентрии для повышения точности определения параметров гипоцентров имеет преимущество, поскольку позволяет одновременно учесть скоростную модель среды и статистические поправки. На этой основе выявлено, что осредненная скоростная модель Армянского нагорья наиболее соответствует реальной среде. Использование этой модели с соответствующими статистическими поправками для каждой очаговой зоны существенно повысит точность определения параметров гипоцентров землетрясений.

2. Наличие достаточных инструментальных данных в широком азимутальном диапазоне позволяет применить новый подход к интерпретации волновой картины на сейсмограмме с привлечением дополнительных параметров разрывов в очагах землетрясений: направления, для которого и скорость вспарывания разрыва.

3. Полученные результаты по распределению афтершоков и направлению разрывообразования используются для однозначного выбора действующей плоскости механизма очага.

4. Анализ и оценка точности определения механизма очага землетрясений с использованием современных программ на ЭВМ позволит повысить надежность полученных решений.

### Глава III. Результаты интерпретации сильных землетрясений Армянского нагорья и их афтершоков.

Ванская очаговая зона. Исследовано Ванское землетрясение 24.11.76г.  $M=7,2$  совместно с 76 афтершоками с  $M \geq 4,0$ . Модифицированным методом групповой аппроксимации рассчитаны станционные поправки к осредненному годографу Армянского нагорья и построены их карты изолиний для Ванской очаговой зоны. С учетом станционных поправок определены параметры гипоцентров 118 землетрясений Ванской зоны. Повышена точность определения параметров гипоцентров до 5 км для 30% землетрясений. Приводятся результаты распределения афтершоков в пространстве и во времени. Их анализ показал, что в различные периоды времени активизируются отдельные участки области распространения афтершоков, приводящие к более сильному толчку. Гистограмма распределения по глубине показывает, что основная часть землетрясений произошла на глубине 15–20 км. В западной части афтершоковой области глубины меньше /15–16 км/, по сравнению с юго-восточной – 25 км. Определены параметры разрывообразования землетрясения 24.11.76г. и его 9 сильных афтершоков. Преобладающим направлением распространения разрыва при основном землетрясении является СЗ-ЮВ направление в  $\Delta\lambda = 120-160^\circ$ , согласующееся с данными полевых наблюдений. /Toksoz N., Arpat E., et al. 1977/. Длина разрыва в земной коре при основном землетрясении  $l = 90$  км, скорость распространения разрыва  $c = 3,6$  км/с. Афтершоки, в основном, повторяют направление магистрального разрыва, осложненного периодичными разрывами поперечного направления. Исследован механизм очага 30 землетрясений. Преобладают подвижки типа взбросо-сдвиг – в 60% случаев. Оси сжатия ориентированы в среднем близ меридионально в  $\Delta\lambda = 350 \pm 20^\circ$ , оси растяжения в  $\Delta\lambda = 260 \pm 20^\circ$ ,  $\Delta\lambda = 50 \pm 10^\circ$ .

Эрзинжан-Бингельская зона. Подробно изучены 3 сильных землетрясения: 19.08.66г.  $M=6,8$  /Варто/, 22.05.71г.  $M=6,7$  /Бингельское/, 6.09.75г.  $M=6,7$  /Адже/. По указанному выше методу определены параметры 76 землетрясений с  $M \geq 4,5$  за период 1960–88г. с оценкой точности в виде доверительных эллипсов ошибок. Эпицентры землетрясений приурочены к Северо-Анатолийскому разлому. Распределение по глубине показало, что большинство землетрясений происходит на глубине 20–25 км – 65%. Преобладающее направление разрывообразования при землетрясении 19.08.66г.  $M=6,8$  /Варто/ в  $\Delta\lambda = 120-$

$-150^{\circ}$ , длина разрыва  $-65$  км, скорость распространения разрыва  $C = 2,7$  км/с. Наблюдаются оперяющие разрывы в близпоперечном к основному направлению разрывообразования. Процесс разрывообразования подобен процессу при Ванском землетрясении и его афтершоках, что указывает на идентичность в характере тектонических процессов. При землетрясении 6.09.1959г.  $M=6,7$  /Лидже/ направление магистрального разрыва ориентировано с запада на восток в  $\Delta\alpha = 90-110^{\circ}$ ,  $l = 60$  км,  $C = 3,0$  км/с. Основная часть афтершоков повторяет это направление. Наблюдаются также разрывы вкост простирания основных геологических структур. В механизме очагов преобладает сизмическое простирание действующей нодальной плоскости в  $\Delta\alpha = 200 \pm 10^{\circ}$ ,  $\epsilon = 50 \pm 10^{\circ}$  и подвижки типа правосторонний сдвиг. Ориентация осей сжатия близмеридиональна.

Карс-Эрзрумская очаговая зона. Изучено Эрзрумское землетрясение 30.10.83г.  $M=6,8$  с 48 афтершоками с  $M \geq 4,0$  за тот же период времени. Приводится пространственно-временная характеристика активизации афтершокового процесса которая была наиболее активной в первые сутки после основного землетрясения. В этот же период произошел сильный афтершок с  $M=5,3$ . Распределение облака афтершоков землетрясений имеет ЮЗ-СВ направление. Преглаждающие глубины 10-15 км. С учетом станционных поправок уточнены параметры 69 землетрясений этой зоны с оценкой точности их определения. Наблюдается сложный процесс разрывообразования с преобладающим направлением в  $\Delta\alpha = 100-130^{\circ}$  при наличии многих оперяющих разрывов в юго-восточном направлении. В очагах землетрясений преобладают подвижки типа левосторонний сдвиг.

Зангезурская очаговая зона. Изучено Зангезурское землетрясение 9.06.68г.  $M=5,0$  совместно с 13 афтершоками с  $M \geq 3,5$ . Распределение эпицентров основного землетрясения и афтершоков имеет СЗ-ЮВ направление шириной до 10 км. Глубина основного землетрясения и 4 сильных афтершоков в пределах 6-8 км. Преобладающее направление разрывов юго-восточное в  $\Delta\alpha = 140 \pm 20^{\circ}$ , согласующееся с направлением распределения афтершоков. В механизме преглаждают подвижки типа надрыв.

Спитакская очаговая зона. Исследовано Спитакское землетрясение 7.12.88г.  $M=6,9$  и 172 афтершока с  $M \geq 3,5$  за период до 1.05.89г. с расчетом станционных поправок регистральному голографу и определением параметров гипоцентров землетрясений с оценкой

точности определения до 1-3 км. Отмечается сложный процесс в очаге Спитакского землетрясения, приводящий к разногласию в определении координат гипоцентра основного толчка. На основании анализа записей по среднепериодной и длиннопериодной аппаратуре установлено, что процесс в очаге Спитакского землетрясения начался со слабого вступления с координатами очага  $\varphi = 40,94 \pm 0,02^\circ \text{N}$ ;  $\lambda = 44,18 \pm 0,02^\circ \text{E}$  с поверхностной глубиной и только через несколько секунд произошел основной толчок с координатами  $\varphi = 40,90 \pm 0,03^\circ \text{N}$  и  $\lambda = 44,20 \pm 0,02^\circ \text{E}$ , глубиной  $5 \pm 3$  км. Общая протяженность облака афтершоков совпадает с областью тектонического нарушения на поверхности Земли. Следует отметить неравномерность пространственного распределения афтершоков. Выделяются 4 отдельные группы: в юго-восточной области, вблизи г. Кировакан, в районе основного толчка, вблизи г. Спитак; на западе, в районе г. Ленинакан и на северо-западе с большим разбросом эпицентров. Распределение по глубине показало, что землетрясения произошли в основном на глубине 8-10 км. Наибольшая глубина — 16 км наблюдалась на юго-востоке афтершоковой области. Трассируется направление разрывообразования в северо-западном направлении в  $\lambda_1 = 250 \pm 20^\circ$  и юго-восточном в  $\lambda_2 = 150 \pm 20^\circ$ . Механизм очага относится к взбросо-сдвиговому типу с преобладанием взбросовой компоненты. Действующая nodальная плоскость имеет дивергентное простирание и падает на север под углом  $60^\circ$ .

### Выводы к III главе:

1. Выявлено, что очаговые зоны отличаются по глубине происходящих землетрясений: в восточной части Армянского нагорья сейсмические процессы происходят более поверхностно ( $h = 5-10$  км) по сравнению с западной ( $h = 15-25$  км). Наблюдается специфическое пространственное распределение области афтершоков, направления разрывообразования, характерные для данной очаговой зоны, соответствующие с основными чертами их геологического и тектонического строения.

2. Основные направления разрывов при сильных землетрясениях всегда сопровождаются опережающими разрывами в близоперечном направлении и простиранию основных геологических структур.

3. Скорости сдвигания и длина разрывов при сильных землетрясениях в зависимости от величины магнитуды в основном одинаковы для всех очагов восточной части Армянского нагорья за исключением

Ранской очаговой зоны, выделяющейся более высокой скоростью спаривания разрывов.

4. Анализ механизмов очагов показал, что для Ванской, Зангезурской, Спитакской очаговых зон характерны подвижки типа гребсо-сдвиг, а для Эрзинжан-Бингельской, Карс-Эрзрумской зон - сдвиги. Для всех очаговых зон ориентация осей сжатия в среднем близ меридиональная.

5. Полученные результаты являются хорошим основанием для дальнейшего уточнения сеймотектонических представлений в регионе.

### Глава 1У. Сеймотектоническая и геофизическая характеристика Армянского нагорья.

Армянское нагорье имеет сложное геологическое строение. Местоположение Армянского нагорья, как соединяющего элемента евразийских складчатых структур, играет определяющую роль при рассмотрении сейсмогеологических условий сейсмогенных зон и изучении сейсмичности всего региона. Армянское нагорье, как часть Тавро-Кавказского сегмента альпийского складчатого пояса имеет продольную тектоническую зональность и местами осложняется структурными элементами поперечного простирания. Последние выражены в виде поднятий, прогибов, разломов и пересекая продольные структурно-формационные зоны, расчленяются на тектонические блоки первого и третьего порядка.

На территории Армянского нагорья установлены системы разломов как Кавказского, так и поперечного и субмеридионального направления. Установлено, что основными геологическими критериями, контролирующими сейсмичность в этом регионе, как и в других орогенных зонах, являются новейшие и современные тектонические движения, активные глубинные разломы. Во всех выделенных сейсмоактивных зонах Армянского нагорья наиболее сильные землетрясения локализованы к местам пересечения продольных и поперечных разломов. В южной и юго-западной части региона эпицентры наиболее сильных землетрясений приурочены к Север-Анатолийскому глубинному разлому.

#### Вывод к 1У главе.

1. При рассмотрении карты эпицентров землетрясений выявлено, что сейсмоактивность в различных частях земной коры Армянского нагорья разная, что обусловлено разновозрастными структурами, актив-

ными глубинными разломами и др.

2. Основные геологические структуры на Кавказе простираются с СЗ на ЮВ. Распределение сильных землетрясений и их афтершоков, направление разрывообразования совпадают с этими простираниями, однако наблюдаются зоны высокой сейсмической активности и в поперечном общекавказскому направлению.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВЫДЫ

1. Проработан ряд методических вопросов комплексной интерпретации применительно к сильным землетрясениям Армянского нагорья и их афтершокам:

а/групповая гипоцентрия, позволившая рассчитать станционные поправки к осредненному региональному географу отдельно для каждой из 5 очаговых зон и существенно повысить точность локализации гипоцентров до 1-3 км.

б/параметры разрывообразования: направление, длина и скорость воспрывания разрыва на основании наблюдений в широком азимутальном и эпикентральном диапазонах.

в/классификация землетрясений по точности определения параметров механизма очагов.

2. Составлен унифицированный каталог параметров гипоцентров 525 землетрясений с оценкой точности за период 1960-1988 гг.

Определены параметры разрывообразования 21 землетрясения.

Определены механизмы очагов 90 землетрясений, точность определения параметров до  $10^\circ$  для 40% землетрясений.

3. Комплексный анализ распределения афтершоков в пространстве и времени, параметров разрывообразования и механизмов очагов показал, что для Ванской, Эрзинжан-Бингельской, Зангезурской и Спитакской зон процесс в очагах происходил в направлении, совпадающем с основными разломами общекавказского простирания СЗ-ЮВ. Отличается Карс-Эрзрумская зона с направлением ЮЗ-СВ. Помимо основного направления развития процесса /на основании параметров разрывообразования/ наблюдались оперяющие разрывы в направлении, поперечном общекавказскому простиранию.

4. Анализ механизмов очагов показал, что для землетрясений Ванской, Зангезурской, Спитакской и очаговых зон характерны взбросо-сдвиги, а для землетрясений Эрзинжан-Бингельской, Карс-Эрзрумской зон

преобладают сдвиги. В целом полученные результаты подтверждают тенденцию субмеридионального сжатия в регионе.

По теме диссертации опубликованы следующие работы.

1. Результаты определения параметров гипоцентров Ванского землетрясения 24.11.76г. и его афтершоков. Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле, 1988 XLVI, № 6 с. 36-45 /совместно с Кондаторской Н.В., Бруком М.Г., Лаговой Н.А./

2. О выявлении разрывов в очагах Ванского землетрясения и его афтершоков. Изд. АН СССР, Физика Земли, 1988 № 7, с. 3-9, совместно с Горбуновой И.В./

3. О выявлении разрывов в очагах сильных землетрясений Армянского нагорья. Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле, 1989, XLVII, № 5 с. 54-63 /совместно с Горбуновой И.В./

4. Анализ Спитакского землетрясения 1988г. и его сильных афтершоков по наблюдениям стационарных близких и телесейсмических станций. Вопросы инженерной сейсмологии, Комплексная оценка сейсмической опасности. Вып. 32, Наука, 1991 с. 25-36 /совместно с Кондаторской Н.В., Лаговой Н.А./



Сдано в производство 12.08.1993 г.

Бум. 60x84 лс. 1 листа

Знако 46

Тираж 100

---

Цех "Ротапринт" Ереванского государственного университета.

Ереван, ул. Мраваян № 1.

1931