Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. LXIX, вып. 2, 1976 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОТРАЖАЮЩИХ ГРАНИЦ В ОКОЛОСКВАЖИННОМ ПРОСТРАНСТВЕ ПО ДАННЫМ ВЕРТИКАЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ

Ю.Г.ШОПИН, Е.Р.ЛИТВИНЕНКО

Начиная с 1970 г. при проведении детальных сейсмических работ в Печенгском районе Кольского полуострова успешно применяют комбинированные системы наземных и скважинных наблюдений методами отраженных волн (МОВ) и вертикального сейсмического профилирования (ВСП). Эти системы приобретают особое значение при изучении сложных разрезов, характерных для всего Балтийского щита. Наземные сейсморазведочные исследования методом отраженных волн в Печенгском районе начали развиваться с 1960 г., скважинные – с 1967 г.

Вопросы методики и результаты скважинных и наземных сейсморазведочных работ в Печенгском районе публиковались ранее [1-6, 10 и др.]. В данной статье рассмотрены некоторые особенности применения ВСП при изучении одного из участков филлитовой толщи, содержащей никеленосные ультраосновные массивы.

Осадочная филлитовая толща мощностью до 1 км, как известно [7], подстилается и перекрывается покровами диабазов. Для нее характерно частое чередование слоев мощностью десятки и первые сотни метров различного литологического состава с крутыми углами падения, интенсивным проявлением магматизма и большим количеством тектонических нарушений. С разрывными нарушениями межпластового характера в продуктивной филлитовой толще связано формирование пояса интрузивных тел основного и ультраосновного состава (перидотиты, пироксениты, габбро).

Исследуемые породы имеют высокую скорость продольных волн. Относительно пониженными скоростями (5,5-5,7 км/с) обладают филлиты, иногда с маломощными пропластками диабазов или габбро-диабазов, а также тектони-

зированные зоны. Более высокими скоростями (до 6,8 км/с) характеризуются интрузии основного и ультраосновного состава.

Отношение значений скорости продольных волн на границе раздела вулканогенно-осадочных пород достигает 0,90-0,95, и лишь для контактов некоторых массивов основных и ультраосновных пород, залегающих в осадочных породах, равно 0,80-0,85.

Для рассматриваемых пород, имеющих согласное падение в южном направлении с углами наклона 45°, волновые поля, наблюдаемые на дневной поверхности и в скважинах, весьма сходны. Вместе с тем имеются различия в записи полезных волн, волн-помех и слабых волн, не доходящих до дневной поверхности.

Волновое поле ВСП избавлено от сильных влияний фильтрующих свойств приповерхностной части разреза и, в частности, зоны малых скоростей - отложений морены. На сейсмограммах ВСП (рис.1) практически отсутствует группа поверхностных волн, мешающих выделению полезного сигнала на небольших расстояниях от источника. Влияние этой группы, как правило, ска-

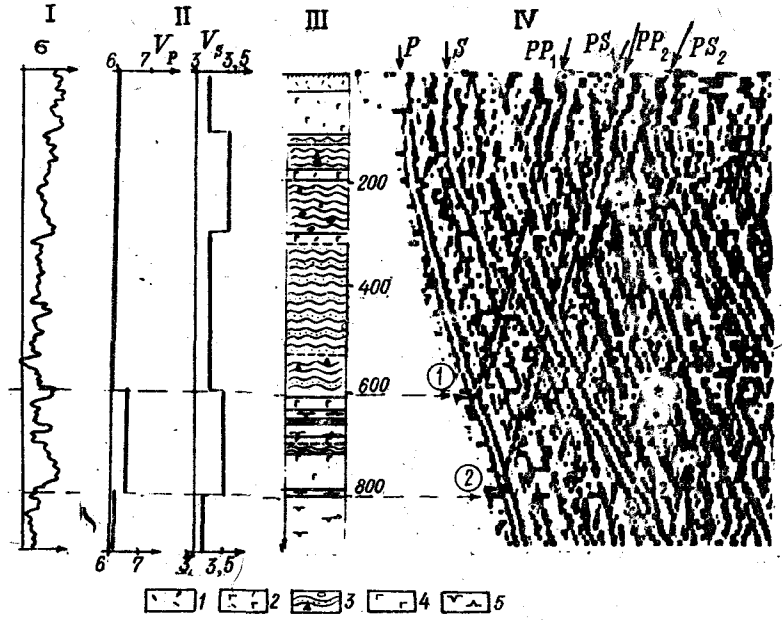


Рис.1. Скоростной разрез и волновое поле, полученное при проведении вертикального сейсмического профилирования в скважине 1 Печенгского рудного поля (на записи ВСП отмечены годографы продольной P и поперечной S волн, а также продольные PP_1, PP_2 и обменные PS_1, PS_2 волны, отраженные от контактов никеленосных массивов

I - график плотностного каротажа (ГГК-п); II - пластовая скорость продольных и поперечных волн; III - геологический разрез скважины; IУ - сейсмическая запись ВСП; 1 - диабазы; 2 - габбро-диабазы; 3 - осадочные породы; 4 - габбро; 5 - перидотиты

зывается лишь до глубин, равных первым десяткам метров. Основными помехами являются поперечная волна S и волны-спутники, которые образуются при отражении волн от дневной поверхности или от поверхности коренных пород, перекрытых моренными отложениями. Наличием этих довольно интенсивных групп волн в области, близкой к первым вступлениям записи ВСП, осложняет выделение и прослеживание полезных волн.

В некоторых случаях зарегистрированы „жидкостные" волны, которые распространяются по столбу жидкости в скважине. На сейсмограммах они проявляются в виде интенсивной многофазной группы с низкой кажущейся скоростью 1,3-1,7 км/с положительного и отрицательного знака. Такого рода колебания возбуждаются прямыми волнами и распространяются по стволу скважины от вторичных источников, нередко связанных с кавернозными участками скважины, которые обычно соответствуют зонам тектонических нарушений. Образование рассматриваемых вторичных колебаний может служить одним из косвенных признаков обнаружения таких зон.

Для уменьшения влияния помех и лучшего выделения полезных сигналов применяют аналоговые системы (оптическую фильтрацию, способы суммирования и вычитания). При этом удается существенно улучшить первичные записи волн при ВСП.

В пределах продуктивной толщи Печенгского района, по данным ВСП, в скважинах глубиной 1,2-2,0 км зарегистрирован ряд отраженных волн, которые связываются с контактами пород и зонами тектонических нарушений. Их основными кинематическими особенностями являются почти прямолинейный характер осей синфазности, большой диапазон изменения и относительно высокие значения кажущейся скорости V^*. В отдельных случаях эти отражения удается проследить от первых вступлений записи до дневной поверхности. Разрывы в прослеживании волн обуславливаются чаще всего интерференцией с большим количеством регулярных волн.

На сейсмограммах ВСП выделяются продольные PP и обменные PS отраженные волны. Кажущиеся скорости их изменяются в широком диапазоне значений и зависят от взаимного расположения источников и сейсмогеологического строения среды. Для источников, расположенных у устья изучаемой скважины, с увеличением угла наклона границы увеличивается V^* годографа отраженной волны и при наклоне границы 45^0, вблизи примыкания к прямой волне, годограф отраженной волны имеет бесконечно большое значение V^*; при увеличении углов наклона более 45^0 отраженные волны имеют не только отрицательные, но и положительные значения кажущейся скорости. Положение источника возбуждения относительно изучаемой скважины также существенно влияет на величину кажущейся скорости.

Существенное различие в кинематике монотипных и обменных отраженных волн наблюдается лишь при небольших углах наклона границ и значительном смещении источника по падению, обуславливающих получение асимптотических частей годографов. При крутом залегании границ и расположении источника по восстанию границ различие уменьшается, поскольку в этом случае наблюдаются только центральные части гипербол, имеющие бесконечно большие V^*. Таким образом, определение типа волн по одним кинематическим признакам

затруднительно, необходимо привлекать дополнительные данные, в первую очередь, динамические характеристики волн.

Вследствие избирательного прослеживания отраженными волнами в разрезе различно ориентированных отражающих элементов, при скважинных наблюдениях лучше выделяются крутые (вплоть до вертикальных) границы, а при наземных – пологие. Однако при непродольных наблюдениях ВСП с большим удалением пункта взрыва от скважины (1–2 км) удается получать отражения и от протяженных участков пологих границ. Отраженные монотипные и обменные волны от крутых границ при ВСП, как уже отмечалось, характеризуются в целом высокими значениями V^*, что позволяет прослеживать их на фоне других регулярных и нерегулярных волн.

Важным результатом исследований ВСП в условиях не только Печенгского, но и других рудных районов, является возможность существенно дополнять сейсмические разрезы построением крутых границ, которые не могут быть прослежены при наземных наблюдениях, но весьма характерны для таких районов. Построение отражающих границ по данным ВСП в платформенных регионах, сложенных горизонтально-слоистыми осадочными толщами, представляет значительно меньший практический интерес, поскольку мало дополняет данные наземных наблюдений МОВ. Вопросы методики построения полого-падающих отражающих границ по данным ВСП рассмотрены Г.Е.Руденко и Л.Л.Худзинским [8, 9].

В общем случае, когда имеются сложные разрезы с различно ориентированными в пространстве отражающими элементами, однозначное определение их положения по данным только одного годографа ВСП невозможно. Выполнение этой задачи требует громоздких решений с использованием годографов ВСП из нескольких пунктов взрывов или комбинированных годографов скважинных и наземных наблюдений.

Несравнимо проще определить положение границы, если пункт взрыва и скважина ВСП расположены на одном профиле, направленном строго по падению изучаемой плоской отражающей границы. Но и в этом случае для одного годографа отраженной волны ВСП существует два решения. Отдать предпочтение одному из них нельзя без привлечения другого вертикального или горизонтального годографа или иных имеющихся данных. Способы построения отражающих границ при скважинных и наземных наблюдениях для более простого случая (сейсмические границы имеют общее простирание, а линия скважина–пункт взрыва совпадает с линией падения) одинаковы. Более универсальным и точным является общеизвестный способ полей времени. Однако применение его нередко ограничивается малой длиной непрерывных годографов отраженных волн при ВСП. В сложных волновых полях ВСП из-за обилия различных интерферирующих волн обычно удается прослеживать лишь кусочно-непрерывные годографы. Как правило, корреляция отраженных волн при ВСП нарушается в верхних частях разрывов и в области их подхода к первым "прямым" волнам.

Для уточнения положения в разрезе отражающей границы очень важно найти точку отхода отраженного луча от первых вступлений. Для этого следует учитывать динамические особенности записи первых волн: изменение амплитуды, появление вторичных экстремумов и др. В ряде случаев положение отражающего горизонта по скважине удается определить с точностью ± 20 м.

По данным обработки материалов ВСП в Печенгском районе в последние годы систематически строят отражающие границы, которые хорошо согласуются с известными геологическими разрезами в пределах глубин, вскрытых бурением. Большинство отражающих элементов относятся к контактам пород, на которых происходит резкий перепад значений упругих параметров. Важным результатом исследований ВСП, представляющим большой интерес, является получение почти вертикальных границ, которые обычно соответствуют зонам тектонических нарушений, секущим моноклинальную структуру продуктивной филлитовой толщи. В практике поисково-разведочного бурения из-за наличия таких нарушений не всегда удается сопоставить разрезы скважины даже на небольшом удалении друг от друга. Так, например, при бурении скважин 1 и 2, расположенных на расстоянии 200 м, возникли затруднения с корреляцией их разрезов (рис.2). В результате работ ВСП в скважине 1 зафиксированы вертикальные границы, с которыми связано образование устойчивых отраженных волн. Если считать, что эти волны связаны с зоной нарушений, то становится понятной резкая разница разрезов скважин 1 и 2. По-видимому, данное нарушение представляет собой ступенчатый сброс, что подтверждается резким изменением в этой области углов наклона отражающих площадок.

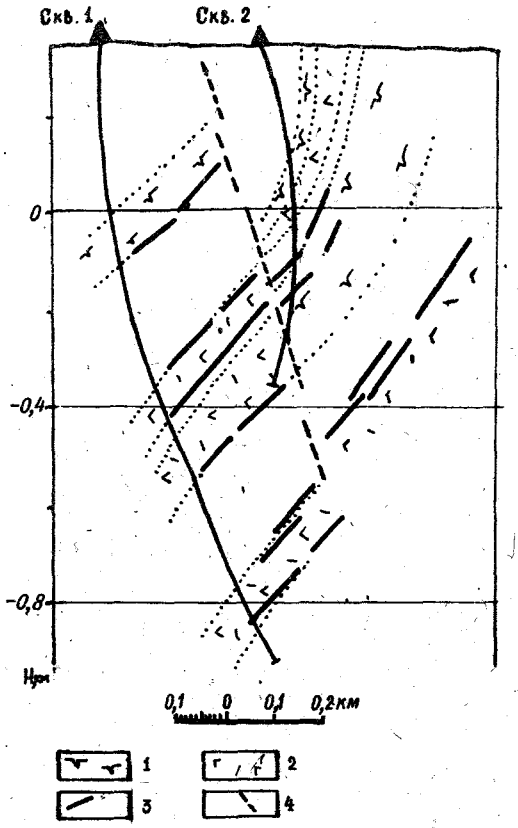


Рис.2. Прослеживание отражающих границ по данным ВСП в скважине 1
1 – перидотиты; 2 – габбро-диабазы; 3 – отражающие площадки, соответствующие контактам пород; 4 – отражающие площадки, соответствующие зонам тектонических нарушений

Приведенный пример показывает важность продолжения исследований ВСП в сочетании с наземными наблюдениями МОВ для детального изучения структур рудного поля не только Печенги, но и других подобных районов. Особенно важное значение имеет ВСП при изучении в сложнопостроенных рудных районах крутых элементов разреза, которые обычно не могут быть зафиксированы при наземных наблюдениях. Вследствие различной избирательности систем МОВ и ВСП при их комбинировании можно получить более полную информацию о границах сложной формы с крутыми и пологими углами

наклона в широком диапазоне глубин. Достигнутое расширение „поискового радиуса" скважин за счет освещения более глубоких частей разреза по данным ВСП позволяет решать важные структурные задачи не только при поисках, но и при разведке рудных месторождений.

Литература

1. Лизинский М.Д. Особенности методики и некоторые результаты сейсмокаротажа в Печенгском районе. В кн.: „Новые исследования в геологии", вып. 1, ЛГИ, 1969.

2. Лизинский М.Д. О вертикальном сейсмическом профилировании (ВСП) в Печенгском рудном районе. Матер. 1-й научной конференции аспирантов-геологов. ВСЕГЕИ, 1970.

3. Лизинский М.Д. Годографы отраженных волн от крутых границ при сейсмических наблюдениях в наклонных скважинах. Зап. ЛГИ, т. LXI, вып. 2, 1971.

4. Литвиненко И.В., Ленина И.С. Некоторые результаты изучения сейсморазведкой глубинного строения Печенгской структуры. В кн.: „Геология и глубинное строение восточной части Балтийского щита". Л., „Недра", 1968.

5. Методика изучения сейсморазведкой МОВ докембрийских структур Печенгско-Аллареченского никеленосного района. В кн.: „Разведочная геофизика", вып.64, М., „Недра", 1974. Авт.: Л.К.Кокорина, И.В.Литвиненко, М.Д.Лизинский, М.Е.Меламуд.

6. Меламуд М.Е., Потапов О.А. Опыт применения оптического фильтра для анализа материалов рудной сейсморазведки в Печенгском районе. В кн.: „Разведочная геофизика", вып. 58. М., „Недра", 1973.

7. Поляк Э.А. Геологическое строение Печенгской структурной зоны. В кн.: Геология и глубинное строение восточной части Балтийского щита". Л., „Наука", 1968.

8. Руденко Г.Е. О построении отражающих границ по данным непродольного вертикального профилирования. В кн.: „Развитие методики скважинных акустических наблюдений", ОНТИ ВНИИЯГГ, 1971.

9. Руденко Г.Е., Худзинский Л.Л. О возможностях и путях использования непродольного вертикального профилирования для решения структурных задач. В кн.: „Разведочная геофизика", вып. 50. М., „Недра", 1970.

10. Сейсморазведка при изучении никеленосных массивов ультраосновных пород Печенгского района. „Разведка и охрана недр", 1974, № 9. Авт.: Ю.Г.Шопин, Т.Б.Гавловская, Н.Н.Осокин, Е.Р.Литвиненко.