

### Глава 3. Волноводы в тектонически активных регионах

Изучение структуры земной коры в тектонически активных регионах проводится не только сейсмическими, но и сейсмологическими методами. Такого рода работы проводились в зоне альпийской складчатости (Альпы, Кавказ, Памир и др.). С первых же записей близких землетрясений почти повсеместно в этих регионах были обнаружены слои с пониженными скоростями. Они выделялись не только по скоростным моделям, но и по каналовым волнам, и поэтому с полным правом назывались волноводами. Природа этих волноводов казалась очевидной. Они объяснялись, главным образом, влиянием на сейсмические скорости высокой температуры, поскольку во всех этих регионах наблюдается высокий тепловой поток.

Однако детальность сейсмологических исследований была невелика, и охарактеризовать свойства волноводов, особенно, их соотношение с общим структурным планом земной коры, было трудно. Работы ГСЗ и ОГТ существенно расширили представления о структуре волноводов в этих регионах, хотя проведение детальных исследований в горной местности было затруднено.

#### 3.1. Альпийские орогены

Горные сооружения альпийского пояса достаточно хорошо изучены геофизическими методами. Они относятся к регионам высокой сейсмической и тектонической активности со сложной структурой земной коры. Кора под горными сооружениями обычно утолщена и, как правило, в ее подошве и внутри коры выделяются круто наклоненные горизонты и сложная скоростная неоднородность. Однако на этом фоне достаточно надежно выделяются и сейсмические волноводы.

Наиболее полные сейсмические исследования проведены в районе Альп. Здесь выполнено большое число профилей ГСЗ и ОГТ, секущих Альпы, и профили вдоль горного сооружения. Последние наиболее полно отражают внутреннюю структуру орогена и, благодаря своей протяженности, позволяют надежно определять глубину и мощность волноводов.

Первичные данные (монтажи сейсмограмм) по данному региону полностью опубликованы, и мы имели возможность провести сопоставление волновых полей и оценить достоверность их интерпретации, а не опираться только на готовые разрезы разных авторов.

На рис. 35 приведены типовые годографы для ряда профилей в районе Альп. Все они характеризуются двумя разрывами первых волн: на удалении 110 и 200 км со смещением удаленных ветвей почти на секунду. Соответствующая осредненной годографу модель содержит две зоны инверсии на глубине около 10 и 20 км.

В 60 – 70-ые годы на Кавказе были проведены работы ГСЗ и, в частности, непрерывное профилирование с многоканальными станциями и расстоянием между приборами в 100 – 200 м. Как уже неоднократно отмечалось, волноводы в те годы не могли быть выделены, поскольку работа проводилась в рамках модели с постоянным ростом скорости с глубиной. К сожалению, не сохранились и записи тех лет, но имеются подробные годографы, на которых отмечены многочисленные оси синфазности. Анализ этих годографов позволил в 80-ые годы построить достаточно детальные скоростные модели земной коры этого региона.

На рис. 36 приведен разрез коры Большого и Малого Кавказа по профилю Волгоград-Нахичевань [Баранова и др., 1980, 1990]. По нему видно, что под горными сооружениями на глубине 20 – 30 км выделяются слои с пониженными скоростями. Эта глубина соответствует второму более глубокому волноводу, отмеченному в коре Альп.

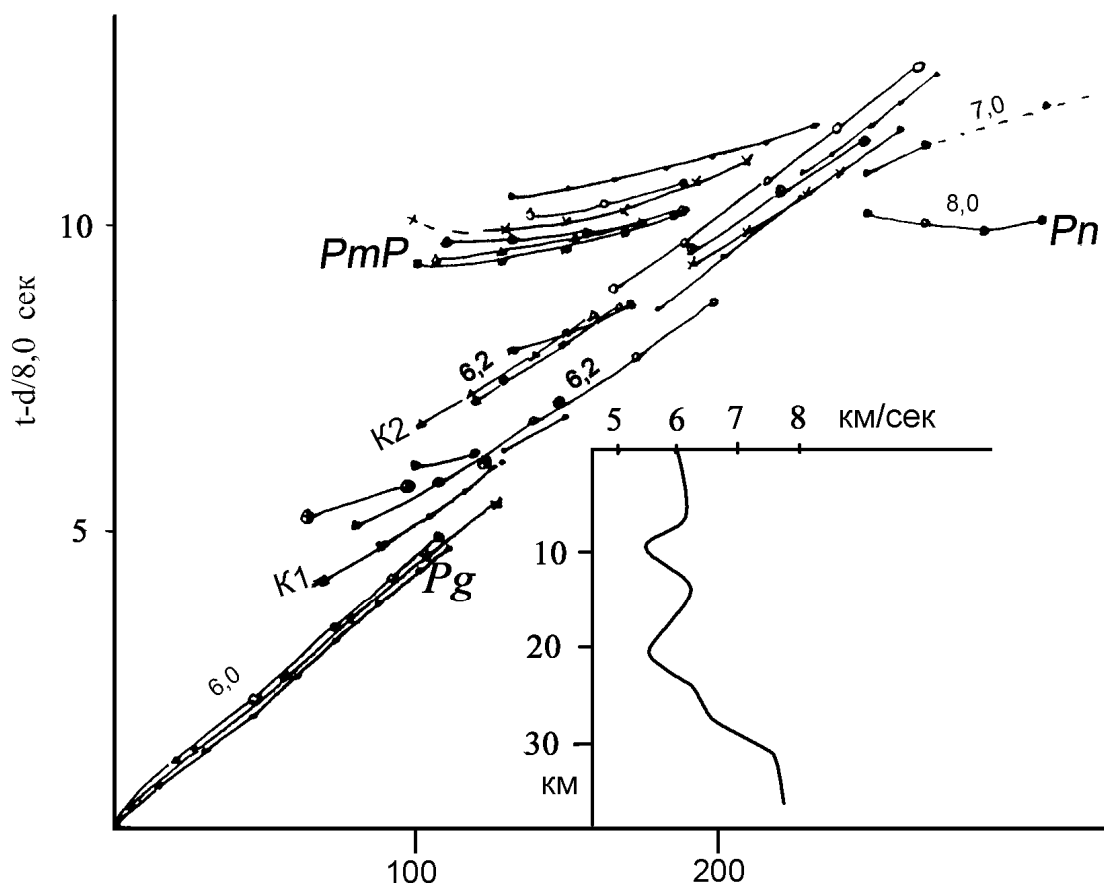


Рис. 35. Наблюдаемые годографы по профилям ГСЗ в районе Альп, приведенные к одному источнику, и полученная по ним осредненная модель земной коры. Обозначения волн такие же, как и на рис. 9, цифры на годографах – кажущиеся скорости в км/сек.

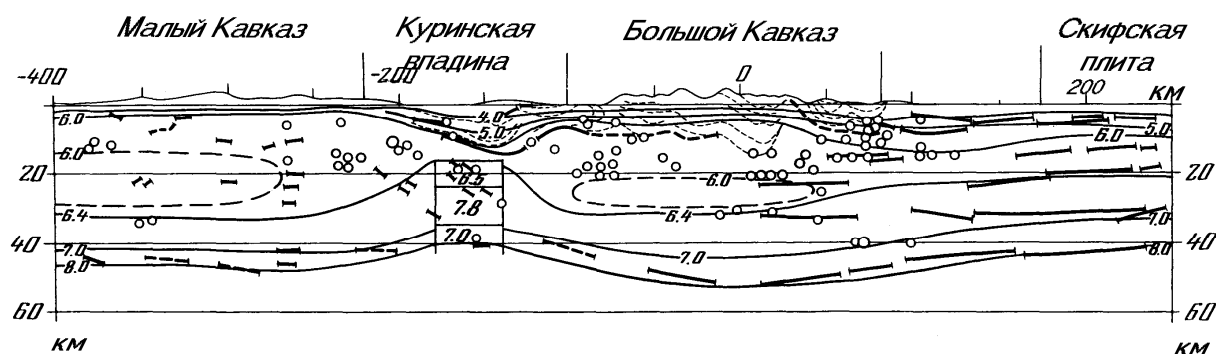


Рис. 36. Сейсмический разрез земной коры Кавказа по профилю Волгоград-Нахичевань [Баранова и др., 1980, 1990]. Утолщенными линиями показаны отражающие площадки, тонкими линиями – изолинии скорости (км/сек), кружочками – очаги землетрясений.

Нужно отметить, что земная кора этих двух орогенов по своим общим характеристикам существенно различается. Альпы сформировались на коре западноевропейского типа, которая отличается меньшей мощностью и более низкими средними скоростями. Кора Малого Кавказа по этим параметрам близка к альпийскому типу, но Большой Кавказ тяготеет к коре, типичной для платформ Восточной Европы. Она толще, и в ее

низах присутствует мощный слой с высокими скоростями (6,8 – 7,2 км/сек). Однако, что касается волновода, он выделен в этих регионах на глубинах примерно 20 – 30 км.

В обоих регионах отмечается также одинаковое соотношение между глубиной волноводов и распределением очагов землетрясений. Последние располагаются, в основном, в верхней коре над волноводами (рис. 36). Другими словами, зоны инверсии сейсмических скоростей соответствуют реологически ослабленным слоям.

Примерно такая же картина наблюдается и на восточном продолжении альпийской складчатости – на Тянь-Шане. По общим характеристикам (мощности, средней скорости) земная кора Тянь-Шаня близка Большому Кавказу, но по структуре волноводов она ближе Альпам. Здесь, как и в Альпах, выделены два волновода на глубине около 10 и 20 – 30 км по данным сейсмологических исследований. Работы ГСЗ проводились на Тянь-Шане, но они до сих пор не переинтерпретированы на новой методической основе, и сказать по ним, есть ли в коре Тянь-Шаня волноводы, пока не представляется возможным. Однако сейсмологические исследования, проведенные на Тянь-Шане, отличаются высокой детальностью и хорошим качеством материала. Поэтому их данные по волноводам в коре не вызывают сомнения.

В Киргизской части Тянь-Шаня были проведены также магнитотеллурические зондирования. В результате в низах коры была выделена зона пониженного электрического сопротивления, которая приурочена к нижнекоровому волноводу [Бердичевский и др., 1984, 1997]. Это означает, что причиной понижения скорости в низах коры Тянь-Шаня является повышенная флюидонасыщенность, а не простое влияние повышенной температуры, как это обычно предполагается в тектонически активных регионах. Возможно такую же природу имеет волновод в нижней коре других горных сооружений Альпийской складчатости.

### 3.2. Байкальская рифтовая зона

Байкальская рифтовая зона мало отличается по мощности и структуре коры от соседней Сибирской платформы. Однако она является зоной высокого теплового потока и существенной тектонической активности. Здесь проведены значительные комплексные геофизические исследования, и потому структуру земной коры можно охарактеризовать достаточно полно. На рис. 37 приведена сводка характеристик земной коры, полученная для данного региона [Крылов и др., 1990]. По данным детального ГСЗ на глубине 15 – 20 км выделен слой с пониженной скоростью.

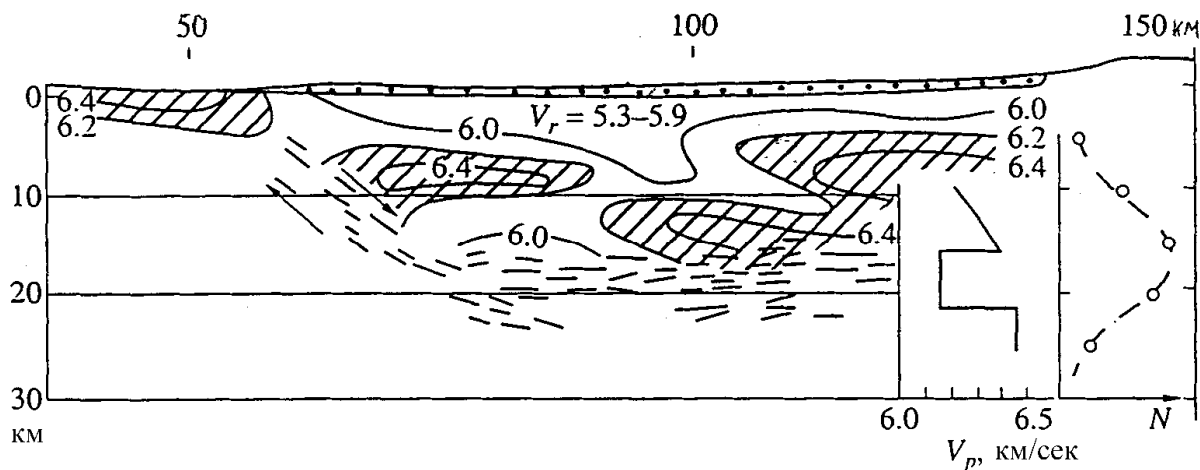


Рис. 37. Сейсмический разрез земной коры Байкальской рифтовой зоны, скоростная модель ( $V_p$ ) и график распределения с глубиной очагов землетрясений  $N$  [Крылов и др., 1990].

Этот слой обладает рядом характерных структурных особенностей. К нему выполняются разломы, и увеличивается число субгоризонтальных границ. В области пониженных скоростей уменьшается число эпицентров землетрясений. По данным электромагнитных исследований в нем наблюдается и повышенная электропроводность [Попов, 1987].

Все перечисленные особенности корового волновода, выявленного в такой тектонически активной области, как Байкальская зона, с удивительной точностью совпадает с характеристикой, данной выше волноводам на древней Восточно-Европейской платформе. К ним относятся близкая глубина залегания волновода, выполнение к зонам пониженных скоростей литрических разломов, повышенная их расслоенность, а также повышенная электропроводность. Все сказанное говорит о, возможно, единой природе формирования инверсионных зон в коре как на древних платформах, так и в рифтовых зонах.

### 3.3. Охотское море и Сахалин

Вся область перехода от Азиатского континента к Тихому океану характеризуется очень высокой тектонической активностью и высоким тепловым потоком. Земная кора Охотского моря и Сахалина была изучена работами ГСЗ в 50-ые годы с помощью донных станций и взрывов. Эти исследования давали для тех лет самые детальные результаты глубинного зондирования. Не потеряли они своего значения и сейчас, так как по плотности трасс на монтажах они вполне сопоставимы с некоторыми современными работами ГСЗ на континентах. Важно, что сохранились первичные записи этих работ, которые, в принципе, можно анализировать.

Как уже отмечалось, в те годы методы интерпретации основывались на моделях с увеличением скорости с глубиной, и поэтому слои с пониженными скоростями не выделялись. Было показано только, что мощность коры небольшая, в пределах 25 – 30 км, и скорости в ней – типичные для континентальной коры (6,0 – 6,5 км/сек).

Переинтерпретация указанных материалов на основе современных компьютерных методов показала, что мощность коры и средние скорости в ней были определены в те годы правильно. Но что касается внутренней структуры коры, то здесь выявлено много новых деталей. Во-первых, в коре Охотского моря и на Сахалине практически повсеместно выделен слой с пониженной скоростью. Глубина его залегания оценивается в 10 – 15 км. В Южно-Охотской впадине и в Предкурильском прогибе слой выклинивается, и ему на смену приходят тела с повышенными скоростями.