

ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ СТРУКТУРНЫХ ПОСТРОЕНИЙ ESTIMATION OF STRUCTURAL IMAGING UNCERTAINTY SPATIAL DISTRIBUTION

А. А. Куркин

A. A. Kurkin

ООО «НОВАТЭК НТЦ», Тюменский государственный нефтегазовый университет,
г. Тюмень

Ключевые слова: структурная неопределенность; структурные построения; внешняя сходимость; внутренняя сходимость; оценка геологических рисков; ошибка определения скоростей; погрешность корреляции

Key words: structural uncertainty; structural imaging; external convergence; internal convergence; estimation of geological risks; velocity determination error; correlation inaccuracy

Общеизвестно, что структурный фактор является определяющим при формировании залежей углеводородов, по этой причине качество построения глубинных моделей напрямую влияет на достоверность прогноза нефтегазоносности. Также известно, что как бы ни была оптимальна методика структурных построений, не существует единственно верного решения обратной кинематической задачи [1-3], следовательно, неизбежны погрешности при построении глубинно-скоростных моделей. В частности, для северной части Западно-Сибирского бассейна, где расположены площади, на которых апробировалась изложенная в данной статье методика, резкие изменения сейсмических скоростей в верхней части разреза за счет изменчивости толщи многолетнемерзлых пород, наряду с многоуровневыми залежами газа и зонами АВГД, существенно искажают сейсмоструктурные построения.

Для того, чтобы в полной мере понимать геологические риски бурения поисковых, разведочных или эксплуатационных скважин, важно получить достоверную оценку возможных структурных погрешностей. Существует несколько способов оценки, которые можно разделить на две группы: оценки по так называемой внешней и внутренней сходимости (рис. 1).

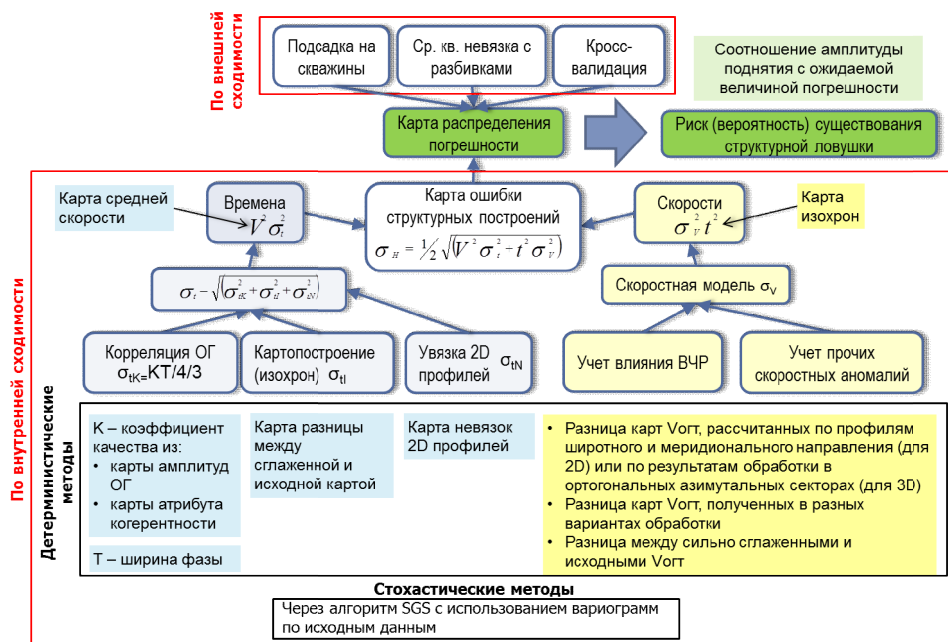


Рис. 1. Схема оценки структурной неопределенности

Методическими рекомендациями [4] регламентировано использование в качестве меры погрешности среднеквадратической ошибки σ , которая рассчитывается по внешней сходимости данных сейсморазведки: как среднеквадратическая невязка прогнозных глубин со скважинными разбивками. Оценка дается в виде единого для всей площади значения в метрах. Данная методика применима при интерпретации данных 3D-съемки и при плотной и равномерной разбуренности площади. Если сеть скважин неравномерная и/или редкая, для оценки точности требуется анализ внутренней сходимости сейсмических данных, который учитывает ошибки определения исходных кинематических параметров: времен σ_t (см. рис. 1, синие блоки) и скоростей σ_v (см. рис. 1, желтые блоки).

Еще более информативным с практической точки зрения подходом к оценке неопределенности является построение карты распределения ошибок. В случае использования постоянного по всей площади значения погрешности фактическая неопределенность с высокой степенью вероятности в удаленных от бурения областях отстраиваемой карты будет занижаться, а вблизи скважин — завышаться.

В данной статье предложена методика оценки пространственного распределения прогнозной структурной ошибки, учитывающая все факторы неопределенности, связанные с ошибками определения исходных параметров данных сейсморазведки.

Оценку предлагается начинать с анализа внутренней сходимости данных и далее переходить к оценкам по внешней сходимости.

1. Оценка по внутренней сходимости метода сейсморазведки.

Для определения величины среднеквадратической ошибки предлагается использовать известную формулу [5]:

$$\sigma_H = 1/2 \sqrt{(V^2 \sigma_t^2 + t^2 \sigma_v^2)},$$

где V — скорость до рассматриваемого отражающего горизонта, σ_t — погрешность (среднеквадратическая ошибка) определения времен отражающего горизонта, t — двойное время пробега до рассматриваемого отражающего горизонта, σ_v — среднеквадратическая ошибка определения скоростей.

Главное отличие предлагаемого метода от изложенного в «Инструкции по оценке качества...» [5] заключается в том, что строится карта распределения погрешности, где ошибка рассчитывается по формуле в каждой точке карты. Карта распределения погрешности любого оцениваемого параметра представляет собой карту интервала, в пределах которого значения этого параметра могут варьироваться.

В качестве параметра V и t используются карты изохрон и средних скоростей соответственно. Сложность заключается в определении латерального изменения ошибок σ_t и σ_v . Подходы к построению карт ошибок можно разделить на стохастические и детерминистические (см. рис. 1).

1. *Стохастические методы* рассчитывают возможное распределение ошибки по площади из исходной карты оцениваемого параметра, значения среднеквадратической ошибки для этого параметра, а также вариограммы распределения ошибки, которую обычно получают из исходной карты. Распределение рассчитывается путем моделирования множественных реализаций карт параметра с использованием алгоритма последовательной симуляции Гаусса (SGS) либо других стохастических алгоритмов. Ошибка определяется на основе разброса между реализованными значениями скоростей в каждой точке карты.

Существенным недостатком стохастических методов является субъективность и слабая обоснованность выбора радиуса вариограммы, который напрямую влияет на конфигурацию получаемых карт ошибки [6]. Поэтому рекомендуется использо-

вать данные методы лишь при отсутствии возможности рассчитать карты распределения ошибок детерминистически.

2. *Детерминистические методы* заключаются в расчете карт ошибок на основе формализованных процедур анализа кинематических параметров.

2.1. *Ошибки определения времен σ_t предлагается рассчитывать как*

$$\sigma_t = \sqrt{(\sigma_{iK}^2 + \sigma_{iI}^2 + \sigma_{iN}^2)},$$

где σ_{iK} — среднеквадратическая ошибка корреляции отражающего горизонта, σ_{iI} — среднеквадратическая ошибка при картопостроении изохрон, σ_{iN} — среднеквадратическая ошибка увязки 2D-профилей.

2.1.1. *Ошибка корреляции отражающего горизонта σ_{iK} задается как карта интервала погрешности корреляции, в пределах которого пикинг горизонта может варьироваться. Расчет предлагается производить в полуавтоматическом режиме путем комбинации карт параметров Т и К:*

$$\sigma_{iK} = KT / 4 / 3,$$

где K — качество прослеживаемости коррелируемой фазы, $T/4$ — четверть периода отражения или половина ширины коррелируемой фазы.

Расчет параметра $T/4$ производится через построение карты атрибута «максимальная длительность сигнала (ширина фазы)» («maximum loop duration», Loop). Атрибут рассчитывается в интервале между двумя ближайшими экстремумами («closest trough», если горизонт проведен по положительной фазе, либо «closest peak», если горизонт проведен по отрицательной фазе). Окно поиска (search window) задается так, чтобы захватить ближайшие экстремумы, по умолчанию предлагается задавать 50 мс вверх и вниз от горизонта. Значения карты атрибута делятся на 2 (половина ширины фазы): $T/4 = \text{Loop}/2$. (рис. 2, пунктирные черные линии).

Расчет параметра качества прослеживаемости K можно произвести несколькими способами:

- Некоторые программные продукты (Petrel) позволяют рассчитывать при корреляции ОГ параметр «confidence» (устойчивость корреляции). В этом случае за основу берется карта значений данного параметра.
- В случае невозможности произвести автоматический расчет параметра качества прослеживаемости за основу берется карта, отражающая величину сейсмических амплитуд по данному горизонту. Предлагается использовать карту атрибута средней магнитуды («average magnitude») в окне, определенном на предыдущем шаге (вверх и вниз от горизонта на интервал половины ширины фазы, $T/4$).
- Карта сглаживается с небольшим радиусом ~ 1 км и нормируется от $K_{\min}$ до $K_{\max}$, где $K_{\min} = 0-1$ — высокие значения амплитуд, уверенное прослеживание фазы, $K_{\max} \geq 1$ — низкие значения амплитуд, слабое прослеживание фазы.
- Пределы нормировки $K_{\min}$ и $K_{\max}$ выбираются исходя из качества прослеживаемости коррелируемой оси синфазности: чем выше качество, тем больше должны быть $K_{\min}$ и $K_{\max}$. Данные коэффициенты следует корректировать при визуальной проверке разрезов с вынесенными рассчитанными поверхностями «горизонт + $K \cdot T/4$ », «горизонт – $K \cdot T/4$ » (см. рис. 2, сплошные черные линии). К примеру, на рис. 2 отмечены зоны, где фаза является достаточно широкой, но при этом амплитуда сигнала высока, и корреляция ОГ не вызывает затруднений. В этом случае параметр K должен быть низким, чтобы обеспечить сужение интервала погрешности. Если фаза низкоамплитудна, то параметр K должен быть равен или больше 1. В этом случае корреляция ОГ затруднена, и интервал погрешности

должен сохранять свою ширину, а в некоторых случаях должен и расширяться (зона пропадания отражения на рис. 2).

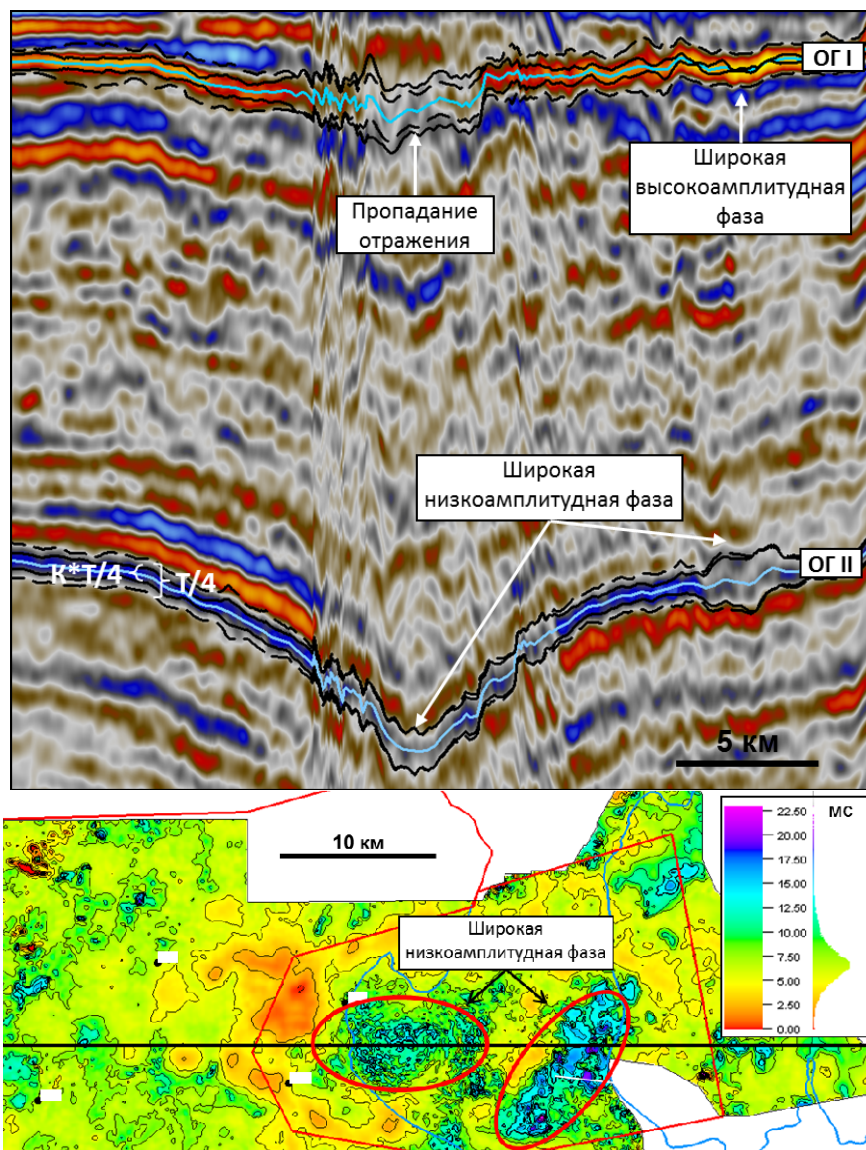


Рис. 2. Вверху: сейсмический разрез, иллюстрирующий интервалы неопределённости корреляции ОГ I и II. Внизу: карта распределения среднеквадратической ошибки корреляции ОГ II. Черной линией отмечено расположение разреза

Карта произведения параметров $\sigma_{tK} = KT/4$ принимается равной предельной ошибке. Для перехода к среднеквадратической ошибке значения делятся на 3: $\sigma_{tK} = KT/4/3$ (см. рис. 2).

2.1.2. Погрешности при картопостроении изохрон σ_H рассчитываются через карту разницы между сглаженной (конечной) и исходной картой изохрон (полученной из корреляции горизонта). Карта (рис. 3) отражает любые субъективные правки, вносимые интерпретатором при картопостроении, а также возможные ошибки алгоритма и погрешности (заглаживание мелких структурных элементов,

неопределенность корреляции в разломных зонах). Значения на карте разницы берутся по модулю и принимаются равными среднеквадратической ошибке картопостроения σ_{Π} .

2.1.3. Погрешности увязки профилей $\sigma_{\Pi N}$ рассчитываются только в случае 2D-сейсморазведки как карта модулей невязок корреляции ОГ в точках пересечения сейсмических профилей после увязки профилей по фазе. В случае 3D-сейсморазведки погрешность принимается равной нулю.

2.2. Погрешность определения скорости σ_V предлагается оценивать через расчет карты разницы сейсмических скоростей (суммирования), рассчитанных по методически разным, но при этом одинаково адекватным технологиям. Предполагается, что области большой разницы соответствуют высокой неопределенности скоростной характеристики среды и зонам аномалий скоростей. Наиболее предпочтительным представляется рассчитывать разницу карт скоростей, рассчитанных во взаимно перпендикулярных направлениях:

- в случае 2D-сейсморазведки — разница карт скоростей, рассчитанных по профилям широтного и меридионального направлений;
- в случае 3D-сейсморазведки — разница карт по результатам обработки в ортогональных азимутальных секторах.

Значения на карте разницы берутся по модулю и принимаются равными среднеквадратической ошибке определения скоростей.

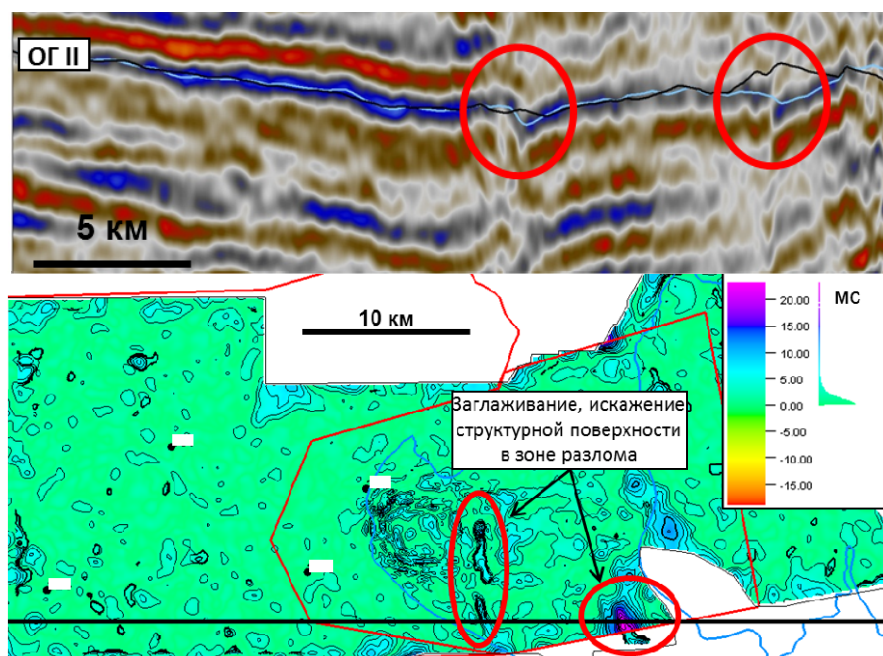


Рис. 3. Сейсмический разрез, иллюстрирующий ошибки при картопостроении изохрон ОГ II (вверху), и карта распределения ошибки (внизу). Черной линией отмечено расположение разреза

II. Оценка по внешней сходимости сейсморазведки с данными бурения.

Полученные карты погрешностей необходимо проверять на сходство с оценками по внешней сходимости данных сейсморазведки со скважинными данными. Данные оценки можно получить несколькими способами, в порядке уменьшения предпочтительности:

- При высокой плотности скважинных данных рассчитывается карта распределения невязок прогнозных глубин с данными бурения по методу кросс-

валидации, который заключается в поочередном исключении одной или нескольких скважин из процесса подсадки карты. Этот метод дает более взвешенную оценку, чем стандартный метод определения среднеквадратической ошибки. В результате рассчитывается карта распределения максимального разброса полученных поверхностей.

- При малом количестве вскрывших исследуемый горизонт скважин используется карта невязок с данными бурения (карта подсадки на разбивки).
- В крайнем случае можно обойтись постоянным по площади значением среднеквадратического отклонения невязок со всеми разбивками. В рассматриваемом примере анализируется горизонт, который вскрыла всего одна скважина, поэтому единственной оценкой, которой можно оперировать, является невязка по данной скважине — 35 м (рис. 4). Данная ошибка соответствует прогнозной среднеквадратической в точке скважины — 40 м.

III. Расчет итоговой карты распределения среднеквадратической ошибки.

Карты погрешности по внешней и внутренней сходимости должны в общих чертах соответствовать друг другу. Наличие существенных отличий в значениях и распределении ошибки по внутренней и внешней сходимости говорит о возможных неучтенных неопределенностях в методике оценки по внутренней сходимости. В этом случае следует корректировать карту ошибки в соответствии с оценками по внешней сходимости.

Итоговая карта рассчитывается как максимальное значение составляющих (по внутренней и внешней сходимости) в каждой точке карты. Далее карту ошибки структурных построений следует отнормировать таким образом, чтобы в точках скважины ошибка была равна нулю, а при удалении от скважин — плавно возрастала (см. рис. 4). Радиус подсадки на нуль принимается равным используемому при структурных построениях радиусу подсадки либо среднему расстоянию между скважинами.

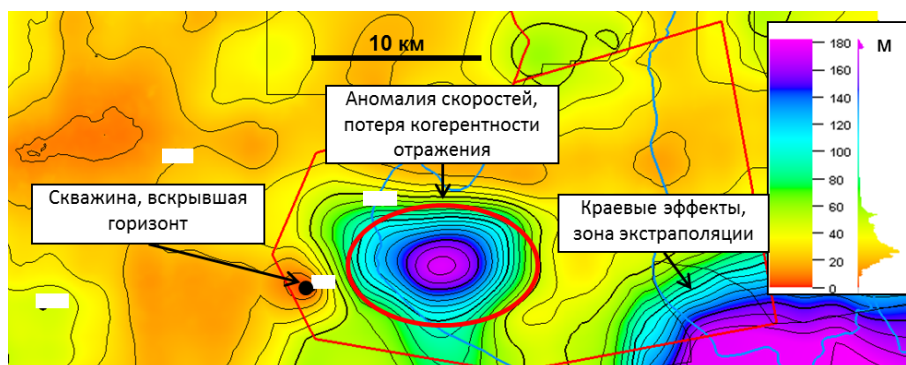


Рис. 4. Итоговая карта распределения среднеквадратической ошибки прогноза глубин для ОГП

Выводы. Применение методики.

Результирующая карта погрешности характеризует пространственное распределение структурных неопределенностей. Анализируя все полученные в ходе вычислений карты, можно выявить факторы, внесшие наибольший вклад в итоговую ошибку в той или иной области. К примеру, на рис. 4 высокие значения ошибок в центре площади обусловлены погрешностями определения скоростей и в меньшей степени огрехами корреляции ОГ в зоне мощной скоростной аномалии и потери когерентности отражения.

Важно помнить, что, согласно природе нормального распределения, вероятность того, что реальная ошибка в каждой точке карты не превысит значение среднеквадратического отклонения, равна 68 %. Реальные ошибки могут быть и в

2–3 раза больше полученной карты распределения погрешности (с вероятностью 5–0,3 % соответственно).

Карта распределения среднеквадратической ошибки структурных построений позволяет взвешенно подойти к оценке надежности (достоверности) выделения замкнутых локальных поднятий, объективно оценить качество структурной ловушки как элемента нефтегазоносной системы. Далее ее следует использовать при оценке геологических рисков. Для этого следует рассчитывать вероятность существования структуры (надежности, достоверности оконтуривания) согласно инструкции [6].

Предлагаемая методика оценки структурных неопределенностей позволяет получить обоснованную карту распределения ошибки структурных построений, которую следует использовать при оценке геологических рисков, вероятностной оценке ресурсов/запасов, а также при стохастическом геологическом моделировании.

Список литературы

1. Долгих Ю. Н. Базовая модель ВЧР как фактор неединственности решения обратной кинематической задачи сейсморазведки МОВ-ОГТ // Технологии сейсморазведки. – 2011. – № 4.
2. Долгих Ю. Н. Проблемы кинематической инверсии данных МОВ-ОГТ в северных районах Западной Сибири. // Технологии сейсморазведки. – 2012. – № 4.
3. Glogovsky V., Landa E., Langman S., Tijmen J. M. Validating the velocity model: the Hamburg Score. FIRST BREAK, № 3, 2009.
4. Методические рекомендации по использованию данных сейсморазведки (2D,3D) для подсчета запасов нефти и газа. – М.: ОАО «ЦГЭ», 2006.
5. Инструкция по оценке качества структурных построений и надежности выявленных и подготовленных объектов по данным сейсморазведки МОВ ОГТ (при работах на нефть и газ). — М.: ВНИИ-Геофизика, 1984.
6. Черкасс Е. О. и др. Определение рисков при бурении скважин и учет неопределенностей геологических моделей (на примере Ванкорского месторождения) // Геология и разработка месторождений. – 2008. – № 3.

Сведения об авторе

Куркин Александр Анатольевич, аспирант Тюменского государственного нефтегазового университета, г. Тюмень; начальник отдела, ООО «НОВАТЭК НТЦ»; тел. +79058205869, e-mail: aakurkin@novatek.ru

Information about the author

Kurkin A. A., postgraduate of Tyumen State Oil and Gas University, head of department of LLC «Novatek NTC», phone: +79058205869, e-mail: aakurkin@novatek.ru