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

РЕФРАГИРОВАННЫЕ ВОЛНЫ В ИЗУЧЕНИИ СКОРОСТНОГО РАЗРЕЗА ПЕЧЕНГСКОГО РАЙОНА

И. С. Ленина

Значительная часть площади Печенгского района сложена осадочно-вулканогенной толщей, представляющей чередование маломощных пачек осадочно-метаморфических пород и более мощных вулканогенных покровов. К породам печенгской серии приурочены среднепротерозойские интрузии метагаббродиабазов и позднепротерозойские интрузии основных и ультраосновных пород. К северу и югу от печенгской серии развиты гнейсы и сильно метаморфизованные породы архея.

Значительное изменение петрографического состава пород по площади не позволяет широко использовать скважины для характеристики скоростного разреза района в целом, так как существующие разведочные скважины обычно небольшой глубины (300—400 *м*) и, как правило, приурочены к массивам ультраосновных пород. Из-за сложного геологического строения района трудно получить протяженные годографы отраженных волн, что ограничивает их использование для изучения скорости распространения упругих колебаний в горных породах.

В том случае, когда скорость возрастает непрерывно с глубиной, ее можно вычислить по способу С. В. Чибисова, основанному на определении максимальной глубины проникания рефрагированного луча [1].

Отсутствие осадочного чехла способствует возникновению рефрагированных волн, связанных с выветрелыми кристаллическими породами. Существующие в Печенгском районе условия возбуждения обеспечивают одновременную регистрацию как продольных, так и поперечных волн при вертикальных сейсмоприемниках. При этом предполагаемые поперечные волны, как правило, превосходят по интенсивности продольные на низких частотах. Возникновение интенсивных поперечных волн при взрывах, возможно, связано с наличием резких границ раздела вблизи точек возбуждения. Принадлежность волн к поперечным подтверждается значениями кажущейся и эффективной скорости, а также азимутальными наблюдениями.

Верхняя часть скоростного разреза изучалась преимущественно по годографам прямых продольных рефрагированных волн, регистрируемых в первых вступлениях как на региональном профиле, так и на коротких профилях и параметрических сейсмозондированиях[1]. Параметрические сейсмозондирования должны были охарактеризовать скорость распространения упругих колебаний в самых верхних

[1] Сейсмические исследования проводились в 1960—1961 гг. совместно Западным геофизическим трестом, Ленинградским горным институтом и Всесоюзным научно-исследовательским геологическим институтом.

ЛГИ

частях разрезов района. Такая характеристика необходима для выяснения дифференциации по скорости различных кристаллических горных пород и особенностей изменения скорости с глубиной, включая зону малой скорости.

Использовать годографы предполагаемых поперечных волн для вычисления скоростных разрезов в районе трудно вследствие регистрации их в области последующих вступлений, что осложняет построение непрерывных годографов и определение кажущейся скорости v^*. Принадлежность волны, зарегистрированной в первых вступлениях, к типу продольной рефрагированной обоснована на параметрических сейсмозондированиях, детальных профилях и региональном

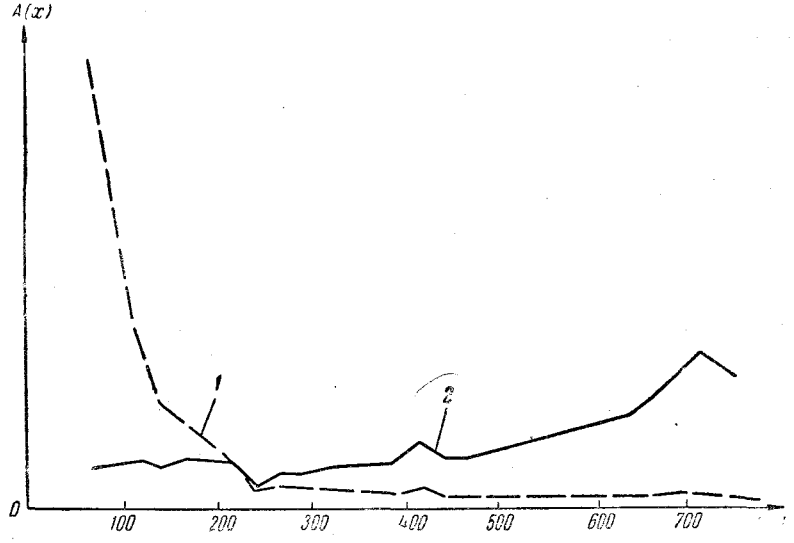


Рис. 1. Амплитудный график рефрагированной волны на одном из параметрических сейсмозондирований:

1 — экспериментальный $A(x)$; *2* — график произведения $A(x)x^2$, вычисленный по экспериментальному графику

профиле путем сопоставления экспериментальной кривой затухания амплитуды $A(x)$ данной волны при увеличении расстояния x до пункта взрыва с теоретической кривой для головных волн. Пример такого сопоставления представлен на рис. 1, где дана величина $A(x)x^2$, выражающая отношение экспериментальной кривой затухания $A(x)$ к теоретической кривой затухания для головных волн. Множитель $\frac{1}{x^2}$ описывает затухание головной волны. Как видно из графика, отношение $\frac{A(x)}{\frac{1}{x^2}}$ при удалении от источника может возрастать только в том случае, когда наблюдаемая волна не является волной головного типа, так как головные волны затухают не медленнее, чем $\frac{1}{x^2}$. Для встречной амплитудной кривой был получен аналогичный график $A(x)x^2$ (на рис. 1 не приведен), показавший также возрастание этой величины с удалением от пункта взрыва.

Другим признаком рефрагированных волн является непараллельность нагоняющих годографов, связанная с непрерывным нарастанием скорости при удалении от источника.

Использование рефрагированных волн для изучения скоростного разреза осложнено в данном районе изменением скорости упругих волн в горизонтальном направлении. На отдельных участках годогра-

фов наблюдается некоторое уменьшение кажущейся скорости с удалением от пункта взрыва (ПВ), возможно, связанное с изменением мощности зоны малой скорости (ЗМС), а также преломлений на крутонаклонных контактах кристаллических пород с различной скоростью распространения упругих колебаний. Поэтому вычисление скоростного разреза производили по годографу, полученному в качестве среднеарифметического двух встречных годографов. При этом приближенно исключалось влияние рельефа дневной поверхности на v^*. В отдельных случаях необходимо было сглаживание осредненного годографа. Обработка годографов рефрагированных волн и построение скоростных разрезов производились по способу С. В. Чибисова [1]. При расчетах использовались годографы, где наблюдалось при дифференцировании нарастание скорости с увеличением расстояния от источника. Для параметрических сейсмозондирований на площади с однородными геологическими условиями скоростной разрез вычислялся по осредненному годографу из всех, полученных на данном участке. Кривые $v^к(x)$ определены путем графического дифференцирования годографа. Для бо́льшей точности кривые $v^* = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ подсчитывались при различных фиксированных Δt, а затем проводился осредняющий график v^*. Большой разброс значений v^* связан с относительно малым шагом дифференцирования, обусловленным малой длиной линии наблюдений. При используемой длине годографа 500 *м* разрез захватывает глубину 80 *м* и дает непрерывное нарастание скорости до 5900 *м/сек*. На глубине 60 *м* от поверхности градиент скорости резко уменьшается и сама скорость соответствует среднему значению скорости, вычисленному по способу разностного годографа.

Вычисление скоростных разрезов по рефрагированным волнам на детальных профилях, выполненных с целью получения отражений от крутонаклонных контактов пород, производилось с введением в годографы поправки на ЗМС и без нее. На рис. 2 даны годографы продольных P_p и поперечных S волн, кривые изменения кажущейся скорости вдоль линии наблюдений, вычисленные скоростные разрезы для продольных и поперечных волн. Как видно из рис. 2, при длине годографа 2 *км*, скоростной разрез освещается на глубину порядка 300 *м* и дает непрерывное нарастание скорости продольных волн до 5800 *м/сек* и поперечных — до 3500 *м/сек*. Влияние ЗМС сказывается на разрезе только до глубины 200 *м*.

Для вычисления отношения скорости упругих колебаний продольных волн v_S к скорости поперечных волн v_S на различных глубинах использовались соответствующие скоростные разрезы $v_P(h)$ и $v_S(h)$ без поправок на ЗМС:

h, *м*	0	10	20	40	60	80	100	150	200	250	300
$\frac{v_P}{v_S}$	2,14	2,13	2,10	1,95	1,90	1,85	1,85	1,80	1,70	1,64	1,64

Как видно из приведенных данных, на глубине 200 *м* соотношение $\frac{v_P}{v_S}$ близко к значению 1,7, справедливому для идеально упругих сред. Наиболее полный скоростной разрез в пределах Печенгской формации получен по осредненному годографу первых вступлений регионального профиля, на котором отмечается нарастание v^* при удалении от ПВ свыше 6 *км*. Так как построить непрерывный годограф для рефрагированных поперечных волн было невозможно, график изменения скорости распространения поперечных волн определялся делением кривой $v_P(h)$ на коэффициенты $\frac{v_P}{v_S}$.

На рис. 3 сопоставлены скоростные разрезы продольных волн, вычисленные по данным всех параметрических сейсмозондирований, выполненных в Печенгском районе в 1960 г., в сочетании с аналогичными материалами по региональному и детальным профилям. Разброс значений скорости в самом верхнем слое обусловлен в значительной степени поверхностными неоднородностями и, в частности,

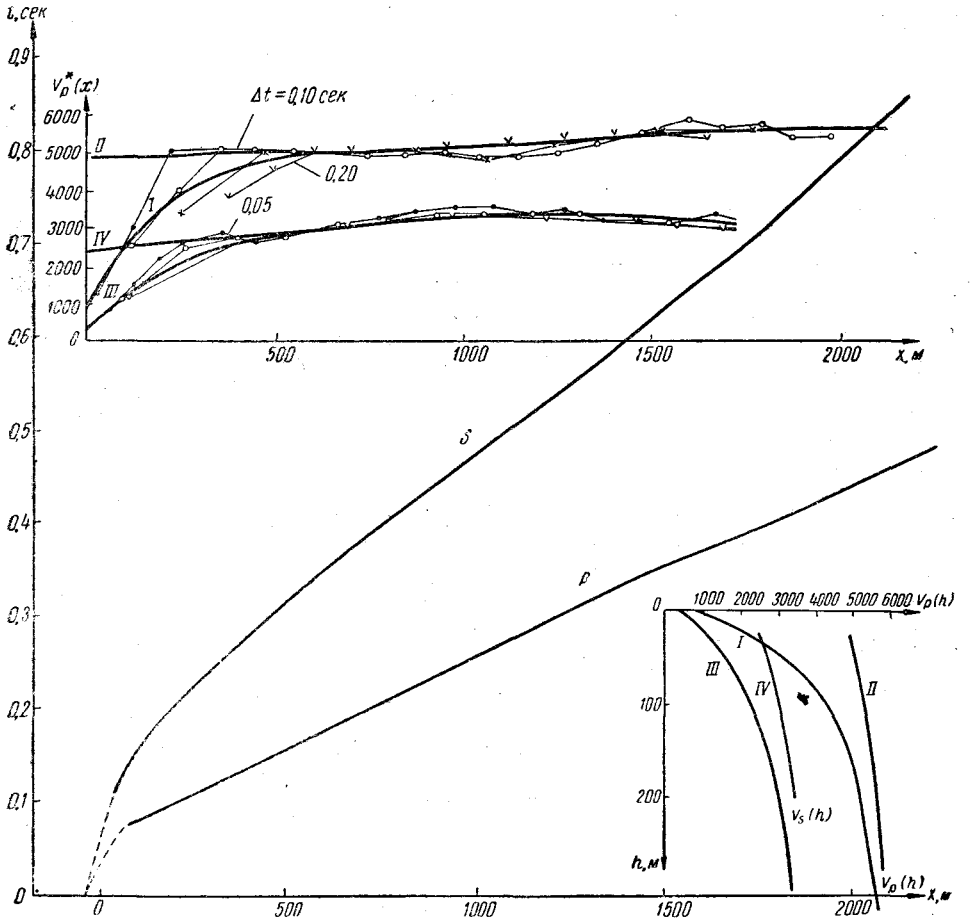


Рис. 2. Вычисление скоростных разрезов $v_P(h)$ и $v_S(h)$ по годографам рефрагированных продольных и поперечных волн одного из опытных профилей:
I, II, — $v_P(x)$ и $v_P(h)$ соответственно без поправки и с поправкой на ЗМС; *III, IV* — $v_S(x)$ и $v_S(h)$ соответственно без поправки и с поправкой на ЗМС

различным строением зоны малой скорости и изменением петрографического состава коренных пород. С другой стороны, при вычислении скоростных разрезов по малопротяженным годографам возможны ошибки, связанные с малым шагом Δt, используемым при дифференцировании годографов.

Приведенные данные подтверждают вывод о том, что в Печенгском районе, как и в районах с аналогичным геологическим строением [2, 3], возможно изучение скоростного разреза с помощью прямых рефрагированных волн.

Вычисленные способом С. В. Чибисова скоростные разрезы являются приближенными, так как они построены по осредненным и сглаженным годографам. Увеличение используемой длины годографов обычно приводит к заметному уточнению разреза, особенно нижней

его части. В изучаемом районе глубина проникания рефрагированных лучей соответствует примерно $^1/_6$ используемой длины годографа.

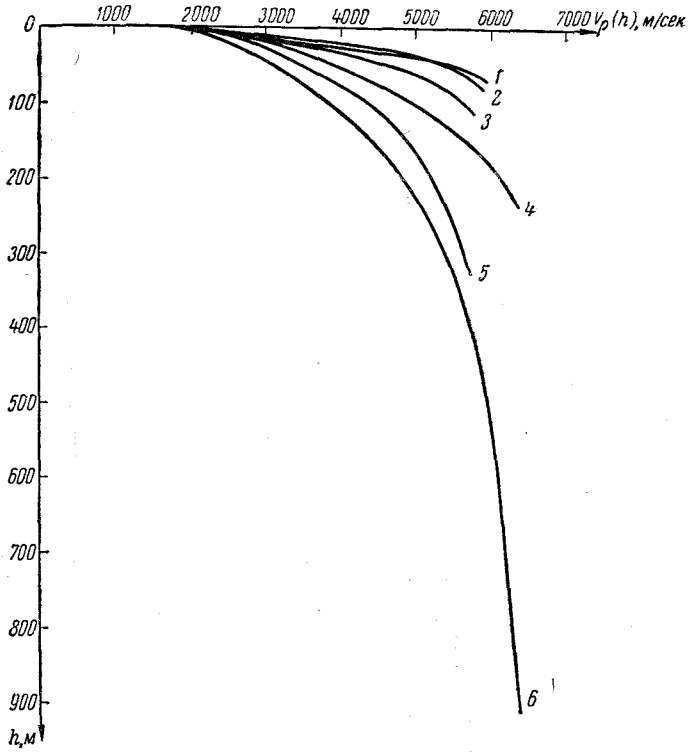


Рис. 3. Сравнение скоростных разрезов $v_p(h)$ различных комплексов горных пород:

1 — метадиабазы и мегагаббро-диабазы печенгской серии; *2, 4* — филлитовые сланцы и массивы основных и ультраосновных пород печенгской серии; *3* — плагиоклазовые и микроклин-плагиоклазовые граниты; *5, 6* — метадиабазы, туфы, песчаники, сланцы, доломиты и известняки печенгской серии

ЛИТЕРАТУРА

1. Чибисов С. В. Обработка криволинейного годографа упругих волн при плоскопараллельном распределении их скоростей. Геофизик, IV, вып. 2, 1934.

2. Гельчинский Б. Я., Цымбал Т. М., Озеров Д. К., Голикова Г. В. Применение динамической теории к интерпретации сейсмического материала по некоторым районам Казахстана. Сб. «Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн», изд-во ЛГУ, 1962, № 4.

3. Озеров Д. К., Ермилова Н. И., Литвиненко И. В. Применение динамической теории к интерпретации сейсмического материала по северной Карелии. Сб. «Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн», изд-во ЛГУ, 1962, № 4.