Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. XCII, 1982 г.

УДК 550.834

ГЛУБИННЫЙ СЕЙСМИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПРИЛАДОЖЬЯ И ЮГО-ЗАПАДНОЙ КАРЕЛИИ

И.В.ЛИТВИНЕНКО, С.А.АНКУДИНОВ,
Л.М.ДВОРЕЦКАЯ, К.А.КАЛЬНИН,
Л.Н.ПЛАТОНЕНКОВА, Н.Г.РОМАНЕНКО,
Н.И.СУВОРОВА, В.В.ЯКОВЛЕВА

В 1980 г. в северо-западной части Приладожья и юго-западной Карелии производственно-геологическим объединением „Севзапгеология" и Проблемной научно-исследовательской лабораторией геолого-геофизических исследований Балтийского щита Ленинградского горного института им.Г.В.Плеханова проведены глубинные сейсмические исследования методами глубинного сейсмозондирования (ГСЗ) и обменных волн от удаленных землетрясений (МОВЗ) по профилю г.Лахденпохья – оз.Сегозеро, который далее именуется Приладожским.

На территории, пересекаемой данным профилем, выделены два основных тектонических элемента: Карельский мегаблок (зона карелид) и Ладожский мегаблок (Ладожская геосинклинальная зона), которые разделяются Карельско-Ладожским краевым швом – зоной глубинных разломов. Указанные мегаблоки разделены системой разломов северо-восточного и субмеридионального направлений на ряд более мелких блоков. Основными глубинными разломами предполагаются зоны краевых швов: Карельско-Ладожская и Карельско-Беломорская. По геологическим данным зоны краевых швов выделяются нечетко; для них характерно срезание в ряде случаев более древних структур Карельского мегаблока [I].

Приладожский профиль пересекает с юго-запада на северо-восток Приладожский блок, входящий в состав Ладожского мегаблока, Карельско-Ладожский краевой шов и Центрально-Карельский блок, являющийся одним из элементов Карельского мегаблока (рис.I).

Приладожский блок охватывает район северо-западного Приладожья и северо-восточную часть Карельского перешейка. В этом блоке выделяется грабен Ладожского озера. Далее к северо-востоку располагается Карельско-Ладожский краевой шов, разделяющий Ладожский и Карельский мегаблоки. В районе трассы сейсмического профиля в краевом шве выделяется Янис-Яр-

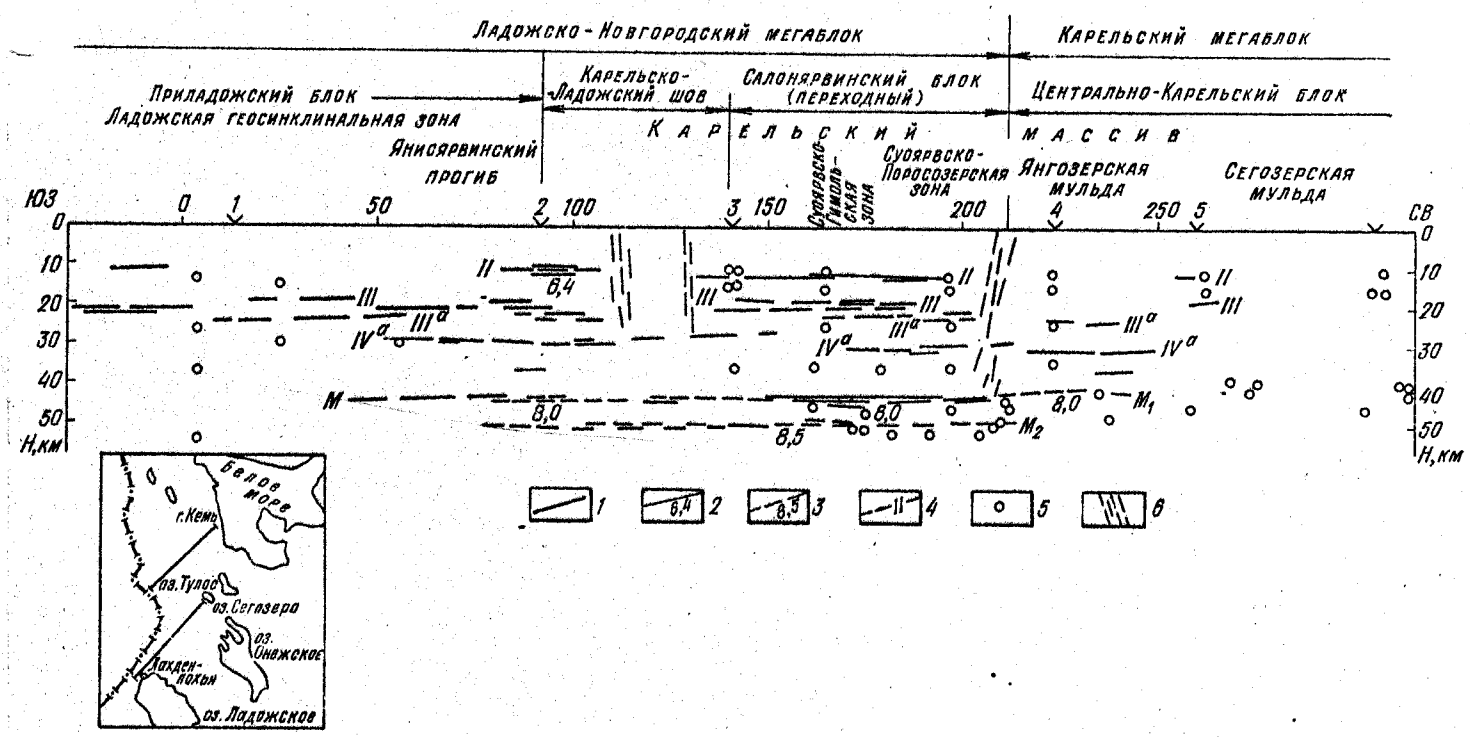


Рис.1. Сейсмический разрез земной коры по Приладожскому профилю

1 – отражающие площадки; 2 и 3 – участки преломляющих границ, построенные по взаимоувязанным годографам (2) и одиночным годографам (3) со значениями граничной скорости; 4 – индексы сейсмических горизонтов; 5 – глубины обмена по данным МОВЗ; 6 – зоны тектонических нарушений

винский краевой прогиб. С юго-запада он ограничен разломом северо-западного простирания, протягивающимся на юго-восток вдоль бортов Ладожского грабена. К Карельско-Ладожскому краевому шву приурочены Сальминский и Уялегский массивы гранитов рапакиви. С северо-востока Карельско-Ладожский краевой шов ограничен субширотным глубинным нарушением.

Центрально-Карельский блок имеет субмеридиональную ориентировку. Разломами субмеридионального, северо-восточного и северо-западного направлений он разделен на отдельные структуры, различающиеся по своему геологическому строению. К зоне субмеридионального разлома приурочена прослеживающаяся с перерывами от оз.Суоярви до оз.Гимольского и далее на север Гимольско-Суккозерская синклиналь (шовная зона). В области пересечения систем меридиональных и северо-западных разломов расположена Янгозерская мульда. На северо-восточном конце профиля расположена Сегозерская мульда. Центральная ее часть находится в пределах акватории оз.Сегозера.

На Приладожском профиле, являющемся частью международного геотраверса, пересекающего Восточную Европу от Альп до Балтийского щита [5], при сейсмических исследованиях методом ГСЗ применено дискретно-непрерывное профилирование линейными и точечными зондированиями. Общая длина Приладожского маршрута 250 км.

Наблюдения выполнялись по системе взаимоувязанных встречных и нагоняющих годографов из пяти пунктов взрыва (ПВ), расположенных на профиле с интервалом 50-70 км, и трех выносных, для которых на юго-западном продолжении профиля использованы взрывы из карьеров, расположенных в 30-100 км от юго-западного конца профиля.

Система наблюдений была рассчитана на регистрацию закритических отраженных и преломленных волн от границы Мохоровичича. Попутно регистрировались глубинные волны от внутрикоровых границ. Максимальная длина годографов 295 км. Всего на профиле отработано четыре расстановки длиной 55-65 км, каждая из них состояла из десяти линейных зондирований. Среднее расстояние между зондированиями 4-5 км, в реальных условиях оно определялось поверхностными условиями и выбором удобных мест для расстановки сейсмоприемников.

Возбуждение упругих колебаний производилось взрывами из шурфов глубиной до 3 м, заполненных водой. Применялась группировка зарядов по площади (до 40 шурфов на один взрыв). Расстояние между шурфами 10-12 м, при регистрации волн на расстояниях 100-150 км общая величина зарядов была равной 3 т, при наблюдениях на расстояниях 150-200 км и более увеличивалась до 4,5-5 т.

Наблюдения на профиле выполнялись одновременно несколькими сейсмостанциями типа „ПОИСК-I-48-КМПВ", „СМП-48-КМПВ", „СМОВ-О-24", „ТАЙГА-2" и „АСС-3М". Общее число одновременно регистрирующих станций на каждой расстановке равнялось 20. Из них пять станций АСС-3М в пяти точках вели трехкомпонентную запись не только взрывов ГСЗ, но и удаленных землетрясений.

На всех многоканальных станциях применялись сейсмоприемники СВ-5 с собственной частотой колебаний 5 Гц, сгруппированные по пять приборов на канал; расстояние между сейсмоприемниками в группе равнялось 5 м, шаг между центрами групп – 200 м.

Служба времени осуществлялась путем записи на всех многоканальных станциях единого кодированного сигнала хронометра, переданного по радио. Взрывы производились в момент передачи по радио сигналов точного времени. На каждой из станций АСС-3М имелись кварцевые часы.

В пунктах взрыва на магнитофон записывалась отметка момента взрыва и сигналы точного времени. Таким образом, магнитограммы всех станций были увязаны по абсолютному времени, а также между собой и с отметками момента взрыва.

Воспроизведение записей волн с магнитных пленок производилось при различных полосах частот, оптимальной была выбрана полоса пропускания от 5 до 14 Гц.

Основное внимание при интерпретации волнового поля ГСЗ уделялось волнам, регистрируемым в области первых вступлений, а в последующих вступлениях наиболее интенсивным и протяженным.

Система наблюдений на профиле, как уже отмечалось, предусматривала преимущественное прослеживание и взаимную увязку волн, связанных с подошвой земной коры, и лишь попутное изучение других опорных сейсмических горизонтов. Поэтому наблюдения из всех ПВ, кроме центрального, проводились на расстояниях, превышающих обычно 80–120 км. Наименьший интервал для взаимной увязки встречных годографов волн составил 83,5 км, преобладающий 120–130 км; максимальная длина взаимоувязанных годографов достигала 250 км.

Используя систематически крупные промышленные взрывы в карьерах в качестве ПВ, удалось получить удлиненные годографы до 295 км и полнее проследить глубинные волны, связанные с зоной, переходной от коры к верхней мантии.

Детальный сравнительный анализ сейсмических записей, наблюдаемых в Приладожье и в центральной Карелии (профиль Кемь – Тулос [3]), показал, что волновые поля, обусловленные сейсмическими горизонтами в верхней половине земной коры (II, III, IV^a), в этих районах аналогичны, в то время как волны, связанные с зоной перехода кора – мантия, на Приладожском профиле имеют существенные особенности. Область перехода от коры к мантии здесь представлена двумя группами волн: M_I со скоростью около 7,8–8,0 км/с и M_2 со скоростью 8,5 км/с.

Вступления группы M_I, традиционно относимой к границе Мохоровичича, наблюдаются в Приладожье примерно на 1 с позже, чем в центральной Карелии. Волны этой группы практически не выходят в первые вступления.

На расстоянии 220–295 км от ПВ в первых вступлениях регистрируются волны M_2 со скоростью около 8,5 км/с, уверенно прослеженные при записи больших взрывов в карьерах. Выяснились также важные детали в характере прослеживания группы волн M_1 : в ее состав, кроме преломленной волны с граничной скоростью 7,8–8,0 км/с, входит также интенсивная отраженная

волна с кажущейся скоростью 7,5 км/с на расстоянии 170-270 км от ПВ. Начало записи группы волн M_1 в центральной части профиля (ПВ1 - ПВ5) регистрируется на большем времени, чем на юго-западном и северо-восточном концах профиля.

Интерпретация сейсмических материалов на профиле г.Лахденпохья - оз.Сегозеро выполнено способом итеративного перебора прямой сейсмической задачи по программе Н.Н.Матвеевой на ЭВМ ЕЭСМ-3 и ЕЭСМ-6 [4].

При анализе экспериментальных годографов не было установлено систематических различий кажущихся скоростей прямых и встречных годографов основных волн, что позволило аппроксимировать моделируемую среду как трансверсально-изотропную.

Учитывая незначительное отличие полученных моделей для разных ПВ, представилось возможным для центральной части профиля построить единую обобщенную модель, которая включает в себя их общие черты (рис.2).

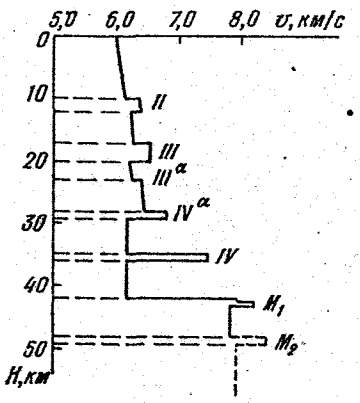


Рис.2. Сейсмическая модель для центральной части Приладожского профиля

Для определения параметров такой обобщенной модели рассматривалось общее, приведенное к одному ПВ волновое поле. Отдельные аномальные отклонения кажущейся скорости и времени прослеживания отдельных осей синфазности внутри однородных волновых пакетов вероятнее всего могут быть обусловлены влиянием неоднородностей в верхней части разреза. По полученным системам годографов ГСЗ нельзя учесть влияние верхней части разреза на поле глубинных волн, но можно статистически осреднить суммарное волновое поле и установить временные границы основных регулярных групп волн, пределы изменения кажущейся скорости, свойственные отдельным группам волн, а также интервалы прослеживания последних на профиле.

На описываемом профиле впервые для восточной части Балтийского щита получены более детальные сведения о переходной зоне между земной корой и верхней мантией.

Ранее из-за сравнительно коротких годографов ГСЗ в этом регионе обычно прослеживалась лишь одна граница, которая характеризовалась граничной скоростью около 8,1 км/с и относилась к поверхности M. Только на продолжении профиля Печенга - Ловно в Баренцевом море [2] ниже этой границы был намечен еще один сейсмический горизонт с существенно большей скоростью распространения продольных волн.

На Приладожском профиле с помощью взрывов из карьеров годографы длиной до 300 км позволили выделить в центральной его части под поверхностью M на глубине около 50 км сейсмический горизонт со скоростью продольных волн около 8,5 км/с. Возможно, мантийная граница с такой скоростью имеет региональное распространение на Балтийском щите. Чтобы выяснить это,

необходимы исследования с удлиненными годографами в других его районах. При этом важно выяснить взаимоотношение поверхности М со скоростью 8,0-8,1 км/с и более глубокой границы со скоростью около 8,5 км/с. Не исключено, что разрез верхней мантии под границей М может состоять из двух относительно высокоскоростных слоев или пачки таких слоев.

Второй важной особенностью переходной зоны от коры к верхней мантии является наличие в самых низах коры над поверхностью М либо пачки сильно градиентных слоев, разделенных прослоями с пониженными значениями скорости, либо одного слоя со скоростью около 7,5 км/с, положение которого пока определено неточно. Предположение о наличии такого высокоскоростного слоя (7,2-7,5 км/с) высказывалось и ранее для профиля ГСЗ в Калининградской области [5], а также для профиля Кемь - Тулос [3].

Третья особенность переходной зоны от коры к мантии для центральной части Приладожского профиля предположительно состоит в наличии слоев с существенно пониженной скоростью продольных волн, которые залегают в интервале глубин от 30 до 40 км. Эта особенность разреза хотя и проявляется довольно четко, требует дальнейшего изучения.

Для Приладожского профиля установлено увеличение мощности земной коры в центральной его части, соответствующее Ладожскому мегаблоку. Намечена зона глубинных разломов, разграничивающая Ладожский и Карельский мегаблоки. Зона сочленения этих структур имеет сложное строение. Блоковое строение коры наметилось и для структур меньшего масштаба: в различных этажах коры замечены неоднородности, выделяемые по скорости и плотности горных пород.

В земной коре выделены сейсмические пологие горизонты, которые можно связывать с относительно маломощными высокоскоростными слоями (или их пачками), разделяющими более мощные слои с инверсией скорости. Более надежно установлен скоростной разрез до глубин около 30 км.

Более детально изучена центральная часть Приладожского профиля; северо-восточная и юго-западная его части исследованы более схематично, однако и в центральной части профиля верхняя часть разреза коры остается пока не изученной сейсмическим методом.

Перевод в разрез волнового поля, полученного на Приладожском профиле, выполнен не только с помощью цифрового моделирования, результаты которого описаны выше, но и путем решения обратной задачи сейсморазведки общеизвестными приемами, главным образом способом полей времен. При этом значения скорости в покрывающей среде определялись с использованием взаимных точек на встречных годографах. Результаты построений (см. рис.1) показали, что подобранная при теоретических расчетах сейсмическая модель коры и построенные способом полей времен сейсмические границы достаточно хорошо согласуются между собой для более изученной центральной части Приладожского профиля.

Важно также отметить связь между глубинами до точек обмена волн от землетрясений, выделенными при МОВЗ, и положением сейсмических границ по данным ГСЗ. К сожалению, из-за ограниченного объема наблюдений МОВЗ и недостаточно полных сведений ГСЗ в юго-западной и северо-восточной части профиля корреляция данных методов пока базируется на небольшом фактическом материале.

В заключение необходимо обратить внимание на важность дальнейшего развития комплексных исследований ГСЗ и МОВЗ и необходимость продолжить Приладожский профиль до г.Выборга с тем, чтобы полнее выяснить особенности строения земной коры в Ладожском мегаблоке.

Результаты проведенных исследований указывают также на необходимость продолжения на Балтийском щите исследований ГСЗ с удлиненными годографами (по крайней мере до 300 км) в сочетании с региональными исследованиями верхней части коры методом отраженных волн. Такая методика позволит ответить на вопрос о том, насколько типична для всего щита сильно дифференцированная по упругим свойствам переходная от коры к мантии зона, имеющая слои с существенно повышенными и пониженными значениями скорости. Возможно, она характерна только для Ладожского мегаблока или только для Карельско-Ладожского шва, который следует рассматривать как обширную зону (см. рис.I, между ПВ 2 и ПВ 4).

Полученный сейсмический разрез для центральной части Приладожского профиля является аномальным и по увеличенной мощности коры и потому должен быть более детально изучен в верхней его части, как это было ранее сделано методом отраженных волн для профиля Кемь - Тулос [3].

Указанные особенности разреза земной коры и верхней мантии вдоль Приладожского профиля, отличающие его от других глубинных разрезов Балтийского щита, несомненно позволят в будущем уточнить геотектоническое районирование этого региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Земная кора восточной части Балтийского щита. / Под ред. К.О.Кратца. Л., Наука, 1978.

2. Литвиненко И.В. Особенности глубинного разреза земной коры северо-западной части Кольского полуострова и южной части Баренцева моря. - В кн.: Геология и глубинное строение восточной части Балтийского щита / Под ред. А.А.Логачева. Л., Наука, 1968.

3. Литвиненко И.В., Анкудинов С.А., Гаврилов И.А., Дворецкая Л.М. и др. Глубинный разрез земной коры Центральной Карелии и его сейсмическая модель. - Зап. ЛГИ, 1981, т.89.

4. Матвеева Н.Н. Программа решения прямой и обратной кинематической задачи сейсмологии. - В кн.: Программы для интерпретации сейсмических наблюдений / Под ред. Н.Н.Матвеевой. Л., Наука, 1972. Т.1.

5. Строение земной коры и верхней мантии Центральной и Восточной Европы. / Под ред. В.Б.Соллогуба (СССР), А.Гугерха (ПНР), Д.Просена (СФРЮ). Киев, Наукова думка, 1978.