



Применение интерпретационного подхода для коррекции средне- и длинно-периодной составляющих статики в условиях развития многолетне мерзлых пород

Королев Е.К., Королев А.Е., Хайретдинова Е.М., ООО "Парадайм геофизикал", г. Москва

Наличие многолетней мерзлоты значительной мощности и мозаичного строения по площади является одним из главных факторов, определяющих сложность сейсмогеологических условий севера Западной Сибири и одной из главных, если не основной, причиной низкого качества сейсмических материалов. Чередование мерзлых терригенных пород с зонами "растеплений", при котором контраст (отношение) скоростей продольных волн на границах достигает 2-3, вызывает резкое изменение не только волновой картины, но и частотного состава регистрируемых волн. С зоной многолетнемерзлых пород (ЗММП) неразрывно связаны явления дифракции, поглощения и рассеивания энергии отражений, возникновение обменных волн на границах неоднородностей, а также, сложность и нестабильность поля помех. Существенно, что зачастую, растеплениям ЗММП на поверхности сопутствуют озера и болота, приводящие к невозможности реализовать на этих участках полевые наблюдения с оптимальной кратностью, что еще более усложняет проблему получения качественной сейсмической информации в данных условиях.

В соответствии с вышесказанным, ключевыми элементами, определяющими качество результатов данных в таких условиях, являются процедуры обработки, устраняющие влияние неоднородной ЗММП. Проблемы, связанные с изменением частотного состава и низким отношением сигнал/помеха, в значительной степени решаются путем применения поверхностно-согласованной деконволюции и последующей балансировки спектра. Наиболее трудной задачей, которую необходимо решить, является определение и коррекция временных сдвигов отражений, вызванных приповерхностными скоростными неоднородностями.

Важнейшие характеристики временных сдвигов, искажающих оси синфазности отражений - это их пространственная протяженность и амплитуда.

Единицей измерения пространственных частот является длина приемной расстановки (D). Возможность и точность учета по сейсмическим данным искажений времен отражений, вызванных протяженными неоднородностями - "статическими аномалиями" - зависит от диапазона частот их пространственных спектров. Выделяются короткопериодные (КП) - с периодом меньше $0,5D$, среднепериодные (СП) - с периодом от $0,5D$ до $2,0D$ и длиннопериодные (ДП) - с периодом более $2,0D$ - составляющие временных сдвигов [1]. Необходимо учесть, что деление на диапазоны в достаточной степени условно. В зависимости от времени отражений T_0 и величины миксина одна и та же аномалия может быть коротко-периодной по глубокому горизонту и средне- или длиннопериодной для малых времен. Поэтому под длиной приемной расстановки следует понимать эффективную длину базиса, на которой производится суммирование. Еще сложнее обстоит дело с анализом поверхностных искажений при 3D

наблюдениях, когда в зависимости от выбранного направления (инлайн, кросслайн) наблюдаются различные варианты пространственных искажений, вызванные одной и той же неоднородностью.

Единицей измерения, характеризующей величину временных сдвигов, является T - видимый период колебания отраженной волны.

По величине выделяются малоамплитудные и высокоамплитудные сдвиги. К малоамплитудным относятся сдвиги с приращением от канала к каналу до $0,5 T$, а к высокоамплитудным - сдвиги с приращением более $0,5 T$ [1]. Очевидно, что наличие высокоамплитудных статических сдвигов проявляется более сильно и приводит к практически полной потере корреляции горизонтов на суммарных временных разрезах. В реальных условиях высокоамплитудные короткопериодные временные сдвиги, как правило, приурочены к границам неоднородностей.

Выделенным выше пространственным диапазонам временных сдвигов соответствуют различные их проявления на суммарных временных разрезах. Коротко-периодные сдвиги сказываются на качестве накопления, не изменяя положения линии T_0 , длинно-периодные - приводят только к структурным искажениям горизонтов, не влияя на качество суммирования. Средне-периодным сдвигам свойственно и то и другое. Из этого становится ясно, что различные по пространственной протяженности и амплитуде составляющие временных сдвигов, вызываемых верхней частью разреза (ВЧР), требуют различных подходов к коррекции поправок.

Малоамплитудные коротко-периодные составляющие, как правило, достаточно хорошо корректируются автоматическими процедурами, основанными на алгоритмах максимизации энергии суммирования [2] или путем решения системы 4-х факторных уравнений для наблюдаемых сдвигов методом Гаусса-Зейделя [3]. С коррекцией высокоамплитудных коротко-периодных статических поправок справляются методы глобальной оптимизации, например, метод Монте-Карло [4].

При наличии высокоамплитудных временных сдвигов на протяженных неоднородных зонах, автоматические способы коррекции статических поправок сталкиваются с затруднениями. Для учета аномалий средне- и длинно-периодного диапазона исключаются способы, основанные на оценке мощности суммирования или глобальной оптимизации, поскольку аномалии этого диапазона слабо влияют на энергию суммирования. Возможно определение лишь наиболее высокочастотных составляющих аномалий, проявляющихся на границах неоднородных зон.

Стандартным путем для преодоления упомянутых проблем - т.е. подготовки данных для выполнения автоматической коррекции статики - является применение процедур расчета предварительной статики с использованием волн в первых вступлениях. Однако опыт обработки данных в условиях ЗММП показывает, что подход с использованием предомненных волн нередко

сталкивается с затруднениями, связанными с тем, что высокоскоростные прослои на многих участках экранируют предомненные волны от лежащих под ними границ, либо делают неточной их интерпретацию. Только привлечение дополнительной информации, введение определенных ограничений на получаемые результаты и принятие интерпретационных решений уже на стадии обработки делает возможным учет средне- и длинно-периодных аномалий. Неоднозначность решения, требующая перебора вариантов, разнородность информации, чаще качественной, чем количественной, делает необходимым участие геофизика. Это означает интерактивную организацию процесса коррекции, с использованием автоматических процедур на отдельных этапах в качестве своеобразного цемента, закрепляющего достигнутые решения.

Одним из наиболее эффективных способов коррекции высокоамплитудных средне-периодных статических аномалий, является интерактивная методика коррекции статических поправок (ИМКСП) [5]. Ее концепция состоит в формировании статических поправок как модели временных сдвигов, адекватно отражающей неоднородности ВЧР, включая следующие этапы:

- выделение зон неоднородностей по профилю (площади);
- определение приращений времени пробега волн на границах неоднородности и предварительная оценка статической аномалии;
- уточнение временной модели аномалии путем чередования решения прямой и обратной задач во временной области;
- дополнительная автоматическая коррекция разных составляющих статических поправок.

Важным компонентом методики являются способы извлечения информации о неоднородностях из обрабатываемых сейсмических материалов. Для выделения зон неоднородностей и оценки уровня временных задержек в их пределах используются:

- различные схемы суммирования трасс (получение полных и частичных - в разных диапазонах удалений, в том числе с кусочно-фиксированным положением баз суммирования [5] - сумм ОТВ, ОТП, ОГТ);
- отдельные сейсмограммы (с введением кинематических поправок), на которых оси синфазности выделяются достаточно уверенно;
- годографы первых вступлений либо подборки трасс равных удалений для начальной части записи;
- горизонтальные спектры скоростей $V_{\text{гор}}$, как по полной расстановке, так и по половине ее;
- результаты суммирования (ОТВ, ОТП, ОГТ) с введением различных вариантов временных задержек как статических поправок.

Задача учета длинно-периодных составляющих статики не может быть формально решена на этапе обработки. Для этого необходим интерпретационный подход, который позволял бы диагностировать наличие таких неоднородностей, оценивать величину вызванных ими искажений и устранять их влияние.

Использованный нами подход предполагает сочетание стандартных процедур расчета и коррекции статики (в том числе ИМКСП) для устранения коротко- и средне-периодных составляющих с учетом плавных длинно-периодных искажений линий T_0 путем замещения верхнего неоднородного слоя однородной средой с



постоянной скоростью. Анализ скоростей, как правило, становится возможным после устранения сдвигов, разрушающих суммирование, и его качество может служить критерием достаточности выполненной коррекции. Замещение слоя выполняется при предположении о вертикальности лучей сейсмических волн в ВЧР, т.е. без учета преломления [6].

Последовательность операций представлена в виде блок-схемы на рис. 1. Входными данными являются временной куб (в случае 2D - разрез) и сейсмограммы после коррекции коротко- и средне-периодных статических сдвигов. По временному кубу выбирается горизонт, который располагается максимально близко к подошве ВЧР и при этом имеет спектры скоростей хорошего качества. Для него строится карта изохрон $T_0(X,Y)$, рассчитываются спектры интервальной скорости, и строится карта $V_{\text{инт}}(X,Y)$. С помощью лучевой миграции карты $T_0(X,Y)$ получают структурную карту $N(X,Y)$.

Если на площади работ имеется скважинная информация, проводится уточнение структурной карты по скважинным данным. На основе этого уточняется и карта интервальной скорости.

Далее выполняется замещение этого слоя слоем с постоянной скоростью, соответствующей или растепленным, или мерзлым породам. Как правило, скорость замещения выбирается на основе скважинных данных и согласуется с геологами. Полученная на основе замещения слоя карта длинно-периодной статической поправки вводится в сейсмограммы, после чего выполняется дополнительная коррекция коротко- и средне-периодных компонент статики.

Финальным является временной куб и сейсмограммы, свободные от влияния длинно-

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ



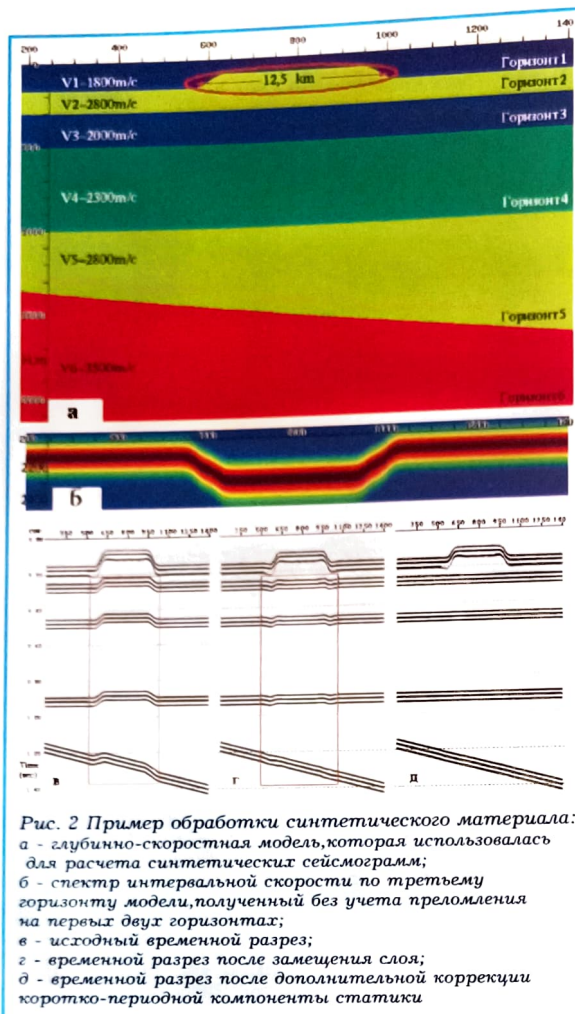


Рис. 2 Пример обработки синтетического материала: а - глубинно-скоростная модель, которая использовалась для расчета синтетических сейсмограмм; б - спектр интервальной скорости по третьему горизонту модели, полученный без учета преломления на первых двух горизонтах; в - исходный временной разрез; г - временной разрез после замещения слоя; д - временной разрез после дополнительной коррекции коротко-периодной компоненты статики

периодных искажений, вызванных скоростными неоднородностями ВЧР.

Предложенная методика успешно реализуется в рамках систем Focus и GeoDepth.

Проиллюстрируем приведенный выше способ коррекции длинно-периодной компоненты статики примерами обработки синтетического и реальных материалов 2D и 3D.

На рис. 2а изображен глубинно-скоростной разрез, моделирующий статическую аномалию, вызванную ЗММП переменной мощности. Слой, моделирующий ЗММП, в центральной части осложнен трапециевидальной аномалией, мощность которой составляет 80 м, а протяженность 12,5 км. Модель построена по обобщенным данным, и является типичной для условий Западной Сибири. Скорости выбирались на основе данных ВСП по скважине, находящейся в зоне развития многолетне мерзлых пород. Модель рассчитана с учетом преломления. Для расчета синтетических сейсмограмм использовалась фланговая расстановка с максимальным удалением 4,8 км. Таким образом, аномалия на модельном примере имеет протяженность более двух длин расстановки и может быть отнесена к длинно-периодной.

На рис. 2б представлен спектр интервальной скорости по третьему горизонту модели, полученный по синтетическим данным без учета преломления на первых двух границах. В центральной части профиля на спектре наблюдается увеличение скорости, обусловленное переменной мощностью слоя, моделирующего ММП.

На рис. 2 в, г и д представлены: исходный вре-

менный разрез с искажением по времени линий T_0 на всех горизонтах (в), временной разрез, полученный после замещения слоя T_0 на котором устранены длинно-периодные искажения, в котором присутствуют коротко-периодные искажения, но дополнительные коррекции коротко-периодных сдвигов (д). Видно, что на финальном временном разрезе полностью устранено влияние как длинно-, так и коротко-периодных составляющих статики, что свидетельствует об эффективности предложенной методики.

На рис. 3 представлены фрагмент временного разреза 2D до (а) и после (в) учета влияния длинно-периодной компоненты статики. Плавные, унаследованные искажения статики успешно устраняются при замещении линии T_0 скоростью, определенной по верхнему слою со спектра скорости (спектр скорости приведен на рис. 3б) постоянной.

На рис. 4 и 5 представлены результаты обработки и интерпретации с учетом влияния ЗММП по данным 3D.

Рис. 4 демонстрирует сравнение карт изохрон по верхнему горизонту до (а) и после (б) коррекции длинно-периодной компоненты статики, карты интервальной скорости (в) и структурной карты (г). Карта интервальной скорости имеет достаточно сложный характер и обратно коррелируется с картой изохрон до коррекции за ЗММП. После учета искажающего влияния мерзлоты поле времен (в) имеет гораздо более простой структурных план и повторяет поведение поля глубин (г).

На рис. 5 представлен фрагмент вертикального сечения временного куба до (а) и после (б) коррекции за ЗММП. На рисунке красным прямоугольником выделена зона растепленных пород до и после коррекции длинно-периодной компоненты статики. Хорошо заметно, что характерные для растепленных участков увеличения времен на всех горизонтах (рис. 5а)

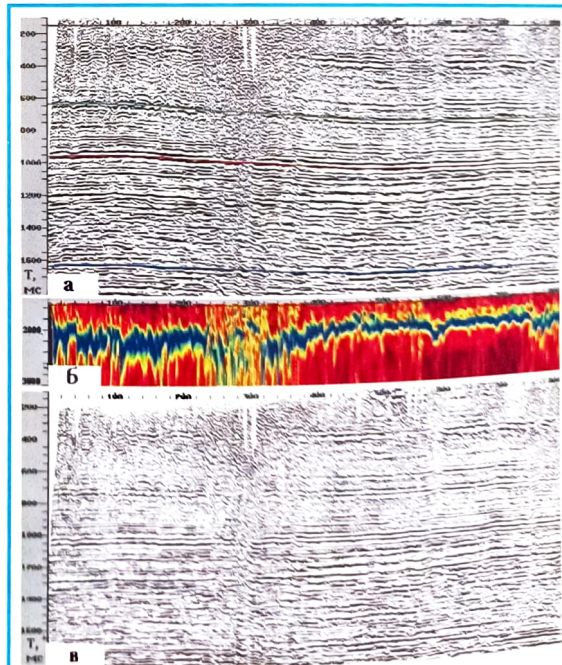
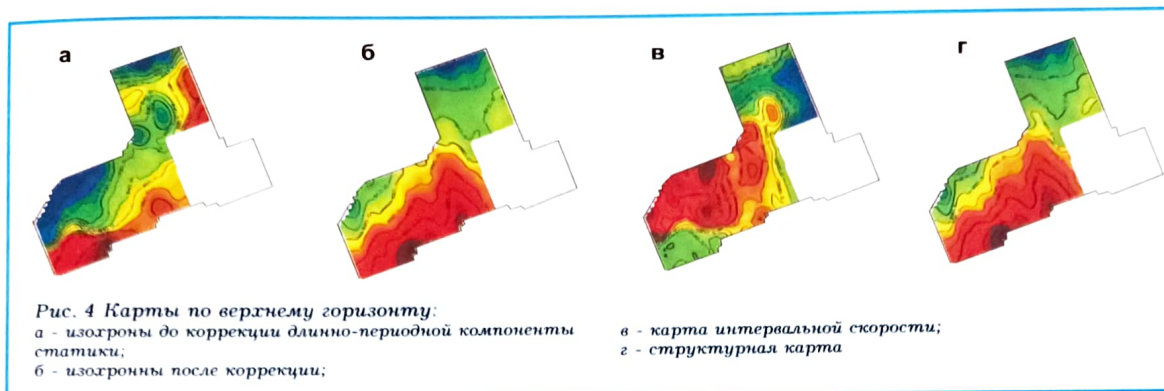
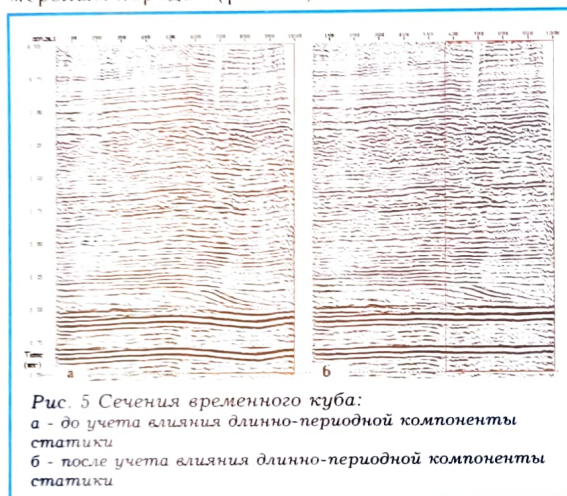


Рис. 3 а - фрагмент временного разреза 2D до учета длинно-периодной компоненты статики; б - спектр интервальной скорости по верхнему горизонту до учета длинно-периодной компоненты статики; в - фрагмент временного разреза после учета длинно-периодной компоненты статики



полностью отсутствуют на разрезе после замещения верхнего неоднородного слоя постоянной скоростью, соответствующей мерзлым породам (рис. 5б).



Подводя итог выше сказанному, хотелось бы подчеркнуть, что предложенный метод учета длинно-периодных искажений основан на объективном критерии - анализе интервальных скоростей, что позволяет, прежде всего,

диагностировать наличие неоднородностей, а затем уже оценить их величину и устранить влияние. Этим предлагаемая методика выгодно отличается от часто применяющегося формального сглаживания горизонтов, которое не выявляет физическую природу наблюдаемой аномалии, а лишь обеспечивает ее формальное устранение, на основе сглаживания горизонтов, используя при этом субъективные критерии при выборе базы сглаживания.

Литература

1. Шнеерсон И.Б., Козырев В.С., Королев Е.К. и др., 1983. Отчет по теме "Разработка способов учета неоднородностей верхней части разреза в сложных поверхностных сейсмогеологических условиях и основ методики работ с невзрывными источниками колебаний", Наро-Фоминское отделение ВНИИГеофизики.
2. Ronen J.W. and Claerbout J.F., 1985. Surface-consistent residual statics estimation by stack-power maximization. Geophysics 50: 2759-2767.
3. Wiggins et al., 1976. Residual Statics as a General Linear Inverse Problem. Geophysics 41: 922-938.
4. Daniel H. Rothman, 1986. Automatic estimation of large residual statics corrections. Geophysics 51: 332-346.
5. Козырев В.С., Королев Е.К., 1994. Интерактивная методика коррекции статических поправок для условий сложного строения верхней части разреза. Геофизика, 3: 13, 19.
6. Robinson C and Lerner K., 2000. Datuming and layer replacement: When are static corrections sufficient? SEG Expanded Abstracts.

ПОДПИШИСЬ

Персональная информация о подписчике/Почтовый адрес организации

ФАМИЛИЯ		ИМЯ		ОТЧЕСТВО	
ПОЛНОЕ НАИМЕНОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ					
ОТДЕЛ/ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ			ДОЛЖНОСТЬ		
ИНДЕКС	СТРАНА	ГОРОД	ОБЛАСТЬ/РАЙОН		
АДРЕС					
КОД ГОРОДА	ТЕЛЕФОН	ФАКС	E-MAIL		

Россия, 410019, г. Саратов, ул. Крайняя 129, СО "ЕАГО" - в редакцию "Приборы и системы разведочной физики"

Стоимость годовой подписки (с почтовой пересылкой и НДС - 10%)

Наименование издания	1 комплект	2 комплекта	3 комплекта	4 комплекта
Журнал "Приборы и системы разведочной геофизики"	1600 руб.	3200 руб.	4850 руб.	6400 руб.





Сопоставление источников сейсмического волнового поля по тротиловому эквиваленту

Колосов Б.М., ЗАОр "НП "Запприкаспийгеофизика", г. Волгоград

ОБМЕН ОПЫТОМ

Журнал Саратовского отделения ЕАГО "Приборы и системы разведочной геофизики" в январе 2003 года выпустил тематический номер "Источники возбуждения геофизических полей", в котором опубликованы статьи об эффективности использования в сейсморазведке различных источников: взрывных, электромеханических, пневматических и вибрационных, - приводятся основные технические характеристики устройств, включая силовые и энергетические параметры излучателей [2].

Многообразие источников порождает и многообразие единиц измерения силовых параметров излучателей, сопоставление которых

между собой вызывает известные затруднения.

Вместе с тем в недавнем прошлом основным источником возбуждения при сейсморазведочных работах являлся взрыв, при котором для возбуждения сейсмических колебаний использовалось и используется большое разнообразие взрывчатых материалов. Энергоемкость ВВ колеблется в пределах 3000-4000 кДж на 1кг ВМ. Расширение видов источников возбуждения в сейсморазведке, включая механические, газодинамические, пневматические, электродинамические, вибрационные, заставляют искать общий эквивалентный параметр для их сравнительной оценки.

Таблица 1 Силовые параметры импульсных и вибрационных источников

Источник	Кол-во	Паспортные параметры		Расчетные параметры	
		силовой параметр	Кол-во единиц	энергия в кДж	тротил эквив-т
1.Тротил	1кг	Энергия	3800 кДж	3800	1000 г
2. "Геотон"	1шт	Сила воздействия на излучающую поверхность в импульсе в Н	300000 Н	300	80 г
3. Электромеханический "Терра-2"	1шт	Амплитуда импульса силового воздействия в Н	15000 Н	15	4 г
4. Электромагнитный "Енисей СЭМ-100"	1шт	Расчетная сила воздействия эл. магнитов на пригрузы модели (тс)	100 тс	10	26 г
5. Пневматический источник "Пульс-6С"	1шт	Рабочее давление в МПа, объем камеры 1 дм ³ , одно накопление	14,0 МПа	21	2 г
6. Виброисточник СВ-15-180	1шт	Максимальная амплитуда силы в кН (в течение 10 с)	150 кН	750	197 г
7. Виброисточник СВ-120-250 ВИ	1шт	Пиковое усилие при квазигармоническом возбуждении в кН (в течение 10 с)	120 кН	600	157 г
		Пиковое усилие импульсного воздействия в кН	120 кН	120	31 г
8. Виброисточник Merz M25/606	1шт	Пиковая сила (в течение 10 с)	202 кН	1010	265 г
9. Виброисточник AMG P23/M27	1шт	Усилие вибратора на грунт (в течение 10 с)	250 кН	1250	328 г
10. Виброимпульсные излучатели НКН-10/40	1шт	Максимальное усиление в импульсе в кН	100 кН	100	26 г
11. Механический импульсный источник с падающим грузом СИ-64	1шт	Максимальная энергия в кДж	100 кДж	100	26 г
12. Газодинамические импульсные источники ГСК-6М	1шт	Энергия действия на грунт в кДж	90 кДж	90	23 г
13. Электродинамические импульсные источники "Сейсмодин-4800"	1шт	Максимальное рабочее усилие в кН	800 кН	800	210 г
14. Пневматический импульсный источник ГСК-1П	1шт	Энергия воздействия при номинальном рабочем давлении в кДж	12 кДж	12	3 г
15. Пневматический импульсный источник ГСК-10С	1шт	Энергия воздействия на грунт в кДж	100 кДж	100	26 г
16. Пневматический импульсный источник ГСК-5	1шт	Максимальное суммарное рабочее усилие двух камер в кН	340 кН	340	90 г