Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLVI, вып. 2, 1963 г.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ БАЛТИЙСКОГО ЩИТА

И. В. Литвиненко

До последнего времени при изучении структур кристаллических пород древних щитов сейсморазведка применялась мало. В Карелии в 1958—1959 гг. в период Международного геофизического года были проведены в СССР первые региональные исследования древнего щита методом глубинного сейсмического зондирования [2, 3, 5]. В 1960—1961 гг. сейсмические работы в комплексе с другими методами продолжены на северо-западе Кольского полуострова в связи с изучением глубинного строения печенгской эффузивно-осадочной серии. На основании этих работ, выполненных Западным геофизическим трестом, ВСЕГЕИ, Ленинградским горным институтом и конторой «Спецгеофизика»[1], выяснен ряд принципиальных вопросов применения сейсморазведки в сложных условиях Балтийского щита и получены интересные геологические результаты.

Особенности сейсмо-геологического разреза, приводимые ниже, характерны и для других древних щитов.

1. В интервале глубин до 3—4 *км* при разнообразных условиях возбуждения и регистрации упругих колебаний и при различной ориентировке профилей относительно геологических структур не удается выделить протяженные спокойно залегающие сейсмические границы. Даже в тех случаях, когда наблюдения проводились по простиранию синклинальных складок, в разрезе отмечались лишь многочисленные, но непротяженные отражающие элементы. Отраженные волны связаны с контактами пород различного состава, тектоническими нарушениями, поверхностями отдельностей изверженных пород и другими причинами. Из-за сложного строения докембрийских пород нет оснований рассчитывать и в будущем на прослеживание в ы д е р ж а н н ы х горных сейсмических горизонтов в интервале глубин до 3—4 *км*. Методика наблюдений должна совершенствоваться так, чтобы улучшить качество и увеличить количество выделяемых н е п р о т я ж е н н ы х о т р а ж е н и й, характеризующих сильно дислоцированные структуры докембрия.

2. Коренные породы обычно перекрыты отложениями морены, которая характеризуется как слой пониженной скорости. В этом слое выделяется верхняя наиболее выветрелая часть — зона малой скорости в обычном понимании. Для нее характерна скорость не более 500—600 *м/сек*, а для нижних частей разреза морены — не более

[1] В работах участвовали: С. А. Анкудинов, О. И. Богушевская, М. Г. Буглак, П. Варгин, М. Я. Дехнич, В. Г. Детенышев, И. С. Ленина, И. В. Литвиненко, А. Некрасова, Л. Н. Платоненкова, А. В. Сосновская, Н. Г. Сагателян, Т. В. Спрына, А. Н. Телегин и др.

2500—3000 *м/сек*. Последняя зависит от литологического состава и степени обводненности морены. На участках с большим содержанием валунов наблюдается повышенное затухание энергии упругих колебаний и менее четкий переход к волнам, связанным с кристаллическими породами.

3. Своеобразен скоростной разрез кристаллических пород по вертикали. До недавнего времени общепринятым было характеризовать такие породы по скорости как изотропные. В результате выполненных работ убедительно доказан вертикальный градиент скорости, который особенно заметен вблизи дневной поверхности. На основании годографов рефрагированных волн может быть определен график изменения скорости в зависимости от глубины. Учет вертикального градиента скорости вблизи дневной поверхности может потребоваться при решении некоторых задач не только в условиях хорошо обнаженных древних кристаллических щитов, но и в других платформенных районах с неглубоким залеганием поверхности фундамента (КМА, Прибалтике и др.). Выделение рефрагированных волн имеет важное значение. Если ошибочно принять их за головные, можно построить фиктивные преломляющие границы.

4. Разрез в интервале глубин около 3—4 *км* имеет характерные особенности. По лабораторным измерениям на образцах горных пород при высоких давлениях и температурах [7, 8], соответствующих этой глубине, намечается переход градиентной среды почти в однородную. На глубинах менее 3—4 *км* градиенты скорости достигают нескольких десятков метров в секунду на 1 *м*, а глубже — резко уменьшаются почти на порядок. Возможно, здесь существует разрыв графиков не только градиента, но и самой скорости. Переходная зона должна располагаться на постоянной глубине, определяемой давлением и температурой, и будет создавать определенные осложнения в волновом поле. Эта зона изменения физических свойств может пересекать продолжающиеся глубже основные геологические структуры и соответствовать проявлениям гранитизации и регионального метаморфизма горных пород. Интересно, что глубинным сейсмозондированием (ГСЗ) почти в этом же интервале глубин (с некоторыми оговорками) иногда может быть намечена первая спокойно залегающая сейсмическая граница [2, 3, 5].

В более глубоких частях разреза земной коры сейсмическим методом на низких и даже средних частотах выделяются другие более выдержанные границы, которые можно связывать с изменением минералого-петрографического состава пород и другими геологическими факторами.

5. Скоростной разрез в Карелии и на Кольском полуострове изменяется не только по вертикали, но и по площади. Изменение скорости в горизонтальном направлении, в отличие от вертикального, происходит скачкообразно в соответствии с минералого-петрографическим составом дислоцированных пород. Установлена заметная дифференциация по скорости кристаллических пород, что нередко обеспечивает достаточную резкость крутопадающих сейсмических границ, в условиях которых сейсморазведка до сих пор почти не применялась.

6. На щите отсутствует мощный чехол рыхлых отложений, и это коренным образом улучшает условия регистрации упругих колебаний от взрывов. Так, например, при ГСЗ для получения четких записей волн от подошвы земной коры на удалениях свыше 200 *км* от пунктов взрывов (ПВ), оборудованных в водоемах глубиной 10—15 *м*, требуются заряды весом всего 100—300 *кг*. Для выделения интенсивных волн при взрывах из мелких водоемов на расстоянии 1—2 *км* достаточны заряды в несколько десятков или сотен граммов, а на расстоянии в несколько километров — не более 10 *кг*.

В приведенных примерах регистрация производилась низкочастотной аппаратурой при одиночных сейсмоприемниках, без каких-либо особых приемов повышения эффективной чувствительности. Эти данные указывают на сравнительно слабое поглощение энергии упругих колебаний в условиях Балтийского щита. В других регионах мощный чехол слабоуплотненных осадочных отложений играет существенную роль в поглощении и фильтрации волн. Из-за отсутствия сглаживающего влияния осадочного чехла на сейсмограммах четко сказываются не только поверхностные неоднородности, но и изменения минералого-петрографического состава, степень метаморфизма горных пород и зоны тектонических нарушений. В этом случае использование динамических особенностей записи, наряду с кинематическими признаками, приобретает особое значение.

7. Возбуждение упругих колебаний в Карелии и на Кольском полуострове имеет свои особенности. При взрывах в водоемах или шурфах возникают, наряду с продольными, интенсивные поперечные волны. Возбуждение взрывом упругих колебаний вблизи резкой сейсмической границы, какой является поверхность кристаллических пород, вероятно, нельзя рассматривать как центр расширения: здесь возникает хорошо выраженное направленное воздействие и интенсивные явления обмена. Поперечные волны четко регистрируются не только горизонтальными, но и вертикальными сейсмоприемниками. Максимум частотного спектра поперечных волн по сравнению с продольными сдвинут в область более низких частот.

Наименее эффективны накладные взрывы на обнажениях коренных пород, а также в скважинах, расположенных в зонах дизъюнктивных нарушений. Лучшими являются взрывы в естественных водоемах с глубиной не менее 7—8 *м*.

Методику региональных исследований определили особенности скоростного разреза земной коры Балтийского щита. Применялись комбинированные системы наблюдений: вблизи ПВ выделялись отраженные волны, а на удалении — головные. Это позволяет сократить общую длину годографов и уменьшить число пунктов взрыва, что существенно повышает экономическую эффективность работ. При наличии не только встречных, но и нагоняющих годографов удается намного точнее выделять глубинные крутонаклоненные контакты и зоны разломов. В основном внимание обращается на сейсмические границы верхней части разреза земной коры.

В условиях Кольского полуострова очень трудно проводить протяженные прямолинейные профили. Расчеты, проверенные на практике, показали, что при региональных наблюдениях отклонения профиля от прямой могут быть довольно большими, особенно если профиль проходит вкрест простирания структур. Криволинейность профиля учитывается простыми приемами.

Расстояние между пунктами взрывов в зависимости от глубинности и детальности разведки изменялось от 30 до 150 *км*. Обычно проводилось непрерывное профилирование при расстоянии между приборами от 50 до 100 *м*.

В процессе работ хорошо себя зарекомендовали серийные сейсмические станции типов СС-26-51Д и СС-24П, модернизированные по схемам, разработанным в 1960—1961 гг.: полоса пропускания сдвинута в сторону низких частот (около 5—15 *гц*), повышен коэффициент усиления и введена автоматическая регулировка усиления (АРУ) на низких частотах. Эти усовершенствования производятся с минимальными изменениями стандартного монтажа и могут легко выполняться любой партией.

Благодаря применению АРУ, а также использованию двойного стандартного смесителя, даже при одиночных сейсмоприемниках, стало возможным выделение регулярных глубинных отраженных волн в непосредственной близости от ПВ. На расстоянии до 30 *км* от ПВ при каждой расстановке приборов регистрировалось два взрыва: один небольшой — для прослеживания волн в области первых вступлений, второй (до 100—150 *кг*) — для получения глубинных отражений (с применением АРУ и смешения). При расстоянии свыше 30—40 *км* достаточно одной записи взрыва 100—300 *кг* для выделения всех групп волн, включая и те, которые связаны с поверхностью Мохоровичича (*М*).

Методика более детальных сейсморазведочных исследований верхней части геологического разреза рассчитывалась на прослеживание многочисленных крутопадающих, но непротяженных отражающих площадок и коренным образом отличалась от региональных исследований.

При протяженных продольных профилях с небольшим числом пунктов взрыва удается выделить небольшое количество отражений даже в тех случаях, когда геологический разрез представлен хорошо дифференцированной по скорости толщей, например печенгской эффузивно-осадочной серией. При крутых углах падения любая из позиций пункт взрыва—приемная установка имеет весьма ограниченные возможности в освещении разреза. Каждая из таких баз изучает не только ограниченную часть разреза, но и избирательно выделяет различно ориентированные отражающие площадки, соответствующие геологическим границам. С увеличением углов падения геологических границ уменьшаются участки разреза, доступные изучению.

Примененная в 1960—1961 гг. в опытном порядке усовершенствованная методика массовых пространственных сейсмозондирований [4] устраняет многие из этих недостатков, используя большое количество различно ориентированных позиций пункт взрыва—приемная установка. При пространственных сейсмозондированиях наблюдения выполнялись на двух, реже на трех пересекающихся коротких направлениях.

Как правило, пункты взрыва располагались в пониженных заболоченных участках, а приборы — на участках со спокойным рельефом дневной поверхности и с однообразными поверхностными условиями. Регистрация упругих колебаний проводилась на средних частотах при накладных зарядах в несколько десятков килограммов с применением смешения и АРУ.

Первые азимутальные наблюдения и вычисления эффективной скорости указывают на то, что многие из выделенных отражений могут быть отнесены к поперечным волнам. Об этом же свидетельствует отмеченная ранее большая интенсивность поперечных волн при взрывах на кристаллических породах.

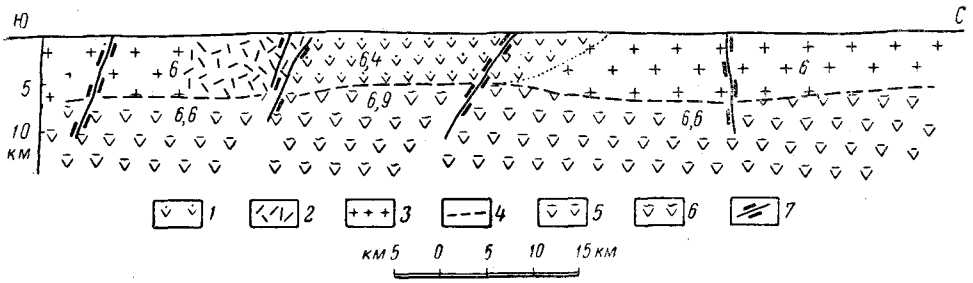
В процессе работ установлены неизвестные ранее помехи, источники которых создаются воздействием звуковой волны на склоны возвышенностей рельефа дневной поверхности.

Для отделения полезных отраженных волн от помех использованы некоторые дополнительные критерии: отрицательная кажущаяся скорость, свидетельствующая о крутых углах падения отражающих площадок, независимость от изменения времени прихода звуковой волны и др.

Опытные работы показали, что при массовых пространственных сейсмозондированиях может быть выяснен скоростной разрез даже при коротких годографах отраженных волн. При обработке вычислены элементы пространственного залегания отражающих площадок: азимуты линий падения и простирания, глубина, истинный угол падения и проекция точки отражения на дневную поверхность.

Новые геологические данные о глубинном строении Балтийского щита получены в результате работ ГСЗ в северной Карелии [2, 3] и Печенгском районе. Вопреки выводам Х. Е. Тейтла и М. А. Тьюва [6] в Северной Карелии была доказана слоистость земной коры докембрийского щита. Особенно четко выделяются поверхности М и базальта [1]. Кроме того, в разрезе земной коры намечаются менее резкие другие сейсмические границы. В области самого позднего проявления магматизма (Восточно-Карельский синклинорий) отмечено поднятие базальтового слоя и поверхности М, а также большое развитие на глубину эффузивов и интрузий основного состава, развитых в этой зоне.

Наряду со слоистостью в земной коре намечены вертикальные зоны нарушений, захватывающие всю ее толщу. Наиболее крупная из них развита на стыке беломорид и карелид и проявляется в нарушенном



Предварительный схематический глубинный разрез через Печенгский район (составлен И. В. Литвиненко, К. А. Некрасовой, Л. Н. Платоненковой):

1 — печенгская эффузивно-осадочная серия; *2* — тундровая серия; *3* — гнейсы и граниты (архей); *4* — осредненное положение опорной сейсмической границы — поверхности базальта и значения скорости упругих колебаний для нее (*км/сек*); *5* — базальтовый слой; *6* — базальтовый слой более основного состава; *7* — предполагаемые зоны глубинных разломов с интрузиями основных и ультраосновных пород

залегании глубинных сейсмических границ раздела и в изменениях характеристик приповерхностной части разреза. Другие гипотетические зоны глубинных разломов, расположенные также на стыках различных структурно-фациальных зон, характеризуются проявлением магматической деятельности.

При дальнейших работах в Печенгском районе (1960—1961 гг.), как и в Карелии, убедительно установлена слоистость земной коры по упругим свойствам: в разрезе снова выделена четкая граница изменения упругих свойств (см. рисунок).

В целом для всего Балтийского щита разрез земной коры заметно отличается от других районов Русской платформы. При одинаковой примерно общей толщине коры (около 35—40 *км*) мощность слоя, характеризуемого скоростью свыше 6,6 *км/сек* (базальт), в Северной Карелии, особенно в Печенгском районе, увеличена, а гранитного — уменьшена. Балтийский щит в настоящее время представляет своеобразный базальтовый купол. Раздув его мощности, как и длительное поднятие щита, — следствие общих внутренних процессов развития верхней мантии. Малая мощность гранитного слоя, в свою очередь, указывает на продолжительность восходящих движений на щите, сопровождавшихся значительной эрозией.

Северо-запад Кольского полуострова, пересекаемый региональным сейсмическим профилем, в геологическом отношении изучен достаточно детально. Однако сложное строение и затруднения с корреляцией немых кристаллических докембрийских толщ обусловили разноречивость мнений о глубинном строении печенгской серии и прилегающих к ней структур. Печенгская серия представлена эффузивно-осадочной толщей,

[1] Здесь и далее для краткости используются широко распространенные понятия *базальт* и *гранит*, хотя они неточно отражают сложность строения земной коры.

в которой основную роль играют диабазы четырех покровов, разделенные маломощными сланцевыми толщами. Большинство исследователей представляет печенгскую структуру как крупный синклинорий, развитый на нижнеархейском фундаменте, который обнажается к северу (свита кольских гнейсов) и югу от нее. Достаточно хорошо подтверждено фактическими данными лишь северное крыло этой структуры. В области южного плохо изученного контакта предполагается крупный разлом. Внедрение гипербазитовых оруденелых интрузий в области северной филлитовой полосы связывается с зоной тектонических нарушений.

Тот факт, что в Печенгском районе, особенно под печенгской серией, опорная сейсмическая граница (поверхность базальта) залегает на глубинах всего лишь 5—7 *км*, заставляет по-новому подойти к изучению ее структуры. При этом, как всегда, возникает вопрос о геологическом истолковании сейсмических границ раздела земной коры. Он имеет решающее значение для оценки результатов ГСЗ не только в данном случае.

В условиях дневной поверхности наиболее высокие значения скорости упругих колебаний присущи ультраосновным породам (до 6,5—7,2 *км/сек*); для основных пород характерна скорость 6—6,5 *км/сек* и для кислых изверженных пород и гнейсов — 5,2—5,6 *км/сек*. Эти данные, как и определение вертикального градиента скорости, полученные попутно с ГСЗ при параметрических замерах, хорошо подтверждаются и объясняются результатами лабораторного изучения упругих свойств на образцах [7, 8]. Скорость распространения упругих колебаний зависит от выветрелости и измененности образца, степени метаморфизма и пористости породы, ее структуры, температуры и особенно давления.

По этим данным можно предполагать, что на глубине залегания опорной сейсмической границы в Печенгском районе скорость распространения упругих колебаний в гранитах увеличится до 6,2—6,3 *км/сек*, в изверженных породах среднего состава (кварцевых диоритах и др.) — до 6,5—6,6 *км/сек*, в породах основного состава (габбро и др.) — до 6,9 *км/сек* и в ультраосновных породах — до 7,7 *км/сек*. Обширный класс метаморфических горных пород характеризуется разнообразными значениями скорости. Породы, близкие по химическому составу к изверженным основного состава, могут иметь на этой глубине также довольно большую скорость распространения упругих колебаний.

Связанные с опорной границей волны весьма интенсивны, они доминируют над остальными и свидетельствуют об определенной резкости границы. Значения граничной скорости для нее под нижнеархейскими комплексами пород около 6,6 *км/сек* можно увязать с изверженными породами среднего состава (см. рисунок). Возможно, здесь имеются и сильно метаморфизованные породы, но по химическому составу они должны быть близки к основным. Во всяком случае поверхность базальтового слоя на этих участках должна соответствовать заметному увеличению роли темных минералов в составе горных пород.

Как видно из рисунка, в районе развития печенгской серии намечается увеличение скорости по опорной сейсмической границе с 6,6 до 6,8—6,9 *км/сек* (возможно и больше), что можно объяснить внедрением изверженных пород основного состава типа габбро. Вероятно, базальтовый слой не однороден и состав его изменяется по площади. Печенгская серия должна быть связана с разломом, по которому и произошли массовые внедрения основной магмы не только на дневную поверхность, но и по всему разрезу коры. Очаги последней, как и сама зона глубинного разлома, имеют глубокое заложение. В процессе развития разлома произошло не только изменение гранитного, но и базальтового слоев. Под печенгской серией он стал более «основным».

Неглубокое залегание поверхности базальта, фиксируемое опорной сейсмической границей, значительная видимая мощность печенгской

серии и некоторые другие данные приводят к предположению о том, что под областью развития наиболее поздних неизмененных диабазов отсутствует обычный нижнеархейский фундамент. Граниты и гнейсы фундамента в процессе развития печенгского разлома должны были подвергнуться сильному метаморфизму, и если они сохранились, то только в виде подчиненных реликтов. В пределах самой печенгской серии с углублением должна увеличиваться основность пород вплоть до габбро или оливиновых габбро на глубине, соответствующей поверхности базальта. Изображенная на разрезе (см. рисунок) поверхность базальта из-за неточности графических построений сглажена.

Свита кольских гнейсов, а также другие обнажающиеся комплексы архейского возраста, близкие по составу к гранитам, к северу и югу от печенгской серии распространены на сравнительно небольшую глубину (не более 7—9 *км*).

Несмотря на то, что печенгская серия теснейшим образом связана с базальтом и, возможно, является своеобразным обнажением этого слоя или гибридных пород, возникших в результате взаимодействия основной магмы с вмещающими породами, по ее составу нельзя судить о всем многообразии базальта. Возможно, такое обнажение базальта на Балтийском щите не единично.

Вдоль профиля в Печенгском районе, как и в Карелии, устанавливаются зоны нарушений корреляции волн. Имеются области сильного затухания записи, характерные для всех волн, и зоны нарушения корреляции лишь для некоторых. На отдельных участках вырисовываются годографы более сложного вида, которые следует связывать с крутонаклоненными контактами. Отмечается широкая область нарушений около южного контакта диабазов. Она достигает, по крайней мере, поверхности базальта и протягивается, вероятно, еще глубже. В ней отмечаются мелкие интрузии основных пород. Другая зона нарушений связана с проявлением интрузий основного и ультраосновного состава в продуктивной филлитовой полосе. Зоны разломов намечаются и к северу от печенгской серии, где по геологической карте также отмечены подобные интрузии. Однако сейсмические материалы здесь невысокого качества, поэтому не могут однозначно интерпретироваться.

Необходимо усовершенствовать методику исследований, чтобы выяснить различие в строении зон нарушений, которое приводит в одних случаях к появлению поясов оруденелых, а в других — безрудных интрузий. Целесообразно зону выявленного сложного строения в области южного контакта диабазов четвертого покрова изучить более детально не только глубинными исследованиями, но и поисковыми работами.

Неглубокое залегание базальта очень слабо проявляется в характеристике магнитного поля. Одной из причин этого является слабая магнитность диабазов четвертого покрова и, возможно, других пород, слагающих печенгскую серию и базальтовый слой. Кроме того, известно, что магнитное поле ΔT или ΔZ над горизонтально протяженными объектами имеет вообще мало выразительные аномалии. Гравитационные данные не противоречат выводу о том, что ниже 5—6 *км* имеется более однородная среда — базальтовый слой.

Малая мощность гранитного слоя и отсутствие осадочного платформенного чехла создает на Балтийском щите исключительно благоприятные условия для детального изучения базальта. При обсуждении вопроса о сверхглубоком бурении [1], когда были известны лишь результаты глубинных сейсмических исследований в северной Карелии [2, 3, 5], одна из первоочередных сверхглубоких скважин была намечена именно там. В результате работ в Печенгском районе отмечена еще меньшая глубина до базальта и более благоприятные условия для его изучения. Подобный сейсмогеологический разрез коры до сих пор был неизвестен. Лишь

в 1961 г. такое же неглубокое залегание сейсмической границы со скоростью около 6,7—7 *км/сек* отмечено в Исландии [9].

Постановка бурения в Печенгском районе на глубину до 6—8 *км* — проблема, которая может быть решена, вероятно, в ближайшие годы, тогда как бурение в других районах, даже в Карелии, до базальта должно проводиться значительно глубже — до 12—15 *км*. С целью более точного выбора места заложения глубокой скважины на Балтийском щите необходимо продолжить глубинные сейсмические и другие геофизические исследования.

Некоторые рекомендации для региональных сейсмических работ на Балтийском щите. Глубинные структуры, выявленные сейсмическим методом, можно сопоставить с детальными геологическими и геофизическими данными о строении верхней части гранитного слоя, который выходит на дневную поверхность. Такое сопоставление позволяет, с одной стороны, поставить перед глубинными исследованиями новые практические задачи, а с другой — получить сведения для решения принципиальных вопросов применения ГСЗ — выяснения природы сейсмических границ раздела земной коры, в частности базальтового слоя.

Особенно важно детальное изучение структур верхней части разреза до поверхности базальта включительно, который является своего рода фундаментом для обнажающихся складчатых структур гранитного слоя. Практическая значимость такой задачи очевидна. Попутно с более детальным изучением верхней части разреза земной коры при небольших дополнительных затратах схематично должны изучаться и более глубокие части разреза вплоть до поверхности М.

В зависимости от задач могут применяться более детальные схемы наблюдений в виде непрерывного профилирования при нескольких ПВ до получения корреляционно увязанных комбинированных систем годографов и менее детальные — в виде пунктирного профилирования. Для прослеживания поверхности М можно проводить наблюдения даже по неполным системам. На участках зон разломов и характерных крутопадающих контактов должны быть получены нагоняющие годографы. На таких участках для выделения обменных волн обычные записи при вертикальных сейсмоприемниках целесообразно дополнять записями при горизонтальных.

Работами в Печенгском районе доказана эффективность применения комбинированных наблюдений для выделения отраженных и головных волн. Выделение отраженных волн при глубинном сейсмозондировании в непосредственной близости от ПВ — важное усовершенствование в методике работ. Для дальнейшего широкого применения метода отраженных волн необходимо внедрить рациональные системы группирования с целью подавления низкочастотных поперечных волн с малой скоростью. Группирование необходимо на больших базах. Это затруднит регистрацию преломленных волн. Для выделения их группирование должно быть рассчитано главным образом на повышение эффективной чувствительности каналов (за счет статистического эффекта). Применение различных систем группирования для выделения отраженных и головных волн замедляет работы. Этот недостаток, вероятно, удастся устранить, используя приставки для комбинированного группирования, а также сейсмостанции с промежуточной магнитной записью на расстояниях от 0 до 40—50 *км*. На удалении от ПВ свыше 40—50 *км* отраженные волны обычно выделяются существующей стандартной аппаратурой, модернизированной для регистрации низких частот.

Вблизи ПВ, помимо группирования, крайне важно для выделения отраженных волн усовершенствовать схему автоматического регули-

рования усиления. Необходимо продолжить работы по уточнению оптимальной частотной фильтрации с помощью аппаратуры с промежуточной магнитной записью.

Расстояние между группами сейсмоприемников может быть увеличено до 100—150 *м*. Применение спаренных сейсмостанций существенно повышает их экономическую эффективность. Расстояния между ПВ определяются расположением замкнутых водоемов, где могут производиться взрывы. Взрывной интервал для головных волн от базальта должен быть не более 40—60 *км*, а для отраженных — еще меньше.

Одновременно с наблюдениями волн из удаленных ПВ необходимо в пределах каждой расстановки сейсмоприемников производить небольшие взрывы с целью параметрических определений скорости вблизи дневной поверхности.

При интерпретации сейсмограмм глубинных исследований надо учитывать изменение скорости по вертикали и горизонтали с помощью лучевых диаграмм. Основные построения при интерпретации должны выполняться наиболее точными приемами способа полей времен. Главные осложнения при обработке вызваны большим количеством интерферирующих волн с близкими значениями кажущейся скорости. Обычно регистрируются не простые волны, а сложные группы волн. Последние вызваны не только ранее отмеченными причинами [2], но главным образом наличием большого количества вертикальных контактов в верхней части разреза, осложняющих запись.

Изучение крутопадающих контактов и зон нарушений — вопрос мало разработанный. В литературе имеются теоретические расчеты и примеры экспериментальных годографов для отдельных погребенных контактов и выклинивающихся слоев. Эти данные обычно отмечают лишь положение крутопадающего контакта, но не дают возможности проследить его на глубину.

Изучение крутопадающих контактов и зон нарушений в условиях щита встречается с дополнительными трудностями. Одним из главных препятствий является сравнительно слабая дифференциация кристаллических горных пород по скорости.

В результате сопоставления годографов и сейсмограмм с геологической картой, а также по итогам опытных работ и некоторым теоретическим расчетам определились следующие пути для решения этой сложной задачи:

1. Методом отраженных волн на небольших базах в сотни метров могут прослеживаться участки крутопадающих контактов на средних и, вероятно, более высоких частотах. Наличие вертикального градиента скорости увеличивает возможности метода.

Характерная особенность годографов отраженных волн — отрицательная скорость на большом протяжении и смыкание с первыми вступлениями прямой или проходящей волны. Выделить такие отражения вблизи первых вступлений можно лишь с помощью высокочастотной аппаратуры с применением регулируемого направленного приема (РНП).

Работы методом отраженных волн должны развиваться не только на основе продольных, но и поперечных волн. Последние имеют ряд преимуществ. Направленное воздействие для их возбуждения повысит эффективность их использования.

Опытные работы на разных частотах могут дать дополнительные сведения о природе прослеживаемых границ. В зависимости от гладкости и резкости крутопадающая граница, вероятно, по-разному проявится на разных частотах.

2. При региональных работах крутопадающие контакты могут быть выделены на основании большого количества более сложных по

природе волн. При этом методе, который можно назвать методом удаленных взрывов, рефрагированные, глубинные отраженные и головные волны испытывают искажения на контакте. Перед контактом появляются боковые отраженные и преломленно-отраженные волны, которые могут иметь отрицательные значения кажущейся скорости. После прохождения контакта появляются сложные пересекающиеся годографы головных волн. Для них наблюдаются протяженные участки, где могут быть две ветви годографов от одной и той же границы, а рядом — перерывы в корреляции, заполняемые слабыми дифрагированными волнами. Проходящие за контакт отраженные волны по предварительным расчетам претерпевают меньшие искажения.

По одиночному годографу выделить все эти волны трудно, однако при встречных и нагоняющих годографах эта задача становится реально выполнимой для наиболее типичных контактов. Положение контакта на глубине можно определить детальным построением полей времен для различных волн, связанных с ним.

3. На крутопадающих границах при взрывах могут происходить явления обмена, обусловливающие появление обменных волн. Для них характерны ветвящиеся в области первых вступлений годографы, среди которых появляются волны с малой кажущейся скоростью, типичной для поперечных волн. Для выделения таких волн необходимо вести одновременную регистрацию не только на вертикальных, но и на горизонтальных приборах.

4. Положение крутопадающих контактов с угловыми точками, как показывает опыт использования РНП в других районах, можно определять построением дифрагирующих точек, если наблюдаются достаточно интенсивные связанные с ними волны.

5. Исследование крутых контактов может быть опробовано также на проходящих волнах с использованием глубоких взрывов в скважинах. Примеры подобных работ известны из практики нефтяной сейсморазведки.

6. На дневной поверхности контакты обычно определяются по изменению кажущейся скорости, а также скорости по разностному годографу. Зоны дробления выделяются как участки повышенного затухания упругих колебаний и отсутствия регулярных волн, а также общим усложнением записи.

Помимо региональных глубинных задач в результате работ в Печенгском районе определились новые возможности сейсмического метода для более детального изучения структуры печенгской формации и, вероятно, подобных эффузивно-осадочных толщ на глубинах до 2—4 *км*.

Применяя метод отраженных волн в виде массовых пространственных сейсмозондирований, можно прослеживать отраженные волны, связанные с отдельными участками крутопадающих контактов, тектонических нарушений, плоскостями отдельностей и др. При большом количестве таких отражений могут быть установлены преобладающие углы наклона эффузивно-осадочных толщ и ряд деталей слагаемых ими структур. При дальнейших исследованиях надо резко увеличить точность получаемых разрезов, выделяя большее число отражающих площадок. Этого можно достигнуть, применяя аппаратуру РНП. С помощью сейсмостанции с магнитной записью необходимо продолжить уточнение оптимальных условий возбуждения и регистрации, а также выяснение природы регистрируемых волн. Детальность изучения разреза повышается с увеличением числа пунктов взрыва и регистрации.

Более надежные данные, избавленные в значительной степени от влияния избирательного освещения разреза будут получены на площадях, равномерно покрытых зондированиями с большим числом ПВ.

При этом крайне желательно все зондирования увязать с ПВ так, чтобы они создали систему пар взаимных точек. Последние позволяют не только контролировать достоверность каждого из выделенных отражающих элементов, но и решать весьма важный для точности построений вопрос о средней скорости.

Массовые пространственные сейсмозондирования даже со стандартной серийной аппаратурой интересно продолжить в различных структурных условиях не только печенгской серии, но и других комплексов пород.

Определение мощности морены имеет самостоятельное значение и, как показывает опыт работ, может успешно решаться сейсморазведкой методом преломленных волн. Часто вместо взрывов удается использовать возбуждение ударом. Ближайшей задачей является внедрение сейсморазведки в производство. Для этого необходимо, во-первых, создать портативную аппаратуру, с которой можно было бы работать в любых поверхностных условиях и, во-вторых, разработать наиболее простые, но достаточно эффективные способы наблюдений и интерпретации. Наряду с внедрением в производство метода преломленных волн, необходимо разработать аппаратуру и методику для определения мощности морены более сложным, но и более точным методом отраженных волн на высоких частотах (возможно, вплоть до ультразвука).

Приведенные сведения о применении сейсморазведки в условиях Балтийского щита указывают на перспективность дальнейшего внедрения в аналогичных геологических условиях этого метода для решения не только региональных, но и более детальных структурных задач. Продолжающиеся здесь сейсмические исследования позволят уточнить и развить полученные выводы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляевский Н. А., Федынский В. В. Изучение глубинных недр Земли и задачи сверхглубокого бурения. Сов. геология, 1961, № 12.
2. Глубинное сейсмическое зондирование земной коры в СССР. Гостоптехиздат, 1962.
3. Грачев Ю. Н., Дехнич М. Я., Литвиненко И. В. и др. Глубинные геофизические исследования на территории Балтийского щита. Геологические результаты прикладной геохимии и геофизики. Докл. советских геологов. Междунар. геол. конгр. XXI сессия. Госгеолтехиздат, 1960.
4. Завьялов В. Д. Сейсморазведочные работы методикой массовых пространственных зондирований. Прикладная геофизика, вып. 17, 1957.
5. Литвиненко И. В., Дехнич М. Я., Некрасова К. А. Глубинное сейсмическое зондирование на территории Балтийского щита. «Сейсмические исследования» XII раздел программы МГГ (Сейсмология, № 4), Изд-во АН СССР, 1960.
6. Полдерварт А. (ред.). Сб. «Земная кора». Изд-во иностр. лит., 1957.
7. Birch F. Contrib. Geophys. London —New-Jork —Los Angeles. Pergamon press, 1958.
8. Birch F. I. Geophys. Res., 1960, № 4; 1961, № 7.
9. Markus Bath. I. Geophys. Res., 1960, № 6.