Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1987, т. 113

УДК 550.834.5

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ КАРБОНАТИТОВЫХ МАССИВОВ НА БАЛТИЙСКОМ ЩИТЕ

И.В.ЛИТВИНЕНКО, В.С.МУЗЫЛЕВ

Изучение геологического строения карбонатитовых массивов является довольно трудной задачей из-за весьма сложного их строения. Применение для этих целей магниторазведки, гравиразведки и электроразведки не всегда позволяет получить необходимые сведения о глубинном строении массива и распределении в нем рудных объектов. Большие возможности при изучении сложных структур, образованных кристаллическими породами, в том числе и интрузиями с крутыми углами падения контактов и тектонических нарушений, имеют сейсмические методы разведки. Поэтому для получения более полного представления о геологическом строении одного из карбонатитовых массивов на нем были проведены сейсмические исследования методами отраженных, преломленных и проходящих волн.

Основной задачей, стоящей перед исследованиями методом отраженных волн, было выяснение глубинного строения массива и вмещающих его комплексов пород (экзоконтактов, зональности массива, зон тектонических нарушений и структур вмещающих пород). Для этой цели были выбраны два взаимно перпендикулярных профиля, пересекающие массив и выходящие за его пределы. Работы проводились по методике удлиненных годографов. На каждом из профилей было выбрано пять-шесть постоянных пунктов взрыва (ПВ), которые по возможности располагали в пониженных, более обводненных или заболоченных участках местности на расстояниях от 1,5 до 6 км. На обоих профилях получены системы встречных и нагоняющих годографов. Максимальная длина непрерывного годографа достигала 10 км. Регистрация сейсмических волн производилась сейсмостанцией СМОВ-024 с использованием площадного группирования сейсмоприемников типа СВ-20, расположенных по окружности диаметром около 4 м. Расстояние между центрами групп 25 м. Масса зарядов в зависимости от расстояния между базой приема и ПВ менялась от 1 до 100-150 кг. Иногда, с целью более уверенного выделения полезных волн в большом интервале времен, вблизи ПВ производились два повторных взрыва зарядов разной массы.

Обработка сейсмических материалов производилась с использованием полевых сейсмограмм, записанных способом отклонений, и монтажей сейсмограмм, полученных при воспроизведении магнитограмм на аппаратуре "СЗ-4 в полосе частот 40-80 Гц способом переменной ширины. При воспроизведении в каждый канал были введены статические поправки, вычисленные по годографам первых вступлений преломленных волн, предварительно построенным

с использованием полевых сейсмограмм. По этим годографам были определены и значения граничной скорости, которые учитывались при выборе величины эффективной скорости для построения глубоких отражающих границ.

На монтажах сейсмограмм проведен анализ волнового поля и корреляция основных групп отраженных волн. Выделено значительное количество осей синфазности отраженных волн, отличающихся по протяженности, кажущейся скорости и интенсивности. Условно их можно разделить на две группы:

I) отраженные волны, полученные на малых временах вблизи первых вступлений и представляющие собой, как правило, короткие (300–400 м) оси синфазности с отрицательной кажущейся скоростью; общей особенностью этих волн является их слабая динамическая выразительность, они получены от границ, имеющих большие углы наклонов и выходящих на поверхность;

2) отраженные волны, наблюдаемые на интервалах профиля до 5 км, которые удалось корреляционно увязать во взаимных точках на различных годографах и которые связаны с крутопадающими границами, погружающимися от дневной поверхности на большие глубины под карбонатитовый массив.

Построение отражающих границ выполнено обычными способами. Средняя скорость для границ, выходящих к дневной поверхности, выбиралась по годографам первых волн и изменялась от 4,7 до 5,4 км/с, для глубинных границ расчетная скорость оказалась равной 5,8–6,0 км/с. Отражающие границы, приведенные на сейсмическом разрезе по профилю I (рис.I), позволяют предположить, что собственно карбонатитовый массив имеет чашеобразную форму и в центральной части мощность его не менее 2,5 км. С востока под массив погружается ряд крутопадающих отражающих границ, связанных с толщами амфиболитов, выходящих на поверхность к востоку от массива. Углы падения этих

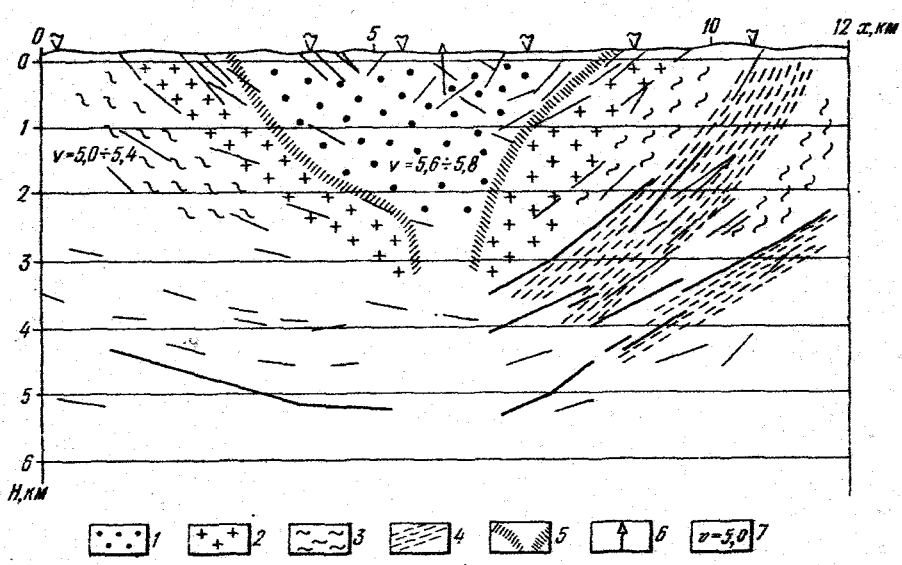


Рис.1. Сейсмический разрез через карбонатитовый массив по профилю I
1 – карбонатиты; 2 – фениты; 3 – гранитогнейсы; 4 – амфиболиты; 5 – зона контакта карбонатитов и фенитов; 6 – скважина; 7 – скорость распространения продольной волны, км/с

границ уменьшаются с увеличением глубины. На глубине 3-5 км под центральной частью массива они прерываются, а на глубине 4-5 км вновь прослеживается группа отражающих границ, полого воздымающихся в западном направлении. Зону прекращения прослеживания отражающих границ в центральной части массива гипотетически можно связать с подводящим каналом.

В самом массиве выделяется серия отдельных отражающих границ, отмечающая его неоднородность и вероятное зональное строение.

Перед методом преломленных волн была поставлена задача расчленения верхней, дезинтегрированной части массива по скорости распространения упругих волн и определения положения погребенных контактов коренных пород, различающихся по упругим свойствам и выходящим под рыхлые отложения.

Работы методом преломленных волн проводились по методике непрерывного профилирования из пяти пунктов взрыва. Длина одной расстановки 230 м, расстояние между сейсмоприемниками 10 м. Пятый взрыв производился в центре каждой расстановки, что позволяло получать информацию о скорости распространения упругих волн в самой верхней части разреза через 115 м. Взрывы производились из неглубоких ям, образующихся после взрыва небольших зарядов. Укупорка заряда осуществлялась рыхлой землей. Масса заряда менялась от 1 до 10-15 кг, в отдельных случаях достигая 30 кг и более. Для увеличения точности регистрации времени прихода сейсмических волн скорость движения магнитного носителя сейсмостанции СМОВ-0-24 была увеличена в 5 раз. Это позволило получать при воспроизведении сейсмограммы масштабом в 1 см соответственно 0,01 и 0,005 с.

Для уменьшения при записи уровня низкочастотных волн - помех - регистрация сейсмических волн производилась с включенными фильтрами верхних частот с граничной частотой 40 Гц. Время прихода волн определялось по первым вступлениям. При неотчетливых первых вступлениях корреляция велась по наиболее интенсивным их фазам. Основным критерием для выделения преломленной волны от поверхности неизменных коренных пород являлись высокие кажущиеся скорости и параллельность рассматриваемой части годографа с нагоняющим на одном и том же интервале профиля. Затем выделялись интервалы профиля, где в первых вступлениях прослеживались волны от преломляющих границ в вышележащей части разреза. В большинстве случаев смену волн удавалось фиксировать по заметному изменению кажущейся скорости. Скорость распространения упругой волны в покрывающей среде определялась по точке пересечения годографов. Хотя этот способ недостаточно точен, в данных условиях приемлем только он, так как найти на сейсмограммах начальную точку из-за большого уровня помех практически невозможно. Построение сейсмических разрезов производилось способом средних арифметических с построением линии t_0 и разностного годографа. Для уточнения использовался способ полей времен.

Сопоставление сейсмических разрезов показало, что в большинстве случаев положения преломляющих границ, построенных этими способами, практически совпадают. Расхождение в величине граничной скорости даже для коротких интервалов не превышало 10 % (рис.2).

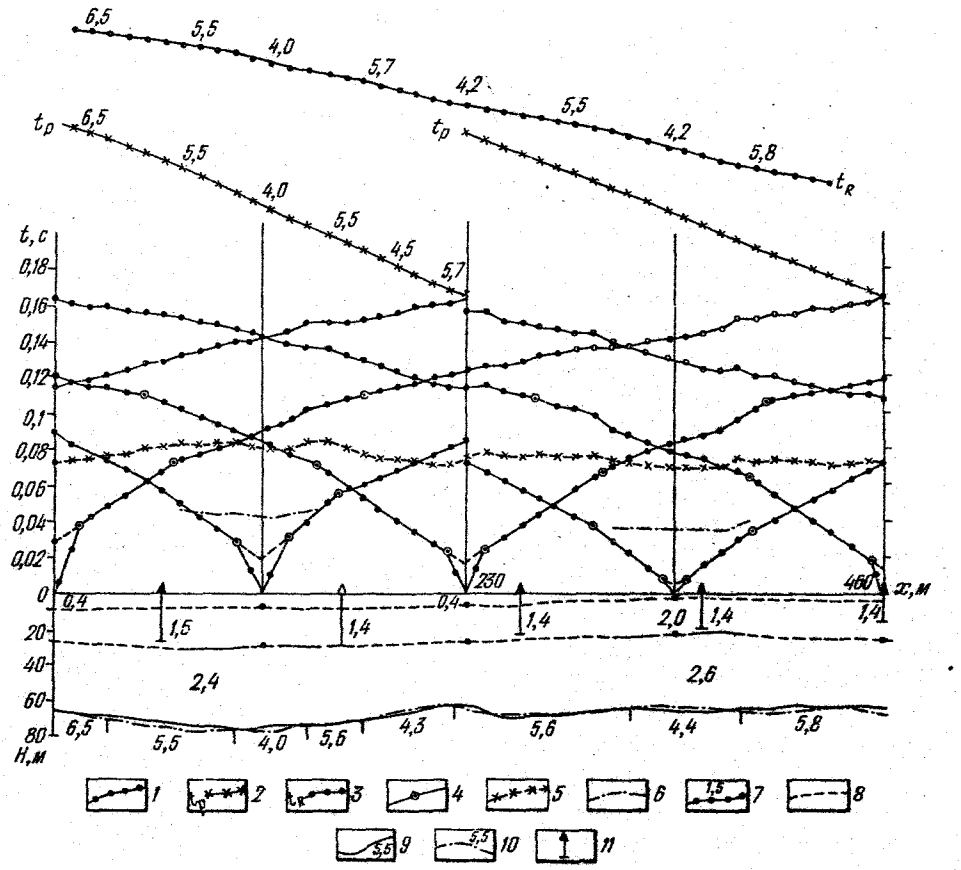


Рис.2. Годографы и сейсмический разрез по профилю II

1 – годографы первых вступлений; разностный годограф и значения $v_г$ (км/с); 3 – годограф скользящей волны и значения $v_г$ (км/с); 4 – точки смены волн; 5 и 6 – линии t_0, соответствующие границам невыветрелых коренных пород и в рыхлых отложениях; 7 – преломляющие границы в рыхлых отложениях под ПВ и значения $v_г$ (км/с); 8 – преломляющие границы в рыхлых отложениях, экстраполированные между ПВ; 9 и 10 – границы невыветрелых коренных пород, определенная по способу средних арифметических и по способу полей времен соответственно, и значения $v_г$ (км/с); 11 – скважины сухого бурения

Сейсмические исследования показали, что скорости распространения продольных волн в четвертичных отложениях и в зоне дезинтеграции существенно отличаются от скорости распространения упругих волн в невыветрелых коренных породах. Исключение составляют горные породы в зонах тектонических нарушений или подвергшиеся по каким-либо другим причинам локальному, более глубокому и сильному выветриванию.

Граница между дезинтегрированными и неизменными породами в большинстве случаев довольно резкая, что позволяет уверенно ее выделять и определять по ней скорость распространения волны. Лишь на отдельных профилях наблюдается более плавный переход от дезинтегрированных пород к неизмененным.

В этом случае появляются рефрагированные волны и определение положения границы неизменных коренных пород становится неоднозначным.

В покрывающих отложениях при проведении работ по методике, описанной выше, удается определить положение двух или трех преломляющих границ. Геологическая приуроченность этих границ не всегда однозначна, так как на скорость распространения продольных волн существенно влияет степень их выветривания и водонасыщенность. Однако в большинстве случаев удалось установить связь между скоростью и характером пород, слагающих преломляющие границы.

В геологическом разрезе над коренными породами массива выделены четвертичные (моренные) отложения, рыхлая и плотная коры выветривания. Знание положения этих границ имеет большое поисковое значение, так как с рыхлой корой выветривания часто связано редкометальное оруденение, тяготеющее к зонам тектонических нарушений.

Скорость распространения продольных волн по границе коренных пород изменяется в широком диапазоне от 2,5 до 7,5 км/с. Установить однозначную связь между величиной граничной скорости и определенными типами пород не удалось из-за значительной вариации упругих свойств пород, относимых к одной и той же разновидности в связи с изменением в них содержания слюдистых минералов. Вместе с тем величина граничной скорости $v_г$ несет важную информацию о геологическом строении массива, особенно для выделения зон тектонических нарушений, характеризующихся низкими ее значениями.

Наряду с интервалами низких значений $v_г$ на сейсмических профилях, особенно в центральной части массива, встречаются интервалы аномально высоких скоростей, достигающих 7,5 км/с, которые довольно часто располагаются рядом с зонами низких скоростей. В целом для центральной части массива характерна $v_г$ = 5,5÷6,5 км/с, на периферии массива $v_г$ = 4,0÷4,5 км/с. По данным сейсморазведки был выделен ряд тектонических нарушений в центре массива и пересекающее его крупное нарушение. Эти нарушения отмечены зонами пониженных скоростей (до 2,5-3,0 км/с), локальными погружениями рельефа неизмененных коренных пород и существенным увеличением мощности рыхлой коры выветривания над ними. По аналогичным признакам на профилях, расположенных по периферии массива, был выделен тектонический контакт его с вмещающими породами. Результаты сейсморазведочных работ по определению рельефа неизмененных коренных пород, границ в покрывающих породах и положения тектонических нарушений хорошо согласуются с данными бурения. Ошибки в определении положения границы невыветрелых коренных пород в среднем не превышают 10 %.

Метод проходящих волн применялся для изучения скоростной характеристики горных пород, слагающих массив, и оценки перспектив поисков комплексных руд путем дифференциации пород массива по скорости. Изучение пород массива по скорости производилось путем продольного сейсмического каротажа ряда скважин. В работе использовалась аппаратура ВСП-I и специально изготовленные зонды малого диаметра (42 мм), состоящие из шести групп сейсмоприемников по два прибора СВ-30 в каждой. Расстояние между группами сква-

жинных сейсмоприемников 10 м. Для получения представления о скоростной дифференциации пород массива по площади была выбрана наиболее глубокая вертикальная скважина (около 500 м), пробуренная в центральной части массива. В этой скважине проводилось непродольное вертикальное сейсмопрофилирование из ПВ, расположенных вдоль нескольких линий различного направления, на расстоянии от 200 до 400 м. Максимальное удаление ПВ от исследуемой скважины составляло 2 км. При этих работах расстояние между скважинными приборами было увеличено до 25 м.

На полученных сейсмограммах, кроме первых волн, регистрируется значительное количество вторичных (отраженных, преломленных и других) волн, интерферирующих между собой и существенно осложняющих запись. На большинстве записей первых вступлений наблюдается смена полярности волны. Для одних линий отмечено только одно обращение фазы, причем глубина точки обращения закономерно растет с удалением ПВ от скважины, что указывает на наличие вертикального градиента скорости. Для других линий зарегистрировано до трех обращений фазы, для отдельных ПВ до пяти, что говорит о значительной неоднородности геологического строения массива. Для каждого ПВ были построены годографы вступлений первых волн. Ошибки при построении вертикальных годографов не превышали 0,001 с.

Дальнейшая обработка скважинных наблюдений производилась в предположении, что среда «осесимметричная" и, следовательно, допустимо применение принципа взаимности. Полученные времена прихода «прямых" волн с изучавшейся вертикальной скважины были перенесены на «оси глубин" под соответствующие ПВ, с учетом поправок за относительные превышения точек взрывов и точек регистрации волн. Такая трансформация позволила получить один фиктивный ПВ, находящийся у скважины, и ряд фиктивных вертикальных

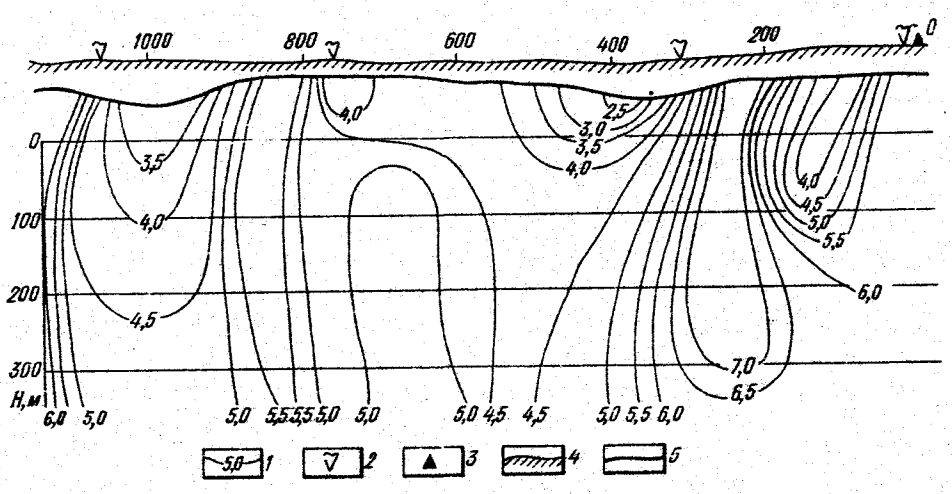


Рис.3. Скоростной разрез вдоль профиля III

1 – осредненные значения скорости распространения продольных волн, км/с; 2 – местоположение ПВ; 3 – скважина, используемая для сейсмических исследований; 4 – рельеф дневной поверхности; 5 – граница невыветрелых коренных пород

скважин, расположенных в ПВ. Так было построено поле изохрон проходящих волн и с его помощью определены осредненные значения скоростей на глубине. При таких построениях на их точность существенно влияют поверхностные неоднородности. Поэтому по всем изучаемым направлениями были проведены сейсмические исследования методом преломленных волн, о которых говорилось ранее. Это позволило при построении изохрон учесть не только сведения о мощности зоны малой скорости в ПВ и средней скорости до неизмененных коренных пород, но и значение граничной скорости по границе этих пород. Для этого были построены сводные годографы, которые позволили судить о времени прихода упругой волны из ПВ в любую точку, находящуюся на профиле, и точнее определить положение изохрон на поверхности коренных пород между ПВ и, следовательно, построить более надежно скоростной разрез вдоль профиля II (рис.3).

Проведенные сейсмические работы дали очень важную информацию о глубинном геологическом строении карбонатитового массива и его верхней части: мощности кор выветривания, зонах тектонических нарушений, распространении их на глубину и дифференциации пород массива по скорости.

Все это еще раз подтверждает большие возможности сейсморазведки при изучении карбонатитовых массивов.