# УДК 550.34.03 ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИНТЕРАКТИВНОЙ КОРРЕКЦИИ СТАТИЧЕСКИХ ПОПРАВОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

## И.П. Коротков, В.С. Козырев

*ООО* "Геофизические системы данных", Москва, Ленинский проспект, 113/1, оф. Е-321, e-mail: <u>info@gds.ru</u>

Interactive static corrections for geologic interpretation reliability. Korotkov I., Kozyrev V. Geophysical data systems ltd. Of.E-321,Leninsky prospect 113/1, Moscow

АННОТАЦИЯ. статических Определение поправок является важным шагом при обработке наземных данных и данных из транзитных зон. Сложные вариации скоростей в покрывающей толще препятствуют получению точного изображения. Геологические И физические особенности, такие как вечная мерзлота, выходы включения интрузивных солей. пород, выклинивания, болота, песчаные дюны и т.д., могут вызывать значительные временные маскирующие поведение аномалии. отражающих прослеживаемых горизонтов. Автоматические алгоритмы коррекции статических поправок могут не справляться с коррекцией таких сдвигов, что может приводить к серьезным ошибкам при проведении структурной интерпретации. Многие ошибки могут быть преодолены на этапе интерпретации и моделирования при определении статических поправок с использованием частично кратных сумм по источникам и приемникам. Метод интерактивной коррекции предполагает распознавание временных аномалий, вызванных поверхностными и глубинными факторами. Реальные примеры иллюстрируют эффективность методики.

Ключевые слова: верхняя часть разреза, частично кратное суммирование ОТВ, ОТП, разделение поверхностного и глубинного факторов, интерактивная методика статической коррекции.

В районах сложного строения верхней части разреза построение ее модели с целью учета при прослеживании основных изучаемых границ может оказаться на грани возможностей сейсморазведки. Допущения о модели среды, заложенные в способы, обычно применяемые при этом, например, основанные на использовании преломленных или рефрагированных волн, могут не соблюдаться, что приведет к формированию ошибочных представлений. К таковым относятся районы с наличием высокоскоростных прослоев в

ABSTRACT. Static correction computation is an important step in the seismic processing of land and transition zone data. Complex near-surface overburden velocity changes do hamper proper imaging. Geological and physical features (like: permafrost, pinch outs, swamps, sand dunes etc) may introduce irregular travel time delays. Automatic residual static algorithms sometimes fail to resolve these static corrections and thus may give rise to mis-interpretation of the subsurface serious structuration. Costly dry holes have been drilled based on false tectonic structures visible on nonoptimal processed seismic data. Many of these errors can be overcome by introducing an interpretation / modeling phase in the determination of the static corrections, using receiver and shot partial-offset stacks. The Interactive Static computation method uses diagnostic partial stacks in various domains to distinguish between anomalies caused by drastic lateral velocity change in the shallow subsurface and depth features. Case studies illustrate the benefit of such a static correction method.

Keywords: overburden, partial stacking in source and receiver domains, structure delineation, interactive statics technology.

верхней части: прослоев мерзлоты, интрузивных пород (трапповые поля) или соли, с погребенным карстом в карбонатных породах. Даже в тех ВЧР случаях, когда изучение модели это принципиально достижимо, может потребовать постановки специальных работ с малым шагом, по трудоемкости соизмеримых с основными работами и даже превышающих их, в том числе на этапе обработки. Наиболее точную информацию точечно могли бы дать специальные неглубокие параметрические скважины, но

погрешности в этом случае связаны с ограничением глубины и дискретностью исследований.

Автоматические способы коррекции статических сдвигов во временах регистрации отраженных волн, как известно, ограничены по амплитуде и по протяженности выделяемых временных аномалий. Выход заключается:

– в максимальном использовании данных, получаемых при основных сейсморазведочных работах,

– в комплексном применении всех имеющихся данных о модели ВЧР (в том числе и качественных), включая результаты точечных дополнительных исследований. Оптимальной была бы постановка дополнительных работ после основных В тех критических точках, определенных после начальной обработки данных, которые обеспечивают решение поставленной залачи. Олнако такая последовательность обычно противоречит требованиям технологичности проведения работ и практически не реализуется.

На наш взгляд, комплексный подход к выявлению и учету поверхностных неоднородностей наиболее полно осуществляется при интерактивной методике анализа [2–4], развиваемой нами на протяжении длительного периода.

Принципами интерактивной методики являются:

 – разделение влияния поверхностного и глубинного факторов во временах отражений,

 разделение временных сдвигов, связанных с точками возбуждения и приема,

 использование данных по волнам в первых вступлениях и всей возможной априорной информации, характеризующей ВЧР, для выделения зон поверхностных неоднородностей.

Разделение поверхностного и глубинного факторов

С целью разделения факторов проводится сопоставление зарегистрированных данных по шкалам глубинных и поверхностных (по точкам возбуждения и приема) позиций. Для анализа технологично использовать частично кратные суммы ОТВ, ОТП, ОСТ в различных диапазонах удалений. Различие проявления поверхностных и глубинных аномалий на путях распространения сейсмических волн приводит к различному латеральному смещению соответствующих временных аномалий при сопоставлении частично кратных разрезов ОТВ, ОТП, ОСТ по шкалам поверхностных позиций (ПВ/ПП) и по шкале ОСТ.

Примеры проявления поверхностных аномалий в различных областях приводятся ниже (рис 1-5).

На рис. 1 показано различие проявления низкоскоростной поверхностной аномалии на частично кратных суммах ОСТ, полученных в разных диапазонах удалений. Область влияния неоднородности расширяется в дальнем диапазоне, что может служить признаком ее поверхностного положения.

На рис. 2 представлено сопоставление частично кратных сумм ОТВ для модели с поверхностной аномалией (в данном случае выполнялось суммирование в области положительных и отрицательных удалений). Форма временной аномалии в некоторой степени осложняется из-за наложения факторов, связанных с источниками и приемниками: зона несколько удлиняется в разные стороны для удалений разного знака. При сопоставлении тех же частично кратных сумм в области ОГТ происходит относительный сдвиг аномалий, подтверждающий их связь с поверхностным, а не с глубинным фактором.

Искажение формы аномалии из-за наложения факторов, связанных с возбуждением и приемом, зависит от соотношения выбранного диапазона удалений и протяженности аномалии. На ближних удалениях амплитуда временных сдвигов на суммарных разрезах завышается по сравнению с аномалией (в крайнем случае удваивается). Из рис. 3 (частично кратные суммы ОТП по реальным материалам) видно, что левый край неоднородности в области приема четко проявляется при суммировании в диапазоне положительных ближних удалений, правый край - в отрицательном диапазоне (для сумм ОТВ картина была бы обратной - см. рис. 2). На дальних удалениях происходит разделение факторов возбуждения и приема, если длина аномалии не превосходит выбранных удалений (нижний разрез). При этом аномалия проявляется повторно из-за второго фактора (зона, выделенная синими границами). Относительный сдвиг аномалий поверхностного происхождения при сопоставлении частично кратных разрезов ОТП на ближних и дальних удалениях в области ОСТ демонстрируется на рис. 4.

Таким образом при работе с разрезами ОТВ, ОТП в ограниченных диапазонах удалений требуется интерпретация, в 2D их последовательное сопоставление сумм в различных диапазонах в области поверхностных позиций (ПВ, ПП) и в области ОСТ. Для статической коррекции должна быть выделена лишь неизменная, совпадающая для разных вариантов разрезов часть аномалии при совмещении по поверхностным позициям.

На рис. 5 схематично показан случай 3D: временные разрезы ОТП получены по линии приема 2 при суммировании записей из источников на базах 1 и 2, расположенных с противоположных сторон от поверхностной неоднородности. Сопоставление разрезов в области ОСТ показывает латеральный сдвиг временных аномалий, в то время как при совмещении в области ОТП (см. рис. 8) они совпадают. Наиболее просто отождествляются поверхностные аномалии с достаточно резкими краями. При этом протяженность аномалии может значительно превышать длину расстановки, если определены приращения на ее границах и есть доказательства, хотя бы качественные, того, что аномалия составляет единое целое. Такие доказательства могут быть получены из анализа волновой картины в первых вступлениях. Также однозначно выделяются при достаточном качестве материалов резкие временные аномалии, связанные с глубинным фактором, например, со сбросами (рис. 6).



**Рис. 1.** Проявление низкоскоростной приповерхностной аномалии на частично кратных суммах ОСТ, полученных в разных диапазонах удалений (по ординате – нумерация ОСТ).



**Рис. 2.** Определение низкоскоростной приповерхностной аномалии с помощью сравнения частично кратных разрезов в области ОТВ и ОСТ.



**Рис. 3.** Проявление низкоскоростной поверхностной аномалии на частично кратных суммах ОТП, полученных в разных диапазонах удалений (по ординате – нумерация пунктов приема).



Рис. 4. Сопоставление двух частично кратных разрезов ОТП, совмещенных по шкалам пунктов приема (наверху) и ОСТ (внизу).



**Рис. 5.** Случай 3D: временные разрезы ОТП, полученные с помощью пространственно-зафиксированных баз суммирования.



Рис. 6. Разрезы ОСТ до (А) и после (Б) интерактивной коррекции статических поправок.

Пространственно фиксированные базы суммирования

Частично кратные разрезы ОТВ и ОТП могут быть получены в случае 2Д съемки либо суммированием в заданном диапазоне удалений, либо применением пространственно с фиксированных баз суммирования (Spatially Fixed Pattern – SFP) [4]. Разрезы SFP помогают разделять аномалии, связанные с приемниками и источниками, и изолировать друг от друга соответствующие статические поправки. Рис. 7 демонстрирует принцип SFP в случае 2Д для конструирования разрезов ОТВ, которые будут свободны от влияния статики за приемники. Схематично показаны две базы приемников (по 4 пункта), записи в пунктах каждой базы суммируются для соответствующих источников, для которых получается фрагмент временного разреза ОТВ с постоянным временным сдвигом за пункты приема. Статические сдвиги за ПП проявляются во временной задержке (блоковом сдвиге) между фрагментами разреза ОТВ для соответствующих групп источников. Эта задержка не маскирует изображение аномалии и может быть легко устранена непосредственно перед интерактивным определением статических поправок. На рис. 8 показан реальный пример проявления блокового сдвига на разрезе SFP-ОТП (ОТП1), когда база источников зафиксирована точно над поверхностной аномалией. По совокупности двух разрезов, полученных с двумя наборами баз суммирования, блоковые сдвиги (в частности, сдвиг для среднего фрагмента ОТП1) могут быть легко выявлены и введены, после чего определяются поправки за прием в зоне аномалии.

В случае 3D съемки техника SFP суммирования представляется единственно возможной лля получения поверхностно-согласованных кубов ОТП и ОТВ. На рис. 9 схематически показано проявление аномалии на двух разрезах ОТП, полученных для одной линии приема с использованием двух различно расположенных баз источников (SFP1 и SFP2). Также изображены различных варианта два прохождения лучей и области, ими освещаемые. Аномалия одинаково проявляется на одних и тех же поверхностных позициях (выше было показано, что при совмещении в области ОСТ наблюдается сдвиг между аномалиями).

Для площади 3D выбирается система SFP, которая позволяет получить непрерывные сечения вдоль каждой линии приема (и аналогично система для линий возбуждения) (рис. Другая система SFP должна 10). быть сконструирована таким образом, чтобы суммарным трассам для тех же поверхностных ΠΠ/ΠΒ позиций соответствовали OCT с существенным сдвигом на отражающих границах. Как правило, четыре набора SFP необходимы для суммирования кубов по ОТВ и ОТП с целью анализа статических факторов и отделения их от структурного.



Рис. 7. Принцип создания пространственно-зафиксированной базы (SFP).



**Рис. 8.** Два разреза ОТП, полученные с различными вариантами расположения пространственнозафиксированных баз источников.



Рис. 9. "Просвечивание" приповерхностной неоднородности.



**Рис. 10.** Выбор пространственно-фиксированной базы источников с указанием освещаемой из нее области приема (*A*) и совокупность баз с соответствующими областями приема на площади съемки 3D (*Б*) (по осям - координаты в метрах).

# Проявление поверхностных аномалий в области равных удалений и скоростей суммирования

Еще одной областью, в которой могут быть рассмотрены данные, являются выборки трасс по общим удалениям. Анализ поведения энергии в первых вступлениях в этой области до суммирования после применения поправок за рельеф или статики по преломленным волнам уже представление может дать 0 наличии поверхностных аномалий. На рис. 11 показаны карта времен вступлений, построенная по кубу равных удалений для съемки 3D, и два разреза равных удалений по линиям, отмеченным на карте (по линии приемников и в поперечном направлении). Такое графическое представление помогает оптимальному выбору наборов SFP для последующего поверхностно-согласованного суммирования интерактивной коррекции И

статических поправок. Зоны значительного уменьшения времен первых вступлений в данном случае связаны с неглубокими высокоскоростными аномалиями, вызванными соляными хребтами.

Еще одним индикатором поверхностной характерная неоднородности служит знакопеременная аномалия скоростей суммирования, которая обычно соответствует временной аномалии, наблюдаемой на разрезе ОСТ (рис. 12). Известно [1], что форма аномалий скоростей суммирования определяется второй производной скорости по профилю в верхнем слое. Соответственно в краевых частях неоднородности отмечаются, как правило, экстремумы скоростей суммирования противоположного знака по сравнению с центром аномалии, а аномалии скорости и времени неалекватны по знаку И величине.



**Рис. 11.** Разрезы равных удалений (А и Б) по линиям ПП, указанным на В, и карта времен первых вступлений (В). Шкалы ординат на А и Б соответствуют поверхностным позициям приемников, шкалы на В – координатам в метрах.



Рис. 12. Проявление статической аномалии в скоростях суммирования.

Программный комплекс для интерактивного статического анализа и контроль качества решений

Для анализа временных разрезов и разработан интерактивной коррекции специализированный программный комплекс IST3mp. Синхронизированные многопанельные окна используются во время сессии интерактивной коррекции для выявления поверхностно согласованных аномалий и интерактивного устранения вызванных ими временных задержек. Предусмотрены средства для конструирования схем поверхностно согласованного суммирования (в частности, для выбора системы пространственно-фиксированных баз) и получения соответствующих разрезов и Возможность трасс. динамичного кубов позиционирования сейсмических трасс по поверхностным глубинным И позициям используется для разделения поверхностного и структурного факторов. Работа в области источников приемников и позволяет интерактивно определять статические поправки по суммированным данным. В качестве иллюстрации на рис. 13, а даны разрезы ОТП для двух относительно смещенных наборов баз суммирования после автоматической коррекции поправок, которая не устранила существенные поверхностно согласованные сдвиги. Эти сдвиги были выявлены и учтены при интерактивной коррекции (см. рис. 13,  $\delta$ ). Оставшиеся сдвиги не являются поверхностно согласованными и сопоставляются при совмещении по шкале ОСТ ( $\varepsilon$ ).

Качество определяемых сдвигов в пределах каждого текущего анализируемого участка может быть оперативно проверено по влиянию их на суммарный разрез ОСТ.

Контроль качества полученного статического решения может включать в себя горизонтальный скоростной анализ (рис 14) и тест с частично кратным суммированием ОСТ. При правильно определенных статических поправках за неоднородности не должно наблюдаться больших различий на частичнократных суммах ОСТ, так как предполагается, что поведение годографа отраженной волны на сейсмограмме ОСТ близко к гиперболичному. Сравнение разрезов ОСТ в диапазонах ближних и дальних удалений позволяет опенить правильность полученных статических поправок (рис. 15).

### Область ОТП

Область ОТП

Область ОСТ



**Рис. 13.** Разрезы ОТП для двух относительно смещенных наборов баз суммирования после автоматической (А) и интерактивной коррекции (Б, В) статических поправок.



**Рис. 14.** Разрезы ОСТ и горизонтальные спектры до (А) и после (Б) автоматической коррекции статических поправок.



Рис. 15. Сравнение разрезов ОСТ в диапазонах ближних и дальних удалений.

Таким образом методология складывается из:

 предварительного анализа исходных данных (возможно, и предварительного суммирования), выделения вероятных зон поверхностных неоднородностей;,

 выбора схем частично кратного суммирования ОТВ, ОТП (в том числе SFP), ОСТ, – анализа частично кратных разрезов в различных областях – ОТВ, ОТП и ОСТ – и оценки моделей статических сдвигов на выделенных поверхностных неоднородностях;

 контроля качества решений относительно выделяемых временных аномалий (проверка соответствия частично кратных разрезов ОСТ и гиперболичности годографов ОСТ, подтверждаемой спектрами скоростей по горизонтам).

На рис. 16, 17 приведен ряд примеров разрезов и сечений кубов, иллюстрирующих методики, обеспечившее более применение правильную геологическую интерпретацию. Материалы рис. 16 получены после двух итераций скоростного анализа и автоматической статической коррекции (MaxPower). На рис. 16, а можно видеть ошибочные структурные осложнения (Западная Сибирь), на рис. 16, б ошибочные нарушения (Оренбургская область), на рис. 16, в – низкое качество суммирования при наличии нарушений (Надымский район) и на рис. 17 те же разрезы после интерактивной коррекции.

Очевидно, что определяемым моделям временных сдвигов присущи известные недостатки статического подхода: они не зависят от направления подхода лучей и частотного состава колебаний, скорости суммирования при значительной величине сдвигов могут быть искажены, глубинная миграция до суммирования с использованием результатов скоростного анализа также может привести к искажению границ в зонах аномалий. Для формирования глубинной модели неоднородности в этом случае может быть применена полученная временная модель, но для этого потребуется дополнительная информация или предположения. Сложности отождествления аномалий возможны в случае значительно погребенных неоднородностей, что может потребовать пересчета полей на их уровень.

Одно из направлений развития методики интерактивного анализа связано с разделением факторов возбуждения и приема на уровне формирования сумм ОТВ, ОТП. Определение взаимных сдвигов трасс, принадлежащих одноименным точкам возбуждения/приема на соседних сейсмограммах ОТП/ОТВ, и учет среднего сдвига при суммировании обеспечит получение разрезов, где один из поверхностных факторов будет исключен.

Другое направление заключается в автоматизации процесса: участие геофизика должно ограничиваться заданием опорных точек, определяющих границы предполагаемых неоднородностей.

Методика успешно применялась при обработке материалов из районов характеризующихся сложно построенной ВЧР, таких как Западная и Восточная Сибирь, Средняя Азия, Оренбургская область, Тимано-Печорская провинция, транзитные зоны Российского Севера, север Канады, Саудовская Аравия и др..



Рис. 16. Разрезы ОСТ после автоматической коррекции статических оправок.



Рис. 17. Разрезы ОСТ после интерактивной коррекции статических поправок.

#### Заключение

Надежное определение статических поправок важно для корректного изображения геологической среды. Оно позволяет избежать ошибок при интерпретации и расположении предлагаемых разведочных скважин. Метод интерактивной коррекции позволяет различать аномалии, вызванные приповерхностными скоростными неоднородностями и истинными структурными деформациями. Этап интерпретации является необходимым для изучения поведения аномалии на частично кратных разрезах ОТВ, ОТП и ОСТ с целью истинной природы аномалии. определения происхождение Поверхностное аномалии выражается латеральным сдвигом при сравнении разрезов ОТВ, ОТП в ближних и дальних удалениях в области ОСТ, различиями в форме аномалии на частично кратных разрезах ОСТ, знакопеременными аномалиями скоростей суммирования. При отсутствии этих признаков временная аномалия может считаться структурной. При правильной классификации аномалий более четко изображаются истинные разрывные нарушения, устраняются ложные субвертикальные временные сдвиги, связанные с переходами на фазу на границах поверхностных аномалий и часто принимаемые за тектонические подвижки. Метод интерактивной коррекции применим при отсутствии или недостатке данных прямых измерений скоростей ВЧР и позволяет избежать времяемкого процесса построения часто неоднозначной скоростной модели ВЧР.

#### Литература

1. Бляс Э. А. Новый взгляд на скорости ОГТ в слоистых латерально-неоднородных средах: аналитическое и численное решение. // Технологии сейсморазведки. 2005. № 3. С. 7–25.

2. Козырев В. С., Жуков А. П., Коротков И. П., Жуков А. А., Шнеерсон М. Б. Учет неоднородностей верхней части разреза в сейсморазведке. М.: Недра, 2003. 227 с.

3. **Korotkov I., Kozyrev V., Zhukov A.** An interactive 3D method for resolving of statics anomalies caused by heterogeneous permafrost. // 65<sup>th</sup> Conference EAGE: Extended abstracts. 2003. P 073.

4. Kozyrev V., Zhukov Al., Korotkov I., Zhukov Ar. An interactive solution for resolving mid-wavelength statics anomalies. // The Leading Edge. 2004. V. 23, No. 3. P. 270–274.

Коротков Илья Петрович - главный геофизик ООО "Геофизические Системы Данных" Козырев Виталий Степанович - ведущий научный сотрудник ООО "Геофизические Системы Данных"