

УДК 550.34

## СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ КАВКАЗА ПО ПРОФИЛЯМ ГСЗ СТЕПНОЕ–БАКУРИАНИ И ВОЛГОГРАД–НАХИЧИВАНЬ (РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРЕИНТЕРПРЕТАЦИИ ПЕРВИЧНЫХ ДАННЫХ)

© 2012 г. Г. А. Павленкова

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва

Поступила в редакцию 14.03.2011 г.

В работе представлены результаты переинтерпретации на новой методической основе данных по профилям глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) Степное–Бакуриани и южной части профиля Волгоград–Нахичивань. Оба профиля пересекают вкрест простирания Большой Кавказ. Они были отработаны в 60-х годах с многоканальными сейсмическими станциями по методике непрерывного профилирования. Были получены записи высокого качества, но сейчас сохранились лишь годографы основных волн. Волны, зарегистрированные на этих профилях, имеют сложную природу, и в те годы их трудно было обработать существующими тогда методами. В настоящее время, благодаря компьютерным технологиям, по сохранившимся годографам удалось получить скоростные модели земной коры и самых верхов мантии этого региона до глубины 80 км. Показано, что мощность коры увеличивается под Большим Кавказом до 50–60 км, но не плавно, как было показано раньше, а по системе глубинных нарушений. Нарушения прослеживаются и внутри коры по наклонным отражающим площадкам и по резкой смене сейсмических скоростей. В верхах мантии на глубине 50–80 км выявлена протяженная, наклонная на север граница. Скоростная модель земной коры Большого Кавказа отличается несколько пониженными скоростями относительно окружающих платформенных областей. Но в Куринской впадине происходит резкое их увеличение в средней, и даже верхней части коры.

### ВВЕДЕНИЕ

Профили глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) Степное–Бакуриани и Волгоград–Нахичивань были отработаны МинГео СССР в 60-ые годы прошлого столетия [Юров, 1963;

Краснопевцева и др., 1967]. Они пересекают Большой Кавказ (рис. 1) и до сих пор остаются единственными профилями ГСЗ, секущими вкрест простирания эту крупную горную систему. Позже были проведены работы ГСЗ и ОГТ в рай-

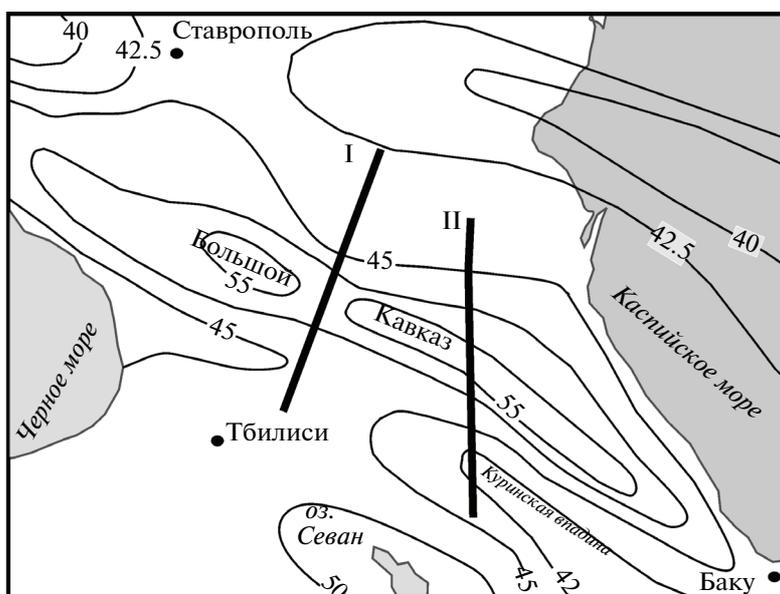


Рис. 1. Схема расположения профилей ГСЗ Степное–Бакуриани (I) и южной части профиля Волгоград–Нахичивань (II) и карта глубин до границы М для района Большого Кавказа [Резанов, Шевченко, 1978].

ПРОВЕРЕНО КОРРЕКТОРОМ.  
Материал отправлен на согласование

оне Северного Кавказа [Егоркин, Матушкин, 1969; Костюченко и др., 2001], но они не охватывают горную часть региона.

Профили Степное–Бакуриани и Волгоград–Нахичивань были отработаны с многоканальными сейсмическими станциями при расстоянии между приборами 100–200 м, в основном, по системе непрерывного профилирования. Это позволило получить четкие записи глубинных волн, как в первых, так и в последующих вступлениях. В качестве источника использовались взрывы в скважинах, они обеспечивали записи до удалений в 300–350 км. Расстояние между пунктами взрыва (ПВ) было от 60 до 150 км, но в среднем 80–100 км.

Записи, полученные на этих профилях, не сохранились, сейчас имеются лишь фотографии отдельных сейсмограмм и детальные годографы основных волн. Годографы были построены путем фазовой корреляции, выполненной главными исполнителями этих работ Ю.Г. Юровым и Г.В. Краснопевцевой [Юров, 1963; Краснопевцева и др., 1967; 1970].

Основным методом построения сейсмического разреза был в те годы корреляционный метод преломленных волн (КМПВ), основанный на непрерывном прослеживании по системе встречных и нагоняющих годографов преломленных (головных) волн от резких сейсмических границ [Гамбурцев и др., 1952]. Главным методом построения сейсмических границ был метод полей времен [Ризниченко, 1946] в графическом варианте.

Волны, зарегистрированные на кавказских профилях, особенно в горной части, имеют сложную форму записи, и их трудно было обработать по методике КМПВ. Полученный материал не позволял непрерывно проследить даже такие опорные волны, как преломленные волны от фундамента и от подошвы земной коры, границы М. Годографы первых вступлений этих волн были искажены приповерхностной неоднородностью, что мешало делению их на волны от отдельных слоев коры. Все это усложняло интерпретацию полученных годографов и делало ее неоднозначной, зависящей от интерпретатора.

Кроме преломленных волн в последующих вступлениях на обоих профилях выделялось множество отражений, но они не формировали протяженных границ. Их обработка сводилась к построению отдельных отражающих площадок и определению средних сейсмических скоростей в покрывающей их среде.

В результате по временам прихода первых волн достаточно надежно было установлено только увеличение мощности земной коры под Кавказом от 40 км в прилегающих районах до 50–60 км под горами (рис. 2). По этим данным на основании

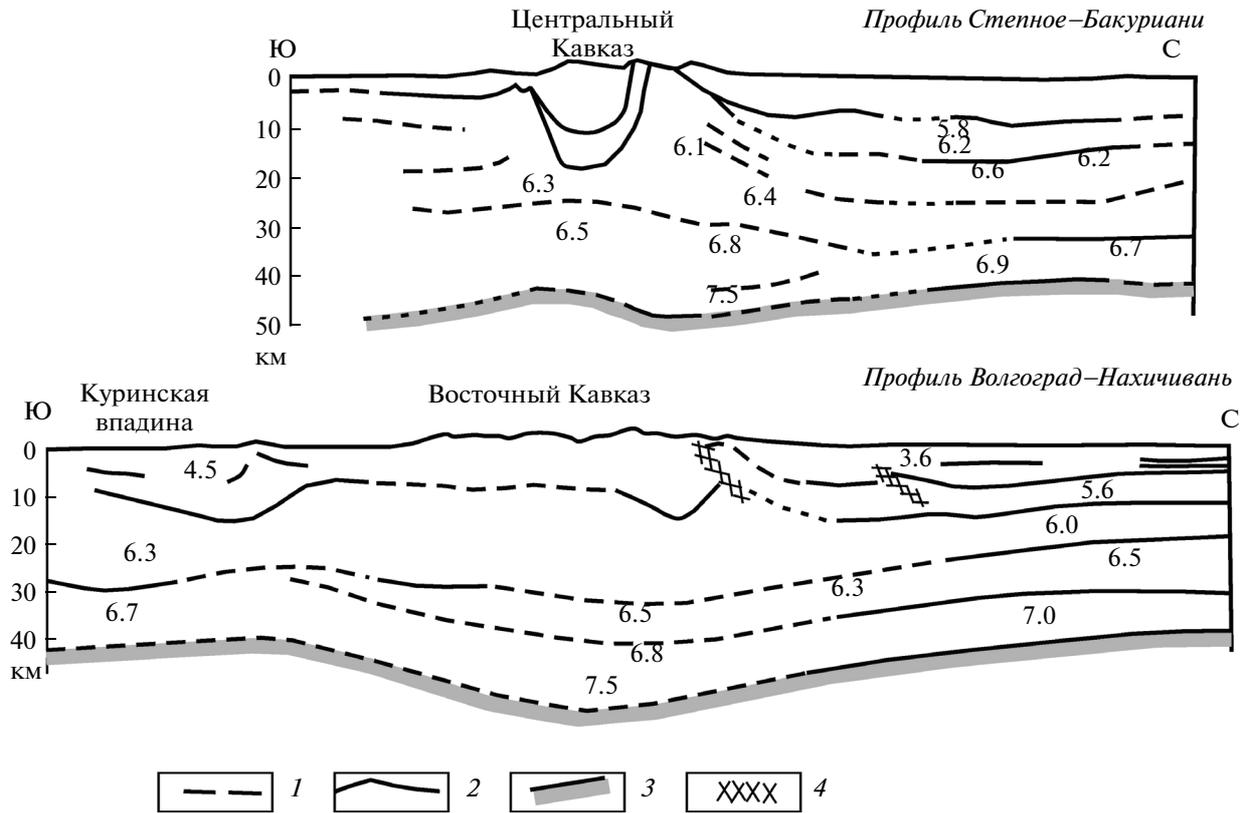
определенной корреляционной зависимости между дневным рельефом и глубиной до границы М была составлена и карта глубин до этой границы на всю площадь Кавказа (рис. 1).

Внутреннюю структуру коры разные интерпретаторы изображали по-разному. Больше всего вариантов сейсмических разрезов известно для профиля Волгоград–Нахичивань, который обрабатывался несколькими группами интерпретаторов из разных организаций. Первые построения были сделаны Ю.Г. Юровым, они характеризовали структуру фундамента и границы М, но никаких промежуточных границ в коре не было построено. Более известными по публикациям являются разрезы по этому профилю, построенные Г.В. Краснопевцевой [Краснопевцева и др., 1967; 1970]. В них, напротив, было построено множество внутрикоровых субгоризонтальных границ, и даже граница в мантии на глубине 50 км. Каких-либо существенных скоростных неоднородностей в земной коре обнаружено не было, да это было и невозможно в рамках метода головных волн. Более поздняя интерпретация материалов по этому профилю, основанная на интерпретации рефрагированных волн [Баранова и др., 1980] позволила выявить существенное уменьшение скоростей в средней коре под Кавказом и увеличение их в Куринской впадине.

Развитие новых методов интерпретации данных ГСЗ позволяет в настоящее время проводить более детальные построения скоростных моделей земной коры по сложному волновому полю и для волн разной природы. Представляло несомненный интерес провести переинтерпретацию старых материалов на современном уровне, тем более, что новые данные в районе большого Кавказа за все прошедшее время не были получены и они мало вероятны в ближайшем будущем.

#### МЕТОДИКА ПЕРЕИНТЕРПРЕТАЦИИ МАТЕРИАЛОВ ГСЗ ПО КАВКАЗСКИМ ПРОФИЛЯМ

В настоящей работе приводятся результаты переинтерпретации имеющихся материалов по обоим кавказским профилям на основе метода математического моделирования или метода подбора. Этот метод является в настоящее время основным для построения двумерных скоростных моделей по данным ГСЗ, он получил широкое применение во всем мире под названием метода лучевого моделирования (ray tracing). Заключается он в многократном решении прямой сейсмической задачи (расчет лучей, годографов и синтетических сейсмограмм) для некоторой начальной скоростной модели, сопоставлении результатов расчета с наблюдаемыми временными или вол-



**Рис. 2.** Сейсмические разрезы по профилю Степное–Бакуриани и Волгоград–Нахичивань в интерпретации Г.В. Краснопецовой [Резанов, Шевченко, 1978]: 1 – сейсмические границы; 2 – геологические границы; 3 – граница Мохоровичича; 4 – зоны разломов.

новыми полями и изменении модели до тех пор, пока расчетные времена с некоторой заданной погрешностью ( $\approx 0.1$  с) не будут равны наблюдаемым. При расчетах в данном случае использовалась модернизированный вариант программы, разработанной И. Пшенчиком [Servey, Psencik, 1983].

Главным достоинством метода лучевого моделирования является использование всех типов наблюдаемых волн и любых по сложности скоростных моделей. В процессе моделирования обсчитываются различные варианты моделей, и одновременно определяется природа регистрируемых волн. Это делает построения более детальными и более достоверными.

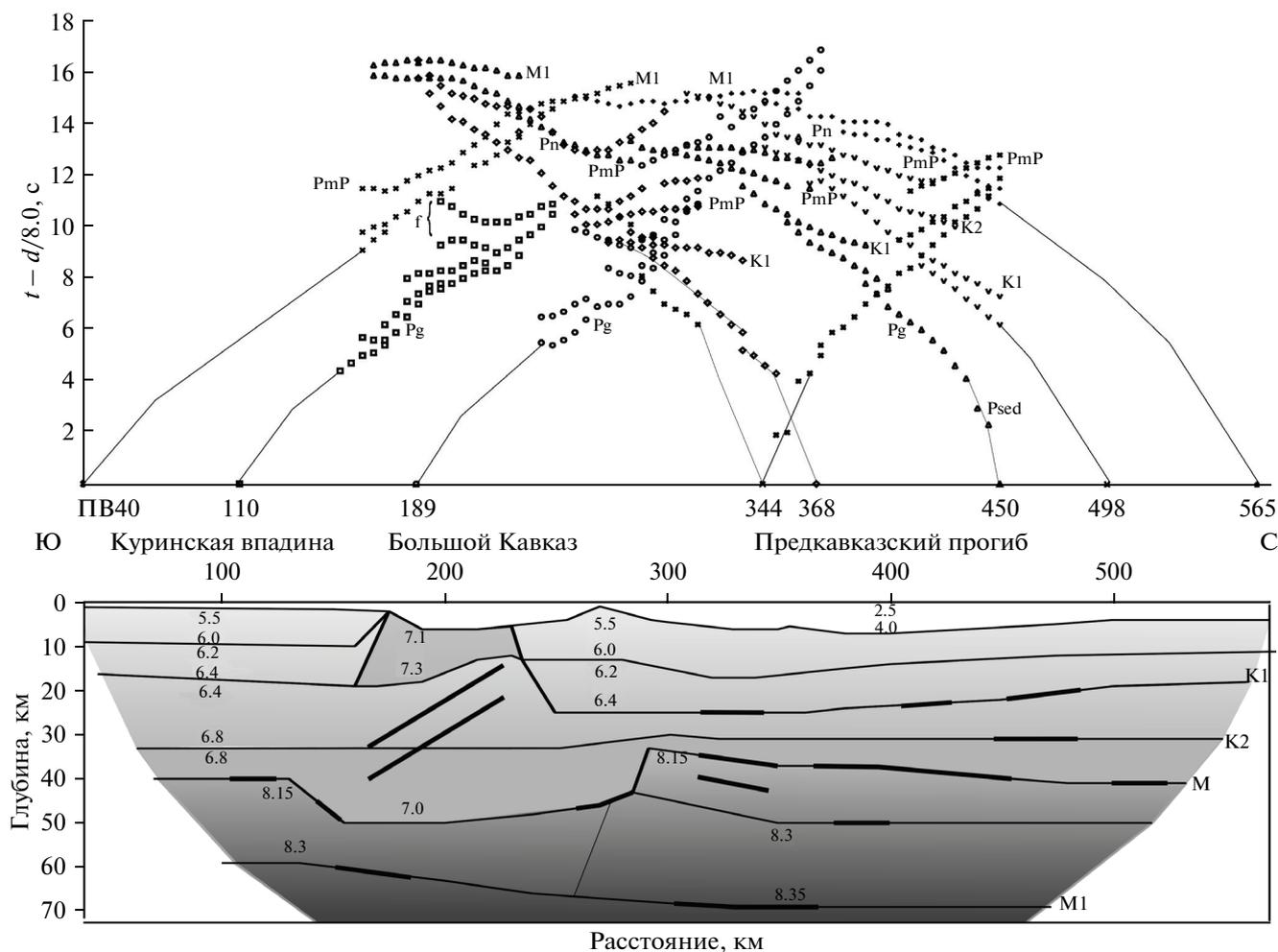
Важным этапом переинтерпретации кавказских материалов был также детальный анализ встречных и нагоняющих годографов, который позволил отделить влияние приповерхностных неоднородностей от глубинных и тем самым повысить надежность общих построений. Такой анализ проводился также на основе математического моделирования до построения окончательного скоростного разреза.

Результаты проведенной переинтерпретации сводятся к следующему.

### ПРОФИЛЬ СТЕПНОЕ–БАКУРИАНИ

Исследования ГСЗ на профиле Степное–Бакуриани были проведены трестом “Спецгеофизика” МинГео СССР в 1959–1960 гг. [Краснопевцева и др., 1970]. Протяженность профиля более 500 км, если учитывать выносные пункты взрыва, ПВ 40 и ПВ 565 (рис. 3). Расстояние между пунктами взрыва менялось от 50 до 180 км. На северном участке профиля (100 км) было проведено непрерывное профилирование, на южном – точечное с интервалом 7–20 км.

Волновая картина резко меняется вдоль профиля. Только из пунктов взрыва, отработанных в Предкавказье (ПВ 344, 450 и 498 и 565 на рис. 3), на удалениях от источника до 200 км наблюдается примерно одинаковая картина, типичная для платформенных частей Восточной Европы. В первых вступлениях на удалениях от источника до 20 км прослеживаются волны от осадочного чехла Psed с кажущимися скоростями 2.5–4.5 км/с, затем в первые вступления выходит волна, прелом-



**Рис. 3.** Наблюдаемые годографы и новый скоростной разрез по профилю Степное-Бакуриани. Обозначения опорных волн на годографах: Psed – преломленные в осадках; Pg – в консолидированной коре; Pn – в мантии; PmP – отраженная волна от границы М, подошвы земной коры; M1 – отраженная волна от мантийных границы; K1 и K2 – внутрикоровые границы. На разрезе тонкие линии являются границами между слоями с разными сейсмическими скоростями (км/с), толстые линии соответствуют отражающим площадкам.

ленная в консолидированной коре (Pg) со скоростями 5.6–6.6 км/с. На удалениях около 150–160 км (ПВ 565 и 450) ее сменяет волна Pn, преломленная в верхней мантии. Из пунктов взрыва 344, 450 и 498 регистрируются также достаточно регулярные волны K1 и K2, по своим параметрам, отвечающим отраженным волнам от границ в земной коре. Доминирующими волнами в последующих вступлениях на удалениях от источника 80–100 км являются отраженные волны от границы М, PmP (ПВ 189, 450, 498 и 565). Их отличительной особенностью является большая амплитуда, и многофазовый, интерференционный характер записи, характеризующий границу М как сложную слоистую зону перехода от коры к мантии. Из ПВ 368 и 450 в восточной части профиля после волны PmP зарегистрированы также отражения от более глубоких отражающих площадок.

Следует особо отметить необычность волновой картины из ПВ 450, 498 и 565 на удалениях от источника более 150 км. Это – первые вступления мантийных волн, которые прослеживаются на необычно большом расстоянии, более 200–250 км, и характеризуются аномально большими кажущимися скоростями (рис. 4). Это означает, что в северной части профиля в верхах мантии наблюдается большой вертикальный градиент скорости или, что эти волны являются отраженными от мантийной границы, наклоненной на север. Лучевое моделирование подтвердило наличие обоих факторов.

Из пунктов взрыва в южной, горной части профиля волновая картина очень сложная и регулярные волны практически не наблюдаются. Даже отраженные волны от границы М выделены лишь из ПВ 40 и 189. Ни из одного из источников

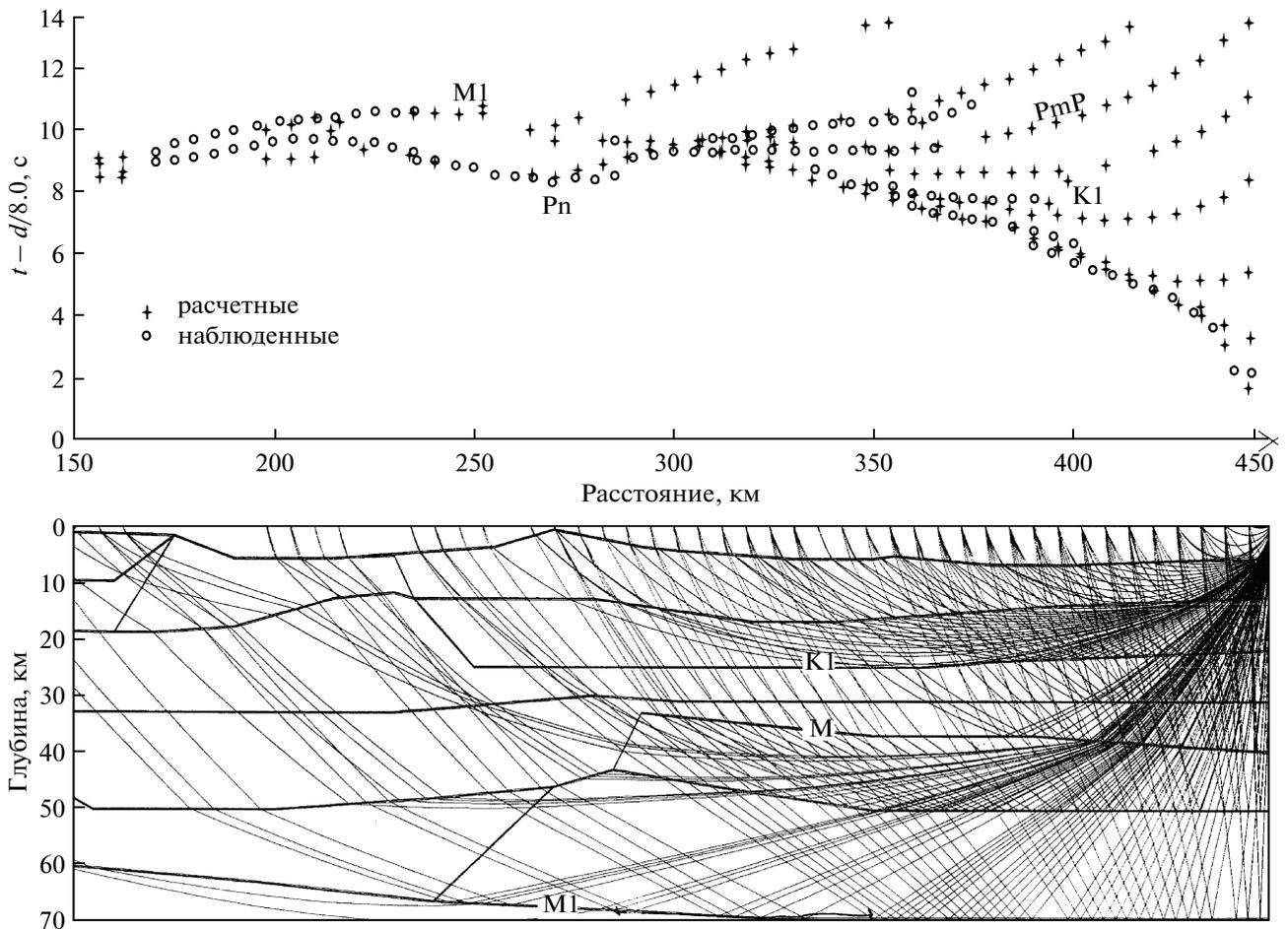


Рис. 4. Результаты лучевого моделирования для ПВ 450 (рис. 3) профиля Степное—Бакуриани (сопоставление наблюдаемых и расчетных годографов и лучевая диаграмма). Обозначения на рис. 3.

не зарегистрированы преломленные волны от границы М, то есть наблюдается отсутствие мантийных преломленных волн из встречных пунктов взрыва относительно северных источников. Это подтверждает предположение, что в верхах мантии существует отражающая граница, наклоненная на север. Она фокусирует энергию мантийных волн из северных пунктов взрыва в южном направлении и дефокусирует ее в северном направлении из южных источников.

В горном районе в последующих вступлениях обычно наблюдаются короткие оси синфазности. Форма их годографов резко меняется вдоль профиля, что свидетельствует о сложном строении земной коры Большого Кавказа. Очень часто последующие вступления характеризуются большими кажущимися скоростями (например, группа  $f$  из ПВ 110, рис. 3), что означает их приуроченность к круто наклоненным отражающим площадкам.

Сопоставление нагоняющих и встречных годографов показывает, что изменение кажущихся

скоростей первых волн часто происходит на одних и тех же пикетах профиля, то есть они связаны с блоковой структурой земной коры. Наиболее выразительный в этом плане блок отмечается на ПК 150–230 км, где первые и последующие вступления, включая волны от границы М1, имеют аномально высокие кажущиеся скорости, иногда до 10 км/с. Это означает, что в этой части профиля существует высокоскоростной блок. Наличие этого блока подтверждается высокими кажущимися скоростями волны Рg из ПВ 110, но определение скоростей в этом блоке по годографу этой волны было невозможно из-за отсутствия встречного годографа. Это удалось сделать лишь путем моделирования первых вступлений из ПВ 450 на основе просвечивания земной коры мантийными волнами.

Построенный в результате математического моделирования разрез земной коры и верхов мантии приведен на рис. 3. Достоверность этого разреза не одинакова для различных участков профиля. Это определяется качеством первичного

материала и сложностью строения коры. Наиболее надежно построен разрез в северной части профиля, где получены протяженные годографы первых волн на больших удалениях от источника и непрерывно прослежены отражения от границы М. Мантийные волны от ПВ 450 и 565 просвечивают всю земную кору и позволяют достаточно надежно определить в этой части профиля скоростную модель всей коры и верхов мантии до глубины 80 км. Менее надежно определена скоростная модель земной коры в южной части профиля, где существуют разрывы в освещении коры глубинными волнами. Ненадежная информация получена здесь и по границе М, волны от которой дали возможность построить лишь отдельные площадки на ПК 100–160 и 260–290 км.

В целом, на данном профиле наблюдаются следующие особенности строения земной коры и верхов мантии Кавказа. По поверхности фундамента выделяются две впадины глубиной до 5 км: Предкавказский прогиб и впадина в центре Большого Кавказа. Сейсмические скорости по поверхности фундамента низкие 5.5–5.6 км/с, это – молодой фундамент Скифской плиты. Наиболее резкие изменения скорости внутри коры наблюдаются в горной части. Под впадиной в центральной части Кавказа в верхах коры выделен аномальный блок с очень высокими скоростями, 7.1–7.3 км/с. Такие скорости обычно наблюдаются в низах коры. Под этим блоком при помощи лучевого моделирования построены отражающие площадки, наклоненные на юг.

Существенная неоднородность наблюдается в горной части и по структуре границы М. Ее глубина увеличивается под горами до 50 км, при средней глубине 40 км в Предкавказье и Закавказье. Это увеличение происходит неравномерно. Сначала граница М плавно поднимается в сторону Кавказа (от 40 км на ПК 500 до 35 км на ПК 290) и затем она резко, в виде уступа, погружается до 50 км. Под границей М в этой части профиля выявлены дополнительные отражающие площадки на глубине 40 и 50 км. Одна из них, как и граница М, поднимается в сторону Кавказа. На глубине 60–70 км прослежена еще одна мантийная граница М1, которая тоже поднимается в южном направлении.

В Закавказье глубина до границы М снова уменьшается до 40 км, Это происходит так же резко, как и на северной границе Кавказа. Строение подошвы коры в центральной части горного сооружения определить не удалось из-за неполной системы наблюдений в этой части профиля и сложной волновой картины.

Описанная структура земной коры и верхов мантии определила необычную волновую карти-

ну из ПВ 450 (рис. 4), от которого интенсивные первые вступления прослежены через весь Кавказ. Как следует из лучевой диаграммы наклонные границы в верхах мантии, как и предполагалось, фокусируют сейсмические лучи к дневной поверхности и создают волны с аномально большими кажущимися скоростями. Эти аномальные скорости связаны также с высокоскоростным блоком в районе Большого Кавказа.

### ПРОФИЛЬ ВОЛГОГРАД–НАХИЧИВАНЬ

На 600 км южной части профиля Волгоград–Нахичивань, которая пересекает Скифскую плиту, Большой Кавказ и Куринскую впадину, было отработано восемь пунктов взрыва (рис. 5). Среднее расстояние между пунктами взрыва 60–100 км, но в районе Большого Кавказа оно составляет 160 км.

Волновые поля, зарегистрированные на профиле Волгоград–Нахичивань, похожи на поля описанного выше профиля Степное–Бакуриани. Они также резко меняются от одного пункта к другому. Особенно большое различие наблюдается между волнами, зарегистрированными в горной и платформенной частях профиля. На платформе (ПВ 288, 451, 502, и 551) наблюдается примерно одинаковая волновая картина. На удалениях от источника до 20–30 км прослеживаются волны от осадочного чехла с кажущимися скоростями 2.5–4.5 км/с, затем в первые вступления выходит волна, преломленная в консолидированной коре (Pg) со скоростями 5.6–6.6 км/с. На удалениях около 150–160 км ее сменяют волны Pn, преломленные в верхней мантии.

Сопоставление нагоняющих годографов первых волн показывает, что как и на профиле Степное–Бакуриани, на одном и том же участке профиля (ПК 170–200, рис. 5) происходит увеличение их кажущихся скоростей, что, очевидно, связано с наличием здесь высокоскоростного (6.5 км/с) блока в верхах коры.

Мантийные волны, как и на предыдущем профиле, прослеживаются до очень больших, не типичных для ГСЗ, удалений, до 350 км (рис. 6 и рис. 7). Форма годографов из ПВ 551 данного профиля удивительно похожа на годографы из ПВ 450 профиля Степное–Бакуриани, что подчеркивает общую идентичность структуры верхней мантии на обоих профилях. Математическое моделирование показало, что объяснить эту волновую картину можно наличием в верхах мантии отражающей границы, наклоненной на север. Волны от нее выходят в первые вступления на удалении 250 км и имеют аномально большую кажущуюся скорость (10 км/с). В отличие от профиля Степное–Бакуриани здесь получены записи волны М1 и из встречного пункта взрыва, ПВ 288

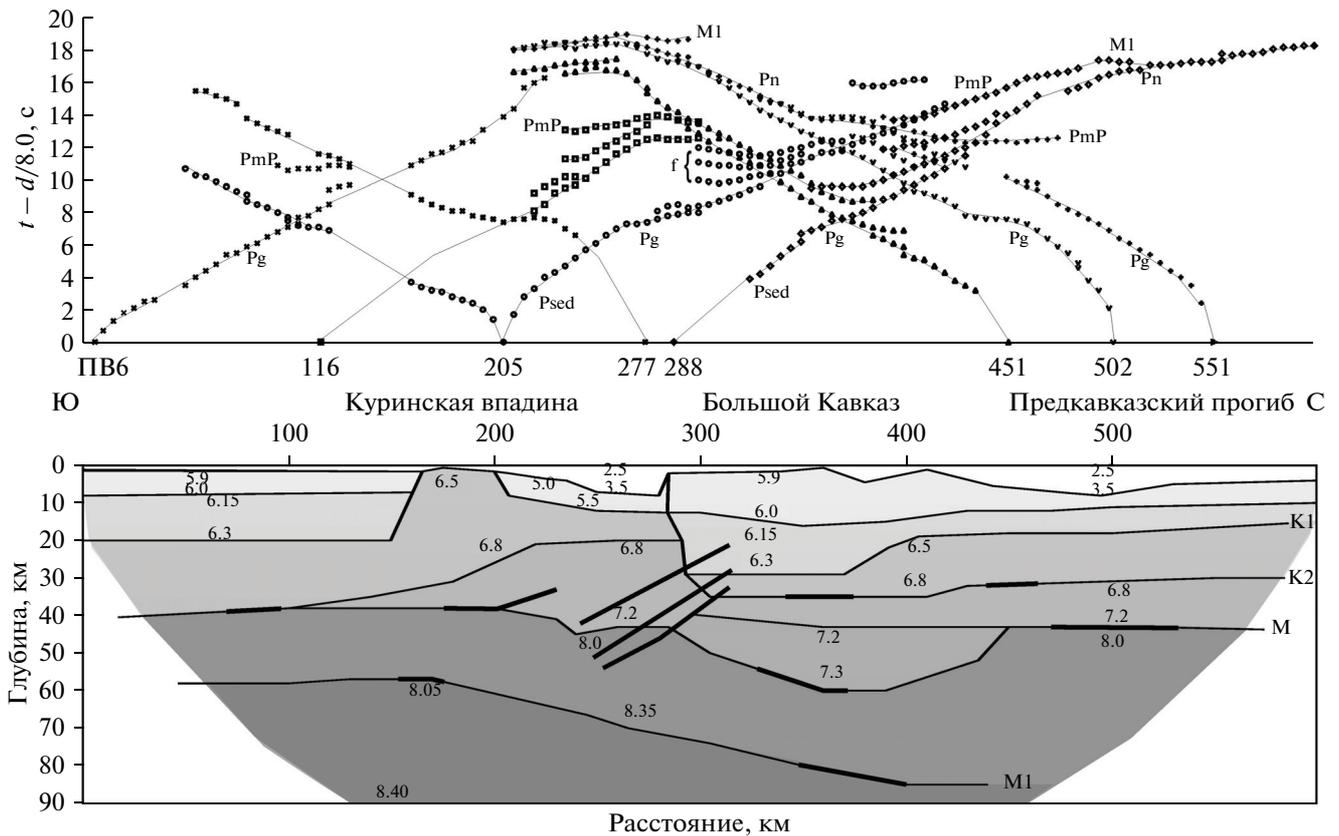


Рис. 5. Наблюдаемые годографы и новый скоростной разрез по южной части профиля Волгоград—Нахичивань. Обозначения на рис. 3.

(рис. 7). Она выходит в первые вступления также на удалении 250 км, но ее кажущаяся скорость гораздо меньше, 8.1 км/с, в результате, она сливается с волной Pn, преломленной на границе M. Такое соотношение кажущихся скоростей по встречным годографам подтверждает предположение о наклоне соответствующей границы на север.

Волны, зарегистрированные в последующих вступлениях, также различаются в северной и южной частях профиля. Из пунктов взрыва в платформенных частях профиля (ПВ 451, 502 и 551) зарегистрированы достаточно протяженные коровые волны, но они не характеризуются регулярностью, их число и время регистрации различаются для разных пунктов взрыва. Более регулярными являются отражения от границы M, характеризующие эту границу как сложную слоистую зону. В южной части профиля в последующих вступлениях выделены только отдельные отражения, они не регулярны и часто имеют очень большие кажущиеся скорости (например, волны f из ПВ 205 на рис. 5). Это означает приуроченность их к круто наклоненным отражающим площадкам. Выделить среди них отражения от границы M из этого пункта взрыва невозможно.

Но из соседнего ПВ 288 волны PmP от подошвы коры в самой прогнутой ее части были надежно зарегистрированы (рис. 7).

Полученный в результате лучевого моделирования разрез земной коры и верхов мантии по профилю Волгоград—Нахичивань (рис. 5) во многом похож на описанный выше разрез по профилю Степное—Бакуриани (рис. 3) как по структуре земной коры, так и по надежности построений. Наиболее достоверным является разрез в северной части профиля, где получены протяженные годографы первых волн на больших удалениях от источника и отражения от границы M. Записи из ПВ 288, 451, 502 и 551 просвечивают всю земную кору и позволяют достаточно надежно определить скоростную модель всей коры и верхов мантии до глубины 80 км (рис. 6 и рис. 7). Эта модель хорошо согласуется с построениями по Северному Кавказу по другим профилям [Костюченко и др., 2001]. Менее надежно определена скоростная модель земной коры в южных частях обработанных профилей. Даже по границе M здесь получена обрывочная информация: две отражающих площадки из ПВ 6 и 116.

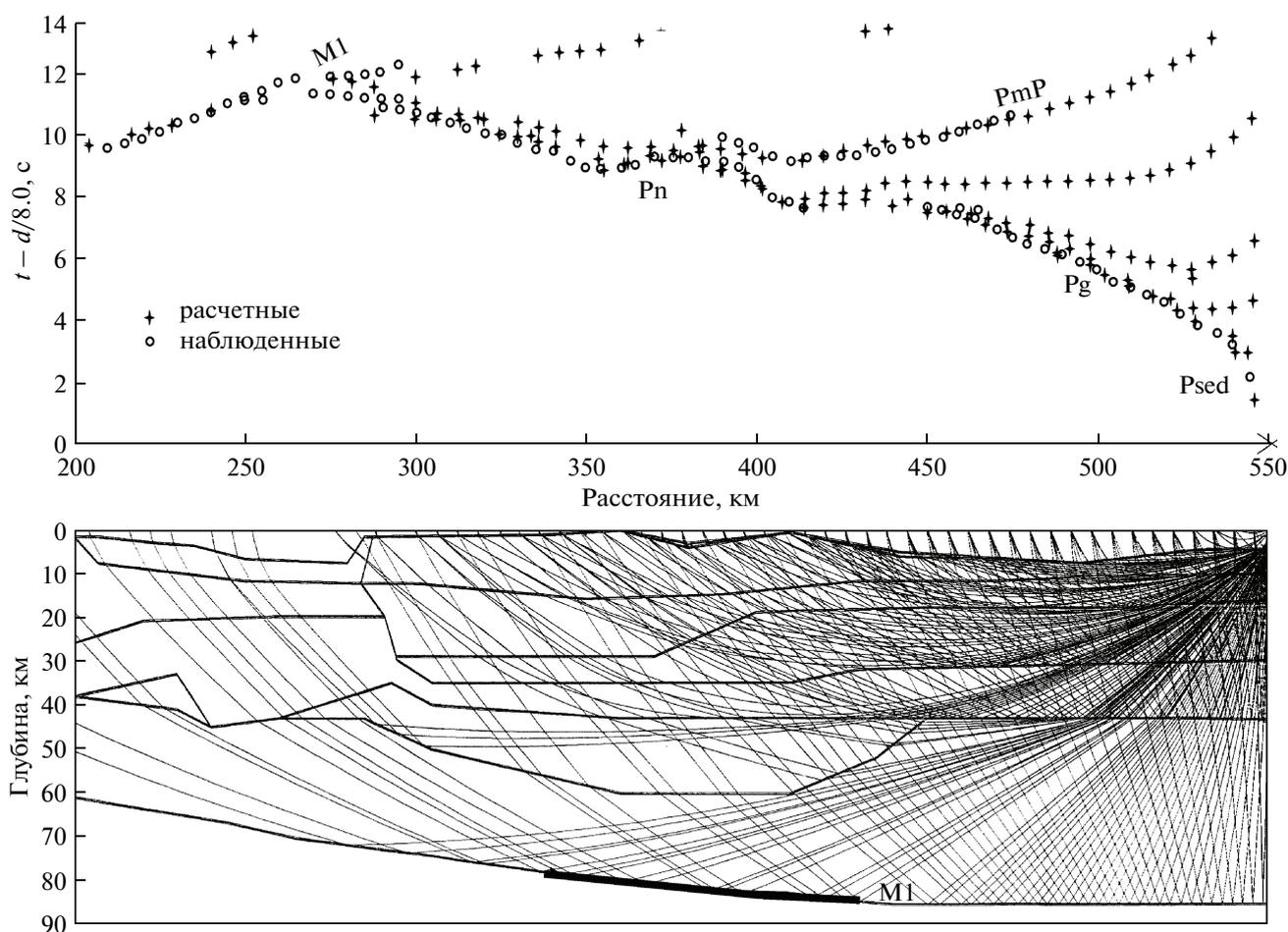


Рис. 6. Сопоставление наблюдаемых и расчетных годографов и лучевая диаграмма для ПВ 551 профиля Волгоград—Нахичивань. Обозначения на рис. 3.

Разрезы по профилям, секущим горную часть Кавказа, сходны по главным особенностям строения земной коры и верхов мантии, но для них отмечаются и некоторые различия. По поверхности фундамента выделяются две основные впадины: Предкавказский прогиб и Куринская впадина, но граничная скорость в кровле фундамента на профиле Волгоград—Нахичивань выше, 5.9 км/с, а не 5.5 км/с. Мощность земной коры на обоих профилях увеличивается под горами, на профиле Степное—Бакуриани до 50 км, а на профиле Волгоград—Нахичивань, до 60 км, при той же средней ее толщине 40 км в Предкавказье и Закавказье. Это увеличение происходит не плавно, а резко, в виде уступов. Сходное строение по обоим профилям наблюдается и для верхов мантии. Под границей М в наиболее погруженной ее части прослеживается отражающий горизонт, который погружается на север от глубины более 70–80 км.

Главное различие разрезов наблюдается в структуре верхней части коры в районе Большого Кавказа и его южной окраины. На профиле Волго-

град—Нахичивань скорости существенно уменьшаются под Большим Кавказом до 6.15–6.3 км/с в средней коре и увеличиваются на границе с Куринской впадиной до 6.8 км/с в средней коре и до 6.5 км/с в отдельном блоке ее верхах. Этой области повышенных скоростей в коре соответствует прогиб по фундаменту. На профиле Степное—Бакуриани наблюдается сходная картина: в верхах консолидированной коры выделен блок с очень большими скоростями, 7.1–7.3 км/с, которому соответствует прогиб по фундаменту. Но этот блок расположен не на границе с Куринской впадиной, а в центральной части Большого Кавказа. Круто наклоненные на юг отражающие площадки, выделенные в коре на обоих профилях, также смещены с границы между Большим Кавказом и Куринской впадиной на профиле Волгоград—Нахичивань в центр Кавказа на профиле Степное—Бакуриани. Все это характеризует эти части профилей как область глубинного разлома, ограничивающего с юга Большой Кавказ в его восточ-

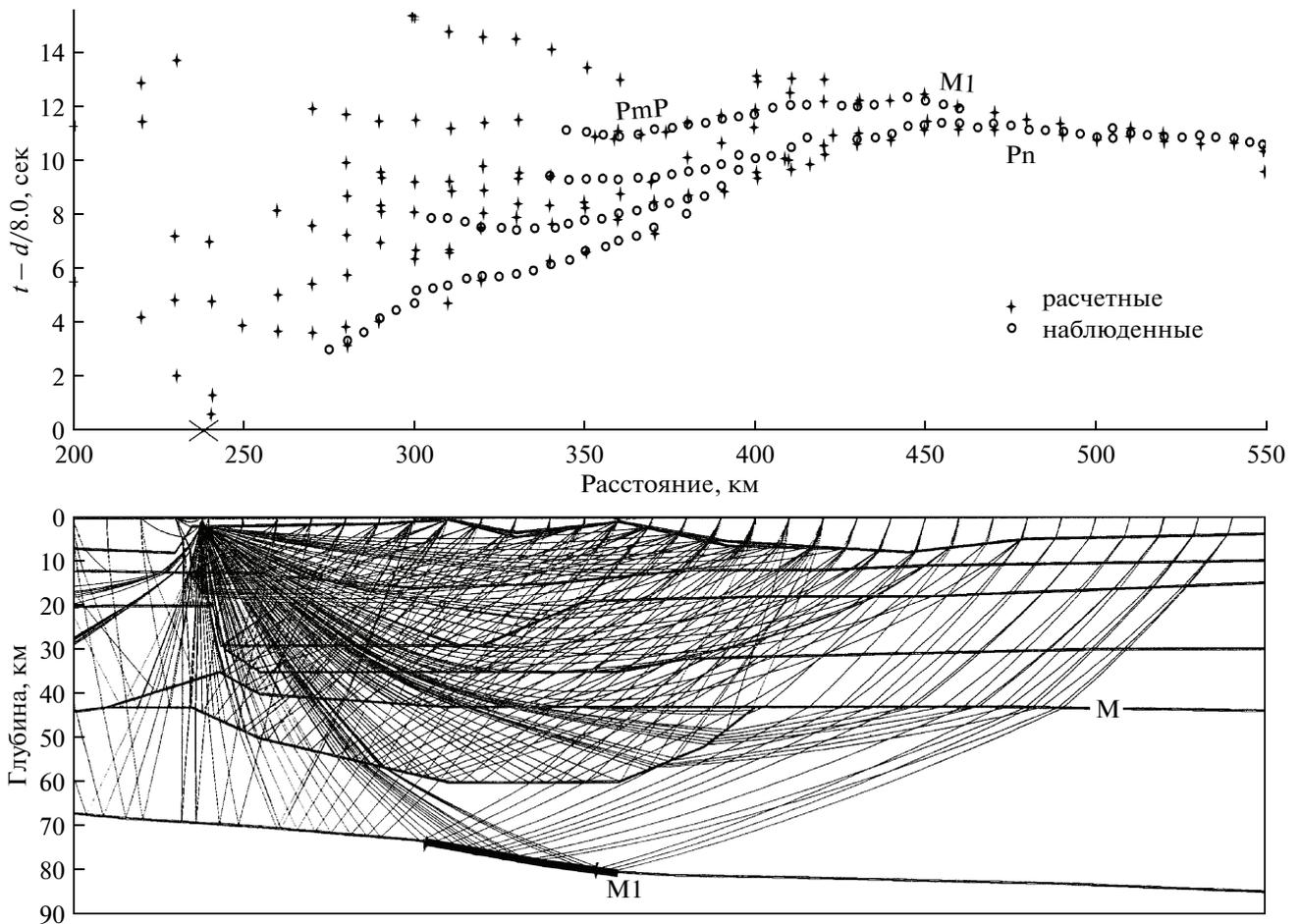


Рис. 7. Сопоставление наблюдаемых и расчетных годографов и лучевая диаграмма для ПВ 288 профиля Волгоград—Нахичивань. Обозначения на рис. 3.

ной части и уходящего в горную область в западной части орогена.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенная на современной методическом уровне переинтерпретация материалов ГСЗ по профилям Степное—Бакуриани и южной части профиля Волгоград—Нахичивань, позволила выявить ряд дополнительных важных особенностей структуры земной коры и верхов мантии Большого Кавказа, которые невозможно было определить ранее без компьютерных технологий (в 60—70 годы, когда были отработаны эти профили). На всех предыдущих разрезах отмечалось лишь плавное увеличение глубины до границы М под горной системой до 50—60 км (рис. 2). Внутреннее строение земной коры определялось разными исследователями по-разному, но в целом на всех разрезах оно мало изменялось вдоль профилей [Юров, 1963; Краснопевцева и др., 1967; 1970; Баранова и др., 1980]

На новых разрезах под горами отмечается примерно такой же по амплитуде прогиб по границе М, как и в предыдущих построениях. В этом плане карта границы М, приведенная на рис. 1, не потеряла своего значения. Но форма этой границы и внутренняя структура земной коры оказались гораздо сложнее.

Главной особенностью коры на новых разрезах является четко выраженная разломная тектоника, охватывающая всю земную кору и верхи мантии. Крупное нарушение предполагается по границе М при переходе от платформенной части региона к горной, особенно по профилю Степное—Бакуриани (ПК 300 км). Здесь можно предполагать даже небольшой надвиг приподнятой части этой границы на прогнутую часть. Крупное нарушение выделяется на профиле Волгоград—Нахичивань и по южному краю Большого Кавказа. Оно прослеживается по резкому уменьшению глубины до границы М, по изменению скоростей в коре и по отражающим площадкам, наклоненным на юг. Как уже отмечалось на профиле Степное—Бакуриани по

добное нарушение выявлено в центре горной системы. Здесь также в средней коре прослежены наклонные на юг отражающие площадки.

Другой важной особенностью модели коры Кавказа, выявленной при переинтерпретации материалов ГСЗ, является высокоскоростные блоки в верхней коре, которые свидетельствуют об активной интрузивной деятельности на юге орогена и на границе с Куринской впадиной. Внедрение в кору высокоскоростного материала привело к последующему прогибанию фундамента и к формированию локальных впадин.

Особенно интересной новой деталью построенных разрезов являются сейсмическая граница в верхах мантии на глубине 60–80 км, наклоненная на север. Эта граница является, по всей видимости, нарушенной зоной или зоной интенсивных горизонтальных подвижек. Она создает интенсивные отраженные волны, которые трудно объяснить сменой состава или метаморфизма вещества мантии, характеризующихся по данным лабораторных изменений [Sobolev, Fuchs, 1993] примерно одинаковыми сейсмическими скоростями.

В целом, полученные разрезы свидетельствуют о том, что тектонические движения, сформировавшие Кавказский ороген, представляли собой сложное сочетание горизонтальных и вертикальных подвижек, охватывавших всю земную кору и верхи мантии. Реликтами субгоризонтальных движений является граница М1 в верхах мантии и наклонные площадки в южной части орогена (угол наклона этих площадок составляет не более 20°, на разрезах он искажен из-за разницы в вертикальном и горизонтальном масштабах). Субвертикальные нарушения типичны для земной коры и в пограничных областях Кавказских гор.

Проведенная переинтерпретация материалов по двум профилям показала высокую эффективность метода лучевого моделирования для построения детальных разрезов земной коры и верхов мантии по данным ГСЗ. Этот метод существенно

повышает достоверность этих построений и позволяет определять природу регистрируемых волн.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баранова Е.П., Краснопецева Г.В., Павленкова Н.И., Раджабов М.М.* Альпийская геосинклиналь Кавказа. Сейсмические модели литосферы основных геоструктур территории СССР / Отв. ред. Зверев С.М., Косминская И.П. М.: Наука. 1980. С. 110–116.
- Гамбуцев Г.А., Ризниченко Ю.В., Берзон И.С., Епина-тьева А.М., Карус Е.И.* Корреляционный метод преломленных волн. М.: Изд. АН СССР. 1952. 239 с.
- Егоркин А.В., Матушкин Б.А.* Строение земной коры на Кавказе и в западной части Средней Азии по данным геофизических исследований // Изв. АН СССР. Сер. Геол. 1969. № 5. С. 5–16.
- Костюченко С.Л., Морозов А.Ф., Солодилов Л.Н., Гре-чишников Г.А., Овчинников В.И., Шаров В.И.* Региональные геолого-геофизические исследования кряжа Карпинского и сопредельных структур юга России. // Разведка и охрана недр. № 2. 2001. С. 13–17.
- Краснопецева Г.В., Матушкин Б.А., Попов Е.А.* Геофизические исследования на региональном профиле Волгоград–Нахичивань // Изв. АН СССР. Сер. геол. № 12. 1967. С. 43–51.
- Краснопецева Г.В., Матушкин Б.А., Шевченко В.И.* Новая интерпретация данных ГСЗ по профилю Степное–Бакуриани на Кавказе // Советская геология. 1970. № 8. С. 113–120
- Резанов И.А., Шевченко В.И.* Строение и эволюция земной коры геосинклиналей. М.: Недра. 1978. 183 с.
- Ризниченко Ю.В.* Геометрическая сейсмика слоистых сред // Труды института теоретической геофизики АН СССР. М.: 1946. 2. Вып. 11.
- Юров Ю.Г.* Строение земной коры на Кавказе и изостазия // Советская геология. 1963. № 9. С. 42–47
- Cerveny V., Psencik I.* SEIS83-numerical modelling of seismic wave fields in 2-D laterally varying layered structure by the ray method, in: Documentation of Earthquake Algorithms, World Data Cent. A, for Solid Earth Geophys / Ed. E.R. Engdahl. 1983. Boulder, Rep. SE-35. P. 36–40.
- Sobolev S.V., K. Fuchs.* Seismic velocities and density in the deep continental lithosphere from the composition of xenoliths // Terra Nova. V. 5. 1993. Abstract suppl. 1 EUG V11, Strasbourg. P. 333–334.