

## ИЗУЧЕНИЕ ВЕРХНЕЙ ОТРАЖАЮЩЕЙ ГРАНИЦЫ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Исключение влияния ВЧР с учётом кривизны рельефа при решении структурных и динамических задач необходимо для создания модели геологического объекта. Это повышает эффективность последующих процедур при изучении ФЕС. В ряде случаев задача решается по результатам выполнения сейсмокаротажных работ до уровня приведения, что увеличивает стоимость работ. Изучение и исключение влияния ВЧР по данным сейсморазведки до верхней отражающей границы (ВОГ) с учётом кривизны ВОГ при создании модели объекта практически не используется из-за низкой точности определения скоростей. Проведённые исследования свидетельствуют о том, что существенное повышение точности решения этой задачи возможно, если компенсировать

влияние факторов, которые понижают точность изучения скоростей. При глубинной миграции и создании модели геологического объекта влияние кривизны ВОГ на точность и детальность определения параметров нижележащих горизонтов не учитывается, что понижает точность и детальность создания модели.

Скорости при проведении сейсморазведочных работ определяются по годографам ОГТ, наблюдаемым на земной поверхности, в которые вводятся статические поправки для обеспечения синфазного суммирования. Изучение скоростей осуществляется в основном по вертикальным спектрам. При использовании горизонтальных спектров скоростей от горизонтального уровня приведения обеспечивается более высокая плотность

изучения скоростей, при этом определяются приращенные годографов  $\tau$  на суммируемой базе  $L$  для времен  $t_0$ . При пересчёте параметров  $t_0$ ,  $\tau$ ,  $L$  в значения скорости во всех программах применяется зависимость скорости в однородной среде с горизонтальными уровнем приведения и границей:

$$V_{\text{ср}} = \frac{L}{\sqrt{\tau(2t_0 + \tau)}}.$$

Для однородной среды при наклоне отражающей границы (угол наклона  $\alpha$ ) данная зависимость принимает вид

$$V_{\text{ср}} = \frac{L \cos \alpha}{\sqrt{\tau(2t_0 + \tau)}}.$$

Замеряемые значения параметров годографа  $t_0$  и  $\tau = f(L)$  характеризуют лучевую скорость, которая зависит от выбранного уровня приведения, слоистости разреза, наклона отражающей границы, кривизны промежуточных границ. Поэтому для использования значений лучевой скорости для структурных построений и пересчёта её в значения средней необходимо вводить соответствующих поправок для устранения различий между лучевой и средней скоростью. К настоящему времени предложены способы, учитывающие слоистость для горизонтально-слоистой среды по степени скоростной неоднородности покрывающей толщи  $S$  [3]. Пересчёт лучевой скорости в среднюю скорость наиболее точно выполняется при учёте слоистости по зависимости:

$$V_{\text{ср}} = \frac{2V_{\text{луч}}}{\sqrt{S+3}}.$$

Степень скоростной неоднородности (коэффициент слоистости) с наибольшей точностью оценивается по данным АК, и при изучении ВЧР по характерным признакам позволяет увереннее, чем по интервальным скоростям АК, выделить подошву ЗПС.

Оценка влияния остальных факторов была выполнена на практическом материале по проф. 89203, отработанному по системе наблюдения 2D на Майкорской площади, расположенной на востоке Восточно-Европейской платформы. Профиль отработан взрывными источниками с глубин 10 - 30 м и с шагом между взрывами и приборами 25 м по 48-кратной системе наблюдения. Альтитуды рельефа на профиле меняются от 122 до 190 м. При обработке для интервала отражающего горизонта К на временном разрезе было достигнуто энергетическое отношение сигнал/помеха  $\rho$ , равное 80. Это позволяет определять значения времён на разрезах со среднеарифметической погрешностью  $m(t_0) = 0,1$  мс. Оценка погрешности выполнена по эмпирической зависимости значений фазового разброса  $m_\phi$  от энергетического отношения сигнал/помеха  $\rho$  и периода несущей частоты  $T$ :

$$m_\phi = m_\tau = \frac{T}{4} \sin \frac{90^\circ}{\rho} = \frac{1}{4f} \sin \frac{90^\circ}{(S/N)^2} \quad \text{при } \rho \geq 1.$$

Практически использовались времена  $t_0$  с точностью 1 мс.

Оценка точности значений  $\tau$  может быть осуществлена по этой же зависимости с использованием отношения  $S/N$  или энергетического отношения сигнал/помеха  $\rho$ , определённого по сейсмограммам ОГТ, с введёнными статическими и кинематическими поправками.

Для анализа использовались значения  $\tau$ , оценённые по спектрам скоростей при длине годографа  $L = 0,5$  км с изменением значения  $\tau$  в пределах 33 - 38,4 мс и с точностью замера  $m_\tau = 0,28$  мс,  $\sigma_\tau = 0,53$  мс. Оценка точности выполнена по функции изменчивости (ФИ). Такая точность значений  $\tau$  обеспечивает определение лучевой скорости с точностью  $\sigma_v = 24$  м/с и относительной глубины с точностью  $\sigma_H = 4,2$  м.

Непосредственно по профилю имелись данные структурного бурения по 8 скважинам, что позволяло оценивать расхождение глубин с данными бурения при включении каждого фактора в схему расчёта скоростей и глубин по сейсмическим данным. Оценка влияния факторов осуществлялась по диапазону изменения отклонений  $D$  от данных бурения и по функции изменчивости, которая позволяет оценить кривизны анализируемой функции на разных базах и определить ошибки замера, ошибки интерполяции, изменчивость на конкретной базе и достоверность выделяемых объектов [1, 2].

Для обеспечения высокой точности определения кинематических приращений и времён при обработке проф. 89203 было исключено влияние ЗМС и применена методика "замещения слоя" для повышения отношения сигнал/помеха и ослабления влияния ЗПС.

При обработке материалов для достижения наилучшего эффекта суммирования экстремумов фаз в полевой материал всегда вводятся статические поправки от горизонтального уровня приведения. Это изменяет значение замеряемой на поверхности лучевой скорости, поэтому требуется её корректировка для приближения к средней скорости от поверхности, учитывая отклонение уровня приведения (поправка в значения  $t_0$ ). Поправки за вертикальность луча в ЗМС и ЗПС, кривизну промежуточных границ вносятся в значения  $\tau$ . При регистрации спектров скоростей от горизонтального уровня влияние скоростных неоднородностей ЗМС целесообразно исключать статическими поправками.

Наибольшее влияние на точность скоростей и соответственно глубин обусловлено выбором уровня приведения (поправки в  $t_0$  за смену уровня). Оптимальным уровнем приведения при расчёте скоростей является сглаженный, криволинейный уровень возбуждения, который учитывает кривизны рельефа и исключает влияние ЗМС. При незначительном изменении альтитуд рельефа возможно использование горизонтального уровня, равного среднему уровню возбуждения. При анализе выявлено, что изменение значений  $t_0$  на 8 мс эквивалентно изменению значений  $\tau$  на 1 мс.

Поправки в значения  $\tau$  за вертикальность луча в ЗМС и за разность криволинейного уровня и уровня приведения при расчёте скоростных спектров целесообразно рассчитывать по параметру луча  $p$ , который определя-

ется исходя из длины годографа  $L$ , средней глубины до отражающего горизонта  $H$  и усредненной скорости над отражающим горизонтом  $V_{cp}$ .

$$p = \sin\left(\arctg \frac{L}{2H_{cp}}\right) / V_{cp}.$$

Поправки за вертикальность луча в значения  $\tau$  определяются по зависимости:

$$\Delta\tau = 2t_{\text{верт}} \left( \frac{1}{\cos\beta} - 1 \right) \frac{V_2 - V_1}{V_1},$$

где  $t_{\text{верт}}$  - вертикальное время в ЗМС или в ЗПС (разность статпоправок за смену уровня);  $V_1$  - скорость в верхнем слое;  $V_2$  - скорость в нижнем слое;  $\beta$  - угол отклонения луча от вертикали в верхнем слое,  $\beta = \arcsin(pV_1)$ .

Для исключения высокочастотной составляющей поправок и выделения аномалий поправки необходимо сглаживать. Учитывая, что функция изменчивости связывает в систему оценки параметров: точность замера, погрешность интерполяции, плотность изучения функции, протяжённость исследуемых аномалий, базы сглаживания, и что одинаковой изменчивостью характеризуются оценки параметров функции изменчивости при определенном соотношении баз, можно выбрать оптимальные базы сглаживания.

Одинаковой изменчивостью характеризуются базы:

$$B_{\text{ИО}} = 2B_{\text{инт}} = 2B_{\text{ош}} = B/2 = B_{\text{сгл}}/4,$$

где  $B_{\text{ИО}}$  - база функции изменчивости;  $B_{\text{инт}}$  - база интерполяции для любого интервала;  $B_{\text{ош}}$  - база оценки погрешности изучаемой функции для любого интервала;  $B$  - протяжённость аномалии;  $B_{\text{сгл}}$  - база сглаживания.

Учитывая большую изменчивость ЗМС и для её исключения на малых базах поправки за ЗМС необходимо сглаживать на базах  $2L - 4L$ .

База сглаживания при оценке поправок за смену уровня приведения, за вертикальность луча для обеспечения наибольшей разрешённости не должна превышать  $L$ .

Располагая информацией о геометрии промежуточной границы, можно учесть её влияние на значения  $\tau$ . Поправка в значения  $\tau$  за влияние промежуточной границы оценивается по значению кривизны границы, замеренной по интерполяционному отклонению с учётом изменения длины годографа на промежуточной границе  $L_{\text{гп}}$  в зависимости от отношения глубины границы и ВОГ. Кривизна границы определяется по интерполяционному отклонению для базы  $L_{\text{гп}}/2$ :

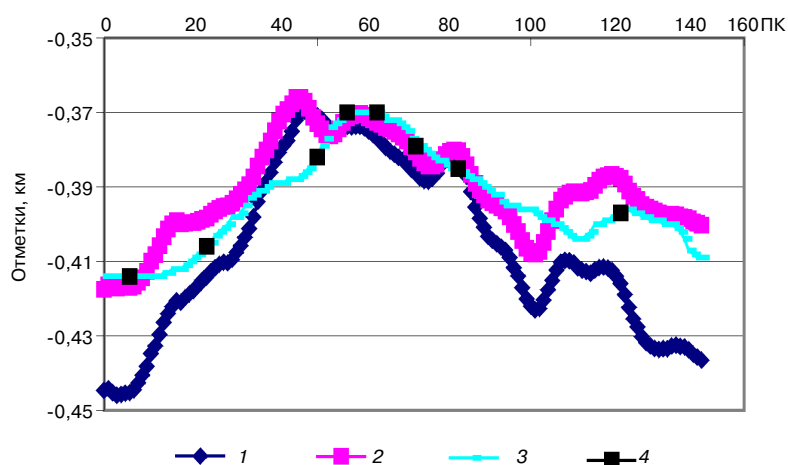
$$h_{\text{кр}}(L_{\text{гп}}) = h_2 - \frac{h_1 + h_3}{2}.$$

Поправки в значения  $\tau$  за влияние кривизны промежуточной границы можно определить по зависимости:

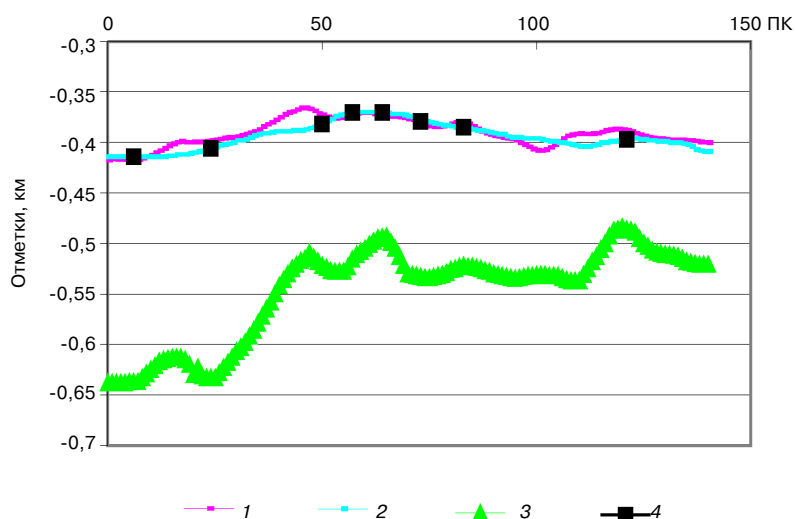
$$\Delta\tau = 2h_{\text{кр}} \left( \frac{1}{\cos\beta} - 1 \right) \frac{V_2 - V_1}{V_1 V_2}.$$

Для района исследования, где имеет место унаследованность структурных планов, в качестве кривизны промежуточной границы использовалась кривизна изучаемого горизонта, определённая по сейсмическим данным с применением всех ранее рассмотренных поправок.

Проведённые оценки отклонений от данных бурения при последовательном включении поправок в значения  $\tau$



**Рис. 1.** Сравнение отметок горизонта К: 1 -  $h(t_0, V_{\text{ОГТ}})$ ; 2 -  $h_{\Sigma\text{попр}}$ ; 3 - по общепринятой интерпретации с использованием данных структурного бурения (тп 42/92-94); 4 - отм.  $K_{\text{СКВ}}$



**Рис. 2.** Сравнение отметок горизонта К с отр. гор. II (отметки уменьшены на 1,1 км): 1 -  $h_{\Sigma\text{попр}}$ ; 2 - отр. гор. К (тп 42/92-94); 3 - отр. гор. II (тп 42/92-94); 4 - отм.  $K_{\text{СКВ}}$

свидетельствуют о том, что замена  $V_{\text{луч}}$  на  $V_{\text{кр ур}}$  (замена значений  $t_0$  при определении спектров на  $t_0$  от криволинейного уровня) приводит к существенному повышению точности определения глубин и уменьшению диапазона отклонений их от значений по данным бурения. Внесение поправок в значение  $\tau$  за вертикальность луча в ЗМС и ЗПС также приводит к повышению точности, хотя для данного района исследований они незначительны. Внесение поправок за криволинейность промежуточной границы необходимо при большом их влиянии.

На рис. 1 приведено сравнение отметок горизонта К. При определении глубин с уточнёнными скоростями на профиле выделяются дополнительно структурные аномалии, которые были пропущены при общепринятой интерпретации с использованием данных структурного бурения (данные тп 42/92-94). Неучёт влияния выявленных аномалий на значения  $\tau$  для горизонтов глубже ВОГ достигает 5 мс, что значительно искажает оценки скоростей по глубоким горизонтам. Устранение этих искажений решается применением процедуры глубинной миграции, если при её использовании учитываются кривизны верхнего отражающего горизонта.

Достоверность выявленных дополнительных аномалий подтверждается структурными построениями по отражающему горизонту II (рис. 2), выполненными тп 42/92-94. При использовании скоростей по данным сейсморазведки положительным структурным формам по отражающему горизонту II соответствуют положительные аномалии по отражающему горизонту К. По данным “стандартной” интерпретации они не выявлены.

Приведённый пример по учёту факторов, влияющих на точность изучения скоростей до ВОГ (смена уровня, вертикальность луча, кривизны промежуточных границ, слоистость разреза, угол наклона отражающей границы), свидетельствует о возможности изучения ВОГ по сейсмическим данным с определением её кривизны.

Современное программное обеспечение позволяет применять рассмотренную методику построения ВОГ и для систем наблюдения 3D. Основные затруднения могут быть связаны с неравномерностью удалений  $L$  в годографах бинов при определении горизонтальных спектров скоростей и низким соотношением сигнал/помеха из-за сейсмогеологических условий, что преодолимо при планировании системы наблюдения и графа обработки, основанном на знании на площади исследований отношения сигнал/помеха и оценок точности замера значений  $\tau$ .

Применение рассмотренной методики построения ВОГ по сейсмическим данным в ряде районов России открывает возможности изучения и исключения влияния ВЧР по сейсмическим данным, в т. ч. в районах многолетней мерзлоты. В районах Восточно-Европейской платформы и Предуральяского прогиба методика позволяет учитывать кривизны верхней отражающей границы и может способствовать выявлению пермских биогерм при изучении скоростей по нескольким отражающим горизонтам. Главное, использование методики определения скоростей по ВОГ обеспечивает более надёжное изучение геологических объектов и соответственно определение ФЕС нефтяных залежей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Вахотин Н. Н.*, 2005, Анализ кривизны функции: Геология и полезные ископаемые Западного Урала: Материалы региональной науч.-практ. конференции: Пермь, ПГУ, 241 - 247.
2. *Вахотин Н. Н.*, 2007, Оценка вероятностей изучаемых геологических объектов: Геология и полезные ископаемые Западного Урала: Материалы региональной науч.-практ. конференции: Пермь, ПГУ, 274 - 279.
3. *Маловичко А. А.*, 1990, Кинематическая интерпретация данных цифровой сейсморазведки в условиях вертикально-неоднородных сред: Свердловск, УрО АН СССР.

## КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

*Николай Николаевич ВАХОТИН* - геолог-геофизик, пенсионер.