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

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД ПО УПРУГИМ СВОЙСТВАМ НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОЙ КАРЕЛИИ

И. В. Литвиненко, К. А. Некрасова

Разделение кристаллических горных пород по упругим свойствам имеет решающее значение при определении применимости сейсморазведки для решения геологических задач в условиях древних щитов. В Северной Карелии конторой Спецгеофизика и Всесоюзным научно-исследовательским геологическим институтом при участии Ленинградского горного института в 1958 г. проведены специальные параметрические сейсмические зондирования. При этих наблюдениях, поставленных попутно с глубинным сейсмозондированием (ГСЗ), использовалась одна и та же приемная аппаратура: низкочастотные сейсмоприемники типа СП-15 и сейсмостанции СС-26-51Д, реконструированные для приема низких частот. Большая часть записей упругих волн от взрывов выполнена при той же полосе пропускания, что и ГСЗ (5—15 *гц*), меньшая — при среднечастотной фильтрации (30—50 *гц*).

Перед параметрическими зондированиями не ставилась задача детального изучения строения самой верхней части разреза. Для этого потребовались бы более высокочастотные модификации разведки. Сейсмозондирования должны были, помимо дифференциации горных пород по скорости распространения упругих колебаний, определить также начальную скорость для построения разреза ГСЗ.

Длина зондирований ограничивалась прямолинейными участками дороги, вдоль которой проходил профиль, и изменялась от 200 до 3750 *м*. Большинство зондирований имело длину 830 *м*. Они поставлены почти на всех изученных вдоль профиля обнажениях, в зонах магнитных и гравитационных аномалий и равномерно освещают профиль ГСЗ Кемь-Ухта [1, 2]. В целом из 192,5 *км* основного профиля ГСЗ параметрическими сейсмозондированиями изучены 52,5 *км*, т. е. примерно 27%.

К северо-востоку от селения Ухта по дороге на Кестеньгу и в районе 154—167 *км* дороги Ухта-Кемь проведены два зондирования длиной 9,375 и 12,6 *км*. Они занимают промежуточное положение между параметрическими зондированиями и ГСЗ и поставлены в опытном порядке для выяснения волновой картины в различных геологических условиях: вдоль синклинальной складки и в зоне предполагаемых тектонических нарушений.

Параметрические зондирования проведены по простейшим системам наблюдений, так как на большей части профиля мощность морены не превышает 10—20 *м*. В результате получены в основном встречные годографы, изредка — нагоняющие. При принятом вначале расстоянии между сейсмоприемниками 25 *м* плохо прослеживались прямые волны, связанные с мореной. Поэтому в дальнейшем расстоя-

ние между сейсмоприемниками вблизи пунктов взрыва (ПВ) было уменьшено до 1—5 *м*. Типичные годографы приведены на рис. 1.

Во время наблюдений сейсмоприемники располагались у обочины дороги, а ПВ — либо непосредственно у крайних приборов, либо в нескольких метрах от них. Профилированная дорога существенно осредняла условия установки приборов. Качество возбуждения упругих волн по профилю сильно изменялось. Если пункты взрыва располагались на заболоченных участках, для получения интенсивной записи

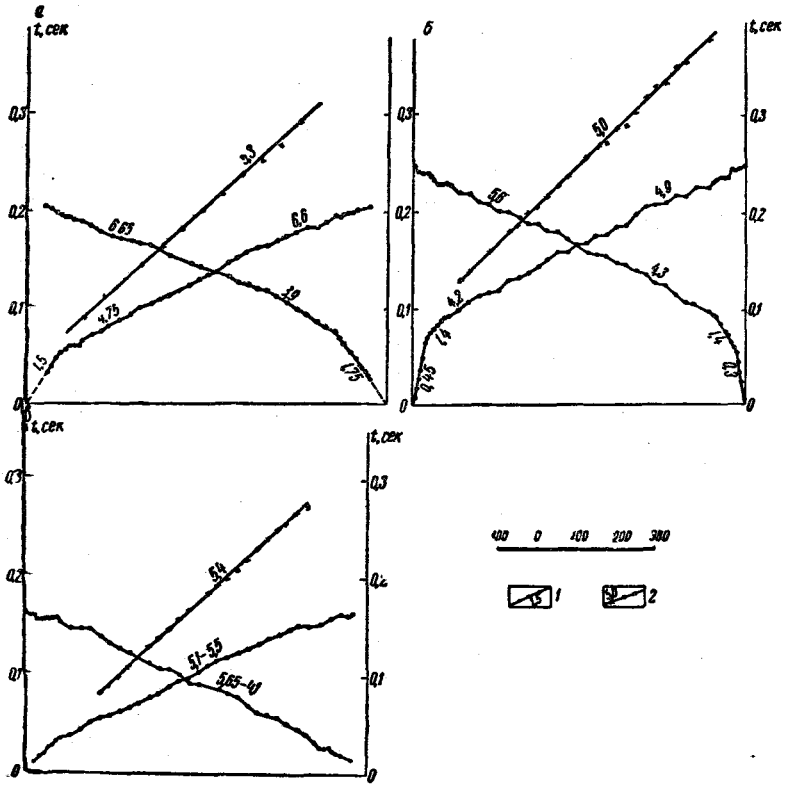


Рис. 1. Типичные годографы параметрических сейсмозондирований:
а — при однослойном строении морены; *б* — при двухслойном строении морены; *в* — на обнажениях кристаллических пород; *1* — годографы первых вступлений и значения кажущейся скорости (*км/сек*); *2* — разностные годографы и вычисленные по ним значения скорости (*км/сек*)

упругих волн на расстояниях до 1—2 *км* достаточны заряды в несколько десятков или сотен граммов тола. Если же пункты взрыва находились прямо на обнажениях кристаллических пород, вес заряда приходилось увеличивать до 20—50 *кг* и все-таки записи волн оказывались слабыми.

Сейсмограммы параметрических зондирований характеризуются следующими особенностями. Волны регистрируются довольно однообразно, без резких изменений динамических показателей. На среднечастотной фильтрации, как и следовало ожидать, они лучше разделены друг от друга, чем на низкочастотной. В области первых вступлений, вблизи ПВ, кажущаяся скорость волн v^* изменяется от 0,3 до 3 *км/сек*, на удалении она более устойчива и превышает 4—5 *км/сек*. Смены волн по динамическим признакам отмечаются нечетко. В последующих вступлениях установлены волны либо с такой же высокой кажущейся скоростью, либо с меньшей. Приходящие первыми волны регистрируются в виде импульса из двух-трех периодов; более интенсивны вторая-третья фазы записи. Вблизи ПВ отме-

чаются очень слабые высокочастотные быстро затухающие колебания. В последующих вступлениях на многих зондированиях особо выделяется интенсивная низкочастотная поперечная волна с малой v^* (около 1,8—3,4 *км/сек*).

Полученные годографы можно разделить на четыре группы. Первая объединяет большинство годографов сейсмозондирований, соответствующих двуслойному разрезу: морена — кристаллические породы (рис. 1, *а*). Для волн, связанных с мореной, характерны большие вариации v^* (от 0,6 до 2 *км/сек*). Волны с $v^*>4$ *км/сек* можно было принять за чисто головные, связанные с поверхностью кристаллических пород докембрия под мореной.

Ко второй группе отнесены годографы зондирований, состоящие из трех ветвей, т. е. с двуслойным строением морены (рис. 1, *б*). Возможно, на этих участках, кроме морены, встречаются современные озерные отложения.

В третью группу объединяются годографы зондирований, характеризующиеся большой v^*, начиная от ПВ (рис. 1, *в*). Большинство из них расположено непосредственно на обнажениях коренных пород.

К четвертой группе относятся отдельные годографы со сложными волнами и перерывами в корреляции, что можно связать с зонами нарушений, сложной поверхностью коренных пород и крутопадающими контактами.

По годографам первых вступлений строились разностные годографы $t_р$ и линии «нулевых времен» t_0. Поправки на рельеф дневной поверхности не вводились, так как скорость для кристаллических пород определялась по разностному годографу, а дневная поверхность в пределах зондирований обычно довольно спокойна.

На большинстве зондирований определения разностного годографа хорошо аппроксимируются прямыми линиями на протяженных участках (см. рис. 1). Иногда на коротких интервалах точки разностного годографа закономерно отклоняются от осредняющей линии. При более точном геологическом обосновании и лучшей обнаженности района это можно связывать с изменением скорости в горизонтальном направлении в зависимости от состава пород, степени их изменения, метаморфизма и других причин.

По годографам сейсмозондирований вычислены глубины до поверхности кристаллических пород в предположении, что прослежены чисто головные волны, связанные с этой поверхностью. Глубина определялась с невысокой точностью, так как выбор сильно изменяющейся скорости в морене был недостаточно обоснован. Единственно возможный способ ее определения по точке излома годографа, как известно, не имеет строгого обоснования и пригоден только для покрывающей среды, близкой к изотропной.

В процессе обработки, помимо отмеченных, выяснились следующие важные моменты:

1. Нагоняющие годографы предполагаемых чисто головных волн от поверхности кристаллических пород непараллельны. Правда, это становится заметным только при больших различиях в расстоянии до ПВ.

2. Граничная скорость $v_г$, вычисленная по разностному годографу на удлиненных зондированиях, значительно больше вычисленной по коротким зондированиям на тех же участках.

3. На многих разрезах, независимо от выбора скорости в морене, систематически отмечается подъем поверхности преломляющего горизонта (поверхности кристаллических пород) в направлении к ПВ. Особенно это наглядно на участках с очень малой мощностью мо-

рены. Глубина до преломляющего горизонта, связываемого с поверхностью коренных пород под мореной, зависит от расстояния между ПВ.

4. Длительность записи группы волн в первых вступлениях иногда достигает 0,3—0,4 *сек*. Эта группа состоит из ряда интерферирующих волн. Годографы различных фаз волн не пересекаются между собой и заметно искривлены лишь на малых расстояниях от ПВ. Известно, что такая волновая картина характерна для тех случаев, когда скорость распространения волн в среде непрерывно возрастает с глубиной.

На участках с обнаженными коренными породами естественно предположить, что исследуемая среда характеризуется непрерывно изменяющейся скоростью, резкие границы раздела отсутствуют и наблюдаемые волны являются рефрагированными. Распространяя этот вывод на другие участки профиля, где имеется морена, следует учесть, что кроме скачка скорости на контакте морена—кристаллические породы для последних существует вертикальный градиент. Эти предположения доказаны при обработке нескольких годографов [3].

Таким образом, скорость распространения упругих волн в верхней части геологического разреза Северной Карелии имеет следующие особенности:

1. Вблизи дневной поверхности в разрезе имеется большой скачок в изменении скорости с глубиной, приуроченный к поверхности докембрийских кристаллических пород. Параметры морены, перекрывающей эти породы, сильно изменяются по площади. Иногда в ней выделяется по скорости несколько слоев. Самая верхняя часть разреза морены (2—6 *м*) — зона малой скорости (0,25—0,6 *км/сек*).

2. Скорость в докембрийских породах нельзя рассматривать как постоянную величину. Устанавливается вертикальный градиент скорости. На небольшой глубине он достигает 0,5 *км/сек* на 100 *м* и более, с углублением быстро уменьшается до 0,02—0,05 *км/сек* на 100 *м* и на глубине свыше 800—1000 *м* почти незаметен.

Вертикальный градиент скорости для кристаллических пород подтвержден лабораторными исследованиями, установившими зависимость скорости от давления и других факторов [4]. Выветрелость горных пород у дневной поверхности сильно снижает значение скорости.

3. На обнажениях кристаллических пород вертикальный градиент скорости обусловливает появление рефрагированных волн. Для них способ определения граничной скорости по разностному годографу теряет свою строгость. Скорости, полученные в средней части разностного годографа, следует отнести не к поверхности обнажающихся коренных пород, а к некоторой глубине.

4. При наличии слоя морены из-за вертикального градиента скорости в кристаллических породах образуются не чисто головные волны, а проникающие ниже их поверхности. Определенная по средней части разностного годографа скорость для коротких зондирований (см. таблицу) соответствует истинной скорости не по поверхности коренных пород, а на глубине 50—250 *м*. При большей длине годографов соответствие нужно искать еще глубже. Это сравнение приближенно, так как вычисление скоростного разреза по вертикали способом С. В. Чибисова также содержит некоторые ошибки в интервале глубин до 100—150 *м* из-за неточно учтенного влияния зоны малой скорости.

5. Хотя полученная по разностному годографу скорость упругих колебаний должна быть отнесена не к поверхности кристаллических пород, а к несколько большей глубине, сравнение различных горных пород по этому параметру возможно. При близких длинах парамет-

рических зондирований вычисленная скорость (см. таблицу) относится примерно к одному ранее отмеченному интервалу глубин.

Простой способ разностного годографа позволяет более четко подметить изменение скорости в кристаллических породах в горизонтальном направлении. В расчетах скоростного разреза по способу С. В. Чибисова такое изменение скорости часто не только не учитывается, но даже приближенно исключается при совмещении встречных годографов и обработке осредненного годографа.

Скорость распространения упругих (продольных) волн в кристаллических породах Северной Карелии

Комплексы пород (по данным геологической съемки масштаба 1 : 200 000)	Число определений	Пределы изменения скорости, *км/сек*	Среднее значение скорости, *км/сек*
Гранитоиды третьей группы (микроклиновые, плагиомикроклиновые граниты, гранофировые граниты); гнейсо-граносиениты и мигматиты гранитов третьей группы	9	5—5,5	5,2
Гранитоиды второй группы (плагиомикроклиновые и плагиоклазовые граниты, гнейсо-граниты, их мигматиты, гранодиориты, сиениты, сиенит-диориты)	12	5,4—5,6	5,4
Мигматиты гранитов второй и третьей групп, частично метасоматические граниты	10	5—5,6	5,3
Комплекс олигоклазовых гранитов и мигматитов первой группы и частично мигматиты гранитов второй группы	8	5,1—5,5	5,3
Метаперидотиты и метагаббро, габбронориты (друзиты) и амфиболиты, метамандельштейны	10	6—6,6	6,4
Кварциты и кварцево-серицитовые сланцы	4	4,9—5,4	5,1
Средне- и мелкозернистые полевошпатовые амфиболиты	3	5—5,7	5,4
Комплекс кристаллических сланцев и гнейсов	1	5,2	5,2

6. Изменение скорости для кристаллических пород в горизонтальном направлении связано с изменением их минералого-петрографического состава и другими причинами. Об этом свидетельствуют данные приведенной таблицы. Изменение скорости для кристаллических пород в горизонтальном направлении, в отличие от изменения по вертикали, происходит скачкообразно. Это следует не только из геологических соображений, но и хорошо подтверждается годографами отдельных зондирований, на которых устанавливаются вертикальные контакты.

Наиболее часто встречающиеся значения скорости упругих колебаний вдоль профиля лежат в пределах 5—6,2 *км/сек*. Наименьшими значениями скорости (4,9—5,45 *км/сек*) характеризуются кварциты и кварцево-серицитовые сланцы. Наиболее распространенные вдоль профиля ГСЗ разновозрастные гранитоиды, их мигматиты и гнейсы имеют скорость 5—5,5 *км/сек*. Очень четко отмечаются повышенной скоростью основные и ультраосновные породы (6,3—6,4 *км/сек*).

Характер кривой рис. 2 подтверждает правильность разделения исследованных пород на две основные группы: 1) гранитоиды и близкие к ним по составу породы; 2) основные и ультраосновные породы.

7. Почти все зондирования, показывающие высокую скорость в кристаллических породах, группируются по площади в одну зону, приуроченную к Восточно-Карельскому синклинорию, что свидетельствует о широком распространении в этой зоне основных и ультраосновных пород.

Участки с высокими значениями скорости иногда хорошо согласуются с положительными гравитационными и интенсивными магнитными аномалиями. Так, например, в районе 106 *км* дороги Кемь—Ухта участок со скоростью 5,6 *км/сек* совпадает с положительными аномалиями Δg и Δz и соответствует метадиабазам и метапорфиритам тунгудско-надвоицкой серии; в районе 124 *км* дороги, вероятно, ультраосновные породы характеризуются очень интенсивными аномалиями Δg и Δz и скоростью свыше 7 *км/сек*; такое же совпадение отмечается и вблизи 138 *км* дороги.

Особый интерес представляют небольшие участки с аномально пониженными значениями скорости (3,8—4,7 *км/сек*). По-видимому, они связаны с зонами нарушений.

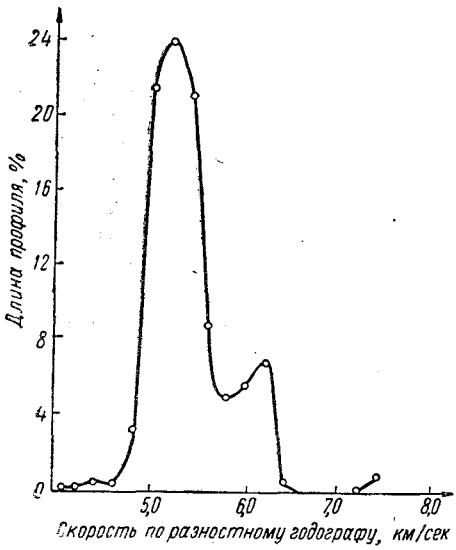


Рис. 2. Вариационная кривая скорости упругих волн по параметрическим сейсмозондированиям

Итак, проведенные параметрические зондирования выявили заметную дифференциацию кристаллических пород по скорости распространения волн и, следовательно, определили принципиальную возможность постановки сейсморазведки для изучения некоторых контактов, особенно ультраосновных массивов. Кроме того, эти зондирования представляют самостоятельный интерес, поскольку позволили в ряде случаев уточнить геологическую карту вдоль профиля ГСЗ и определили мощность морены. Для более детального расчленения по скорости распространения упругих колебаний гранитоидов и близких к ним по составу пород необходимо продолжить специальные параметрические наблюдения в хорошо обнаженных районах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глубинное сейсмическое зондирование земной коры в СССР. Гостоптехиздат, 1962.

2. 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.

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», вып. IV. Изд-во ЛГУ, 1962.

4. Birch F. J. Geophys. Res., 1960, № 4; 1961, № 7.