

СААКЯН
АШИК АРУТЮНОВИЧ

УДК: 550.344.094 (479.25) + 550.34.052

**КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ПРОДОЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН
ДЛЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ АРМЯНСКОГО
НАГОРЬЯ**

(01.04.12—геофизика)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

СААКЯН
АШИК АРУТЮНОВИЧ

УДК: 550.344.094 (479.25) + 550.34.052

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ПРОДОЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН
ДЛЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ АРМЯНСКОГО
НАГОРЬЯ

(01.04.12—геофизика)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

ЕРЕВАН—1984



6581

Работа выполнена на сейсмической станции «Степанаван» Ордена Трудового Красного Знамени института геофизики и инженерной сейсмологии АН Армянской ССР.

Научный руководитель—
доктор физико-математических наук, профессор

Н. В. КОНДОРСКАЯ

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук. **Д. И. СИХАРУЛИДЗЕ**
доктор геолого-минералогических наук **Ю. К. ЩУКИН**

Ведущая организация—институт геологии АН Азербайджанской ССР

Защита диссертации состоится «23» ноября
1984 г. в 14 часов на заседании Специализированного Совета К 007.14.01 в институте геофизики АН Грузинской ССР по адресу: 380093, Тбилиси, ул. З. Рухадзе 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института геофизики АН Грузинской ССР.

Автореферат разослан «17» октября 1984 г.

Ученый секретарь Специализированного Совета
кандидат физико-математических наук

А. Г. АМИРАНАШВИЛИ

Актуальность. Решение проблем прогноза землетрясений и сейсморайонирования отдельных территорий во многом связано с успехами в области познания тонкой структуры земной коры сейсмоактивных регионов. Одним из таких регионов является Армянское вулканическое нагорье, строение земной коры которого изучено далеко неполно. Получение новых сведений о скоростном разрезе внутри Земли на основе использования данных о землетрясениях тесно связано с определением параметров их гипоцентров и изучением времен пробега сейсмических волн. До настоящего времени в сейсмологической практике для землетрясений Армянского нагорья использовался экспериментальный региональный годограф Кавказа А. Я. Левицкой, Т. М. Лебедевой и отнесенный к средней глубине землетрясений, используемых для его построения. В связи с этим на основании этого годографа глубины большинства землетрясений Армянского нагорья, особенно в случае расположения станций в узком азимутальном створе, определяются с большими ошибками. Развитие наблюдательной сейсмологии на Кавказе в настоящее время позволяет разработать и реализовать новые методические подходы, связанные с изучением времен пробега основных сейсмических волн, для более точного определения как параметров гипоцентров, так и выявления особенностей внутреннего строения Земли. В первую очередь это относится к анализу невязок времен пробега Р волн по отношению к осредненному годографу. Исследования такого рода во всем мире, в основном, были связаны с наблюдениями в телесеismicческой зоне, а в ближней зоне для Кавказа до настоящего времени отсутствовали.

Цель работы состоит:

а) в разработке методики изучения особенностей времен пробега Р волн применительно к решению задачи определения координат гипоцентров землетрясений по наблюдениям станций в ближней зоне ($\Delta = 0-600$ км) и получения новых данных о строении земной коры.

б) в реализации этой методики для Армянского нагорья.

Задачи. В соответствии с целью работы поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработка методики систематизации кинематических параметров Р волн.

2. Разработка методики расчета осредненной скоростной модели земной коры для выбранного региона при заданной системе наблюдений и построение нового регионального годографа для Армянского нагорья.

3. Выявление аномалий времен пробега Р волн по отношению к новому региональному годографу.

4. Интерпретация полученных результатов.

Научная новизна. Разработана методика изучения особенностей времен пробега Р волн применительно к решению задачи определения параметров гипоцентров землетрясений по наблюдениям станций в ближней зоне и получения детальных данных о строении земной коры. Рассчитан оптимальный осредненный скоростной разрез земной коры для выбранной совокупности землетрясений Армянского нагорья и сейсмических станций Кавказа. Рассчитаны таблицы времен пробега первых вступлений Р волн для глубин 0—50 км с шагом 5 км, имеющие практическое значение, и выявлены азимутальные станционные поправки к ним. Проведена количественная калибровка станций и составлены оптимальные системы наблюдений. Определены глубины гипоцентров для порядка 500 землетрясений Армянского нагорья. Модифицирован способ Вадати определения времени в гипоцентре для землетрясений Армянского нагорья. Установлено, что положительным станционным поправкам на Кавказе соответствуют отрицательные аномалии силы тяжести и уменьшение фазовых скоростей поверхностных волн, а отрицательным—наоборот. Установлена линейная корреляционная зависимость между станционными поправками и мощностями земной коры под станциями, а также рельефом земной поверхности, с другой. Оценены мощности земной коры под 20 станциями Кавказа; выделены ряд высокоскоростных и низкоскоростных блоков в земной коре Кавказа; в земной коре Армянского нагорья выделены ромбовидные блоки с длиной ребра в среднем 20—40 км.

Автор защищает: 1. Результаты по разработке методики систематизации кинематических параметров Р волн и реализации этой методики на примере землетрясений Армянского нагорья.

2. Интерпретацию полученных геофизических результатов.

3. Полученные практические выводы и рекомендации.

Практическая ценность. Новый региональный годограф Армянского нагорья и методика определения времени в гипоцентре уже используется в сейсмической практике при определении гипоцентров землетрясений Армянского нагорья. Разработанная методика систематизации стационарных невязок мо-

жет быть применена для любого другого региона. Полученные результаты об особенностях строения земной коры могут быть использованы при решении проблем прогноза землетрясений и сейсморайонирования.

Реализация работы. По результатам исследований составлены рекомендации, которые используются в настоящее время в ОМСЭ ИГИС АН Арм. ССР при сводной обработке наблюдений.

Фактический материал. Использовались данные времен первых вступлений Р волн на 31 станциях Кавказа для 474 землетрясений с $K \geq 9$, происшедших на территории Армянского нагорья за период с 1968 по 1973 гг. Особое внимание было уделено точности измерений времен первых вступлений сейсмических волн, поэтому в большинстве случаев измерения проводились автором непосредственно по сейсмограммам. Общее количество экспериментальных данных составило 8467.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Общий объем 210 страниц, из них 97 страниц текста, 12 страниц библиографии (113 названий), 53 рисунка и приложение (13 таблиц) на 101 страницах.

Дополнительные сведения. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю, доктору физико-математических наук, профессору Н. В. Кондорской за предложение темы, постоянное внимание и неизменную поддержку в процессе выполнения работы.

Автор благодарит также А. Х. Баграмяна за помощь и поддержку при сборе необходимого исходного материала, Э. Г. Гедакяна за всестороннюю помощь и поддержку, Л. Б. Славинову за содействие при использовании вычислительных программ и обсуждение, О. Д. Гоцадзе, М. С. Иоселиани, Г. Я. Мурусидзе, В. Г. Папалашвили, Д. И. Сихарулидзе, Г. Ш. Шенгелая за полезные обсуждения.

Глава 1. АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ Р ВОЛН ДЛЯ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ И ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ КАВКАЗА.

Приводится обзор работ, связанных с изучением связей времен пробега Р волн, а также критический анализ существующих годографов Кавказа с позиций их применимости в сейсмологической практике для землетрясений Армянского нагорья и обзор исследований по изучению строения земной коры Кавказа.

Основой изучения кинематических особенностей первых вступлений сейсмических волн до настоящего времени явля-

лось построение годографов и изучение отклонений от них, так называемых невязок.

Анализ таких невязок по отношению к стандартному годографу Джеффриса-Буллена (Д-Б) (Н. Jeffreys, K. E. Bullen, 1940) в основном ограничивался наблюдениями в телесейсмической зоне, в том числе и для ряда станций Кавказа (Н. В. Кондорская, 1970; Л. Б. Славина, 1971; Л. П. Винник, Э. Ленартович, 1976).

Нами проведено сопоставление различных ранее построенных годографов Кавказа на основе выявленных отклонений времен первых вступлений региональных и локальных годографов (А. Я. Левицкая, Т. М. Лебедева, 1953; Э. А. Джибладзе, О. Д. Гоцадзе, 1962; А. Д. Цхакая, 1957; Г. К. Твалтвадзе, 1960; Н. К. Карапетян, 1974; Г. Я. Мурусидзе, 1976) от годографа Д-Б для ближней зоны. Оказалось, что эти отклонения существенно варьируют (-1 с — $+5$ с), указывая на сложное строение земной коры региона. Несмотря на многочисленные работы в этой области в сейсмологической практике продолжает использоваться годограф А. Я. Левицкой, Т. М. Лебедевой, что приводит к неопределению глубин гипоцентров землетрясений.

Проведенный анализ результатов определения параметров гипоцентров землетрясений Армянского нагорья с применением различных годографов, в том числе и стандартного годографа Д-Б для ближней зоны, показал, что их использование приводит к существенному разбросу в определении координат гипоцентров (разброс в координатах эпицентров ~ 30 км; глубина варьирует в пределах $0-30$ км). Аналогичный результат был получен и при локализации взрывов на территории Армянского нагорья.

Обзор исследований, посвященных глубинному строению Кавказа показал, что несмотря на результаты по строению земной коры отдельных частей Кавказа по данным ГСЗ и другим геофизическим данным для большей части территории Армянского нагорья таких данных далеко недостаточно; сейсмологические данные недостаточно используются для изучения строения земной коры. Необходимо отметить, что в настоящее время на стационарных сейсмических станциях накоплен огромный массив данных о временах вступлений сейсмических волн. Разработка новых методических подходов, связанных с привлечением этих данных для уточнения параметров гипоцентров и получения новых сведений о строении среды является весьма актуальной задачей.

Широкое развитие сети сейсмических станций на Кавказе и оснащение их высокочувствительной аппаратурой; а также высокий уровень сейсмичности Армянского нагорья дает возможность проведения детального исследования, связанного с изучением времен пробега Р волн.

Глава 2. СИСТЕМАТИЗАЦИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ Р ВОЛН ДЛЯ АРМЯНСКОГО НАГОРЬЯ В СИСТЕМЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ КАВКАЗА.

В этой главе приведена методика изучения особенностей времен пробега Р волн применительно к решению задачи определения основных параметров гипоцентров землетрясений по наблюдениям станций в ближней зоне. Дан анализ исходного экспериментального материала. Осуществлен первый этап методики, заключающейся в расчете и анализе кинематических параметров Р волн по отношению к выбранному в первом приближении годографу.

Учитывая факт отсутствия регионального годографа для Армянского нагорья, а годограф Д-Б является в настоящее время стандартом в сейсмологической практике в широком диапазоне эпицентральных расстояний, представляется целесообразным начать изучение времен пробега Р волн по отношению к стандартному годографу Д-Б.

Предлагаемая нами методика представляет собой многоэтапный цикл, связанный с последовательным уточнением параметров гипоцентров землетрясений (в результате каждой последовательной итерации уточнения гипоцентров уточняются и параметры среды).

Специфика ее заключается в том, что предусматривается возможность использования данных землетрясений, глубины гипоцентров которых ранее определены не были. Основные позиции методики заключаются в следующем:

1. Для каждой станции (i) рассчитываются невязки времен пробега Р волн по отношению к годографу Д-Б (первое приближение) $f_i = t_{pi} - t_{pi}^*, \Delta_i$, где t_{pi} — наблюдаемые времена пробега, t_{pi}^*, Δ_i — времена пробега, рассчитанные по годографу Д-Б для ближней зоны. Осуществляется многократный перебор t_{pi}^*, Δ_i для различных глубин гипоцентра (h) и находится та глубина гипоцентра, для которой среднее значение величин $|f_i|$ оказывается минимальным ($f_i^{\min}$). Устанавливается приуроченность $f_i^{\min}$ к определенной глубине.

2. В предположении, что функция плотности распределения Р ($f_i^{\min}$) подчиняется закону Джеффриса (Н. Jeffreys, 1936), рассчитываются ее параметры: систематическая ошибка (поправка — α_i) и случайные ошибки (σ_i — дисперсия, ν_i — вероятность ошибок, не подчиняющихся нормальному распределению с заданным σ_i). Расчет доверительных интервалов осуществляется в соответствии с критерием Стьюдента при уровне доверия равном 95%.

3. Проводится анализ всех параметров функции $P(f_i^{\min})$ последовательно: для выбранного региона в целом и для отдельных сейсмически обусловленных районов. Выявляется наличие зависимости станционных поправок от эпицентрального расстояния. Если рассчитанные на данном этапе величины α_i не проявляют зависимости от эпицентрального расстояния, то предполагается, что исходный годограф оптимально осредняет структурно-скоростные особенности региона. Если же эта зависимость выявляется, то осуществляется переход к следующим этапам, а именно:

4. Рассчитываются эпицентральные поправки. Для этого все поле невязок $f_i^{\min}$ для всех станций и землетрясений осредняется в зависимости от эпицентрального расстояния (Δ). Для оптимального восстановления формы кривой $f_i^{\min} = F(\Delta)$ интервалы облака точек для осреднения выбираются уже, чем период осцилляций. Внутри каждого интервала $\delta\Delta$ аналитически рассчитываются параметры функции распределения $f_i^{\min}$: $\alpha_{\delta\Delta}$, $\sigma_{\delta\Delta}$ и $\mu_{\delta\Delta}$; в этом случае значения $\alpha_{\delta\Delta}$ являются поправками на интервале $\delta\Delta$.

5. Рассчитанные поправки $\alpha_{\delta\Delta}$ вводятся в исходный годограф и далее на основании величин $dt'_p/d\Delta$ и $d^2t'_p/d\Delta^2$ определяются параметры среды, оптимальным образом отражающие осредненную модель земной коры для выбранной совокупности землетрясений и сети сейсмических станций. На основании осредненной модели земной коры (мощность слоев и скорости в них) рассчитывается новый осредненный региональный годограф.

6. Рассчитанные таблицы времен пробега позволяют определить параметры гипоцентров ($\varphi', \lambda', T_0', h'$) и далее вновь осуществить расчет невязок (f'_i). В отличие от первого приближения расчет f'_i теперь осуществляется для фиксированного h' , которое может быть определено в процессе самой минимизации невязок для различных глубин.

7. Проводится расчет и анализ параметров $P(f'_i)$. Если осредненная модель среды получена правильно, то расчет параметров $P(f'_i)$ позволяет определить α'_i , которые рассматриваются станционными азимутальными поправками.

Предложенная методика была реализована для землетрясений Армянского нагорья. Подбор соответствующего наблюдательного материала о временах первых вступлений осуществлен таким образом, чтобы обеспечить статистическую представительность исходных данных как для Армянского нагорья в целом, так и для отдельных его зон. Анализ показал, что для нашей задачи лучше всего использовать данные о землетрясениях с 1968 г. С этого времени сейсмические станции Кавказа сравнительно равномерно распределены по всей территории региона; станции оснащены высокочувстви-

тельными короткопериодными приборами СКМ—3 с унифицированными амплитудно-частотными характеристиками, разверткой 60 мм/мин. и точной службой времени, позволяющими обеспечить снятие времен первых вступлений с точностью $\pm 0,2$, с. Принимая во внимание, что большое значение имеет правильное измерение времен первых вступлений сейсмических волн, нами для абсолютного большинства случаев эти измерения проводились непосредственно по сейсмограммам, что позволило уточнить целый ряд данных. Следует отметить, что отбирались лишь четкие вступления. Таким образом, была выбрана совокупность, состоящая из 474 землетрясений, записанных на 31 станциях Кавказа, входящих в Единую Систему Сейсмических Наблюдений СССР. В качестве первого приближения о координатах эпицентров и времени в очаге использовались данные сейсмологических бюллетеней Кавказа за 1968—1973 гг. Все землетрясения были достаточно сильные ($K \geq 9$), так что для каждого из них имелись данные о временах вступлений Р волн для большого числа станций.

Расчет параметров Р ($f_i^{\min}$) для всей совокупности землетрясений по наблюдениям всех станций Кавказа показал, что характерно наличие больших систематических поправок, различных для различных районов внутри региона. В результате детального анализа параметров функции плотности распределения невязок были установлены критерии, на основании которых выделены четыре зоны: Джавахетская, Ардагано-Карсская, Бардог-Котурская, Зангезурская. Для всего региона установлена зависимость станционных поправок α_i от эпицентрального расстояния.

Глава 3. ОСРЕДНЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ГОДОГРАФ АРМЯНСКОГО НАГОРЬЯ.

В этой главе осуществляется расчет оптимальной осредненной скоростной модели земной коры для выбранной совокупности землетрясений Армянского нагорья и системы станций Кавказа; расчет осредненного регионального годографа Армянского нагорья (ОРГАН).

В соответствии с предложенной методикой, на основании данных 8467 значений $f_i^{\min}$ выявлена зависимость $f_i^{\min} = F(\Delta)$.

Для проверки значимости осцилляций кривой $f_i^{\min} = F(\Delta)$ был применен критерий Стьюдента. Введение поправок $\alpha_0 \Delta$ в исходный годограф позволил найти скорректированные времена пробега t'_p . Расчет $d^2 t'_p / d\Delta^2$ показал, что имеют место четыре точки перегиба годографа, в каждом интервале

между которыми наблюдаемые значения $t'_p(\Delta)$ аппроксимировались полиномом. Для выбора оптимальной аппроксимирующей функции был использован критерий минимизации (Данилина Н. И. и др., 1976). Оказалось, что во всех случаях имеют место полиномы первой степени ($t'_p = a\Delta + b$), соответствующие коэффициенты которых определялись методом наименьших квадратов. Исходя из предположения о горизонтальной слоистости земной коры, рассчитана ее осредненная скоростная модель: мощность земной коры составляет 48 км и состоит из четырех слоев с мощностями 6, 8, 13 и 21 км со средними скоростями P волн в них 4,60; 5,65; 6,21; 6,67 км/с; скорость P волн на границе Мохо — 7,94 км/с. Используя эти данные, по программе ГДГ (Василькова Т. А. и др., 1980), на ЭВМ были рассчитаны годографы для первых вступлений P волн для глубин очага от 0 до 50 км с шагом 5 км в интервале эпицентральных расстояний 0—600 км. Осуществлена проверка соответствия рассчитанного годографа с экспериментальным.

В этой главе также рассмотрен вопрос об определении времени в очаге (T_0) и установлено, что наклон графика Вадати меняется в зависимости от эпицентрального расстояния. На основании данных 100 землетрясений Армянского нагорья получена зависимость, учитывающая это изменение:

$$T_o^i = T_p^i - \frac{T_s^i - T_p^i}{\operatorname{tg} \phi} \quad [1],$$

где T_s^i и T_p^i — времена вступлений поперечных и продольных волн. По [1] можно осуществлять контроль за данными наблюдений отдельных станций. В качестве критерия принималось $\delta T_o \leq \pm 0,3$ с., где

$$\delta T_o = \sigma_{T_o} / \sqrt{n}; \quad \sigma_{T_o} = \left\{ \frac{1}{n-1} \sum (T_o^i - T_o)^2 \right\}^{1/2}; \quad T_o = \frac{1}{n} \sum T_o^i.$$

Параметры гипоцентров выбранной совокупности уточнялись по ОРГАНу, при этом T_0 также уточнялись с помощью формулы [1]. Показано, что ошибки в определении гипоцентра находятся в пределах 5—10 км (количественная оценка точности проводилась на основании расчета радиуса доверительной области ошибок для 95% уровня доверия).

Отдельный параграф этой главы посвящен выявлению станционных поправок для $6^\circ \leq \Delta < 60^\circ$ по данным уточненных параметров гипоцентров 39 землетрясений Армянского нагорья ($M \geq 4$). Обнаружен факт опережения первых вступлений P волн на эпицентральных расстояниях $\Delta \sim 10^\circ$ — 20° и $\Delta \sim 30^\circ$ — 45° и запаздывания для $\Delta \sim 20^\circ$ — 30° и $\Delta \sim 45^\circ$ —

—60°. В интервале $\Delta \sim 10^\circ - 20^\circ$ расположены в основном станции Крыма и западной части среднеазиатского региона; увеличение скорости P волн вдоль этих трасс может быть объяснено наличием высокоскоростных структур верхней мантии под Черным и Каспийским морями. Полученные станционные поправки следует учитывать при использовании удаленных станций в общей совокупности данных при определении основных параметров гипоцентров сильных землетрясений Армянского нагорья.

Глава 4. АНОМАЛИИ ВРЕМЕН ПРОБЕГА P ВОЛН

В этой главе рассмотрены параметры функции плотности распределения невязок P волн по отношению к построенному осредненному региональному годографу Армянского нагорья. В качестве исходных данных были использованы уточненные параметры гипоцентров и расчет $\bar{t}_i$ производился для соответствующих глубин. Осуществлена проверка зависимости невязок от глубины очага. Для этой цели для всех рассмотренных землетрясений и станций рассчитывались $\bar{t}_i'$ и сравнивались их средние величины ($\bar{\bar{t}}_i$) для глубин с интервалами через 5 км. Оказалось, что величины $\bar{t}_i'$ в пределах погрешностей ($\pm 0,2$ с.), совпадают между собой. Поэтому далее, при расчете и анализе $\bar{t}_i'$ совокупность наблюдений не дифференцировалась по глубинам.

Для всего региона по всем станциям параметры функции плотности распределения невязок оказались следующими: $\alpha' = -0,02$ с; $\sigma' = 1,10$ с; $\mu' = 0,07$. Параметры функции плотности распределений $\bar{t}_i'$, рассчитанные отдельно для выделенных ранее четырех эпицентральных зон (Джавахетской, Ардагано-Карсской, Бардог-Котурской, Зангезурской) позволили выявить азимутальные станционные поправки. Выделены станции поправки, которых оказались инвариантными по всем зонам (группа станций первого рода) и станции, поправки которых значимы для одной или нескольких зон (группа станций второго и т. д. родов). Независимо от эпицентрального расстояния в каждой из этих групп выделяются станции с положительными, отрицательными или разноименными поправками. Для станций второго и выше родов характерен повышенный градиент станционных поправок в зависимости от азимута (вариации поправок в пределах $-1,5$ — $+1,0$ с.). Применение поправок к осредненному годографу показало, что точность определения повышается (радиусы доверительных областей ошибок (r) уменьшаются вдвое и оказываются в пределах $1,4 \div 14,6$ км; число землетрясений с $r \leq \pm 5$ км составляет 58%;

с $r \leq \pm 10$ км—93%. Таким образом, выявлены дополнительные возможности (уже второго порядка) для повышения точности определения параметров гипоцентров. Оценки станционных поправок для различных станций показывают, что из всех станций Кавказа можно выделить наиболее эффективные, тем самым создав оптимальные системы наблюдений. Такие системы были составлены с учетом расположения «надежных» станций как по азимуту, так и по эпицентральному расстоянию для Джавахетской, Ардагано-Карсской, Бардог-Котурской и Зангезурской зон.

На основании построенного нового осредненного годографа с учетом азимутальных станционных поправок определены параметры около 500 землетрясений Армянского нагорья за 1968—1973 годы. Показано, что для Джавахетской и Ардагано-Карсской зон наибольшее количество землетрясений происходит на глубинах 15 км, а для Бардог-Котурской и Зангезурской зон—на глубинах 10 и 5 км соответственно. Для всего региона не обнаружено землетрясений с глубинами гипоцентров более 30 км. Землетрясения с $K \geq 10$ в среднем на 5 км глубже, чем землетрясения с $9 \leq K < 10$.

Построенные уточненные карты эпицентров выявили строгую линейность их расположения и приуроченность к глубинным разломам. Выявленные зональные и станционные эффекты подтверждали полученные ранее в работах Э. А. Джибладзе, О. Д. Гоцадзе, Г. К. Твалтвадзе выводы об уменьшении времен пробега сейсмических волн для станции «Кировабад». Показано, что отрицательные поправки характерны для всех станций, расположенных в Куринской, Рионской низменностях и на береговых полосах Черного и Каспийского морей, станциям горных районов соответствуют положительные поправки. Сопоставление полученных результатов с данными Л. Б. Славиной для станций «Кировабад» и «Бакуриани» в случае землетрясений Дальнего Востока, дает основание полагать, что определяющую роль в величинах станционных поправок играют особенности земной коры под станциями.

Глава 5. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ.

В этой главе рассмотрена зависимость станционных поправок к ОРГАНу от мощности земной коры и высоты станций над уровнем моря, рассчитаны и проанализированы поля скоростей на глубинах, соответствующих выявленным границам раздела; проводится комплексный анализ результатов для выявления разломов в земной коре.

Сравнение полученных станционных поправок с аналогичными поправками для ряда станций Кавказа для телесеismических расстояний (Кондорская Н. В., 1970; Славина Л. Б., 1971) позволяет сделать вывод, что величины станционных поправок (α'), для станций, для которых первыми вступают волны Р, диффрагированные на границе Мохо, главным образом обусловлены различиями мощности земной коры под станциями (ΔN_i). Выявлена зависимость α' от ΔN_i ($\Delta N_i = N_i - \bar{N}$, где $\bar{N} = 48$ км — полученное нами значение средней мощности земной коры, N_i — мощность земной коры под станциями по данным ГСЗ и другим геофизическим данным)

$$\alpha'_i = 0.12 \Delta N_i + 0.09 \quad [2]$$

с коэффициентом корреляции $r = 0.98$ и со среднеквадратической ошибкой $\sigma = 0.09$. На основании [2] оценена мощность земной коры под 20 сейсмическими станциями Кавказа ($N_i = 39-53$ км) и построены изолинии поверхности Мохо. Резко выделяются Большой Кавказ ($\bar{N} = 50-60$ км), Малый Кавказ ($\bar{N} = 50-55$ км), Грузинская глыба ($\bar{N} = 45-50$ км), Рионо-Куринский ($\bar{N} = 40-43$ км) и Араксинский межгорные прогибы ($\bar{N} = 43-45$ км).

Изучена зависимость станционных поправок (α_i) от высоты станций над уровнем моря (h_i , км) для станций, для которых первыми вступают волны Р, диффрагированные на границе Мохо. Получено уравнение

$$\alpha'_i = 0.76 h'_i - 0.76 \quad [3]$$

с коэффициентом корреляции $r = 0.99$ и среднеквадратической ошибкой $\sigma = 0.06$.

Формула [3] может быть использована для оценки ожидаемой станционной поправки к ОРГАНу для тех станций, для которых эти поправки не могли быть рассчитаны в связи с недостаточностью экспериментального материала, а также для вновь открываемых станций.

Сравнение станционных поправок с гравитационными аномалиями Буге, фазовыми скоростями поверхностных волн по профилям ГСЗ Гали-Масаллы, Нахичевань-Волгоград, Степное-Бакуриани, Астара-Дербент показало, что детальность полученных нами данных позволяет восполнить имеющийся пробел в изучении строения земной коры в тех районах, где данные ГСЗ отсутствуют. Впервые установлено, что для станций с положительными станционными поправками характерны отрицательные аномалии силы тяжести Буге и уменьшение фазовых скоростей поверхностных волн, а в райо-

нах станций с отрицательными станционными поправками аномалии силы тяжести положительны или вблизи нуля, фазовые скорости увеличиваются.

Станционные поправки использовались для расчета поля скоростей P волн. На основе полученной осредненной модели земной коры были построены сейсмические лучи от очаговой зоны к станциям по профилям, охватывающим сейсмические станции в азимутальном створе $\pm 5^\circ$. На основании дифференцирования поля поправок вдоль лучей получены значения прироста градиента полей времен волн P в направлении сейсмических лучей. Значение скорости определялось в области максимального погружения луча. Скорости сейсмических волн P (V_P^H), распространяющиеся в одном и том же слое и выходящие на разные станции вдоль профиля на расстояниях Δ_i и Δ_j определялись по формуле:

$$V_P^H = \frac{\Delta_i - \Delta_j}{(\Delta_i - \Delta_j)/V_P^G + (\alpha'_i - \alpha'_j)} \quad [4],$$

где V_P^G — скорость P волн по годографу.

Построены схемы изолиний величин δV_P ($\delta V_P = V_P^H - V_P^G$) для глубин 6, 14, 27 и 48 км. На их основании выделены низкоскоростные и высокоскоростные блоки в земной коре, а также высокоградиентные зоны скоростей для Кавказского региона.

Показано, что имеет место резко выраженная слоистоблоковая структура земной коры Кавказа, причем отдельные блоки отличаются как мощностью земной коры, так и скоростными параметрами отдельных слоев.

Полученные данные о границах резкой смены скоростей сейсмических волн P , а также уточненные данные о распределении эпицентров землетрясений Армянского нагорья; легли в основу выявления границ линеаментов земной коры Армянского нагорья и Кавказского региона, которые согласно А. Т. Асланяну входят в общую систему — Тавро-Кавказский сектор Альпийской складчатой системы.

Сопоставление выделенных линеаментов с известными в литературе глубинными разломами дает основание полагать, что выявленные линеаменты в основном связаны с глубинными разломами. На территории Армянского нагорья в результате пересечения этих разломов образуются блоки земной коры с длиной стороны 20—40 км в среднем. Следует отметить, что для Бардог-Котурской зоны выделенные разломы земной коры имеют кавказское и антикавказское простирание, а образовавшиеся блоки ромбовидные, тогда как для Ардагано-Карсской зоны, помимо кавказского и антикавказского простираний выделены разломы близширотного и близмеридианного

нального простирааний, а также дугообразные разломы выпуклостью на север. По-видимому, тектоническое формирование В-ЮВ части Армянского нагорья произошло в иных условиях, чем его З—СЗ части.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ:

1. Разработана методика систематизации кинематических параметров Р волн на основании анализа невязок времен первых вступлений от землетрясений. Эта методика представляет собой многоэтапный цикл с обратными связями для решения практически важной задачи определения параметров гипоцентров землетрясений по наблюдениям станций в ближней зоне и детализации структуры земной коры.

2. Построена осредненная скоростная модель земной коры, оптимальная для выбранной совокупности землетрясений Армянского нагорья и сейсмических станций Кавказа и состоящая из четырех слоев с мощностями 6, 8, 13 и 21 км, со скоростями продольных волн 4,60; 5,65; 6,21; 6,67 км/с., скорость на границе земной коры 7,94 км/с; на основании этой модели рассчитаны осредненный региональный годограф Армянского нагорья (ОРГАН) и азимутальные станционные поправки к нему. Установлен ряд зональных и региональных особенностей станционных поправок; обнаружена связь станционных поправок с аномалиями силы тяжести Буге и фазовыми скоростями поверхностных волн.

3. На основании ОРГАНа с использованием станционных поправок впервые определены глубины гипоцентров для примерно 500 землетрясений Армянского нагорья (точность определения эпицентров варьирует в пределах $\pm 1,5$ — ± 15 км, при этом ошибки менее ± 5 км составляют 58%, менее ± 10 км— 93%, а точность определения глубины ± 5 км). В результате уточнения получены новые данные о распределении землетрясений по глубине; выявлены различия в глубинах очагов в зависимости от энергетического класса землетрясений, линейность расположения эпицентров и их приуроченность к глубинным разломам.

4. Получены геолого-геофизические результаты:

а) оценены мощности земной коры под 20 станциями Кавказа и на их основе построена схема поверхности Мохо для Кавказа в целом.

б) в земной коре выявлены низкоскоростные и высокоскоростные блоки; намечены возможные новые разломы на основе связи между линейным расположением эпицентров и высокоградиентных зон скоростей с известными глубинными разломами.

5. Предложенная методика и проведенный цикл изучения времён первых вступлений сейсмических волн обеспе-



чивает возможность эффективно использовать постоянно накапливаемые на сейсмических станциях данные для дальнейшей детализации строения земной коры и для выявления динамики скоростных вариаций Р волн.

Обсуждения и публикации. Основные результаты работы доложены на региональных кавказских и союзном совещаниях по ЕССН в 1979 г. (Степанаван), в 1980 г. (Баку), в 1980 г. (Звенигород), в 1981 г. (Бакуриани), в 1982 г. (Махачкала); на VI сессии рабочей группы по объемным волнам при МСССС АН СССР в 1984 г. (Севастополь), на XIX Генеральной Ассамблее Европейской Сейсмологической Комиссии в 1984 г. (Москва).

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Эпицентральные поправки к стандартному годографу Джеффриса-Буллена для Армянского нагорья. Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 5, 1981, с. 75—81.

2. Станционные аномалии времен пробега Р волн от землетрясений Армянского нагорья. Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 1, 1982, с. 62—69.

3. Результаты применения осредненного регионального годографа Армянского нагорья. Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 6, 1983, с. 80—85 (соавторы Э. Г. Гедакян, Г. В. Саргсян).

4. Кинематические особенности Р волн для землетрясений Армянского нагорья. Изв. АН СССР, сер. «Физика Земли», № 8, 1984, с. 67—71 (в соавторстве с Н. В. Кондорской).

5. Методика и результаты использования станционных поправок Р волн для землетрясений Армянского нагорья. XIX Генеральная Ассамблея Европейской Сейсмологической Комиссии. Тезисы докладов. Москва, 1984, с. 91 (в соавторстве с Н. В. Кондорской).

БЕСПЛАТНО

1859