

УДК 550.8

## ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА НА ВОЛНОВОЕ ПОЛЕ В СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

© 2020 г. О.М. Горский

ООО “Газпром геологоразведка”, г. Тюмень, Россия

Предложена схема оперативного контроля качества обработки сейсмических данных на этапе расчета длиннопериодных статических поправок. Учет длиннопериодных скоростных неоднородностей в верхней части разреза за счет ввода статических поправок в сейсмические трассы – общепринятое средство повышения точности структурных построений, часто применяемое при обработке сейсморазведочных данных. Но не всегда рассчитанными поправками удается полностью минимизировать влияние верхней части разреза. Связано это, прежде всего, с тем, что недоучет низкочастотной компоненты практически не препятствует синфазному суммированию полезных волн, или, другими словами, не вносит искажение в гиперболы наблюдаемого годографа. Последствия же недоучета низкочастотной компоненты весомо сказываются на точности определения кинематических параметров отраженных волн и на дальнейших построениях глубинных поверхностей. Предложенная методика позволяет оперативно оценить качество этой компенсации.

Алгоритм оценки качества учета длиннопериодных статических поправок основан на выявлении в сейсмическом разрезе локальных отклонений времен прихода отраженных волн и их повторяемости по нескольким уровням. Накопленная таким образом информация дает возможность отфильтровать случайные неоднородности и выделить только регулярные. Схема апробирована на нескольких месторождениях Севера Западной Сибири, изученных сейсморазведкой методом общей глубинной точки (МОГТ) и глубоким бурением. Эффективность алгоритма косвенно подтверждается при сопоставлении выделенных аномалий с орографией района исследований и седиментационными срезами волнового поля. Уточнение морфологии структурных поверхностей вследствие доучета длиннопериодных искажений должно повысить эффективность сейсморазведки при геологоразведочных работах.

**Ключевые слова:** сейсморазведка, МОГТ, Западная Сибирь, верхняя часть разреза, многолетнемерзлые породы, статическая поправка.

### Введение

Сложное строение многолетнемерзлых пород и их мозаичное чередование с зонами растепления формирует в сейсмическом поле помехи в виде аномалий кинематических, амплитудных и частотных характеристик отраженных волн. Большинство алгоритмов, направленных на компенсацию искажений, которые возникают при обработке сейсмических данных, связаны с автоматизированными системами вычисления поверхностно-согласованных корректирующих поправок [Гольдин, Митрофанов, 1975; Сысов, 2011].

Вводимые временные сдвиги, постоянные на всей длине сейсмической трассы, носят название статических поправок. В зависимости от длины расстановки регистрирующей системы  $L$ , составляющей обычно от 3000 до 7000 м, статические поправки принято разделять на три диапазона: короткопериодные (от 0 до  $0.5L$ ), среднепериодные (от  $0.5L$  до  $2.0L$ ) и длиннопериодные ( $>2.0L$ ) [Адамович, 2013].

### Учет длиннопериодных статических поправок

Необходимость компенсации длиннопериодных кинематических аномалий статическими поправками связана с недостатком сведений о скоростных характеристиках верхней части разреза, которые содержатся в данных, получаемых при проведении сейсморазведочных наблюдений, направленных на изучение глубоких горизонтов. В рассматриваемом нами случае под верхней частью разреза понимается вся суммарная мощность верхних слоев, прослеживаемая на временных разрезах выше коррелируемой части.

Основную сложность представляет учёт чередующихся скоростных аномалий в зоне малых скоростей и в интервале многолетнемерзлых пород [Долгих, 2014]. В первом случае низкоскоростные аномалии приурочены к приповерхностному слою и часто коррелируются с орографией исследуемого района. Наблюдаемые в интервале многолетнемерзлых пород высокоскоростные аномалии связаны с морфометрическими характеристиками и литологической неоднородностью вмещающих пород, в том числе и с такими явлениями как жильная льдистость (так называемые “ледяные реки”) и жильные протайки криолитозоны.

Известны многочисленные методики учета длиннопериодных поправок, широко представленные в специализированной литературе и отраженные в работах С.В. Гольдина, А.К. Урупова, В.М. Глоговского, В.В. Ждановича, И.А. Мушина, А.Р. Хачатряна, Ю.Н. Долгих и ряда других авторов. Однако получившие широкое распространение способы коррекции статических поправок не гарантируют правильности определения их длиннопериодных компонент – возникающие ошибки приводят к гладкому и значимому искажению кинематических параметров отраженных волн [Хачатрян, 1984].

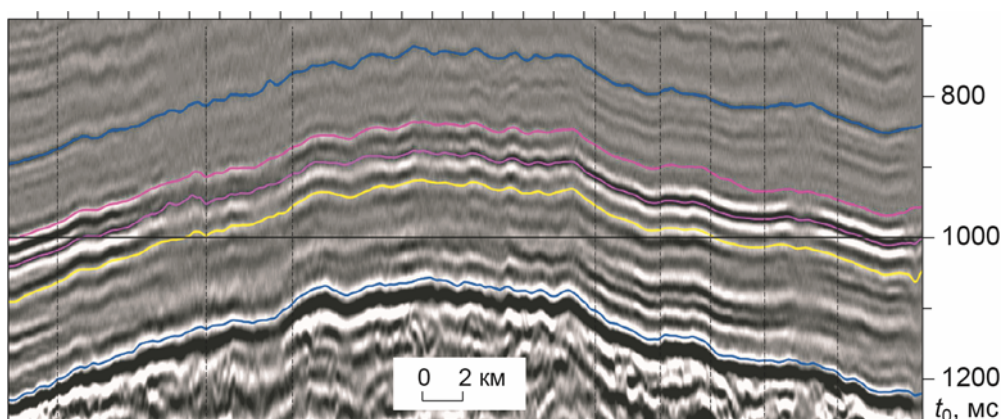
Основные трудности при определении низкочастотной компоненты связаны с тем, что их недоучет практически не препятствует синфазному суммированию полезных волн; другими словами, не вносит искажения в гиперболичность наблюдаемого годографа, в отличие от средне- и высокочастотной компонент, которые могут быть выявлены автоматическими процессами. Последствия же недоучета низкочастотной компоненты весьма ощутимо сказываются на точности определения кинематических параметров отраженных волн и дальнейших построений глубинных поверхностей.

### Оценка качества расчета длиннопериодных статических поправок

Предлагаемый алгоритм оценки качества учета длиннопериодных статических поправок основан на выявлении в сейсмическом разрезе локальных отклонений времен прихода отраженных волн и их повторяемости на нескольких уровнях. Для оценки привлекаются суммированные сейсмические данные, получаемые методом общей глубинной точки (МОГТ), для которых, как правило, уже проведена обработка с вводом кинематических и статических поправок как с предварительным учетом длиннопериодных аномалий, так и без него.

Ниже приводится пример использования рассматриваемой методики на одном из месторождений в Западной Сибири применительно к сейсморазведочным данным трехмерных наблюдений МОГТ без учета длиннопериодных аномалий.

В волновом поле выделяются и регистрируются оси синфазности волн, отраженных от жестких границ в верхней части разреза, расположенных ниже скоростных неоднородностей. На временном разрезе прослеживаются наиболее выдержанные волновые пакеты по пяти–семи осям, распространенные на всей площади исследований и, что желательнее, имеющие сходный частотный состав отражений (рис. 1).



**Рис. 1.** Пример временного разреза МОГТ с корреляцией отраженных волн

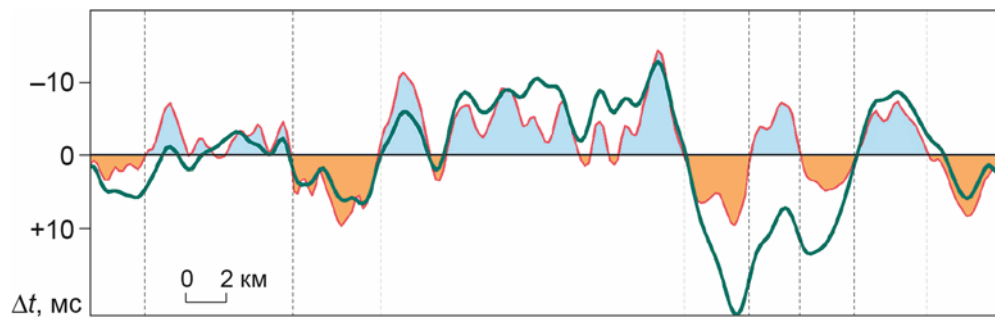
**Fig. 1.** Example of a CDP time section with the correlation of reflected waves

Для получения основного тренда поведения отраженных волн закартированные горизонты сглаживаются на базе, сопоставимой с длиной расстановки ( $L=2-4$  км). Как правило, мы исходим из допущения, что отражающие границы в верхней части разреза связаны с пологими структурными формами. В иных случаях, когда деформации вызваны геологическими причинами (дизъюнктивы, выклинивание, несогласие и т.п.), необходимо дополнительно создать тектоническую или фациальную модель, учитывающую эти особенности при построении тренда. Разница между трендом и наблюдаемыми временами  $t_0$  будет представлять собой локальные составляющие  $\Delta t$  неоднородностей поля времен для данного уровня. Отметим что, исходя из геометрии луча прихода регистрируемых отраженных волн на малых временах, большинство малоразмерных искажений будут длиннопериодными. Следовательно, на малых временах база сглаживания может быть меньше длины расстановки.

Так как сейсмические лучи в верхней части разреза проходят неоднородности по одному пути и, следовательно, “проштамповываются” на всех уровнях, то вполне допустимо, что повторяющиеся от горизонта к горизонту отклонения времен регистрации отраженных волн от тренда вызваны начальными изменениями скоростей. При этом малые времена регистрации и отсутствие больших удалений позволяют наиболее точно локализовать источник искажения.

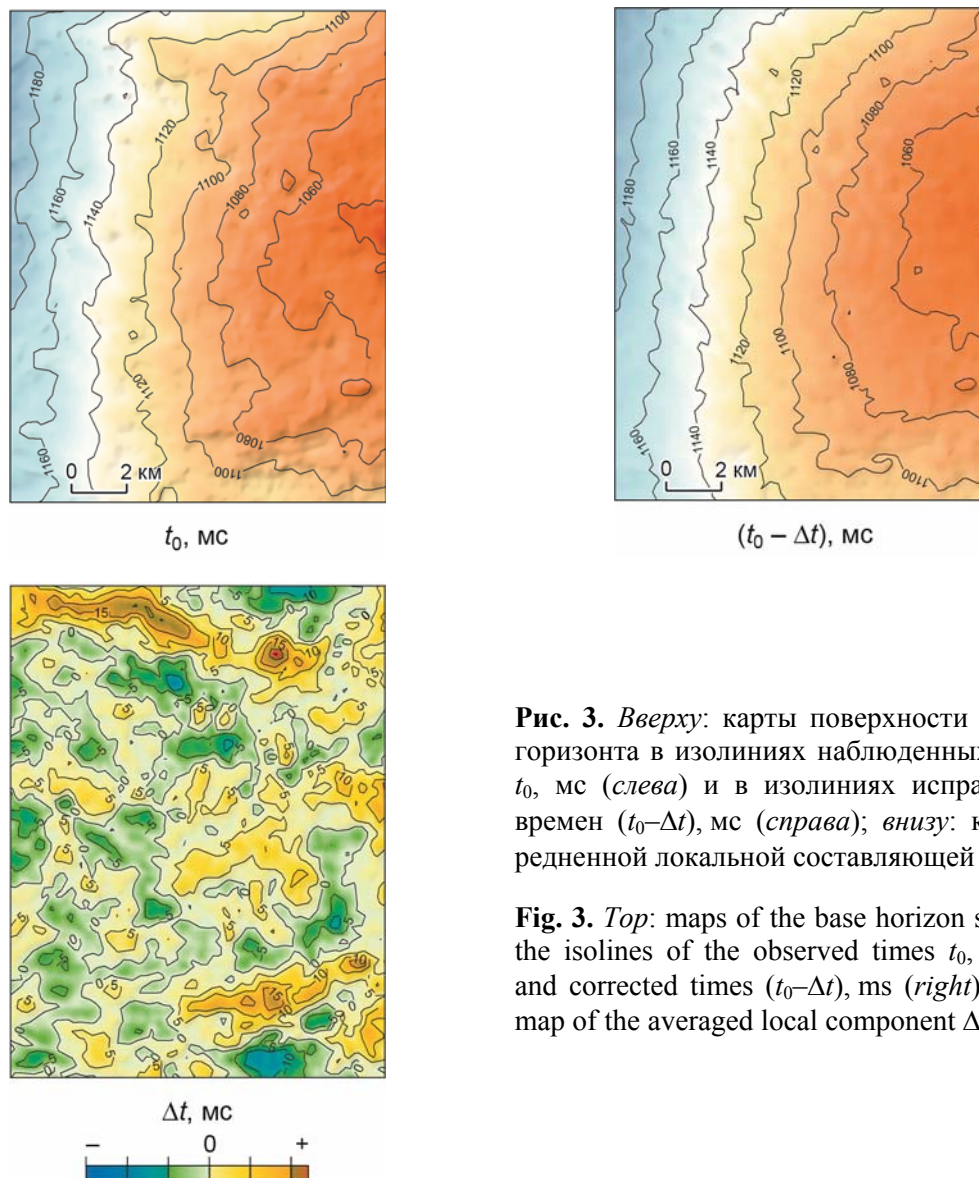
Накопленная таким образом по нескольким уровням информация дает возможность отфильтровать случайные неоднородности, выделив только регулярные. С этой целью корректирующую поправку получают простым расчетом среднеарифметической локальной составляющей (рис. 2), которая затем для контроля может быть введена в карту изохрон базового горизонта. Эту процедуру иллюстрируют рис. 3, 4, где для примера приведены результаты расчетов применительно к базовому горизонту, в качестве которого в Западной Сибири обычно выступает регионально выдержанный отражающий горизонт, приуроченный к кровле сеноманского резервуара.

Если величина среднеарифметической локальной составляющей  $\Delta t$  не превышает допустимый уровень погрешности определения времен, оцениваемый по шагу изолиний на карте изохрон, то учет влияния верхней части разреза выполнен качественно. В противном случае необходимо провести анализ полученных данных. Для этого на качественном уровне выполняется сопоставление карты локальной составляющей  $\Delta t$  с картами орографии района и набором седиментационных срезов на малых временах, где могут проявляться источники неоднородностей.



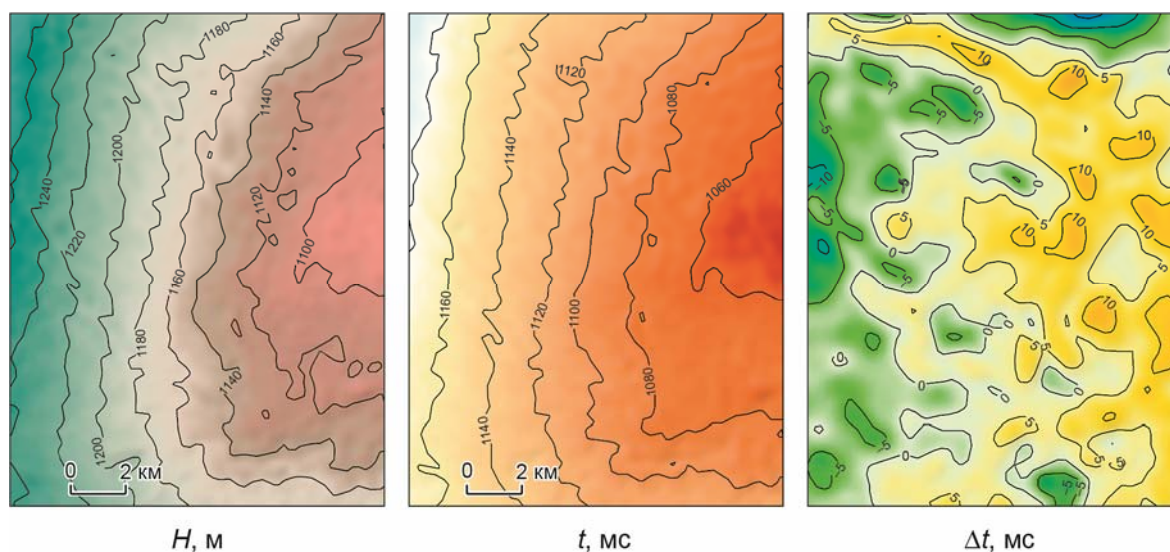
**Рис. 2.** Графики среднеарифметической локальной составляющей (красная кривая) и окончательной длиннопериодной статической поправки  $\Delta t$ , мс (зеленая кривая). Голубой заливкой отмечены высокоскоростные аномалии, бежевой – низкоскоростные

**Fig. 2.** Graphs of the arithmetic mean local component (red curve) and the final long-period static correction  $\Delta t$ , ms (green curve). Blue filling indicates high-velocity anomalies, beige – low-velocity



**Рис. 3.** Вверху: карты поверхности базового горизонта в изолиниях наблюдаемых времен  $t_0$ , мс (слева) и в изолиниях исправленных времен  $(t_0 - \Delta t)$ , мс (справа); внизу: карта осредненной локальной составляющей  $\Delta t$ , мс

**Fig. 3.** Top: maps of the base horizon surface in the isolines of the observed times  $t_0$ , ms (left) and corrected times  $(t_0 - \Delta t)$ , ms (right); bottom: map of the averaged local component  $\Delta t$ , ms



**Рис. 4.** Карты поверхности базового горизонта в изолиниях глубин  $H$ , м (слева), времен, рассчитанных для этой поверхности при моделировании, в изолиниях  $t$ , мс (по центру) и длинно-периодных статических поправок  $\Delta t$ , мс (справа)

**Fig. 4.** Maps of the base horizon surface in the isolines of depths  $H$ , m (left), times calculated for this surface during modeling, in the isolines  $t$ , ms (center) and long-period static corrections  $\Delta t$ , ms (right)

Чаще всего локальное приращение  $\Delta t$  приурочено к зонам растепления многолетнемерзлых пород (обычно в поймах рек); дефицит времен соответствует промерзшим повышенным участкам; особенности строения многолетнемерзлых пород отображаются амплитудами на седиментационных срезах. После ввода корректирующей поправки в наблюдаемые времена рисунок поля изохрон всегда становится более простым.

Помимо сопоставления названных выше карт, для наблюдаемых ( $t_0$ ) и исправленных ( $t_0 - \Delta t$ ) времен строятся графики  $H = f(t)$ , где  $H$  – известные по скважинным данным реперные значения глубины рассматриваемого горизонта. При правильном учете поправок корреляционная связь времен отражающих горизонтов с реперными глубинами улучшается. Таким образом, на первом этапе контроля качества можно не только оценить полноту учета длиннопериодных аномалий, но и предложить вариант коррекции волнового поля.

### Расчет поправок методом замещения

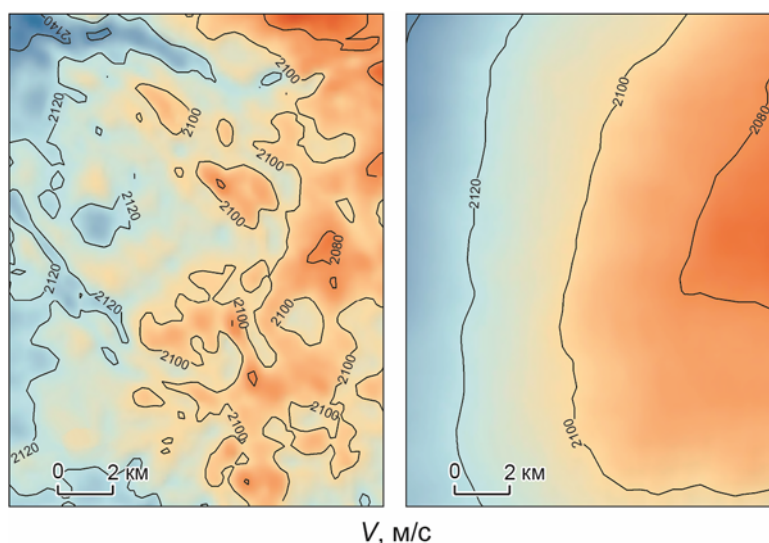
Для получения исправленного волнового поля воспользуемся “методом замещения” и не только уточним региональную составляющую скоростных изменений верхнего слоя, но и избавимся от так называемых “краевых эффектов” сейсмических отражений, пересчитав верхний слой из неоднородного в однородный, для чего решается обратная кинематическая задача. По данным сейсмокаротажа, а при их отсутствии с учетом линейной зависимости  $H = f(t_0)$ , исправленные времена базового горизонта пересчитываются в глубины. При этом пересчете для модели неоднородного верхнего слоя не рекомендуется использование скоростей суммирования, так как они отличаются от реальных и отражают эффективные параметры годографа сейсмограммы ОГТ. Скорости содержат также информацию о неоднородностях, которые мы уже попытались компенсировать локальными составляющими. Определения скоростей ОГТ на малых

удалениях содержат и значительные ошибки, связанные с пониженной помехоустойчивостью интерференционной системы к регулярным волнам-помехам [Шевченко, 2011]; к тому же во многих случаях информация о скоростях ОГТ может быть недоступна.

Полученная поверхность увязывается со скважинными данными и результатами ранее проведенных региональных работ. Привлечение последних (рис. 4, *слева*) необходимо нам для расширения обзорности участка, обеспечивающего учет краевых деформаций в сейсмических данных. Если в сейсмическом поле наблюдаются динамические аномалии, связанные с кровлей и подошвой газовой залежи сеноманского резервуара, то для коррекции структурной поверхности необходим учет ее конфигурации и объемных параметров.

После получения согласованной структурной карты базового горизонта выполняется простой математический расчет поправок. По данным сейсмокаротажа (либо линейной аппроксимации) решается прямая задача пересчетом глубин поверхности в модельные времена, карта которых приведена на рис. 4, *по центру*. Разница между наблюдаемыми и модельными временами и представляет собой искомые длиннопериодные статические поправки  $\Delta t$ , карта которых представлена на рис. 4, *справа* (график поправок см. на рис. 2).

В результате, рассчитав поправки и введя вертикальные временные сдвиги в сейсмические трассы, мы решаем задачу замещения первоначального неоднородного скоростного поля на однородное, скорость в котором изменяется только с глубиной (рис. 5).



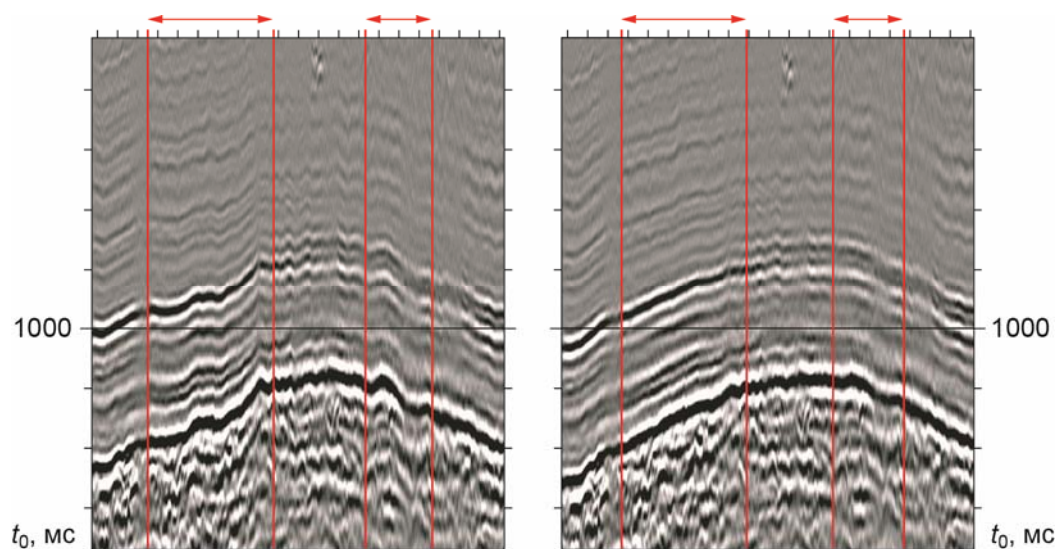
**Рис. 5.** Скоростное поле по базовому горизонту до (*слева*) и после (*справа*) введения статических поправок. Изолинии – значения скоростей отраженных волн  $V$ , м/с

**Fig. 5.** The velocity field along the base horizon before (*left*) and after (*right*) the introduction of static corrections. Isolines are the values of the reflected wave velocities  $V$ , m/s

### Полученные результаты

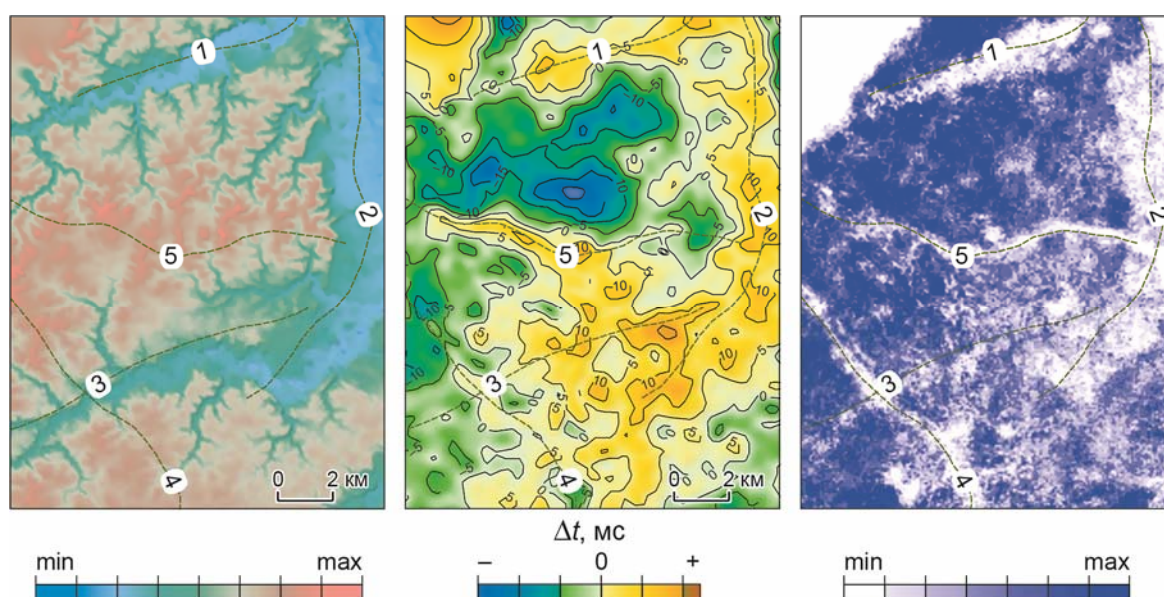
Приводимые ниже рис. 6, 7 демонстрируют эффективность применяемой методики и позволяют убедиться в скоростной природе вычисленных аномалий.

При сравнении временных разрезов до (рис. 6, *слева*) и после (рис. 6, *справа*) введения поправок видно, что большинство осей синфазности отраженных волн после



**Рис. 6.** Временной сейсмический разрез до (слева) и после (справа) введения длиннопериодной статической поправки. Красными стрелками над разрезами отмечены интервалы профиля с наибольшими изменениями волновой картины после введения поправок

**Fig. 6.** Time seismic section before (left) and after (right) the introduction of long-period static correction. The red arrows above the sections indicate the profile intervals with the largest changes in the wave pattern after the introduction of corrections



**Рис. 7.** Сопоставление карты рассчитанных поправок  $\Delta t$ , мс (в центре) со схемами современного рельефа дневной поверхности (слева) и амплитуд седиментационного среза куба сейсмических данных (справа). Штриховыми линиями с номерами отмечены протяженные участки с наиболее значимыми величинами поправок

**Fig. 7.** Comparison of the map of the calculated corrections  $\Delta t$ , ms (in the center) with the schemes of the present day surface topography (left) and the amplitudes of the sedimentation slice of the seismic data cube (right). Dashed lines with numbers indicate extended sections with the most significant corrections of both positive and negative signs

введения поправок прослеживаются более четко. Меняется морфология акустических границ, которые выглядят условно гладкими, исчезают многочисленные “обертоны”, присутствующие на исходном разрезе (см. рис. 6, *слева*). При этом другие параметры отраженных сигналов (фаза, частота) остаются неизменными.

И, наконец, попробуем найти подтверждение скоростной природы вычисленных аномалий. Для этого на рис. 7 карта длиннопериодных поправок сопоставлена с картой современного рельефа района исследований и седиментационным срезом куба сейсмических данных на уровне  $t_0 \sim 816$  мс. На всех трех фрагментах этого рисунка для удобства сопоставления протяженные участки, для которых получены наиболее значимые величины поправок, отмечены штриховыми линиями с номерами 1–5.

Очевидно, что участки с положительными поправками, отражающими приращение наблюдаемых времен (линии 1, 2, 3 на рис. 7, *по центру*), приурочены к низкоскоростным искажениям в поймах рек (те же линии на рис. 7, *слева*).

Положительные поправки по линиям 4 и 5 не находят своего отражения на карте современного рельефа, но однозначно отображаются на седиментационных срезах, в частности, на приводимом на рис. 7, *справа*, и в этом случае можно говорить об их связи с жильными протайками в подошве многолетнемерзлых пород.

Таким образом, все значимые величины длиннопериодных поправок находят свое отражение в верхней части разреза. Аналогичные подтверждения наличия взаимосвязей наблюдались на всех участках, на которых апробировалась представленная методика.

### Выводы

В настоящей работе предложена схема оперативного контроля качества обработки сейсмических данных на этапе введения длиннопериодных статических поправок и приведен пример их расчета методом замещения.

В заключение отметим, что на решение задачи, выполненное в приведенном примере для площади около 1000 кв. км, от начала корреляции отраженных волн до ввода поправок в сейсмотрассы потребовалось около двух рабочих дней.

В связи с тем, что эффективность геологоразведочных работ на участках со сложным строением верхней части разреза во многом зависит от достоверности структурных построений, предложенная методика позволит не только оценить качество учета неоднородностей, но и в случае необходимости оперативно очистить волновое поле от их влияния.

### Литература

- Адамович О.О. Методика учета влияния верхней части разреза при обработке данных трехмерной наземной сейсморазведки (в условиях Западной Сибири): Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 2013. 24 с.
- Гольдин С.В., Митрофанов Г.М. Спектрально-статистический метод учета поверхностных неоднородностей в системах многократного прослеживания отраженных волн // Геология и геофизика. 1975. Т. 2. С.102–111.
- Долгих Ю.Н. Многоуровневая сейсморазведка и кинематическая инверсия данных МОВ-ОГТ в условиях неоднородной ВЧР. М.: Геомодель, 2014. 212 с.
- Сысоев А.П. Прикладные задачи компенсации неоднородности верхней части разреза при обработке и интерпретации сейсмических данных. Новосибирск: ИНГТ СО РАН, 2011. 90 с.
- Хачатрян А.Р. Разработка интерполяционной модели коррекции статических поправок в сейсморазведке МОГТ: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 1984. 172 с.



Шевченко А.А. Метод оценки точности скоростного анализа общей глубинной точки // Технологии сейсморазведки. 2011. № 4. С.12–18.

### Сведения об авторе

**ГОРСКИЙ Олег Михайлович** – начальник отдела интерпретации сейсморазведочных данных инженерно-технического центра, ООО “Газпром геологоразведка”. 625000, Тюмень, ул. Герцена, д. 70. Тел.: +7(3452) 540-471. E-mail: o.gorskiy@nedra.gazprom.ru

## ESTIMATION OF COMPENSATION OF INFLUENCE OF LOCAL INHOMOGENEITIES OF THE UPPER PART OF THE SECTION ON A WAVE FIELD IN SEISMIC EXPLORATION

O.M. Gorskiy

*LLC “Gazprom geologorazvedka”, Tyumen, Russia*

**Abstract.** A scheme for operational quality control of seismic data processing at the stage of calculating long-period static corrections is proposed. Taking into account long-period velocity inhomogeneities in the upper part of the section by entering static corrections in seismic traces is a generally accepted means of improving the accuracy of structural constructions and is often used in the processing of seismic data. But not always calculated corrections can completely minimize the impact of the upper part of the section. This is primarily due to the fact that underreporting practically does not prevent in-phase summation of useful waves, or, in other words, it does not distort the hyperbolicity of the observed hodograph. The consequences of not taking into account the low-frequency component have a significant impact on the accuracy of determining the kinematic parameters of reflected waves and on further construction of deep surfaces.

The proposed method allows you to quickly assess the quality of this compensation. The algorithm for evaluating the quality of accounting for long-period static corrections is based on identifying local deviations in the seismic section of the arrival times of reflected waves and their repeatability at several levels. The information accumulated in this way makes it possible to filter out random and select only regular inhomogeneities. The scheme was tested on several fields in the North of Western Siberia, studied by seismic exploration using the common depth point method and deep drilling. The effectiveness of the algorithm is indirectly confirmed by comparing the detected anomalies with the orohydrography of the research area and on the sedimentation sections of the wave field. The refined morphology of structural surfaces obtained after accounting for long-period distortions should increase the efficiency of seismic exploration.

**Keywords:** seismic exploration, the CDP method, Western Siberia, top of cut, permafrost rocks, static correction.

### References

- Adamovich O.O., Methodology for taking into account the influence of the upper part of the section when processing three-dimensional surface seismic data (in Western Siberia), *Abstract of the dissertation for the degree of candidate of physical and mathematical Sciences*, Moscow, 2013, 24 p. [in Russian].
- Dolgikh Yu.N., *Multilevel seismic exploration and kinematic inversion of MOV-OGT data under conditions of inhomogeneous high frequency*, Moscow: Geomodel, 2014, 212 p. [in Russian].
- Goldin S.V., Mitrofanov G.M., The spectral-statistical method of accounting for surface inhomogeneities in systems of multiple tracking of reflected waves, *Geology and Geophysics*, 1975, vol. 2, pp. 102-111. [in Russian].
- Khachatryan A.R., Development of an interpolation model for the correction of static corrections in seismic exploration of the MOGT, *Dissertation of the candidate of physical and mathematical sciences*, Moscow, 1984, 172 p. [in Russian].

Shevchenko A.A., Method for assessing the accuracy of the velocity analysis of the common deep point, *Seismic exploration technologies*, 2011, no. 4, pp. 12-18. [in Russian].

Sysoev A.P., *Applied problems of compensating for heterogeneity of the upper part of a section during processing and interpretation of seismic data*, Novosibirsk: INGG SB RAS, 2011, 90 p. [in Russian].