

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

им. М. В. ЛОМОНОСОВА

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра динамической геологии

На правах рукописи

БОЙНАГРЯН БЭЛЛА ВЛАДИМИРОВНА

НОВЕЙШАЯ ТЕКТНИКА И ТЕКТНИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ
СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ АРМЕНИИ

Специальность 04.00.01 – общая и региональная
геология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва, 1992

*Трубочкинской
Рубену Багратову
от автора
Бойна*

Работа выполнена на кафедре динамической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова.

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук, профессор Н.В.Короновский

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук Е.А.Рогожин
кандидат геолого-минералогических наук Л.М.Расцветаев

Ведущая организация: Геологический институт РАН (Москва)

Защита состоится 11 декабря 1992 г. в 14 час.30 мин. на заседании специализированного Ученого Совета К.053.05.02 по общей и региональной геологии, геотектонике при геологическом факультете МГУ по адресу: Москва, 119899, Ленинские горы, МГУ, геологический факультет, зона "А", аудитория 608.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке геологического факультета МГУ (зона "А", 6 этаж).

Автореферат разослан " ____ " _____ 1992 г.

Ученый секретарь специализированного совета, кандидат геолого-минералогических наук

А.Ф.Читагин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Территория Северо-западной Армении является частью горно-складчатого сооружения Малого Кавказа, расположенного в зоне коллизии Африкано-Аравийской и Евразийской литосферных плит. Такая структурная позиция региона обуславливает ряд особенностей его строения и развития.

Актуальность работы. Район исследований представляет собой сильно расчлененную горную область с контрастным рельефом и высокой сейсмической активностью. Этот регион хорошо изучен геологически. Тем не менее катастрофическое Спитакское землетрясение 1988 г. выявило немало "белых пятен", поскольку несмотря на явную сейсмоопасность района, землетрясение подобной силы было неожиданным. В связи с этим возникла необходимость более детального изучения области Спитакского землетрясения и прилегающих районов. Особенно важным является выявление особенностей новейшей тектоники, напряженного состояния земной коры региона, изучение закономерностей развития рельефа и современной структуры. Результаты таких исследований могут послужить основой для разработки новых методов прогнозирования землетрясений, что является наиболее актуальной задачей для Армении, пережившей Спитакскую катастрофу.

Цель исследований. состоит в детальном изучении новейшей структуры района путем проведения структурно-геоморфологических работ, дешифрирования аэро- и космических снимков, тектонофизических исследований для выявления связи сейсмичности и новейших структур и прогноза наиболее сейсмоопасных участков.

В соответствии с поставленной целью решались следующие основные задачи:

- составление структурно-геоморфологической карты региона;
- визуальное дешифрирование аэрофотоснимков и обзорных космических снимков Северо-западной Армении;
- реконструкция поля тектонических напряжений региона независимыми методами и анализ взаимосвязи тектонических напряжений и разломной тектоники;
- проведение анализа взаимосвязи сейсмичности, тектонических напряжений и современной структуры региона.

Фактический материал и методы исследований. В основу дис-



сертации положены результаты научных исследований, проведенных автором в 1989-1992 гг. на кафедре динамической геологии геологического факультета МГУ. В процессе работы была составлена структурно-геоморфологическая карта Северо-западной Армении по результатам специальной обработки топографических карт с помощью метода, разработанного профессором Н.П.Костенко. Проведено визуальное дешифрирование аэрофотоснимков и отдельных космических снимков с помощью ландшафтно-индикационного метода. По результатам дешифрирования была составлена карта линейментной сети Северо-западной Армении.

Реконструкция полей тектонических напряжений и определение кинематических типов перемещений по разрывам проводились независимыми методами: методом вторичных нарушений, разработанным Л.А.Сим, и сейсмологическим методом, предложенным О.И. Гуценко. При этом исследованию велись на разных уровнях генерализации: для Кавказа в целом, для Гюмрийского региона, охватывающего Северо-западную Армению и Южную Грузию, и для области Спитакского землетрясения. Была составлена схема взаимосвязи разломной тектоники, полей напряжений и сейсмичности Кавказа.

Результаты исследований, полученные каждым из применявшихся в работе методов, подвергались взаимопроверке; достаточно хорошее совпадение таких результатов друг с другом позволяет говорить об объективности полученных выводов.

В процессе работы использовались различные геологические, неотектонические, тектонические карты, материалы дистанционных исследований, изучена обширная литература, а также фоновые материалы ПО "Армгеология" и ЕГУ.

Научная новизна. В настоящей работе впервые для Северо-западной Армении составлена детальная структурно-геоморфологическая карта масштаба 1:100 000; установлены активные на новейшем этапе зоны трещиноватости и разрывов и характер перемещения по ним; выделены наиболее подвижные блоки и участки относительной стабильности. Установлена неоднородность вида напряженного состояния земной коры Кавказского региона и ее влияние на распределение сейсмичности.

Практическое значение работы заключается в выделении активных на новейшем этапе блоков земной коры и разломных зон как сейсмоопасных участков, неблагоприятных для промышленного

и гражданского строительства. Выделение локальных секторов сжатия и растяжения и установление связи сейсмичности с неоднородностью вида напряженного состояния земной коры региона, может послужить основой для разработки новых методов прогнозирования землетрясений. Материалы диссертации отражены в тезисах доклада на III Всесоюзном симпозиуме "Экспериментальная тектоника в решении задач теоретической и практической геологии", а также в статье, сданной в печать. Основные положения работы докладывались на У научной сессии МОИП "Дистанционные методы в геологии".

Содержание работы. Диссертация объемом страниц машинописного текста, рисунков, состоит из введения, четырех глав и заключения. Библиография включает наименований.

В первой главе приводится краткий очерк геологического строения района по материалам предыдущих исследователей. Во второй главе на основании составленной по методу профессора Н.П.Костенко структурно-геоморфологической карты приводится детальная характеристика орогенных структур Северо-западной Армении. По результатам визуального дешифрирования аэрофотоснимков проводится анализ линейamentной сети. В третьей главе содержатся новые данные об особенностях напряженного состояния земной коры Кавказского сектора Альпийского складчатого пояса. Поля тектонических напряжений анализировались на различных уровнях генерализации: для Кавказа в целом, для Гюмрийского региона и для области Спитакского землетрясения 1988 г. В четвертой главе анализируется взаимосвязь новейшей тектоники, тектонических напряжений и сейсмичности Кавказа и, в частности, Северо-западной Армении.

Работа выполнена на кафедре динамической геологии геологического факультета МГУ под научным руководством профессора Н.В.Короновского. Огромную помощь и поддержку автору оказали профессор Н.П.Костенко и старший научный сотрудник Л.А.Сим. Полезные рекомендации и замечания были получены от Н.В.Макаровой, Л.М.Расцветаева, В.Н.Вадковского, М.Д.Никитина, сотрудников лаборатории тектонофизики ИФЗ РАН А.В.Михайловой, Д.Л.Решетского, О.И.Гущенко, старшего научного сотрудника ИФЗ РАН Е.А.Рогожина, профессоров кафедры исторической и региональной геологии Ереванского госуниверситета О.А.Саркисяна, Г.П.Симоняна, А.А.Садояна, доцента Г.Г.Гёлецяна, старшего научного сотрудни-

ка ИГН РА М.А.Сатиана и др. Всем перечисленным выше лицам автор выражает глубокую благодарность, а также всему коллективу кафедры динамической геологии МГУ за доброжелательное отношение и поддержку на разных этапах работы.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАБОТЫ

Глава I. Краткий геологический очерк.

Территория Северо-западной Армении относится к хорошо изученным районам. Детальные геологические и геофизические исследования проводились в разные годы многими учеными, такими как К.Н.Паффенгольц, В.П.Ренгартен, Л.А.Варданянц, Е.Е.Милановский, А.А.Габриелян, А.Т.Аслаян, В.Т.Акопян, К.А.Мкртчян, О.А.Саркисян, А.Т.Вегуни, Т.Н.Сироткина, Г.В.Егоркина, М.А.Сатиан, Г.П.Симонян и многие другие.

Район исследований находится в пределах внутренней области Тавро-Кавказского сектора Альпийского складчатого пояса, где происходит коллизия Евразийской и Африкано-Аравийской литосферных плит, что обуславливает высокую тектоническую и сейсмическую активность этого региона. Рассматриваемая территория представляет собой участок сложного сочленения трех важнейших тектонических сооружений Тавро-Кавказской области: 1) южной периферии Сомхето-Карабахской зоны; 2) Базумо-Зангезурской интенсивно складчатой зоны (включая Севано-Амасийскую и Ширако-Зангезурскую офиолитовые зоны); 3) северной оконечности Приараксинской зоны. В узком смысле район исследований является частью Севано-Ширакского синклинория, выделяемого рядом исследователей (Габриелян и др., 1981; Саркисян, 1973 и др.).

В стратиграфическом разрезе района исследований значительную роль играют отложения мела, палеогена, неогена и четвертичного периода, причем преобладают палеогеновые отложения.

Палеозойские отложения в районе неизвестны и лишь предполагаются, по некоторым данным, в строении отдельных антиклиналей. Предположительным является также титон-неокомский возраст комплекса плитчатых известняков в ядре Базумского горст-антиклинория и средне-позднеюрский возраст базальтоидов в бассейне р.Памбак (Григорян и др., 1989).

Меловые отложения широко распространены в пределах района исследований и представлены разнообразными породами: от осадочных терригенно-карбонатных до вулканогенных и интрузив-

ных образований.

Нижнемеловые отложения имеют ограниченное распространение и встречаются в западной части Базумского хребта. В.Т.Акопян (1962) выделяет ряд свит: катнахпюрскую, архидзорскую, спитакскую, чахчахскую, суммарная мощность которых достигает 1700 м.

Верхнемеловые отложения в основном перекрыты вулканогенно-осадочными образованиями палеогена и лишь местами выходят на поверхность. Значительную роль в разрезе нижнего сенона играет кремнисто-вулканогенная толща офиолитовой ассоциации мощностью до 800 м. Ее состав несколько варьирует на разных участках офиолитовой зоны, но в целом доминируют диабазы, базальты, а также кремнистые породы (радиоляриты, реже яшмы). Породы офиолитовой ассоциации в большинстве случаев слагают блоки и пластины в серпентинитовом матриксе, образуя серпентинитовый меланж. Верхнемеловые отложения надофиолитового чехла представлены граувакковой формацией верхнего коньяка-сантона мощностью 200-400 м, карбонатными отложениями кампана-маастрихта наибольшей мощностью до 350-400 м, а также маломощной терригенно-карбонатной толщей дания-палеоцена.

Палеогеновые отложения широко распространены в районе исследований, представлены в основном вулканогенными, вулканогенно-осадочными, морскими и континентальными образованиями.

К нижнему эоцену относятся маломощная (200-250 м) толща известняков, известковистых песчаников, гравелитов (севанская свита), осадочно-пирокластическая флишидная (лусахпюрская) свита мощностью до 200 м, а также мощная (700 м) вулканогенно-обломочная толща (спитакская свита).

Средний эоцен представлен мощной (до 2-х км) флишидной вулканогенно-осадочной формацией, которая подразделяется на две свиты: ширакскую и кироваканскую, фациально замещающие друг друга.

Отложения верхнего эоцена широко распространены в районе исследований и выделяются О.А.Саркисяном (1958) в памбакскую свиту общей мощностью до 1500 м. Последняя подразделяется на две части: в нижней преобладают андезиты и морские терригенно-туфогенные породы, а в верхней - эффузивы кислого и среднего состава.

Олигоценые отложения встречаются крайне редко и представлены двумя свитами: гергерской (морские карбонатно-туфо-

генные отложения нижнего олигоцена) и дилижанской (континентальные молассоидные отложения среднего-верхнего олигоцена).

Отложения неогена на территории района исследований также имеют ограниченное распространение. Миоцен практически отсутствует. К нижнему-среднему плиоцену относится вохчабердская свита, подразделяющаяся на две подсвиты: нижнюю туфоосадочную (туфоконгломераты, туфопесчаники, глины местами с потоками андезитов, андезито-базальтов, базальтов) и верхнюю эффузивную (эффузивы кислого и среднего состава).

Широко распространены отложения верхнего плиоцена, которые представлены в основном вулканическими породами, слагающими Лорийское и Гукасянское вулканические плато, Джавахетский вулканический хребет, вулканический массив Арагац. В разрезе верхнего плиоцена преобладают долеритовые базальты.

Комплекс четвертичных отложений представлен разнообразными фациями: озерными, озерно-речными, аллювиальными, пролювиальными, делювиальными, флювиоглициальными, вулканогенными. Значительное место среди четвертичных отложений занимают туфы и разнообразные лавы (андезито-базальты, андезиты, андезиты-дациты, дациты и т.п.).

Важную роль в тектоническом строении Северо-западной Армении играют разрывные нарушения. Крупные структурные элементы ограничиваются главными разрывами, которые часто имеют глубокое заложение и образуют мощные разломные зоны. Наиболее четко выражены разломы общекавказского (северо-западного) простирания. К ним относятся Базум-Зангезурская (Севано-Амасийская) зона разломов, Мармарикский, Памбак-Севанский, Сананин-Привольненский и другие разломы. Перемещения по разрывам общекавказского простирания обычно имеют взбросовый, надвиговой характер, часто со значительной правосдвиговой составляющей.

Сеть разрывов антикавказского простирания выражена менее отчетливо, разломы обычно имеют характер сбросов, реже взбросов с левосдвиговой составляющей перемещения. Наиболее крупными из этой группы разломов являются Арагац-Спитак-Привольненский, Тежсар-Шамлугский, Дебедский, Ахурянский и др.

Для складчатых структур района исследований характерно в основном северо-западное простирание, дугообразный изгиб (с вершиной, обращенной на север), ундуляция шарниров. На-

более крупными складчатыми структурами являются Памбакская, Красносельск-Дилижанская, Марцигетская синклинали, Базумский горст, Дззнагет-Фиолетово-Верхнечичканская антиклиналь.

Глава II. Новейшая тектоника и линейная сеть Северо-западной Армении.

Исследования новейшей тектоники Малого Кавказа и, в частности, Армении, начавшиеся ещё в прошлом столетии (работы Г.В. Абиha, Ф.Ф.Освальда и др.), проводились многими учёными (Л.А. Варданянц, С.С.Кузнецов, К.Н.Паффенгольц, Б.Л.Личков и др.). Общая характеристика неотектоники Малого Кавказа приводится в работах Н.В.Думитрашко (1950, 1962), А.А.Габриеляна (1962, 1963, 1981), Е.Е.Милановского (1952, 1962, 1968), А.Т.Асланяна (1958), С.П.Бальяна (1962, 1969, 1970) и др.

В данной диссертационной работе анализ новейших структур Северо-западной Армении проводится с помощью специального структурно-геоморфологического метода, разработанного Н.П. Костенко, который позволяет дать детальную характеристику развития структурных форм за конэрозионный этап (т.е. последний, наиболее молодой). Метод включает в себя составление структурно-геоморфологической карты и ряда комплексных геолого-геоморфологических профилей (продольных и поперечных).

Исходным материалом для составления структурно-геоморфологической карты служат топографические карты, специальный анализ которых дополняется данными дешифрирования различных космических и аэрофотоснимков, а также геологических исследований региона.

Основным содержанием карты являются суммарные поднятия новейших структурных форм за конэрозионный этап их развития (т.е. одновременно с их линейным расчленением и процессами эрозии), а также разрывы, ограничивающие или секущие эти структурные формы. Выделяются разновысотные блоки, мегаблоки, сводово-блоковые структуры. Границы конэрозионных структурных форм обычно выделяются путем анализа так называемых ослабленных зон. Под ослабленными зонами понимаются разрывные нарушения типа сбросов и раздвигов, зоны повышенной трещиноватости и дробления горных пород, которые обычно используются и разрабатываются речными долинами различного порядка.

Исследование новейших структур на структурно-геоморфологической карте дает представление о характере латерального

положения новейших поднятий и их горизонтального расчленения. Для изучения вертикального сечения конэрозийных деформаций строятся комплексные геолого-геоморфологические профили. Анализ деформаций предорогенной (предположительно позднеолигоцен-раннемиоценовой), а в отдельных случаях раннеорогенной (миоцен-раннеплиоценовой?) денудационной поверхности проводится на основании продольных сечений орогенных структурных форм на участках максимальной сохранности упомянутых поверхностей (преимущественно в водораздельной части хребтов). О характере сопряжения хребтов-поднятий и долин-впадин дают возможность судить поперечные сечения этих элементов рельефа.

Необходимо отметить, что структурно-геоморфологические исследования позволяют выделять преимущественно вертикальную составляющую перемещений по разрывам. Анализ же горизонтальной составляющей в данной работе проводится другими методами, о чём будет сказано далее.

В пределах района исследований выделяются следующие основные хребты-поднятия (с юга на север): Цахкуняцкий; Памбакский, Ширакский, а также Базумский, в систему которого входят Халабский, Иджеванский, Арегунийский хребты. На севере района расположен Сомхетский хребет-поднятие. Наиболее значительными горными впадинами являются Памбакская, Верхнеахурянская, Лорийская впадины. Для большинства указанных структурных форм характерно субширотное (до северо-западного) простираение, которое в целом сохраняется как на уровне мегаблоков, так и на уровне отдельных крупных блоков. Нарушение этой закономерности обычно обусловлено сильной раздробленностью блоковых структур, осложнением их крупными сдвигами. Отмечается асимметричность строения основных структурных форм в поперечном сечении. Ряд хребтов-поднятий (Ширакский, Халабский) имеют ярко выраженный сводообразный характер при блоковом внутреннем строении. Границами наиболее крупных орогенных структур чаще всего служат зоны трансорогенных или региональных разломов, часть из которых выделена впервые, а некоторые установлены ранее по геологическим данным.

Максимальная амплитуда конэрозийного воздымания различна для разных структурных форм. Наибольшего значения (до 3000 м) она достигает в пределах Базумского и Памбакского хребтов-поднятий, наименьшего (около 2200-2400 м) - в пределах Сомхетского. В целом конэрозийное воздымание значитель-

но варьирует на различных участках рассматриваемых хребтов-поднятий.

Как следует из анализа продольных сечений хребтов-поднятий, последние испытывают ряд крупных ундуляций. При этом предорогенная поверхность выравнивания подвергается интенсивным деформациям, часто приобретает заметный наклон. Эта поверхность лучше сохранилась в пределах Базумского и отчасти Памбакского и Цакхуницкого поднятий. Структурная позиция Ширакского хребта-поднятия в центре древней Памбакской впадины позволяет предположить, что поверхность этого хребта является более молодой, по-видимому, раннеорогенной.

Мегаблоки раздроблены на отдельные блоки различного порядка по ослабленным зонам. Последние часто представляют собой разрывы, по которым в процессе воздымания происходили дифференцированные вертикальные подвижки блоков, осложняющие общую структуру хребтов-поднятий. Амплитуда таких подвижек достигает местами 400-500 м.

Более молодой по сравнению с предорогенной поверхностью выравнивания рельеф образован ступенчатыми сопряженными склонами хребтов и впадин. Эта характерная черта - ступенчатость - является повсеместной и отражает импульсивный неравномерный характер воздымания хребтов исследуемого региона. Поперечные профили позволяют выяснить характер региональной ступенчатости. Ступени являются фрагментами днщ разновозрастных долин, выработанных транзитными горными реками.

Долины-впадины представляют собой редуцированные приразломные долины, моделированные процессами эрозии. В рассматриваемом регионе наблюдается повсеместное сокращение ширины долин-впадин за счет активного разрастания сопредельных хребтов-поднятий в процессе их воздымания. В этот процесс последовательно вовлекаются периферийные участки впадин.

Анализ морфологии хребтов-поднятий и долин-впадин на поперечных сечениях позволяет выделить на их склонах три крупных региональных вреза, которые отражают три основных этапа (импульса) воздымания горного сооружения Северо-западной Армении, условно выделяемые как молодые (предположительно позднеплейстоцен-голоценовые), древние (преимущественно ранне-среднеплейстоценовые) и древнейшие (позднеплиоценовые). При хорошей сохранности склонов долин могут быть выделены врезы

(и соответственно, импульсы) более высокого порядка. Они выражаются как региональные циклы эрозийного расчленения и обуславливают упомянутую выше ступенчатость сопряженных склонов поднятий и впадин.

В работе проведен также анализ линейной сети Северо-западной Армении. С этой целью были дешифрованы аэрофотоснимки и отдельные обзорные космические снимки. Дешифрирование проводилось визуально, с использованием ландшафтно-индикационного метода, который основан на выявлении связи фотоаномалий с отдельными компонентами ландшафта. Установление такой связи позволяет характеризовать тот или иной геологический объект или процесс через особенности рельефа земной поверхности, растительного покрова, эрозийной сети и других природных индикаторов. (Рябухин и др., 1988).

По результатам дешифрирования составлена карта линейной сети. В пределах района исследований наблюдается достаточно густая сеть линейных элементов разной ориентировки и длины. Наиболее отчетливо выделяются линейные элементы северо-западного ($110-130^{\circ}$) и северо-восточного ($30-60^{\circ}$) простираний, образующие диагональную систему. Ортогональная сеть отличается от диагональной меньшей густотой, но тоже отчетливо выражена.

Линейные элементы распределены неравномерно; области их сгущения чередуются с участками почти полного их отсутствия. Выделяются узлы сгущения разноориентированных линейных элементов:

1) в Спитакском узле наиболее четко выражены линейные элементы северо-западного простирания, а также секущие их меридиональные и северо-восточные;

2) в Дилижанском узле доминируют линейные элементы северо-западного простирания, другие же выражены плохо и имеют небольшую длину;

3) Дебедский узел характеризуется преобладанием линейных элементов северо-восточного простирания, которые пересекаются разнонаправленными линейными элементами;

4) в Иджеванском узле чаще наблюдаются субширотные линейные элементы.

Анализ площадного распределения линейных элементов позволяет выявить приуроченность участков их максимальной концентрации к крупным активным на новейшем этапе разломным зонам, таким как Памбак-Севанская, Дебедская, Раздан-Агстевская и др., ус-

тановленным по геологическим и структурно-геоморфологическим данным.

Данные дешифрирования линейной сети Северо-западной Армении в целом хорошо согласуются с результатами структурно-геоморфологических исследований. Узлы сгущения линейных элементов обычно приурочены к наиболее раздробленным мегаблокам, в то время как участки их отсутствия совпадают с монолитными мегаблоками с горизонтальной водораздельной поверхностью, а также с некоторыми крупными впадинами. Отмечается достаточно хорошее совпадение сети линейных элементов с ослабленными зонами, выделенными структурно-геоморфологическим методом. Крупные разломные зоны, часто служащие границами основных структурных форм, а также мегаблоков и блоков, обычно отчетливо дешифрируются в виде протяженных линейных элементов. Значительная часть линейных элементов северо-западного и местами субширотного простирания маркирует ступенчатость склонов хребтов-поднятий и подчеркивает их линейный характер. Субмеридиональные и северо-восточные линейные элементы не всегда совпадают с границами блоков и мегаблоков и часто пересекают их.

Глава III. Новейшие и современные поля тектонических напряжений

Исследование тектонических напряжений проводилось с помощью двух методов - методом вторичных нарушений и сейсмологическим методом. Первый разработан Л.А.Сим (1991). Его обоснованием служат результаты обобщения М.В.Гзовским (1975) теоретических и экспериментальных данных о развитии сопряженных склонов и отрывов в зонах сдвигов в двумерном пространстве. Эти сколы и отрывы (вторичные нарушения) определенным образом ориентированы по отношению к сдвигу; при этом их взаимная ориентация зависит от угла скалывания, а также наличия дополнительного сжатия или растяжения, нормального к плоскости сдвига. Если в зоне разлома развиты три системы вторичных нарушений, которые по взаимному положению и по отношению к плоскости разлома соответствуют одному из вариантов теоретических расчетов и данных моделирования (Гзовский, 1975, с.148, рис. 31), то решается обратная задача: определяется тип сдвига, ориентация осей растяжения и сжатия, вызвавших его формирование, а также наличие или отсутствие дополнительного сжатия или растяжения.

Применение данного метода для анализа тектонических напряжений такого хорошо изученного региона как Кавказ имело целью прежде всего проверку сопоставимости результатов, полученных методом вторичных нарушений с известными результатами, а также для возможной характеристики разломов с неопределенными кинематическими типами.

Основным содержанием сейсмологического метода анализа тектонических напряжений, предложенного О.И.Гущенко (1973, 1975), является интерпретация сейсмологических данных о механизмах очагов сильных землетрясений ($M > 4,5$, $K > II$) и, в частности, ориентировок плоскостей разрывов. Такая интерпретация проводится на основе гипотезы максимальных касательных напряжений, указывающей на связь формирования поверхностей сдвиговых нарушений с действием касательных напряжений на некоторых сопряженных плоскостях. Интерпретация имеет целью определить направление действия главных напряжений, вызвавших возникновение сдвигового смещения в очаге землетрясения. Возможность возникновения сдвиговых поверхностей обусловлена наличием в горных породах ослабленных сечений различной ориентировки. Эти поверхности ориентированы произвольно по отношению к направлениям осей главных напряжений. В то же время "данные о направлениях сдвиговых подвижек на каждой из поверхностей несомненно содержат определенную информацию о направлении главных напряжений, действующих в анализируемом объеме и обуславливающих развитие всей совокупности подвижек" (Гущенко, 1979, с.

). Данный метод и служит для получения подобной информации. Он был применен автором диссертации для реконструкции полей тектонических напряжений Гюмрийского (Ленинakanского) региона, а также отдельно для области Спитакского землетрясения 1988 г.

По данным ряда исследователей (М.М.Расцветаева, П.Н.Николаева, М.Л.Коппа и др.) для Кавказского региона устанавливается сдвиговый тип новейшего поля тектонических напряжений I ранга. В связи с этим возникает необходимость проанализировать горизонтальную составляющую смещения по разрывам. Такой анализ был проведен с помощью метода вторичных нарушений. Для ряда разрывов Кавказского региона выявлены сдвиговые перемещения, не выделявшиеся ранее. Кроме того, исследование тектонических напряжений этим же методом позволило получить сле-

дующую новую информацию. На фоне господства в Кавказском регионе полого ориентированных субмеридионального сжатия и субширотного растяжения установлена неоднородность вида напряжённого состояния земной коры Кавказа. Так, зоны разломов западно-северо-западного простирания в пределах Западного и отчасти Центрального Кавказа формировались в условиях дополнительного растяжения, ориентированного нормально к разломам. В то же время на Восточном Кавказе разломные зоны этого же простирания формировались в условиях дополнительного сжатия, что хорошо согласуется с геологическими данными по формированию структур этого региона (Короновский и др., 1987). Дополнительное растяжение на черноморском побережье Западного Кавказа, по-видимому, связано с активным прогибанием впадины Черного моря. Сходные условия наблюдаются, вероятно, и вдоль западного побережья Каспия, где в условиях дополнительного растяжения формировались правосдвиговые разломы Дагестанского клина.

Картина распределения поля напряжений в пределах Малого Кавказа гораздо сложнее. Здесь в целом преобладают условия дополнительного сжатия, фиксирующиеся, в частности, по крупной Памбак-Севанской зоне разломов. В то же время южнее разломов Зангезурской сутурной зоны фиксируется, хотя и не очень уверенно, обстановка дополнительного субширотного растяжения, сопровождающая формирование мелких разломов.

В условиях общего субмеридионального сжатия на Кавказе сформировались системы сопряженных правых и левых сдвигов соответственно северо-западного и северо-восточного простираний. Такие системы должны формировать локальные сектора сжатия и растяжения в пределах структур типа Дагестанского или Гюмри-Джавахетского клина.

На более детальном уровне исследование тектонических напряжений проводилось по данным о механизмах очагов сильных землетрясений Гюмрийского региона, охватывающего Северо-западную Армению и Южную Грузию. Кроме того, рассмотрено локальное поле напряжений области Спитакского землетрясения с целью выявления его особенностей.

Были использованы данные о механизмах очагов 75 землетрясений Гюмрийского региона, опубликованные в ряде работ (Ка-рапетян, 1977, 1987, 1989, 1990; Сихарулидзе и др., 1983). Восстановленное по этим данным общее поле напряжений соответствует

региональному полю напряжений сдвигового типа: оси сжатия и растяжения ориентированы близгоризонтально, при этом сжатие субмеридиональное, а растяжение субширотное. Число сдвиговых смещений в очагах землетрясений этого региона вдвое превышает количество вертикальных перемещений.

В результате анализа сводной стереограммы, на которую для каждого очага землетрясения были нанесены возможные плоскости разрыва, получена следующая новая информация. В восстановленном для данного региона общем поле напряжений не все плоскости подвижек могли быть реализованы. Для большинства исследованных очагов землетрясений (68%) смещения происходили только по одной плоскости. Лишь в некоторых случаях (около 13%) реализованными могут считаться обе плоскости, причем смещение по одной из них, по-видимому, проявляется гораздо слабее, чем по другой.

Для каждого очага землетрясения были проанализированы условия, в которых происходили смещения по плоскостям разрывов. 53% таких плоскостей наблюдается в очагах с трехосным напряженным состоянием, 28% - в условиях, близких к одноосному растяжению, 19% - в условиях, близких к одноосному сжатию. Преобладание условий растяжения может быть обусловлено приуроченностью этих очагов к зоне Транскавказского поперечного поднятия.

Анализ плотности распределения плоскостей разрывов в очагах землетрясений Гумрийского региона показал, что в целом гораздо чаще реализуются плоскости субширотного и северо-западного простирания, а северо-восточное направление имеет подчиненное значение. При этом сдвиговые подвижки почти вдвое преобладают над смещениями в вертикальной плоскости, среди которых господствуют взбросовые и надвиговые смещения, в то время как сбросовые встречаются редко. Эти данные хорошо согласуются с данными, полученными другими методами, приведенными выше.

При анализе особенностей поля тектонических напряжений Гумрийского региона не рассматривались данные по Спитакскому землетрясению. Учитывая исключительную значимость и масштабность этого катастрофического сейсмического события для всего региона, более целесообразно исследовать материалы по Спитакскому землетрясению отдельно. Были рассмотрены данные о

механизмах очагов форшока, основного толчка и ряда афтершоков (7.12 - 27.12.88 г.). Восстановленное по этим данным поле тектонических напряжений, хотя принципиально не отличается от общего для Гюмрийского региона поля напряжений, но имеет ряд особенностей. Так, ось сжатия наклонена не на север-северо-восток, как в случае общего поля, а на юг. Ось растяжения меняет свой наклон с восток-юго-восточного на западный. В таком поле напряжений для половины исследованных очагов, в том числе и для основного толчка, реализованными оказываются обе плоскости разрыва, которые различаются, по-видимому, по степени выраженности. Для пяти очагов ни одна из плоскостей не реализуется в восстановленном поле напряжений. Интересно, что к последней группе очагов относится и очаг форшока (6.12.88 г.), механизм которого значительно отличается от механизма главного толчка. Это может объясняться тем, что незадолго до сильного землетрясения происходит резкая локальная перестройка поля напряжений. Необходимо отметить и такой факт. При анализе возможных плоскостей подвижек в очагах группы Спитакских землетрясений в общем поле Гюмрийского региона выяснилось, что большая часть этих подвижек не может быть реализована в региональном поле. Подобный результат также свидетельствует о возможной перестройке поля напряжений в процессе подготовки сильного землетрясения.

Подвижки в очагах Спитакской группы землетрясений происходят в основном в условиях, близких к одноосному сжатию; очаги этих землетрясений приурочены к зоне дополнительного сжатия южнее дугообразного изгиба Памбак-Севанского разлома. Перемещения по плоскостям разрыва имеют характер взбросо-сдвигов и надвиго-сдвигов, причем надвиговая составляющая чаще встречается среди субширотных разрывов. Соотношение разрывов с преобладанием сдвиговой составляющей и разрывов с преобладанием взбросовой (надвиговой) компоненты остается тем же, что и в целом по Гюмрийскому региону - 2:1. В очагах афтершоков активнее проявляются разрывы северо-восточного простирания, по которым резко преобладает левосдвиговое смещение. В меньшей степени проявляются субширотные и северо-западные направления, по которым преобладают взбросовые подвижки.

Глава IV. Взаимосвязь разломной тектоники, полей тектонических напряжений и сейсмичности Кавказа (в том

числе СЗ Армении)

Кавказ является одним из наиболее сейсмоактивных регионов Альпийского складчатого пояса, в пределах которого неоднократно происходили разрушительные землетрясения. Вопросам сейсмичности Кавказа посвящено много исследований, затрагивающих различные аспекты этой проблемы. В настоящей работе сейсмичность рассматривается с точки зрения ее взаимосвязи с особенностями разломной тектоники и напряженного состояния земной коры Кавказа, в том числе и Северо-западной Армении.

Эпицентры землетрясений в пределах Кавказа распределены неравномерно. Выделяется широкая полоса концентрации сейсмических событий, протягивающаяся вдоль крупной левосдвиговой зоны северо-восточного простираения, юго-западное продолжение которой сливается с Левантийской рифтовой зоной. Именно по этой зоне Восточный и Малый Кавказ испытывают более интенсивное смещение на север по сравнению с Западным и Центральным Кавказом, что, в свою очередь, оказывает влияние на характер сейсмичности в этих регионах. Так, Западный и Центральный Кавказ характеризуются низкой плотностью эпицентров со слабой тенденцией к группированию в отдельные, неясно выраженные пятна. В то же время на Восточном, а также на Малом Кавказе сейсмоактивность резко возрастает, увеличивается и средняя магнитуда землетрясений. Такая неравномерность распределения эпицентров, несомненно, связана как с тектонической позицией и геологической структурой, так и с особенностями напряженного состояния земной коры региона. В главе III было показано, что на Западном и Центральном Кавказе отмечаются условия дополнительного растяжения (к общему субмеридиональному сжатию). Восточный, а также Малый Кавказ в основном испытывают дополнительное сжатие. Такое различие вида напряженного состояния земной коры Западного и Центрального Кавказа, с одной стороны, и Восточного и Малого, с другой, может обуславливать отмеченные выше особенности проявления сейсмичности этих регионов.

Эпицентры землетрясений на Восточном и Малом Кавказе группируются в отдельные более или менее четко выраженные пятна, чередующиеся с участками почти полного отсутствия эпицентров. Эти пятна концентрации обычно приурочены к областям максимального сжатия в привершинных частях структур типа Дагестанского или Гумри-Джавахетского клина. Последний образован

юго-западным продолжением Аграхан-Тбилисского линеймента северо-восточного простирания, по которому устанавливается левосдвиговое смещение, и правосдвиговой Памбак-Севанской разломной зоной северо-западного простирания. В указанном клине выделяется два сектора: Гюмрийский на юге и Джавахетский на севере, причем последний выделяется условно, т.к. Памбак-Севанская зона разломов не имеет четкого продолжения на северо-западе. К обоим секторам приурочены крупные пятна концентрации эпицентров. Однако механизмы очагов событий, сконцентрированных в Джавахетском секторе, существенно отличаются от таковых в Гюмрийском. Большинство землетрясений Гюмрийского сектора произошло в условиях, близких к одноосному сжатию. Среди реализованных плоскостей подвижек в очагах землетрясений этого сектора преобладают субширотные, многие из которых совпадают с плоскостями ранее существовавших разломов, что наглядно проявляется при анализе механизмов очагов Спитакского землетрясения 1988 г., его форшока и ряда афтершоков. Подвижки в очагах имеют характер взбросо-сдвигов и сдвиго-взбросов, тогда как сбросовые перемещения почти не наблюдаются.

200
Анализ механизмов очагов землетрясений, сконцентрированных в Джавахетском секторе показывает, что значительное число событий происходило в условиях, близких к одноосному растяжению. Такая обстановка локального растяжения может быть обусловлена расположением этого сектора к северу от дугообразного изгиба Памбак-Севанской зоны разломов, что приводит к формированию меридиональных отрывов и раздвигов, фиксирующихся геологическим картированием. Преобладание субмеридиональных плоскостей разрывов отмечается и по данным механизмов очагов землетрясений Джавахетского сектора. В отличие от Гюмрийской группы довольно значительную роль здесь играют сдвиго-сбросовые и сбросо-сдвиговые подвижки в очагах, а взбросовые движения имеют подчиненное значение.

На условия локального растяжения в пределах Джавахетского сектора указывает также наличие цепочки вулканов, вытянутой в меридиональном направлении. Всё это может свидетельствовать о тенденции современного раздвигообразования на этом участке, унаследованной от новейшего этапа.

Сопоставление распределения сейсмичности с результатами структурно-геоморфологических исследований указывает на приуроченность эпицентров к конкретным объемам (блокам) земной коры,

что подчеркивает дискретность распределения гипоцентров землетрясений и позволяет рассматривать тот или иной объем (блок) как потенциальный очаг сейсмической опасности. Эпицентры землетрясений в ряде случаев приурочены к границам блоков и мегаблоков, представляющих собой ослабленные зоны (зоны концентрации деформаций). Перемещения разного знака (как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости) приводят в конечном итоге к возникновению землетрясений.

Большое влияние на характер сейсмичности оказывает также рост и расширение новейших поднятий. Так, крупное пятно концентрации эпицентров (в том числе эпицентров Спитакского землетрясения 1988 г. и большинства его афтершоков) приурочено к центральному опущенному, сильно раздробленному мегаблоку активно растущего Ширакского сводообразного поднятия. Участки отсутствия эпицентров обычно совпадают с наиболее стабильными блоками. Таким образом, весьма четко вырисовывается связь распределения пятен концентрации эпицентров землетрясений с конкретными новейшими структурами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги исследованию, проведенному в соответствии с поставленной целью работы, получен ряд выводов, главные из которых заключаются в следующем.

1. На карте линеamentной сети Северо-западной Армении, составленной по результатам визуального дешифрирования аэрофотоснимков и космических снимков, наиболее отчетливо выражена диагональная сеть линеamentов. Выделяются узлы сгущения и пересечения линеamentов различного простирания и относительно небольшой длины, которые обычно приурочены к крупным разломным зонам или раздробленным блокам новейших поднятий.

2. Впервые для территории Северо-западной Армении составлена детальная структурно-геоморфологическая карта масштаба 1:100 000, на которой показано сложное блоковое строение основных новейших структурных форм (поднятий и впадин) рассматриваемого региона. Границами структурных форм обычно служат зоны трансформированных или региональных разломов. Отдельные блоки испытывают вертикальные и горизонтальные перемещения по ослабленным зонам, представляющим собой участки концентрации деформаций, разрывы со смещением, зоны повышенной трещиноватости и дробления пород. Вертикальная амплитуда перемещений по неко-

торым из таких разрывов достигает местами 400-500 м (за кон-эрозионный этап). Сравнительный анализ независимых данных дешифрирования аэрофотоснимков и результатов структурно-геоморфологических исследований показывает достаточно хорошее совпадение линейной сети с ослабленными зонами, что объективно доказывает реальное существование последних. Формирование блоковой структуры горного сооружения Северо-западной Армении происходило на фоне его общего конэрозионного воздымания. Этот процесс характеризуется неравномерностью и импульсивностью; на фоне трех крупных импульсов выделяются импульсы более высокого порядка.

3. На фоне господства в Кавказском секторе Альпийского складчатого пояса полого ориентированных субмеридионального сжатия и субширотного растяжения устанавливается неоднородность вида напряженного состояния в пределах Западного и Центрального Кавказа, с одной стороны (дополнительное растяжение), и Восточного и Малого Кавказа, с другой (дополнительное сжатие). В таком поле напряжений системы сопряженных правых и левых сдвигов должны формировать локальные сектора сжатия и растяжения.

Для Северо-западной Армении по сейсмологическим данным устанавливается сдвиговый тип современного поля напряжений; число сдвиговых смещений в очагах землетрясений этого региона вдвое превышает количество вертикальных перемещений. Анализ механизмов очагов Спитакского землетрясения 1988 г., его форшока и ряда афтершоков показал, что реконструированное по этим данным поле тектонических напряжений несколько отличается от регионального. Этот факт свидетельствует в пользу возможности непродолжительной локальной перестройки поля напряжений в процессе подготовки сильного землетрясения.

4. В очагах землетрясений Гюмрийского сектора Гюмри-Джавахетского клина преобладают субширотные плоскости подвижек с взбросо-сдвиговым и сдвиго-взбросовым характером перемещения в условиях, близких к одноосному сжатию. В Джавахетском секторе этого же клина значительное число событий происходило в условиях, близких к одноосному растяжению. При этом преобладают субмеридиональные плоскости подвижек, по которым отмечаются сбросо-сдвиговые и сдвиго-сбросовые перемещения. Это свидетельствует о тенденции современного раздвигообра-

зования на этом участке, унаследованной от новейшего этапа.

5. Анализ взаимосвязи новейшей тектоники, тектонических напряжений и сейсмичности на разных уровнях генерализации позволил установить приуроченность областей скопления эпицентров землетрясений к определенным геологическим структурам, показать их связь с характером напряженного состояния земной коры региона. Эпицентры концентрируются в отдельные более или менее четко выраженные пятна, чередующиеся с участками почти полного отсутствия эпицентров. Эти пятна обычно приурочены к секторам сжатия, образованным крупными сопряженными сдвиговыми зонами, формирование которых обусловлено региональными тектоническими напряжениями Кавказа. На ослабление сейсмоактивности в пределах Западного и Центрального Кавказа, по-видимому, оказывает влияние дополнительное растяжение, в то время как в условиях дополнительного сжатия на Восточном и Малом Кавказе сейсмоактивность достаточно высока. Важная роль принадлежит также крупной левосдвиговой зоне северо-восточного простирания (сливающейся на юго-западе с Левантийской рифтовой зоной), вдоль которой наблюдается широкая полоса концентрации эпицентров. Именно по этой зоне Восточный и Малый Кавказ испытывают более энергичное перемещение в северном направлении по сравнению с Западным и Центральным Кавказом.

Большое влияние на характер сейсмичности оказывает также рост и расширение новейших поднятий. Так, область концентрации эпицентров (в том числе Спитакского землетрясения 1988 г. и большинства его афтершоков) приурочено к центральному сильно раздробленному мегаблоку активно растущего Ширакского поднятия. Участки отсутствия эпицентров обычно совпадают с более стабильными блоками.

6. Особенности новейшей тектоники, тектонических напряжений и сейсмичности исследованного региона находят удовлетворительное объяснение с позиций тектоники литосферных плит, рассматривающей Кавказский регион как область коллизии Африкано-Аравийской и Евразийской плит.

2001