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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРОДЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН С ПОМОЩЬЮ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ НАЗЕМНЫХ И СКВАЖИННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

М.Д.ЛИЗИНСКИЙ

Для изучения Печенгской структуры Балтийского щита начиная с 1961 г. успешно применяют сейсморазведку методом отраженных волн (МОВ) [4]. В волновых полях, регистрируемых в этом районе системами уплиненных годографов, наряду с продольными P, установлены интенсивные прямые поперечные волны S [3]. Это позволяет ожидать регистрации отражений различных типов: продольных, поперечных, обменных. При интерпретации волнового поля в этих условиях большое внимание уделяют определению типа регистрируемых волн.

Выявление поперечных и обменных отраженных волн по их кинематическим особенностям затруднено, так как при крутом падении (30–40°) отражающих границ в Печенгском районе кажущаяся скорость этих волн может превышать скорость прямой продольной волны. Методика азимутальных наблюдений на поверхности с этой целью [1] также обладает ограниченными возможностями, поскольку в благоприятном случае (если отсутствует обмен на подошве зоны малой скорости) позволяет установить лишь тип волны на выходе, но не на всем пути ее распространения. Для решения вопроса о типе регистрируемых волн в Печенгском районе использована методика комбинированного наземного и вертикального скважинного профилирования (ВСП) из общего пункта взрыва (ПВ), предложенная Е.И.Гальпериным [2] для стратиграфической привязки отражений и выявления кратных волн в платформенных условиях.

В Печенгском районе при скважинных наблюдениях, как и наземных, используются вертикальные сейсмоприемники, которые в условиях крутого падения границ могут регистрировать не только продольные, но и поперечные волны. К этому выводу приводит анализ векторов смещений, вызываемых прямой поперечной волной (рис.1). В самом деле, полный вектор s смещений можно разложить на составляющие l – вдоль оси скважины и n – по нормали к этой оси. Очевидно, что колебания вертикального сейсмоприемника вызваны исключительно l -составляющей вектора смещений. Определим и исследуем отношение l/s. Из рис.1 следует, что $l/s = \cos(\beta + \theta)$,

11497

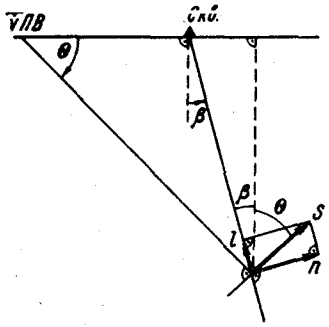


Рис.1. Схема регистрации смещений прямой поперечной волны вертикальным скважинным сейсмоприемником

где β – зенитный угол ствола скважины в точке наблюдений ($\beta > 0$ при наклоне скважины от ПВ, $\beta < 0$ в противоположном случае), а θ – угол между горизонтальной линией и направлением из точки наблюдения на ПВ. Таким образом, $0 < l/s < 1$, , причем предельный случай $l = s$ справедлив для $\theta = -\beta$, т.е. для встречи сейсмического луча и скважины под прямым углом, а случай $l = 0$ – для $\theta = \frac{\pi}{2} - \beta$, т.е. для совпадения ПВ и устья.

В Печенгском районе углы θ не превосходят первых десятков градусов, а зенитные углы достигают $10\text{–}20^0$, таким образом, реальной оценкой отношения l/s для данных условий является $l/s = \cos(20 \div 60^0)$, или $l/s = 0{,}5\text{–}0{,}9$. Другими словами, вертикальный сейсмоприемник в скважине может регистрировать значительную часть (50–90%) энергии смещений, вызываемой прямой поперечной волной. Поскольку в условиях крутого падения отражающих границ в Печенгском районе углы пересечения скважиной лучей прямых и отраженных (обменных) волн близки, выполненная оценка энергии смещений прямой поперечной волны, регистрируемой скважинным сейсмоприемником, может быть в известной степени распространена и на отраженные волны.

Определение типа регистрируемой волны с помощью комбинированной системы наблюдений основано на вычислении скорости v фронта волны. Для этого пригодны две равноценные операции. Первая – построение поля времени в плоскости падения, проходящей через скважину, и определение скорости фронта волны в направлении нормали к изохронам. Вторая – определение в корреляционной точке системы (на устье скважины) полного градиента $\tau = 1/v$ поля времени по его составляющим, измеренным вдоль оси скважины $\tau_1 = 1/v_1^*$ и в горизонтальном $\tau_2 = 1/v_2^*$ направлении. Составляющую τ_2 определяют либо по профилю вкрест известного простирания, либо по сейсмозондированию.

Модуль полного вектора градиента поля времени на устье скважины (рис.2,б) определяют по составляющим с помощью известного соотношения

$$\tau = \frac{\sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2 - 2\tau_1\tau_2\cos\alpha}}{\sin\alpha} ,$$

где α – угол между составляющими.

В обозначениях скоростей это выражение принимает вид

$$v = \frac{v_1^* v_2^* \sin\alpha}{\sqrt{(v_1^*)^2 + (v_2^*)^2 - 2v_1^* v_2^* \cos\alpha}} .$$

Для определения стандартной ошибки скорости фронта по формуле

$$m_v = \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial v_1^*} m_{v_1^*}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial v_2^*} m_{v_2^*}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial \alpha} m_\alpha\right)^2}$$

требуется вычислить частные производные

$$\frac{\partial v}{\partial v_1^*} = \left(\frac{v}{v_1^*}\right)^3 \frac{v_2^* - v_1^* \cos\alpha}{v_2^* \sin^2\alpha},$$

$$\frac{\partial v}{\partial v_2^*} = \left(\frac{v}{v_2^*}\right)^3 \frac{v_1^* - v_2^* \cos\alpha}{v_1^* \sin^2\alpha},$$

$$\frac{\partial v}{\partial \alpha} = \left(\frac{v}{\sin\alpha}\right)^3 \left\{\left[\frac{1}{(v_1^*)^2} + \frac{1}{(v_2^*)^2}\right]\cos\alpha - \frac{1+\cos^2\alpha}{v_1^* v_2^*}\right\}.$$

В частном случае $\alpha = \frac{\pi}{2}$, имеющем важное практическое значение,

$$v = \frac{v_1^* v_2^*}{\sqrt{(v_1^*)^2 + (v_2^*)^2}},$$

$$m_v = v^3 \sqrt{\left[\frac{m_{v_1^*}}{(v_1^*)^3}\right]^2 + \left[\frac{m_{v_2^*}}{(v_2^*)^3}\right]^2 + \left(\frac{m_\alpha}{v_1^* v_2^*}\right)^2}.$$

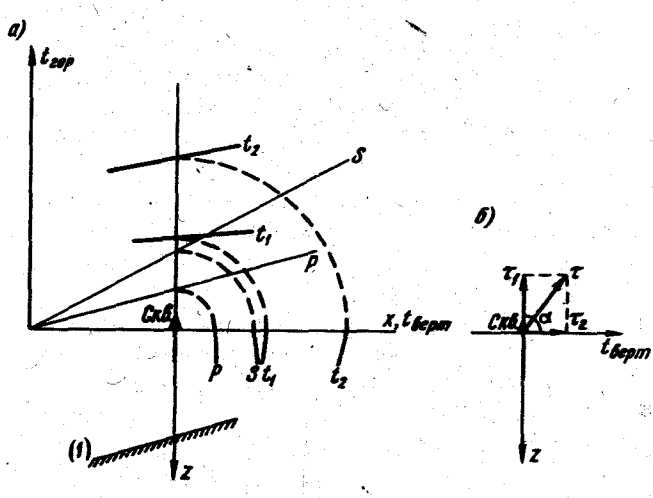


Рис.2. Схема комбинированной системы наблюдений: а – годографы; б – градиенты поля времени

Расчеты показывают, что скорость фронта в условиях Печенгского района может быть вычислена с точностью до 5–10%. Этого достаточно, чтобы судить о типе волны (P или S) на участке регистрации, поскольку различие скорости продольных и поперечных волн превышает 70% [3].

Для установления типа волны на выходе (восходящей) достаточно иметь относительно короткие наземный и вертикальный годографы (рис.2, а, волна t_2), минимальная протяженность которых определя-

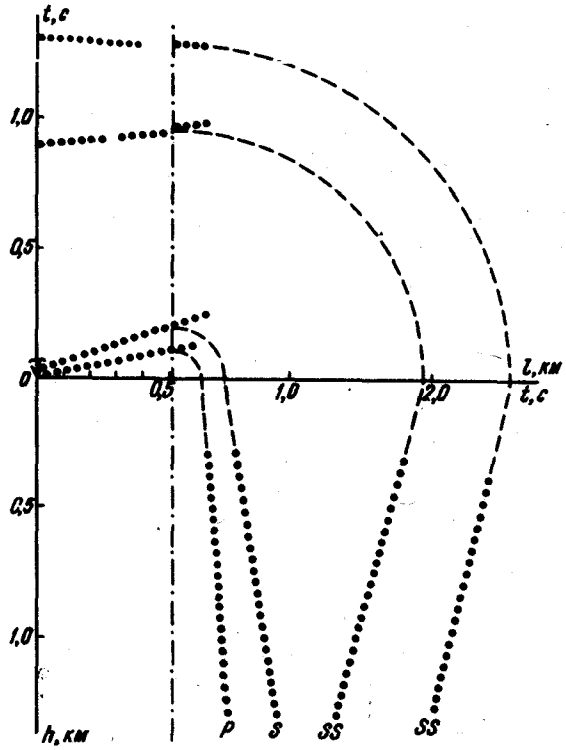


Рис.3. Годографы и типы волн, зарегистрированные на вертикальном и наземном профилях из общего пункта взрыва

етоя только требованиями к точности вычисления кажущихся скоростей. Однако определение типа падающей волны (P или S) требует такой длины профилей, которая обеспечивает получение годографа по крайней мере в области до регистрации прямой поперечной волны t_1 (рис.2, а). Выполнение этого требования необходимо и достаточно хотя бы для одного из профилей комбинированной системы наблюдений. Поскольку длина наземного профиля в принципе не ограничена, для определения типа волн с помощью комбинированной системы достаточно использовать наблюдения по методике ВСП в мелких скважинах, не пересекающих изучаемых сейсмических границ.

В Печенгском районе комбинированные системы наземных и скважинных наблюдений использованы при изучении геологического строения продуктивной толщи, вмещающей рудоносные интрузивы. Длина годографов на продольных профилях составляла 1,0-1,5 км, глубина скважин 0,5-1,3 км. Характер регистрируемого поля иллюстрирует рис.3, на котором показана корреляция отраженных волн, прослеженных на наземном и вертикальном профилях из общего ПВ. Скорость фронтов волн t_1 и t_2 (3,9 $\pm$ 0,3 км/с и 3,8 $\pm$ 0,2 км/с соответственно) показывает, что эти волны являются поперечными отражениями от осадочных горизонтов печенгской серии (скорость поперечных волн t_1 и t_2 на участке регистрации по данным сейсмокаротажа составляет 3,9$\pm$0,1 км/с).

В результате интерпретации волновых полей, зарегистрированных при наблюдениях по методике комбинированных систем, в Печенгском районе, наряду с монотипными продольными, выделены поперечные и обменные отражения. В связи с этим необходимость определения типа волн при дальнейшем изучении сейсморазведкой Печенгского района (особенно сложнопостроенной продуктивной толщи) очевидна. Эффективным средством решения указанной задачи может служить комбинирование наземных наблюдений со скважинными по методике ВСП.

Комбинированные системы наблюдений могут быть использованы для определения типа не только отраженных, но и восходящих волн других типов, а также падающих волн при условии корреляционной увязки на устье скважины

осей синфазности, прослеженных на вертикальном и наземном профилях. Это открывает новые возможности интерпретации волновых полей. В случае использования систем удлиненных годографов (МОВ, КМПВ, ГСЗ), допускающих регистрацию обменных волн от глубоких границ раздела, дополнительные наблюдения ВСП в сравнительно неглубоких скважинах могут способствовать обоснованному определению типа зарегистрированных волн с кинематическими характеристиками, не допускающими однозначной интерпретации только по данным наземных наблюдений.

Выводы

1. Для определения типа волн (продольных, поперечных, обменных), регистрируемых при сейсморазведочных работах в Печенгском районе, использована методика комбинированных систем наземных и скважинных (по методике ВСП) наблюдений.

2. Тип волны определен на основании вычисления скорости ее фронта и анализа наземного и вертикального годографов. При условии применения протяженных наземных годографов для решения задачи достаточны наблюдения ВСП в мелких скважинах, не пересекающих исследуемую отражающую границу.

3. С помощью комбинированных систем наблюдений в волновых полях, зарегистрированных в Печенгском районе, выделены отражения различных типов: продольные, поперечные, обменные.

4. Комбинированные системы наблюдений для определения типа регистрируемых волн повышают надежность интерпретации данных сейсморазведки при изучении Печенгского района и могут быть с этой же целью использованы при интерпретации волновых полей, зарегистрированных системами удлиненных годографов МОВ, КМПВ, ГСЗ и обладающих кинематическими характеристиками, не допускающими однозначного определения типа волн по данным только наземных наблюдений.

Литература

1. Гальперин Е.И. Азимутальный метод сейсмических наблюдений. М., Гостоптехиздат, 1955.

2. Гальперин Е.И. Вертикальное сейсмическое профилирование. М., „Недра", 1971.

3. Ленина И.С. Рефрагированные волны в изучении скоростного разреза Печенгского района. Зап. ЛГИ, т.X/У1, вып. 2, 1963.

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., „Наука", 1968.