Записки Санкт-Петербургского горного института им. Г.В.Плеханова.
1992. Т. 135

УДК 550.34:551.14/15 (470.16 + 480.13)

Н.К.БУЛИН, Э.В.ИСАНИНА,
В.И.ЛИТВИНЕНКО

СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОВЗ НА БАЛТИЙСКОМ ЩИТЕ И ЕГО ЮЖНЫХ СКЛОНАХ

Сейсмологические исследования методом обменных волн землетрясений (МОВЗ) с регистрацией и интерпретацией не только землетрясений, но и взрывов на различных эпицентральных расстояниях выполняются на Балтийском щите с начала 60-х гг. Приоритет в этих исследованиях принадлежит Г.Д.Панасенко, который по наблюдениям телесейсмических обменно-отраженных волн типа PP на стационарной станц и „Апатиты" определил мощность земной коры в нескольких пунктах Кольского полуострова [19]. Первые полевые профильные наблюдения МОВЗ со станциями регионального типа при гальванометрической регистрации были проведены ВСЕГЕИ в 1965 г. в Южной Карелии [5-7]. За последние 15 лет исследования МОВЗ преимущественно с аппаратурой „Земля" и „Черепаха" организациями Мингео СССР, ПГО „Севзапгеология", ПГО „Невскгеология", Ленинградского горного института, Института физики Земли АН СССР выполнены в различных районах Балтийского щита. Основной целью этих работ являлось получение опорных сведений о глубинном строении земной коры, необходимых при геолого-тектонических построениях, прогнозно-металлогенических исследованиях, составлении моделей строения и эволюции верхних участков литосферы, в том числе в связи с проходкой Кольской сверхглубокой скважины СГ-3. Некоторая информация о строении земной коры по данным МОВЗ получена при инструментальных сейсмологических исследсваниях эпицентральной зоны шестибалльного Осмуссаарского землетрясения 25 октября 1976 г. Работы МОВЗ осуществлялись автономно и в комплексе с исследованиями ГСЗ. Инициатива в проведении наблюдений МОВЗ на профилях ГСЗ-МОВ, отрабатываемых ПГО „Севзапгеология", принадлежала И.В.Литвиненко. Результаты этих сейсмологических работ до сих пор не публиковались.

В статье кратко освещены основные результаты профильных и профильно-площадных исследований МОВЗ, проведенных в восточной части Балтийского щита и на его южных склонах. Фрагментарно описаны данные МОВЗ, полученные на стационарных и временных сейсмических станциях АН СССР. Рассмотрены также методические вопросы применения МОВЗ в условиях древних щитов.

Ю ж н а я К а р е л и я. По этому региону имеются два основных блока данных: результаты, полученные ВСЕГЕИ в 1965-1968 гг. в Северном Приладожье, и результаты МОВЗ, полученные ПГО „Невскгеология" на серии профилей в Прионежье (1981-1984 гг.) и на Онежско-Ладожском перешейке (1985-1987 гг.).

Работы в Северном Приладожье, выполненные в течение двух летних сезонов 1965 и 1967 гг., явились первыми исследованиями МОВЗ в пределах древних щитов. Наблюдения проводились тремя-пятью станциями регионального типа и двумя-тремя станциями «Земля». Основной объем работ (48 пунктов) был сосредоточен на профиле Выборг – Сортавала – Суоярви – Спасская Губа длиной 340 км и рассечке Кисталахти – озеро Рикиярви длиной 80 км. Волны PS выделены на записях 260 землетрясений и 100 промышленных взрывов, некоторые из которых были зарегистрированы с расстояний до 750 км, а в отдельных случаях до 1350 км.

Результаты первых работ МОВЗ ВСЕГЕИ в Южной Карелии опубликованы в нескольких статьях [3–7], поэтому мы ограничимся лишь краткой сводкой тех данных, которые не утратили своего значения до настоящего времени:

1. Мощность земной коры до границы М, по данным МОВЗ, составляет в Южной Карелии 44 ± 5 км [4], что на 5–15 км больше, чем по гравиметрическим данным [8]. Рельеф поверхности М довольно пересеченный.

2. В верхней части мантии границы обмена удалены одна от другой по вертикали на расстояние 6–20 км на глубине 45–120 км и на 20–40 км в интервале 120–200 км. Среди границ верхней мантии наиболее устойчивым по динамике волн PS и по прослеживаемости является горизонт $M_м$ на глубине 120–130 км. Мощность слоев верхней мантии (около 40–45 км), ограниченных горизонтами сильного обмена, сопоставима с мощностью земной коры до границы М [7].

3. Областям интенсивного проявления процессов ультраметаморфизма, относящимся к наиболее глубинным древним блокам земной коры (например, Карельскому массиву), отвечает дифференцированный глубинный разрез при пологоволнистом залегании сейсмических границ. Более подвижным участкам, сложенным на земной поверхности более молодыми (протерозойскими) образованиями, соответствуют зоны меньшей сейсмической расслоенности и более сложного глубинного рельефа [6].

4. Время регистрации продольных сейсмических волн от промышленных взрывов на удалениях 450–630 км на 2–4 с меньше, чем по годографу Джеффриса – Буллена при нулевой глубине источника колебаний, что указывает на более высокоскоростной разрез верхних частей мантии Балтийского щита по сравнению со среднемировым разрезом. Кажущаяся скорость первых волн на указанных выше удалениях составляет 9,4 км/с, глубина возможной границы, на которой образуются эти волны, грубо оценивается в 100 км. Судя по скоростным характеристикам и глубине залегания, выделяемая нами граница, возможно, является аналогом спокойно залегающей преломляющей границы с $v_г$ = 9,0 км/с, выделенной И.В.Литвиненко по данным ГСЗ в южной части Баренцева моря [14].

5. По данным относительно высокочастотных PS-волн (частоты 1–3 Гц), регистрируемых при промышленных взрывах и глубокофокусных далеких землетрясениях, на некоторых участках, преимущественно в пределах антиклинорных зон, выделены пологие границы обмена на глубинах 1,5–3 км. Аналогичные сейсмические границы позднее выделялись по данным МОВЗ в фундаменте других древних щитов [13].

Результаты исследований по методике МОВЗ вдоль профиля Выборг – Спасская Губа широко используются при тектоническом районировании и других геолого-прогнозных построениях. Так, Ю.П.Оровецкий с соавторами [17] переинтерпретировал данные МОВЗ по этому профилю с помощью методики «статистической фильтрации волновых полей" [18] и обосновал выделение Выборгской, Сортавальской и других аномальных зон, отличающихся повышенным числом точек обмена сейсмических волн по сравнению с их фоновым распределением. Эти аномальные зоны отождествляются с «мантийными диапирами", структура которых может быть уподоблена сужающимся книзу конусам. Размеры наиболее изученного Сортавальского магматического диапира оцениваются следующим образом: глубина прослеживания 120 км, ширина в верхней и нижней частях 100 и соответственно до 15 км [17].

Работы МОВЗ в Прионежье и в прилегающих районах Южной Карелии (некоторые профили попадают в пределы Ленинградской области) проводились исключительно с аппаратурой «Земля"-М, причем использовалось до 20–30 одновременно работающих трехкомпонентных станций записи. При интерпретации материалов наблюдений большое внимание уделялось анализу амплитудных характеристик родоначальной P-волны и обменной PS-волны землетрясений, что впервые в практике МОВЗ позволило осуществить широкомасштабные исследования обменоспособности среды, а также ее гомогенности-расслоенности [11, 13, 18].

Наблюдения МОВЗ на Онежско-Ладожской площади выполнены по системе замкнутых профилей общей длиной 2050 км с интервалом между точками наблю-

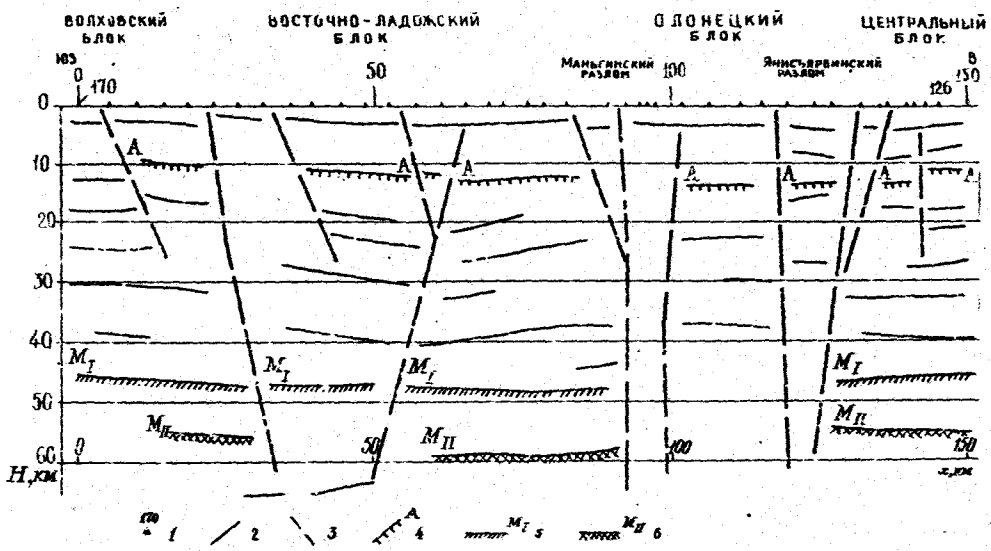


Рис.1. Глубинный сейсмологический разрез по профилю Новая Ладога – Подпорожье (ПГО „Невскгеология", 1987 г.)

1 – точки наблюдений и их номера; 2 – границы обменов; 3 – зоны тектонических нарушений; 4 – горизонт в верхней части земной коры; 5 и 6 – кровля и подошва зоны перехода кора – мантия соответственно

дений 3–5 км. На отдельных участках (около 25 км) исследовались структуры сложных рудных узлов по детальным (интервал 0,5–1,5 км) профилям. Всего за период выполнения полевых работ в Онежском прогибе и на Онежско-Ладожском перешейке зарегистрировано 1338 сейсмоявлений, из них 113 взрывов, 1224 землетрясения с эпицентральными расстояниями 1800–11600 км и одно местное землетрясение, эпицентр которого расположен в северной части Ла-

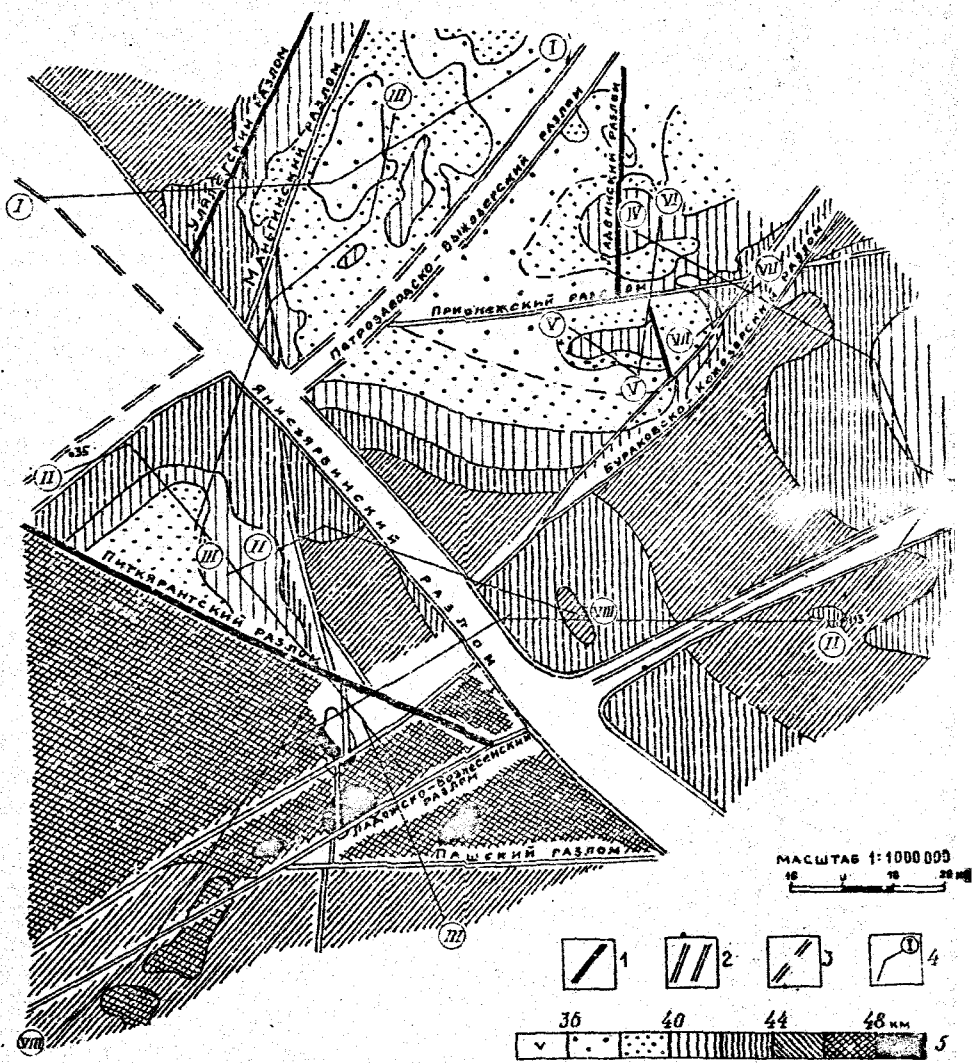


Рис.2. Глубинное строение земной коры Онежско-Ладожского перешейка на уровне поверхности M_1 по материалам ПГО „Невскгеология" (Э.В.Исанина, В.З.Брагин, 1985–1988 гг.)
1 – сквозькоровые разломы, разрывающие границу M_1, с глубиной заложения 44–52 км; 2 и 3 – мантийные разломы, разрывающие границы M_1 и M_2, с глубиной заложения 45–55 км, выделенные по МОВЗ соответственно уверенно и менее уверенно; 4 – профили МОВЗ и их номера; 5 – изогипсы поверхности M_1

дожского озера между поселками Лахденпохья и Пятиярвита и находился на расстоянии 180–210 км от пунктов расстановки станций „Земля".

По результатам исследований построены глубинные сейсмологические разрезы (один из них дан на рис.1) и составлены карты глубинного строения слоя кора – мантия M_I-M_{II}. Фрагмент одной из карт по Онежско-Ладожской площади представлен на рис.2. По этим данным удалось установить, что глубина кровли зоны перехода кора – мантия M_I на севере (район Онежской мульды) достигает 30–35 км, а на юге (район Онежско-Ладожской площади) – 46–48 км. На рис.2 четко видна погруженная часть поверхности на юго-западе, в районе южного берега Ладожского озера. Ни одна из границ, выделяемых по обменным волнам, не является динамически выдержанной при четких кинематических корреляциях. Следует отметить сложную структуру переходного слоя M_I-M_{II}: от полностью конформных блоков с мощностью 8–10 км до полного исчезновения прослеживания в разрезе любой из поверхностей. Характерным свойством обменных волн от поверхностей M_I-M_{II} в районе Онежской мульды явилась их значительная интенсивность (A_{pS}/A_p до 100 %), в то время как на южном склоне Ладожско-Онежской площади обменные волны от поверхностей M_{I-II} более слабые (A_{pS}/A_p = 20÷60 %). Нормальное количество границ в земной коре до поверхности M_I – шесть. Высокая степень деформированности земной коры отражена в морфологической характеристике поверхности M_I (рис.2).

Прогнозно-металлогеническое значение результатов МОВЗ в Онежском прогибе и Прионежье связывается прежде всего со способностью этого метода выявлять в комплексе с другими методами коровые разломы и другие латеральные неоднородности среды [2]. Важное значение придается выявлению так называемых „зон молчания", т.е. участков пониженной (нулевой) расслоенности [2]. А если еще более точно, то интерес представляют контактные зоны сильно расслоенных участков земной коры с „зонами молчания", вблизи которых на причленяющихся и боковых разломах часто располагаются рудные узлы.

Особое место в структуре территории занимают узлы сочленения и пересечения разломов и шовных зон, являющихся наиболее проницаемыми фрагментами земной коры и имеющих важное значение для выявления закономерностей размещения и локализации различных полезных ископаемых.

К о л ь с к и й п о л у о с т р о в. Основной объем наблюдений МОВЗ в этом регионе сосредоточен в его крайней северо-западной части (Печенгско-Аллареченский рудный район) и вдоль двух региональных профилей ГСЗ Заполярный – Кызыл и Печенгская губа – Костомукша. Исследования МОВЗ проводились разными авторскими коллективами, что обеспечивает внешний контроль построений. Сопоставление результатов по северному фрагменту профиля Печенгская губа – Костомукша позволяет увидеть хорошую сходимость результатов МОВЗ различных авторов.

Поверхность М, определяемая различными авторами как граница с индексами M_0, М, M_I, находится в Печенгско-Аллареченском рудном районе на глубине 36–42 км. Непосредственно под Кольской сверхглубокой скважиной поверхность M_I сильно нарушена, находится в узле сочленения зон разломов

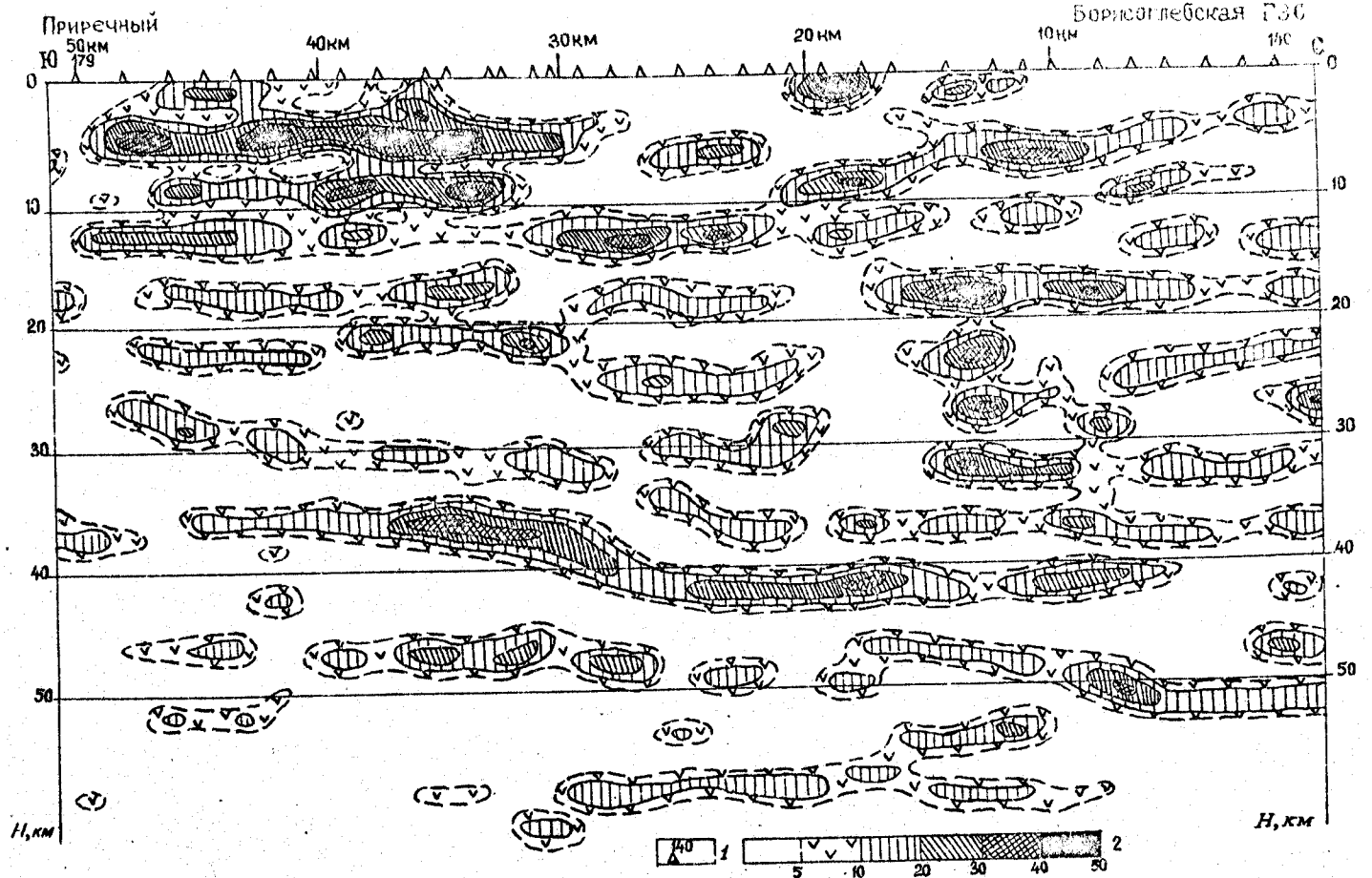
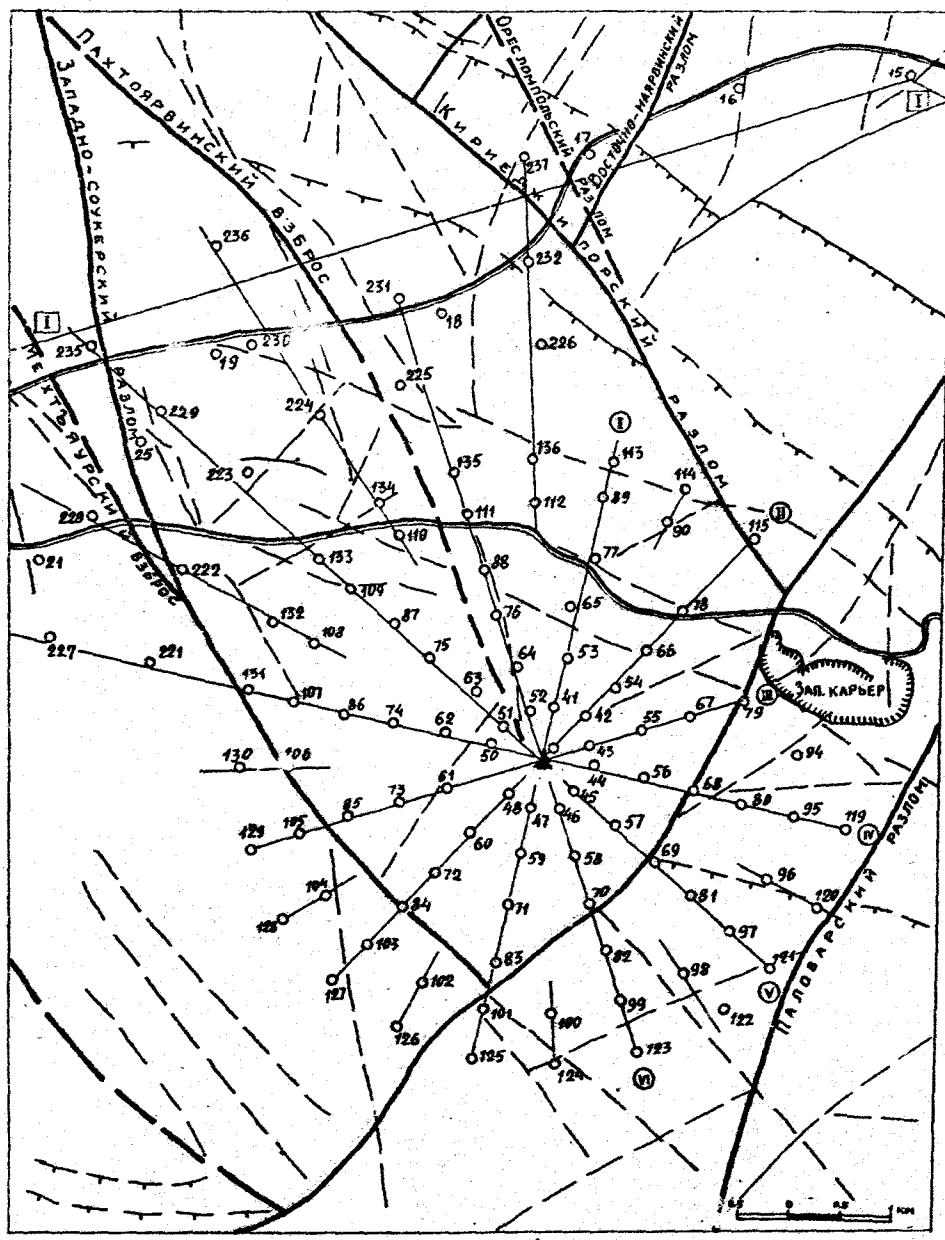


Рис.3. Глубинный сейсмологический разрез по профилю Приречный – Борисоглебская ГЭС, представленный в параметре обменоспособности среды
1 – пункты наблюдения и их номера; 2 – относительная интенсивность обменных волн (обменоспособность), %



1 2 3 4 5

Рис.4. Схема наблюдений на участке детальных площадных работ МОВЗ по радиально-кольцевым профилям в районе Кольской сверхглубокой скважины СГ-3

1 – номера профилей и точек наблюдений при проведении детальных работ; 2 – номера профилей и точек наблюдений при проведении региональных работ; 3 – автодороги; 4 – Кольская сверхглубокая скважина; 5 – разрывные нарушения разных рангов

северо-западного и северо-восточного простираний, однако спорадически прослеживаются площадки на глубине 36–38 км.

В отличие от общепринятых кинематическо-статистических разрезов при работах ПГО "Невскгеология" по профилям строят динамические разрезы в параметрах обменоспособности среды. При этом относительная интенсивность обменных волн (обменоспособность)

$$0 = \frac{J_{pS_{xy}}}{J_{p_z}},$$

где $J_{pS_{xy}}$ – интенсивность обменной волны в плоскости xy; J_{p_z} – интенсивность продольной волны в вертикальной плоскости.

Один из таких разрезов иллюстрирует сложную слоисто-блоковую структуру земной коры района исследований (рис.3). Динамический рельеф границ не всегда совпадает с их кинематическим прослеживанием, что может быть свидетельством сложной физики образования как блоков, так и слоев в земной коре.

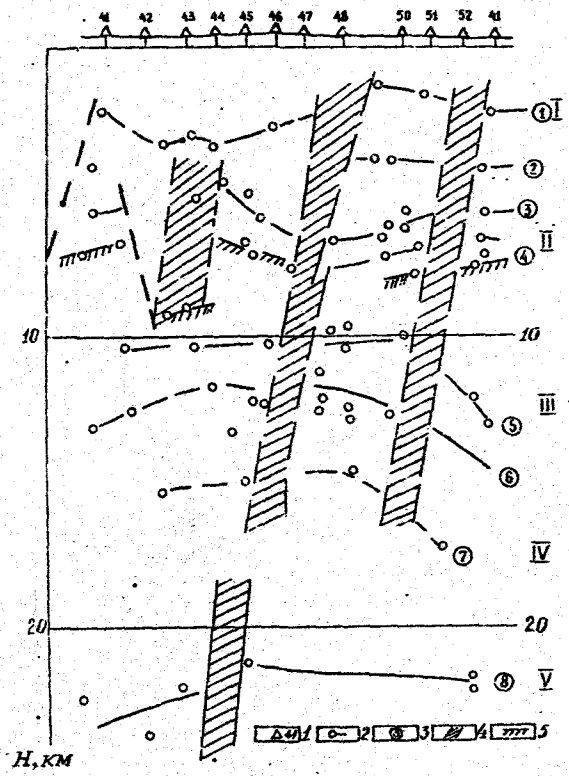


Рис.5. Глубинный сейсмологический разрез по профилю с радиусом R_1 = 0,5 км в районе Кольской сверхглубокой скважины СГ-3
1 – положение станций „Земля" на профиле и ее номер; 2 – положение точек обменов; 3 – номер обменной волны; 4 – зоны разрывных нарушений; 5 – динамически наиболее выраженная граница

Детальные площадные исследования МОВЗ в районе Кольской сверхглубокой скважины СГ-3 имели целью внедрение нового детального метода изучения строения земной коры по радиально-кольцевым профилям (рис.4), разработанного И.В.Померанцевой и ее коллегами, и изучение связи волновых полей всех типов с геолого-структурными особенностями разрезов и физическими свойствами среды.

Разрез по первому кольцу, охватывающему скважину по радиусу 0,5 км, свидетельствует о наличии вблизи скважины серии разломов как больших глубин заложения (до M_I–M_{II}), так и секущих лишь верхнюю часть коры (рис.5). Первая граница выделяется на глубинах 1,2–2,0 км, в основном при снятии состав-

лящих P-волн. Ниже, до глубин 25 км, по разрезу выделено восемь обменных волн, отождествляемых с границами I–У. Самыми динамически выраженными границами являются поверхность 4-«клавишной» структуры с глубинами 6,5–7,5 км, приуроченная к переходной зоне архея и протерозоя; волнистая

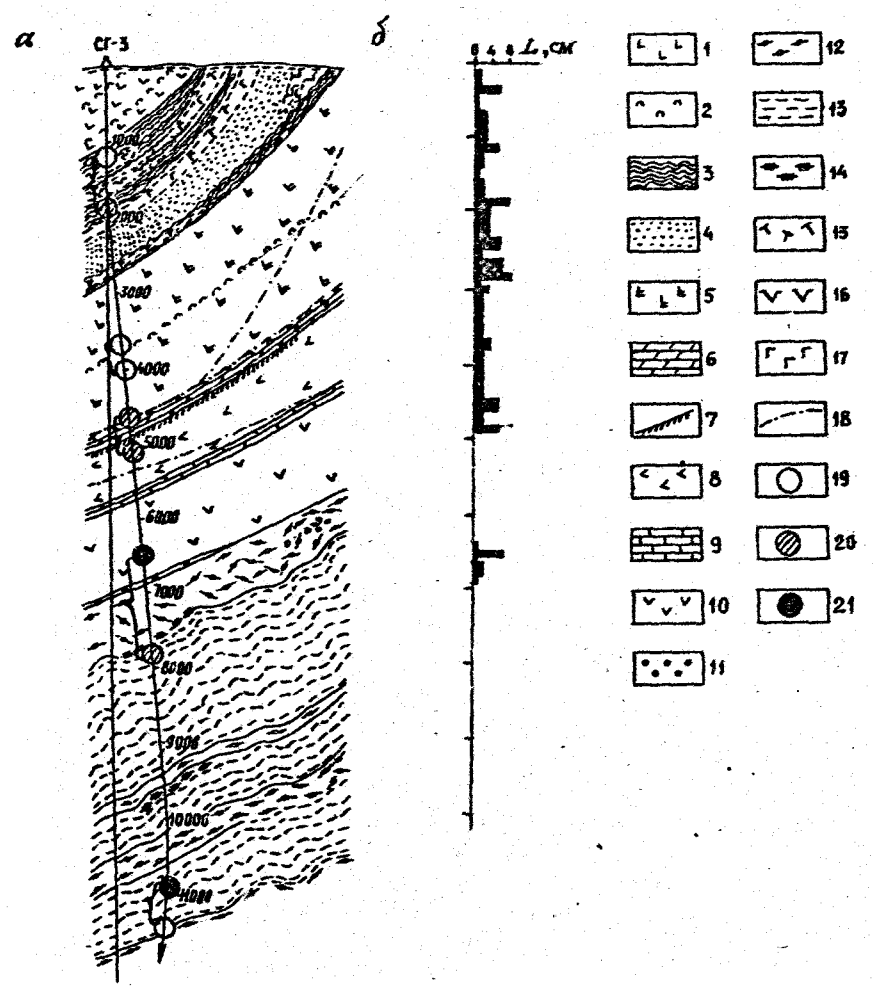


Рис.6. Сопоставление геологического разреза Кольской СГ-3, результатов МОВЗ (а) и физических свойств пород (б)

1 – авгитовые диабазы с прослоями пироксеновых и пикритовых порфиритов; 2 – туфы и туффиты основного состава; 3 – филлиты, алевролиты с прослоями туфов; 4 – ритмично-слоистые песчаники с подчиненными алевролитами и филлитами; 5 – актинолитизированные диабазы; 6 – доломиты, аркозовые песчаники; 7 – серицитовые сланцы; 8 – метадиабазы; 9 – доломиты, полимиктовые песчаники; 10 – диабазовые порфириты и сланцы по ним; 11 – полимиктовые конгломераты, гравелиты; 12 – биотит-плагиоклазовые гнейсы с высокоглиноземистыми минералами; 13 – мигматизированные и гранитизированные биотит-плагиоклазовые гнейсы; 14 – магнетит-амфиболовые сланцы; 15, 16 и 17 – интрузивные образования, соответственно андезитовые порфириты, вертиты и габбро-диабазы; 18 – тектонические нарушения; 19, 20 и 21 – относительная интенсивность обменных волн, соответственно 0–20, 21–50 и 51 % и более; L – суммарная мощность прожилков на 1 м керна

поверхность в диапазоне глубин 10,8–12,0 км; кровля 5-го и подошва 7-го слоя.

Одним из основных методических вопросов МОВЗ является обоснование существования обменных волн повышенной (более 20 %) интенсивности. Наличие обменных волн с интенсивностями 50 % и более является предметом острых дискуссий.

Теоретические исследования подтвердили возможность образования обменных волн значительной интенсивности (до 100 %) при условии вариаций жесткости контактирующих сред. При работах на СГ-3 установлена зависимость интенсивности обменных волн на тонком слое от количества прожилков и микротрещин. Особенно ярко это проявляется в диапазонах глубин 4600–4800 и 6600–7000 м (рис.6).

В отдельных случаях при исследованиях МОВЗ определяется слабая миграция времен Δt_{ps-p}, что связано, вероятно, с изменением напряженно-деформированного состояния массивов пород. Так, при повторных наблюдениях продольных волн от взрывов из карьеров с эпицентральным расстоянием 0–30 км на одноименных пикетах обнаружены изменения скоростей на 10–20 %, что Э.В.Исанина связывает с разгрузками напряжений, происходящими по трещинам и зонам нарушений.

Введение в интерпретацию материалов МОВЗ термина «обменоспособность" среды выводит исследования МОВЗ на новый («динамический") уровень развития, что в свою очередь позволит получить новые данные о физике и механике структур земной коры.

Выводы

Выполненные к настоящему времени исследования МОВЗ внесли определенный вклад в познание глубинного строения восточной части Балтийского щита и его южных склонов. Наиболее значимые результаты получены в Южной Карелии и в северо-западной части Кольского полуострова. Наименее полная информация получена на тех профилях ГСЗ, где сеть наблюдений была очень редка (с интервалом 10–30 км). Перспективы дальнейшего применения МОВЗ в условиях Балтийского щита связаны в первую очередь с возможностями этого метода детально исследовать блоковость земной коры, выявлять зоны разломов с большими углами наклонов и другие латеральные неоднородности среды. Много обещает более широкое опробование методики МОВЗ в зарубежной части Балтийского щита, особенно по материалам, полученным на стационарных сейсмических станциях Финляндии и Швеции.

При дальнейших исследованиях МОВЗ целесообразно принять во внимание следующее:

1. Преобладающим видом полевых работ должны быть профильно-площадные наблюдения при достаточно плотных системах регистрации, что в наибольшей степени позволит реализовать преимущества метода. Региональные профильные наблюдения МОВЗ с редкой сетью наблюдений должны осуществляться главным образом в комплексе с многоволновым ГСЗ. Только в этом случае может быть

в полной мере учтена латеральная изменчивость параметра v_p/v_s, достигающая в отдельных случаях 0,05–0,10 [9, 16].

2. Необходимо резко усилить работы по использованию станций типа „Земля" для определения строения верхней мантии. Здесь имеются два основных направления исследований. Во-первых, определение структуры мантии по глубинным PS-волнам, для чего потребуется увеличить длительность наблюдений в одном пункте до 30 суток и более широко применять составление суммотрасс PS-волн по нескольким смежным пунктам для избавления от боковых и других волн-помех. Во-вторых, определение строения и скоростного разреза мантии по наблюдениям монотипных P- и S-волн, регистрируемых при промышленных взрывах на значительных удалениях (500–1000 км и более).

3. Работы МОВЗ должны найти более широкое применение при изучении местной сейсмоактивности, поскольку нельзя не принимать во внимание несомненные свидетельства сильной сейсмичности, наблюдаемой во внутренних зонах Балтийского щита, в том числе в Заонежье [10].

4. Опыт исследований МОВЗ и проведенные модельные расчеты [15] свидетельствуют о большой чувствительности PS-волн к достаточно тонким неоднородностям среды с размерами низкоскоростных включений, равных примерно 0,08 длины волны. В то же время обменные волны PS весьма чувствительны и к изменениям напряженного состояния среды [1]. Поэтому при организации геодинамических исследований в районе Кольской СГС целесообразно предусмотреть постановку многолетних режимных работ по методике МОВЗ с целью выявления вариаций динамических характеристик поля обменных волн землетрясений. Аналогичные работы должны проводиться в районе Кольской атомной станции [12], а в дальнейшем, по-видимому, и на Прибалтийском геодезическом (геодинамическом) полигоне.

5. При условии технического совершенствования самого способа регистрации и создания комплекса обрабатывающих программ метод МОВЗ может вполне иметь право на самостоятельное существование, так как станциями „Земля", „Черепаха" регистрируется широкий спектр P-, S- и PS-волн, а возможность получения круглосуточной информации о сейсмическом фоне Земли делает метод не только многоволновым, но и многоцелевым, позволяющим исследовать глубинное строение, сейсмоопасность, сейсмичность, деформационные свойства пород, нежесткость границ и пр.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безгодков В.А., Чавушян Р.Е. Опыт режимных сейсмических исследований на Ашхабадском прогностическом полигоне аппаратурным комплексом „Земля" // Прогноз землетрясений. 1988. № 10. С. 198–205.

2. Блоковое и глубинное строение Онежского прогиба / С.Н.Кондаков, Ю.В.Петров, А.В.Булавин и др. // Блоковая тектоника и перспективы рудоносности Северо-Запада Русской платформы / Под ред. Т.В.Билибиной, А.В.Савицкого, А.А.Смыслова; ВСЕГЕИ. Л., 1986. С.68–75.

3. Булин Н.К. Строение земной коры Южной Карелии по данным землетрясений // Труды X Генер. Ассамблеи Европейской сейсмолог. комиссии / Геофизический комитет АН СССР. М., 1970. Т.1. С.313-322.

4. Булин Н.К. Новые данные о строении земной коры Балтийского щита // Докл. АН СССР. 1971. Т.198., № 3. С.657-660.

5. Булин Н.К., Афанасьева Н.А., Проняева Е.А. Профильные сейсмологические исследования в южной части Балтийского щита // Прикладная геофизика. 1972. Вып.69. С.69-81.

6. Булин Н.К. Особенности глубинного блокового строения земной коры в южной части Балтийского щита // Тектоника Балтийского щита / Под ред. В.А.Перевозчиковой. Л.: Недра, 1974. С.272-278.

7. Булин Н.К. Земная кора и верхняя мантия между Финским заливом и Онежским озером // Земная кора окраин материков и внутренних морей. М.: Наука, 1975. С.152-160.

8. Воеводова Г.П. Савицкий А.В. Принципы и методика выделения блоков и основных элементов глубинного строения северо-запада Русской платформы // Блоковая тектоника и перспективы рудоносности Северо-Запада Русской платформы / Под ред. Т.В.Билибиной, А.В.Савицкого, А.А.Смыслова; ВСЕГЕИ, Л., 1986. С.5-21.

9. Геолого-геофизическая модель верхней части земной коры Кольского полуострова по профилю Печенгская губа - Ковдор - Алакуртти / Ю.П.Ампилов, А.Ф.Буянов, В.Н.Глазнев и др. // Геофизический журнал. 1985. Т.7. № 12. С.75-82.

10. Журавлев А.П., Экман Н.М. По следам землетрясения в Пегреме // Природа. 1989. № 3. С.27-30.

11. Злобин Т.К. Изучение сейсмической расслоенности литосферы по данным метода обменных волн землетрясений // Тихоокеанская геология. 1985. № 2. С.94-97.

12. Кременецкая Е.О., Коломиец А.С., Черноусов О.Л. Геодинамический полигон в районе Кольской атомной станции // Симпозиум КАПГ по изучению современных движений земной коры: Тезисы докладов. Воронеж, 1988. С.158.

13. Крюченко В.А., Исанина Э.В. Особенности глубинного строения южной части Кировоградского блока по данным МОВЗ и гравиметрии // Геологический журнал. 1983. Т.43. № 2. С.97-104.

14. Литвиненко И.В. Особенности глубинного разреза земной коры северо-западной части Кольского полуострова и южной части Баренцева моря // Геология и глубинное строение восточной части Балтийского щита. Л.: Наука, 1968. С.90-95.

15. Локштанов Д.Е., Попова О.Г. Влияние верхней части разреза на запись и коррелируемость обменных волн (численное моделирование) // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1988. № 9. С.86-92.

16. Объемная модель глубинного строения земной коры района заложения Кольской скважины СГ-3 по данным детальных работ МОВЗ-ГСЗ и материалам бурения / Н.Е.Галдин, А.В.Егоркин, В.Е.Коновалов, М.С.Эренбург // Проблемы комплексной интерпретации геолого-геофизических данных. Л.: Наука, 1991. С.159-138.

17. Оровецкий Ю.П., Голуб В.Н., Кучма В.Г. Мантийный диапиризм и диатремы (на примере юго-восточной части Балтийского щита) // Геофизический журнал. 1990. Т.12. № 5. С.67-73.

18. Оровецкий Ю.П., Яблочкина Л.М. Статистическая фильтрация - метод обнаружения транскоровых акустических аномалий // Докл. АН УССР. Сер. Б. 1984. № 4. С.17-20.

19. Панасенко Г.Д. Строение земной коры и годограф северо-восточной части Балтийского щита // Бюлл. Совета по сейсмологии АН СССР. 1963. № 15. С.112-128.