Записки Санкт-Петербургского горного института имени Г.В.Плеханова.
Т.130. СПб, 1992

УДК (550.832.42+552.622.7):551.71/72

М.Д.ЛИЗИНСКИЙ, В.С.ЛАНЕВ,
Т.Н.ФОМИНА, Э.В.ЗАНТЕМИРОВА

О КОРРЕЛЯЦИИ РАЗРЕЗОВ КОЛЬСКОЙ СВЕРХГЛУБОКОЙ СКВАЖИНЫ ПО ДАННЫМ ВЕРТИКАЛЬНОГО СЕЙСМОПРОФИЛИРОВАНИЯ

В процессе бурения Кольской скважины СГ-3 технологические осложнения в ряде случаев привели к необходимости проходки обходных стволов. В наиболее глубоких из них выполнены наблюдения методом вертикального сейсмического профилирования (ВСП), в том числе в общем для различных стволов интервале глубин. Это позволило поставить вопрос о корреляции сейсмических параметров разреза между стволами. Такая корреляция возможна, если в каждом из стволов наблюдаются сходные характеристики.

Наиболее надежным из сейсмических параметров, определяемых по ВСП, является скорость продольных волн. По данным ВСП в СГ-3 определяется пластовая скорость. Данная интерпретация предполагает аппроксимацию разреза интервалами с постоянной скоростью.

В условиях разреза СГ-3 пластовая скорость определяется для интервалов разреза мощностью не менее 0,15-0,20 км. Таким образом, разрешающая способность ВСП меньше, чем у других методов ГИС, и позволяет давать интегральную характеристику разреза. Такая характеристика оказывается необходимой для корреляции разрезов расходящихся стволов, пробуренных в гнейсовом комплексе.

Два наиболее глубоких ствола СГ-3: I до глубины II 5 км и II глубиной более 12,0 км - были изучены ВСП на всем протяжении. Ствол II был забурен на глубине[X] 9,3 км из ствола I и разошелся с ним в плане по забою на расстояние около 0,3 км. В результате появилась возможность корреляции архейского гнейсового комплекса по скорости (пластовой) упругих волн.

Наблюдения ВСП в стволах I и II выполнены из двух пунктов возбуждения, удаленных от устья на 0,7 и 3,0 км, а пластовая скорость определена из ближнего пункта с целью уменьшения возможного искажающего влияния околоскважинного пространства на результаты расчетов. Наблюдения из ближнего пункта выполнены по всему стволу I, а в стволе II начиная с глубины 10,60 км.

В обоих стволах была выявлена аномалия пластовой скорости продольных волн: она составила 5,3 км/с, в то время как преобладающее значение для

[X] Здесь и далее глубина дается по длине каротажного кабеля.

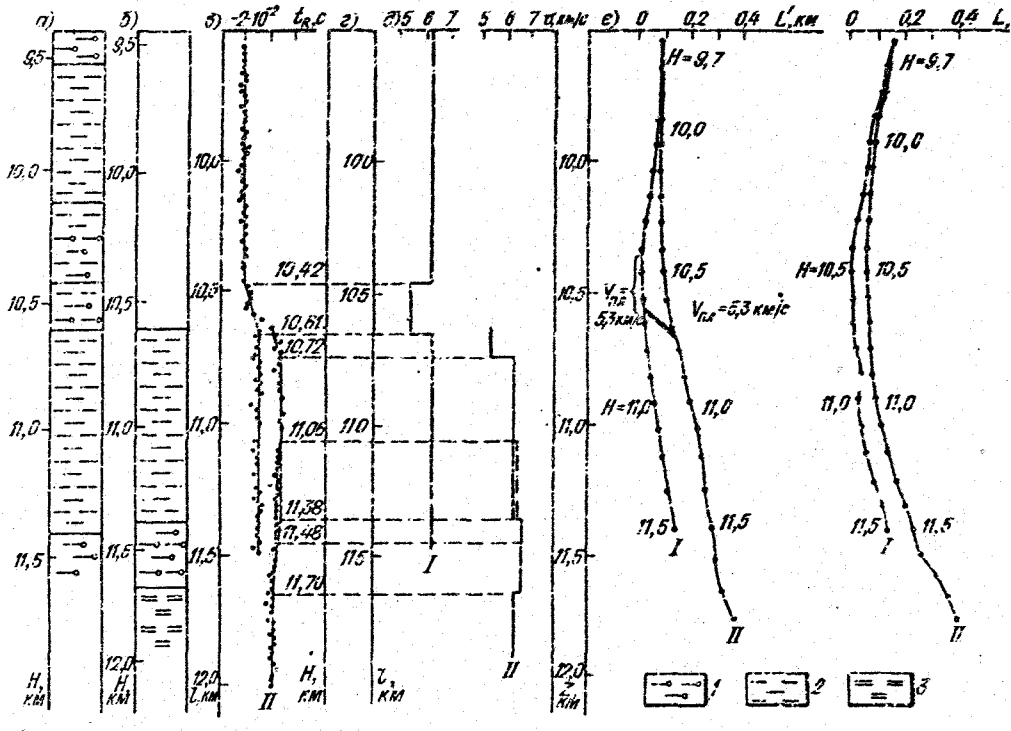


Рис.1. Корреляция I и II стволов скважины СГ-3 по пластовой скорости: а и б – схематизированные литологические колонки (данные Ю.П.Смирнова) для стволов I и II соответственно; в – вертикальные годографы, редуцированные скоростью 6,2 км/с; г – глубина точек излома годографов; д – графики интервальной скорости (пунктиром показан возможный вариант интерпретации редуцированного годографа); е – графики проекций стволов скважины на вертикальные плоскости L (азимут северо-запад 315°) и L' (азимут северо-восток 29°). На плоскости проекции (L', z) показан наклон нижнего контакта пласта со скоростью 5,3 км/с
1 – гнейсы с высоким содержанием глиноземистых минералов; 2 – эпидот-биотит-плагиоклазовые гнейсы; 3 – амфибол-биотит-плагиоклазовые гнейсы; H – глубина по кабелю, км; l – длина сейсмического луча, км; t_R – редуцированное время, с; v – скорость упругих волн, км/с

гнейсового комплекса 6,2 км/с. В стволе I этот пласт выявлен на глубине 10,42–10,61 км, в стволе II – на глубине 10,60–10,72 км; верхний контакт не прослежен из-за отсутствия наблюдений ВСП (рис.1). Аномалия столь велика (почти 1 км/с), что не оставляет сомнений в возможности корреляции. Коррелируется нижний контакт низкоскоростного пласта.

Вопрос о структурном положении сейсмических границ на больших глубинах, к числу которых относится рассматриваемый контакт, представляет очевидный интерес. Но для определения элементов залегания контакта нужны три его точки, а известны только две. Тем не менее возможность оценить угол падения φ контакта имеется, поскольку известно, что истинный угол падения не меньше кажущегося угла.

Кажущийся угол падения низкоскоростного пласта может быть определен в вертикальной плоскости, если на нее спроецировать стволы I и II и показать в плоскости проекции точки подсечения контакта стволами СГ-3.

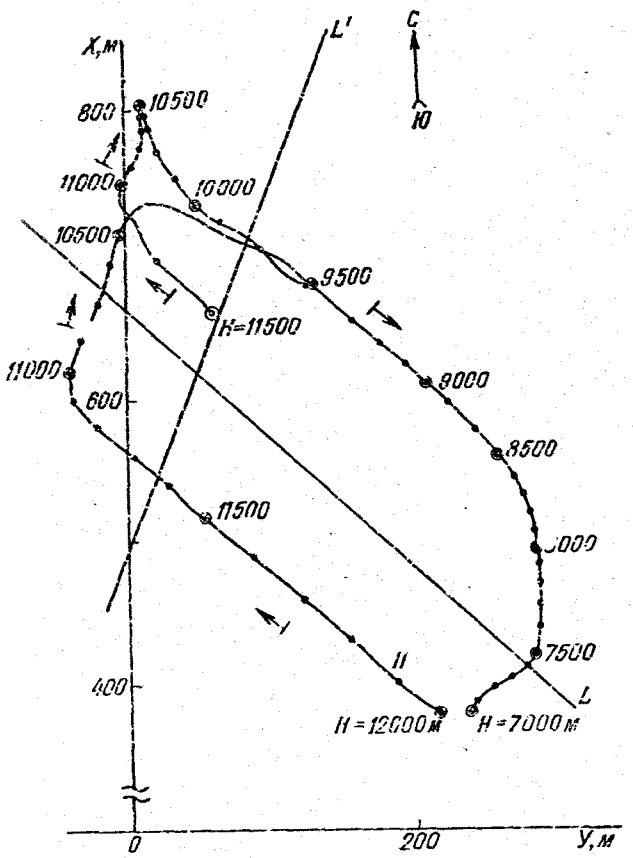


Рис.2. План расположения проекций на дневную поверхность I и II стволов скважины по данным инклинометрии (стрелками показано предполагаемое направление падения гнейсового комплекса)
H – глубина по кабелю, м; L и L' – плоскости проекций стволов скважины

По данным инклинометрии эти стволы описывают в пространстве сложные кривые с изменяющимися азимутом (рис.2). Плоскость проекции может быть задана так, чтобы ее горизонтальный след был параллелен участку горизонтальной проекции ствола, имеющему устойчивый азимут. В этом случае соответствующий участок ствола проецируется с минимальными искажениями. Горизонтальные проекции стволов I и II (рис.2) показывают, что азимут сохраняет устойчивость в трех интервалах глубин: 8,5–10,5 (северо-запад 315°); 10,5–11 км (юго-запад 200°) и глубже 11 км (юго-восток 135°). С учетом этого обстоятельства стволы С-3 спроецированы на две вертикальные плоскости с азимутами юго-запад 200° (или северо-восток 20°) и северо-запад 315°. На первую из плоскостей проецируется с малыми искажениями интервал глубин 10,5–11 км, на вторую – два других интервала.

Для определения кажущегося угла падения нижнего контакта низкоскоростного пласта удобно воспользоваться плоскостью проекции с азимутом северо-восток 70° (см. рис.1,е и 2). В этой плоскости кажущийся угол падения составляет около 45°, а значит, истинный угол падения не меньше этой величины. Вертикальную плоскость проекции можно провести и строго через точка подсечения стволами I и II рассматриваемого контакта, а кажущийся угол определить по формуле

$$\varphi = \operatorname{arctg}(\Delta Z / \Delta l),$$

где ΔZ и Δl – приращения соответственно по вертикали и горизонтали.

Расчет дает примерно ту же величину угла из-за близости азимута плоскостей проекции. Таким образом, истинный угол падения превышает 45°. Для более точных оценок нет основания, так как остается неизвестным азимут простирания контакта.

Крутое падение низкоскоростного пласта согласуется с предположением о том, что он связан с разрывным нарушением.

В нижней части разреза гнейсового комплекса по стволу II выявлена высокоскоростная аномалия. Редуцированный вертикальный годограф прямых волн, по которому определяется пластовая скорость, допускает варианты интерпретации (в частности, показанные на рис.I,д). Оба предположения дают увеличение скорости до 6,5 км/с, только в одном случае двухступенчатое (6,2-6,4-6,5 км/с), в другом с одним скачком (6,2-6,5 км/с). Неоднозначность интерпретации оказалась следствием дисперсии времени, но повышение скорости в интервале ствола II между II,06 и II,70 км несомненно.

В нижней части ствола I для выделения высокоскоростных объектов, подобных рассматриваемым в стволе II, нет надежных оснований, хотя формально разброс годографа такой интерпретации не исключает. Возможно, как следует из рис.I,в, если бы ствол I был более глубоким и был бы охарактеризован данными ВСП, то в его нижней части также проявилась аномалия годографа, как и в стволе II. В связи с этими обстоятельствами коррелировать высокоскоростную аномалию ствола II нет оснований до получения новых данных ВСП на соответствующих глубинах.

Горизонтальная проекция стволов I и II СГ-3 (см. рис.2) указывает на сходство азимутов близких по глубине участков и примерно равные глубины смены этих азимутов. В самом деле, траектория движения II ствола скважины в целом повторяет траекторию движения I ствола, причем «повороты», которые совершают эти стволы, оказываются примерно на одних гипсометрических уровнях (на глубине 10,5 км азимут изменяется примерно на 90° и продолжает оставаться постоянным на протяжении 500 м проходки для обоих стволов скважины; на глубине II,0 км азимут траектории линии стволов второй раз изменяет свое направление и сохраняет его до забоя обоих стволов).

Вряд ли такая геометрия стволов и, главное, удивительное повторение стволом II особенностей траектории ствола I являются случайными. Скорее всего, объяснение следует искать в механизме искривления скважин под влиянием геологических условий. Он является достаточно сложным, но подчиняется определенным закономерностям. Известно, что при бурении в слоистых наклонно залегающих породах долото, разбуривая каждый пропласток, достигает той точки, где порода уже не в состоянии выдержать прилагаемую осевую нагрузку. В породе образуются трещины, причем породы, обладающие слоистой текстурой, склонны образовывать трещины в направлении, перпендикулярном к плоскости напластования. По мере углубления скважина все более искривляется по восстанию пластов до тех пор, пока ствол ее не станет перпендикулярным к плоскости наслаивания, а его зенитный угол – равным углу падения пород[x].

[x] Калинин А.Г. Искривления скважин. М.: Недра, 1974. 304 с.

В свете этого механизма согласованный двойной „поворот" горизонтальных проекций стволов I и II позволяет высказать ряд предположений. Во-первых, каждый из трех интервалов стволов с устойчивым азимутом соответствует структурному комплексу с падением слоистости в направлении, противоположном азимуту проходки. Во-вторых, как следует из проекций на вертикальные плоскости, параллельные соответствующим интервалам (см. рис.1,а), стволы приобретают устойчивые зенитные углы (см. таблицу). В-третьих, значения устойчивых зенитных углов характеризуют углы падения слоистости гнейсового комплекса.

Необходимо обратить внимание на то обстоятельство, что предполагаемые углы падения меньше, чем измеренные по керну СГ-3. Представляется, что причиной этого расхождения может быть различный масштаб изучаемых явлений. В образцах измеряется наклон к оси керна слоев мощностью до нескольких сантиметров, в то время как траектория ствола подчиняется региональной слоистости мощных (до нескольких сотен метров) комплексов пород.

Характеристика траекторий стволов I и II СГ-3 на глубине свыше 9,6 км

Ствол	H, км	Устойчивый азимут горизонтальной проекции	Устойчивый зенитный угол
I	9,6-10,1[X]	СЗ 315°	10°
II	10,6-11,00[XX]	ЮЗ 200°	15
	Более 11,2[XX]	ЮВ 135°	-
	Более 11,4	-	25

[X] Более устойчив азимут ствола I.

[XX] Более устойчив азимут ствола II.

Можно полагать, что именно с этой региональной слоистостью связаны глубинные сейсмические границы. Это предположение позволяет объяснить структуру сейсмических разрезов, изучаемых в окрестностях скважины СГ-3, на глубине более 9 км. Соответствующие сейсмические профили были проведены вкрест простирания Печенгской структуры, т.е. имели северо-восточное направление, близкое к азимуту вертикальной проекции стволов I и II (см. рис.2). В указанном интервале глубин на профилях прослежены только пологие отражающие границы.

Наклон отражающих границ в сейсмическом разрезе определяется углом их падения в плоскости сейсмических лучей, которая проходит через линию профиля ортогонально самой границе. Если профиль задан вкрест простирания границы, то в лучевой плоскости она прослеживается под истинным углом падения, а если профиль задан по простиранию, то граница горизонтальна независимо от значения истинного угла падения.

Интервалы глубин разрезов СГ-3 до 10 км и более 11 км прослеживались на сейсмических разрезах в направлении, близком к азимуту простирания, а глубин 10-11 км – вкрест простирания. В обоих случаях в плоскости сейсмических лучей могли быть прослежены отражающие границы под углом не более 15°. Это предположение целиком подтверждается сейсмическими разрезами по региональным профилям, пересекающим Печенгскую структуру, и детальному профилю, проведенному в окрестности СГ-3.