Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. XCII, 1982 г.

УДК 550.834

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБМЕННЫХ ПРЕЛОМЛЕННЫХ ВОЛН ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПЕЧЕНГСКОГО РАЙОНА

Т.Л.ПИСАКИНА, Т.Б.ГАВЛОВСКАЯ

Волновые поля в Печенгском районе, зарегистрированные при наблюдениях комплексом методов отраженных волн (МОВ) и вертикального сейсмического профилирования (ВСП), характеризуются большим числом осей синфазности и широким диапазоном изменения кажущейся скорости. В связи с этим важнейшим вопросом интерпретации является определение типа зарегистрированных волн. При анализе волновых полей при наземных и скважинных наблюдениях установлено, что помимо отраженных волн регистрируются и проходящие, преломленные на крутопадающих контактах, в частности, обменные волны типа PS и SP. Кинематика этих волн при наземных наблюдениях рассмотрена в работе [1].

При скважинных наблюдениях проходящие волны SP встречаются чаще и более динамически выражены, чем проходящие PS волны. Кинематика волн рассматривается применительно к двумерной задаче для двухслойной среды с постоянными скоростями. Предполагается, что граница раздела плоская, наклонная, а скважина вертикальная. Такая модель достаточно хорошо описывает реальную среду, что следует из совпадения теоретических и экспериментальных годографов. Наибольший практический интерес, с точки зрения применяемых на участке работ систем наблюдений, представляет случай, когда пункт взрыва (ПВ) расположен по падению границы. При расположении ПВ за контактом волна SP возникает только при угле падения границы $\varphi \geq \frac{\pi}{2} - \arcsin\gamma$ (здесь $\gamma = v_S/v_P$).

Такие наблюдения представляют интерес для изучения ограниченного числа контактов, связанных с крутопадающими секущими тектоническими нарушениями.

Параметрическое уравнение годографа проходящей SP волны имеет вид [3]

$$t = \frac{a\sin\varphi}{\cos i_1 \cdot v_S} + \frac{b\cos i_1 - a\sin\varphi\sin(\varphi + i_1)}{\sin(i_2+\varphi)\cos i_1 \cdot v_P},$$

где a и b – расстояние от ПВ до контакта и до скважины соответственно;

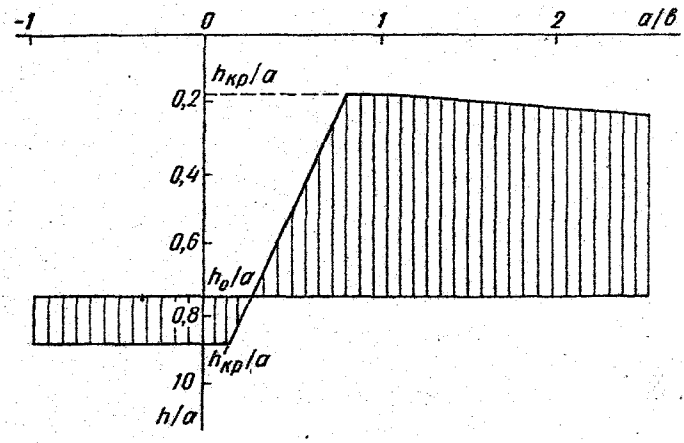


Рис.1. Область (заштрихована) границы, формирующая проходящую обменную SP волну на вертикальном профиле
h – глубина границы; $h_{кр}$ и $h'_{кр}$ – глубина границы, на которой $i_1 = i_{кр}$; h_0 – глубина границы, на которой $i_2 = \varphi$; $\varphi = 45^0$, $\frac{1}{} = 0,5$

φ – угол наклона границы; i_1 и i_2 – углы падения и преломления луча; v_S и v_P – скорость соответственно поперечной и продольной волн.

Кажущаяся скорость изменяется в пределах

$$v_P/\sin\varphi \geq v^* > v_P.$$

В зависимости от положения ПВ относительно выхода контакта на поверхность и глубины скважины годограф может иметь минимум или быть представлен только осью с положительной или отрицательной кажущейся скоростью. В соответствии с этим прослеживаются различные области границы, формирующие волну (рис.I).

Для использования кинематических особенностей волны SP с целью определения ее типа сопоставлены годографы волн SP и S (рис.2). Если скважина пересекает границу в докритической области ($i_1 < i_{кр} = \arcsin\frac{1}{}$), годографы S и SP имеют общую точку на глубине подсечения границы. Для скважины, расположенной в закритической области ($i_1 > i_{кр}$), времена поперечной и проходящей волны в этой точке различаются на величину, зависящую от угла наклона границы. Если скважина пересекает границы, для района работ отношение $t_{SP}/t_S \approx 0,8$-$0,9$. В случае, когда скважина, пересекающая контакт, и ПВ расположены по разные стороны от выхода контакта на поверхность, то

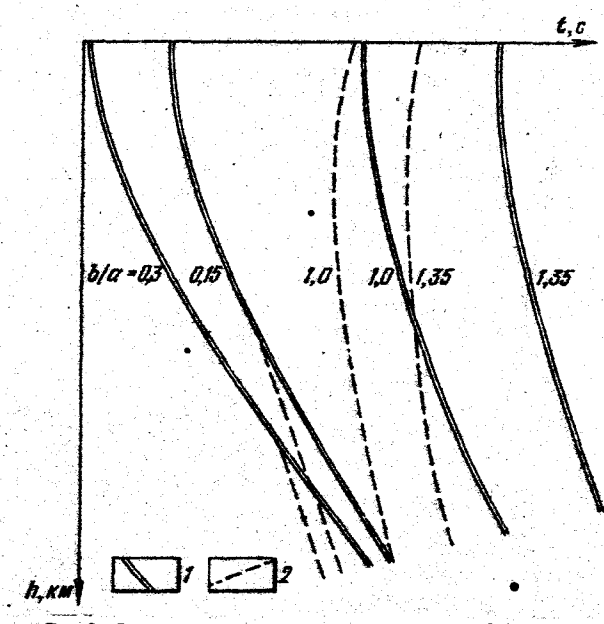


Рис.2. Теоретические годографы прямых S (1) и преломленных обменных SP (2) волн в скважине

проходящая *SP* волна регистрируется только в скважине. Она имеет положительную кажущуюся скорость, которая всегда меньше кажущейся скорости продольных волн, и наблюдается над границей. Относительное расположение годографов волн *SP* и *S* аналогично рассмотренному выше.

При анализе волновых полей сейсмических исследований МОВ установлено, что некоторые волны существенно различной природы имеют сходные кинематические характеристики. К числу таких волн относятся преломленные с обменом волны типа *SP* на крутопадающих контактах и отраженные волны *PP* от пологозалегающих границ. Так как названные волны связаны с различными частями разреза как по глубинам, так и по структурным особенностям, идентификация типа зарегистрированных волн приобретает первостепенное значение.

В Печенгском районе альтернативное решение о типе этих волн для наблюдений вкрест простирания означает либо подтверждение (по проходящим волнам *SP*) доминантной моноклинальной структуры, либо выявление по отражениям *PP* пологих границ, секущих крутопадающие контакты печенгского комплекса, которые установлены комплексом геолого-геофизических методов, в том числе сейсморазведкой МОВ [2].

Примером определения типа рассматриваемых альтернативных волн может служить анализ волновых полей на одном из сейсморазведочных профилей, который пересекает Печенгскую структуру вкрест простирания. По этому профилю по данным МОВ, подтвержденным бурением, была установлена моноклинальная структура печенгского эффузивно-осадочного комплекса с углами наклона около 30–40° до глубины 7 км. Для гнейсового комплекса, подстилающего эффузивно-осадочный, по данным предшествующих региональных исследований, характерны горизонтальные сейсмические границы.

Тип волн определялся по сопоставлению теоретических годографов для реальной сейсмогеологической модели с волновыми полями. Теоретические годографы монотипных отраженных волн *PP* были построены для горизонтальных границ в интервале глубин 3–10 км, обменных проходящих, а также отраженных волн типа *SP* – от границ, падающих под углом 45°. Построение теоретических годографов проводилось со средней скоростью способом полей времен.

Для сопоставления теоретических годографов с реальными волновыми полями прослеженные на профиле протяженные оси синфазности интенсивных волн, по кинематическим особенностям близких к отражениям *PP* от пологих границ либо к проходящим обменным волнам *SP* от крутопадающих контактов, были приведены к общему пункту взрыва. Такое приведение было вызвано необходимостью иметь для сравнения годографов протяженные оси синфазности, ибо в реальных волновых полях отраженные и преломленные волны прослеживаются со значительными промежутками, что вызвано как поверхностными условиями, так и интерференцией с различными волнами-помехами. Моноклинальное залегание границ, а также слабая дифференциация разреза по скорости дают возможность приведения годографов к общему пункту взрыва, так как в этом случае кинематика волн определяется расстоянием от источника.

Ленинградский Горный Институт
ГЛАВНАЯ БИБЛИОТЕКА
119869

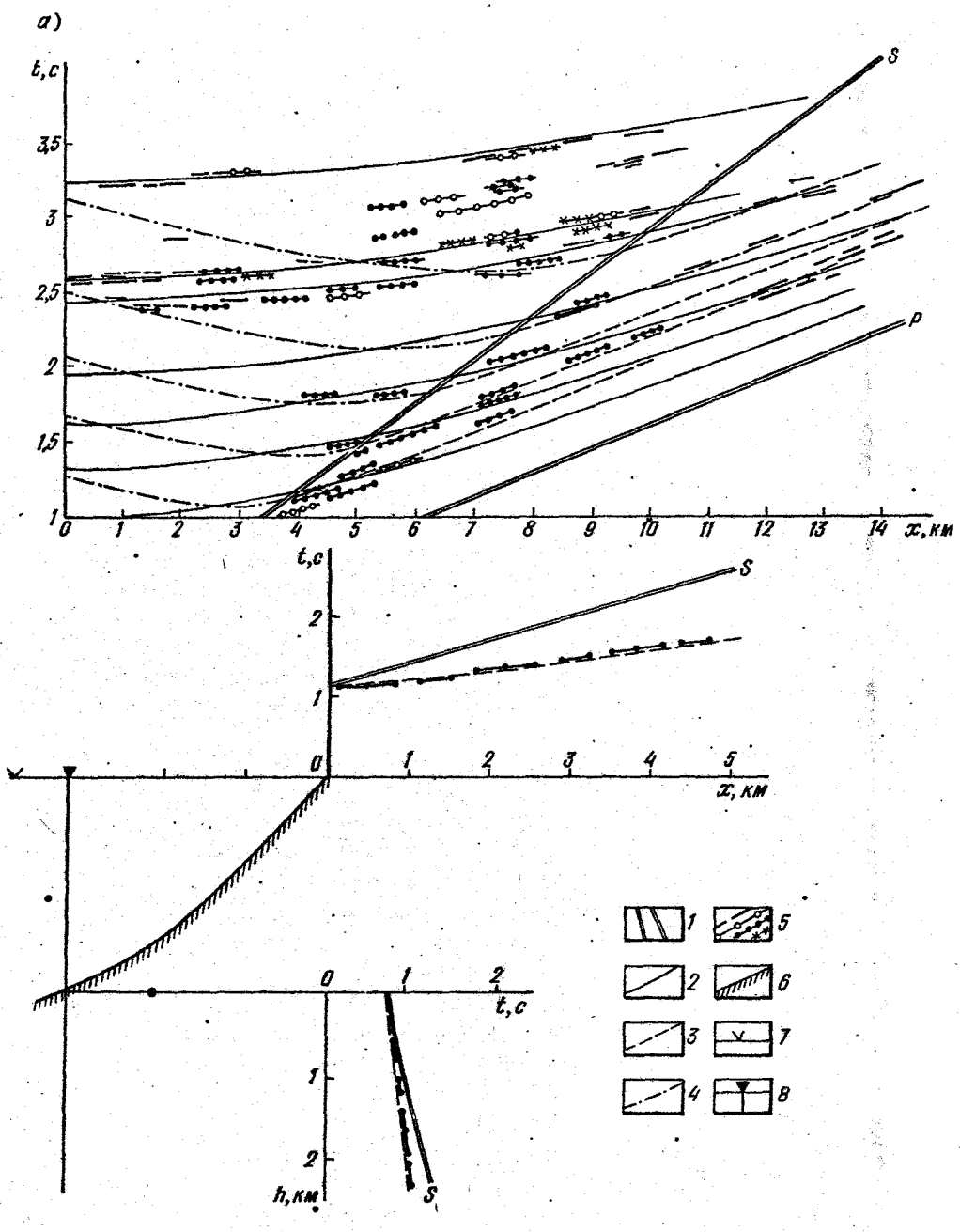


Рис.3. Результаты решения прямой задачи для волн разных типов и сопоставление их с экспериментальными годографами для наземного профиля (а) и для комбинированной системы наземных и скважинных наблюдений (б)

1-4 – теоретические годографы волн: прямых (1), продольных отраженных от горизонтальных границ (2), преломленных с обменом *SP* на наклонных границах (3), отраженных обменных *SP* волн от наклонных границ (4); 5 – экспериментальные годографы из различных пунктов взрыва; 6 – сейсмическая граница; 7 – пункт взрыва; 8 – скважина

Принципиальное сходство годографов отраженных *PP* волн от горизонтальных границ и проходящих *SP* волн от крутых наклонных контактов в области совместной их регистрации определяется положительными значениями кажущейся скорости (рис.3,а). В области пересечения с поперечной волной годографы имеют минимальное различие, причем протяженность этой области увеличивается с глубиной залегания границ. Вместе с тем при удалении от волны *S* теоретические годографы волн *PP* и *SP* существенно расходятся.

Сопоставление показывает, что оси синфазности волн, зарегистрированных в области между фронтами прямых *P* и *S* волн, в подавляющем большинстве случаев совпадают с теоретическими годографами проходящих *SP* волн. Их кажущаяся скорость несколько ниже, чем у отраженных *PP* волн от горизонтальных границ. Продолжение осей синфазности за область регистрации прямой волны согласуется с теоретическими годографами обменных отраженных волн *SP* от тех же контактов.

Теоретические годографы отражений *PP* от горизонтальных границ согласуются с прослеженными осями синфазности только на временах более 2,3 с, соответствующих глубинам свыше 7 км.

Таким образом, сопоставление теоретических годографов с волновыми полями позволяет сделать следующие выводы о типе зарегистрированных волн. Оси синфазности на временах более 2,3 с соответствуют монотипным продольным отражениям от пологих границ глубиной более 7 км. Другие рассмотренные оси синфазности связаны с проходящими обменными волнами типа *SP*, преломленными на крутопадающих контактах в верхней части разреза. Эта трактовка полностью соответствует комплексу данных сейсморазведки МОВ и бурения о разрезе по рассмотренному профилю.

Из анализа кинематики волн при скважинных наблюдениях следует, что значения v^*_{SP} частично совпадают с диапазоном изменений этого параметра для волн других типов. Так, в той части области прослеживания волны *SP*, где ее скорость $v^* < 0$, ее кинематика имеет сходство с кинематикой отраженных монотипных волн. На бо́льшем своем протяжении ($v^* > 0$) кинематика волны *SP* сходна с кинематикой кратной отраженной монотипной *PP* волны, падающей вниз от поверхности.

Эти обстоятельства заставляют даже в рамках двумерной задачи с максимальной тщательностью подходить к вопросу определения типа регистрируемых волн. При использовании комбинированных систем наземных и скважинных наблюдений целесообразно производить увязку полей путем решения прямой задачи, что необходимо, учитывая сложность волновых полей как в случае существования корреляционной точки комбинированной системы ($a/b < 1$), так и в случае ее отсутствия ($a/b > 1$).

Увязка волн, зарегистрированных на поверхности и в скважине, в условиях сложных полей увеличивает надежность определения типа волны и гарантирует от ошибок при построении разреза, а также позволяет использовать волны типа *SP* для дополнительных построений. Участки границы, формирующие волны *SP* при наблюдениях в скважине и на поверхности, часто являются различными, и регистрация этих волн как на вертикальном, так и на наземном профилях свидетельствует о протяженности и выдержанности этих границ по упругим свойствам.

Комбинированные системы наземных и скважинных наблюдений позволяют идентифицировать обменные SP волны, преломленные наклонным контактом на обоих (вертикальном и наземном) профилях.

Построение единого поля времени этих волн связано с некоторыми трудностями, вызванными главным образом недостаточной изученностью скорости поперечных волн на наземных профилях. Основная причина – спорадическая регистрация прямой поперечной волны в отличие от непрерывного прослеживания продольных волн. Поэтому при построении теоретических годографов преломленных SP волн для вертикального и наземного профиля использованы соответствующие значения лучевой скорости поперечных волн. Положение преломляющей границы, использованной для построения поля времени волн SP, определялось по сейсмогеологическому разрезу на основе согласованных данных МОВ и бурения. При сопоставлении теоретических и экспериментальных годографов SP волн (рис.3,б) отождествлялись и увязывались волны на наземном профиле и в скважине по точкам пересечения годографов преломленных волн и прямой поперечной волны, которые соответствуют пикетам выхода границы на дневную поверхность и пересечения границы вертикальным профилем.

В итоге решения прямых кинематических задач и сопоставления их с зарегистрированными волновыми полями получены результаты, подтверждающие правильность предположения о природе волн.

Для определения условий образования волн SP участки их формирования сопоставлялись с данными акустического каротажа (АК) и с синтетическими сейсмограммами, рассчитанными для монотипных P и S отраженных волн. При сопоставлении с данными АК (рис.4) отмечается приуроченность участков образования проходящих волн SP к перепаду скоростей продольных и поперечных волн. Необходимо отметить, что большинство резких перепадов скорости ($\Delta v_p \geq 0{,}5$ км/с) приводит к образованию проходящих SP волн. Такие перепады скорости, а следовательно и образующиеся на них SP волны, обычно приурочены к контактам пород различного состава. При сопоставлении с син-

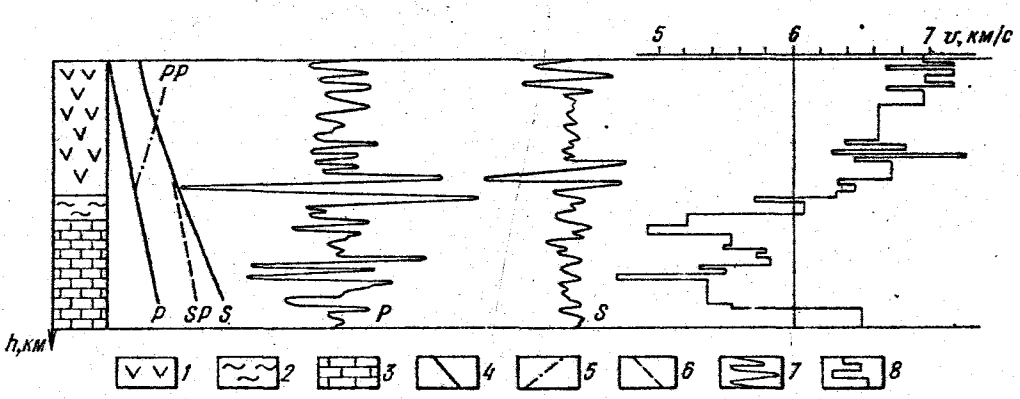


Рис.4. Комплексная характеристика участка скважины
1 – диабазы; 2 – сланцы и меланиты; 3 – песчаники, доломиты; 4-6 – годографы ВСП прямых (4), продольных отраженных (5), проходящих обменных SP волн (6); 7 – синтетические сейсмограммы; 8 – график скорости продольных волн по акустическому каротажу

тетическими сейсмограммами отраженных волн отмечается приуроченность SP волн к участкам образования наиболее интенсивных отражений, что позволяет предположить, что условия образования проходящих SP волн сходны с условиями образования монотипных отражений.

Из анализа данных ВСП и МОВ следует, что проходящие SP волны образуются на тех же границах, что и отраженные. Всем SP волнам, зарегистрированным в скважинах, соответствуют сильные отраженные волны, часто увязанные с наземными. Вместе с тем отраженных монотипных волн значительно больше, чем проходящих SP.

Использование преломленных на крутопадающих контактах обменных волн оказалось эффективным для изучения разреза Печенгского рудного поля, основная часть которого - продуктивная толща, вмещающая никеленосные интрузии, характеризуется мелкоритмичным строением флишевого типа и сложена преимущественно туфогенно-осадочными породами. Приуроченные к продуктивной толще интрузии представлены габбро-диабазами и дифференцированными и недифференцированными массивами основных и ультраосновных пород. Мощность интрузий от 10-15 до 150-200 м. Продуктивная толща подстилается и перекрывается согласно-залегающими вулканогенными толщами. Породы погружаются под углом 40-50°. Для скоростных разрезов Печенгской структуры в лучевой плоскости граница часто может быть прослежена волнами SP почти до линии пересекающего ее профиля, при этом точка пересечения границы и профиля соответствует пикету смыкания годографов обменной и прямой поперечной волны, что обеспечивает геологическую привязку прослеживаемых контактов.

Особенности кинематики обменных волн SP позволяют использовать их для изучения секущих разрывных нарушений. По материалам сейсморазведочных детальных работ, на Печенгском рудном поле из отмеченных на геологической карте диагональных разрывных нарушений 50 % выделяются обменными волнами, причем крутопадающие нарушения считались прослеженными, если они наблюдались из нескольких пунктов взрыва или на нескольких профилях. Часто волны SP бывают связаны с массивами основных и ультраосновных пород, с прослоями туфов в вулканогенных толщах; граница продуктивной и подстилающей ее вулканогенной толщи была также прослежена обменными преломленными волнами SP как на наземных, так и на вертикальных сейсмических профилях.

Выводы

1. В волновом поле наземных и скважинных наблюдений регистрируются помимо отраженных проходящие SP и PS волны.

2. Образование проходящих SP волн приурочено к резким (не менее 0,5 км/с) перепадам скорости и часто совпадает с участками образования отраженных волн.

3. Для определения типа волн по данным комбинированных систем наблюдений необходимо решение прямых задач.

4. Определение типа и использование проходящих SP волн позволяет избежать ошибочного построения разреза, повысить надежность прослеживания границ за счет независимых построений по волнам разных типов (SP, PP).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гавловская Т.Б., Лизинский М.Д. Кинематические особенности и разведочные возможности обменных волн, преломленных на крутопадающих контактах. – Зап. ЛГИ, 1981, т. 89.

2. Глубинное строение Печенгско-Аллареченского никеленосного района по геофизическим данным / В.В.Верба, Г.А.Завинская, Л.К. Кокорина, М.Д.Лизинский, И.В.Литвиненко, Г.А.Поротова. – В кн.: Восточная часть Балтийского щита. Геология и глубинное строение. Л., Наука 1975.

3. Рудницкий В.П. Сейсмические исследования в скважинах. Киев, Наукова думка, 19