



ОБРАБОТКА СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО СЖАТИЯ. Ч. 1

Л. С. Станкевич

Неоднозначность интерпретации сейсмических разрезов большей частью вызвана интерференцией отраженных волн и частотными характеристиками записи. Эти факторы ограничивают временную разрешенность разреза и, следовательно, детальность структурных построений сложных геологических объектов. Повышение временной разрешенности с помощью частотной фильтрации часто не является оптимальным решением. Предлагается рассмотреть динамическое сжатие – метод обработки сейсмического разреза, реализующий деконволюцию записи во временной области. В результате такого рода деконволюции волновой разрез преобразуется в поле дельта-функций, которое отражает структуру сейсмических границ и может служить основой для построения лито-физической модели среды. Изложена основа метода, алгоритмы и рассмотрены результаты моделирования. Во второй части статьи будут рассмотрены результаты тестирования метода на реальных геологических объектах с использованием данных бурения.

Ключевые слова: сейсмические разрезы, динамическое сжатие, деконволюция, интерференция, волновые пакеты, вейвлеты.

PROCESSING OF SEISMIC SECTIONS BY DYNAMIC COMPRESSION METHOD. Pt 1

L. S. Stankevich

The ambiguity of interpretation of seismic sections is mostly caused by an interference of reflected waves and frequency-response curves. These factors limit temporal resolution of a section and, therefore, structural imaging details of complex geological objects. To enhance the temporal resolution by means of a frequency filtration is not often the best decision. It is proposed to consider the dynamic compression method, i.e. the method of seismic section processing realizing a record inverse filtering in the time domain. As a result of this inverse filtering the wave section will be transformed to a field of delta functions which reflects the structure of seismic boundaries and can form a basis for constructing a lithological-physical model of the medium. This part of the paper presents the basis of the method, algorithms and results of the modeling. The next part is to consider the method's test results obtained at real geologic features and drilling data.

Keywords: seismic sections, dynamic compression, inverse filtering, interference, wavetrains, wavelets.

Задача детального изучения локальных структур, перспективных на углеводороды, успешно решается при достижении максимально однозначного результата интерпретации сейсмических данных, прежде всего при получении глубин геологических границ и оценке внутренних характеристик слоев. На сейсмических разрезах метода отраженных волн общей средней точки (МОВ ОСТ) изображается интегральная волновая картина, где взаимное расположение пластов горных пород – лишь один из многих факторов, определяющих эту картину. Следует учитывать, что в большинстве своем регулярные фазы отраженных волн на разрезе являются результатом сложной интерференции, вызванной наложением многих отраженных сигналов от гетерогенной геологической среды. Требуется преобразование, позволяющее разделять интерферирующие волны для более точного восстановления положения сейсмических границ. Один из способов – деконволюция сжатия во временной области, при этом волновая запись преобразуются в импульсную. Для данного преобразования используется сверточно-аддитивная модель образования сейсмических трасс. Общая теория и примеры такого

рода преобразований, как фундамент настоящей статьи, подробно описаны в работах Г. Н. Гогоненкова [1, 2], Д. И. Рудницкой [3], В. Н. Трояна [5] и др.

Метод динамического сжатия реализует указанный способ с целью повышения временной разрешенности записи с сохранением амплитудной разрешенности. Отличительная особенность метода – применение многосерийных итерационных алгоритмов для получения более точного импульсного разреза. Также метод включает оригинальные алгоритмы постобработки поля дельта-функций для построения литофизической модели среды.

Теория преобразования

Рассмотрим сверточно-аддитивную модель сейсмотрассы $S(t)$ как результат свертки функции коэффициентов отражения $w(t)$ и волнового импульса источника $f(t)$, осложненной аддитивной помехой $N(t)$:

$$S(t) = w(t)f(t) + N(t). \quad (1)$$

Здесь функция $w(t)$ представлена импульсами единичной длины на n границах слоев:



$$w(t) = \sum_{i=1}^n A_i \delta(t - t_i),$$

где A_i – амплитуда i -го коэффициента отражения.

Для нахождения функции $w(t)$ в уравнении (1), где $f(t)$ и $N(t)$ также неизвестны, необходимо перейти к эффективной сейсмической модели (ЭСМ). Эффективной называют такую сейсмическую модель, для которой расчетное волновое поле удовлетворительно согласовывается с фактическим. Для ЭСМ введем следующие допущения:

1. *Аддитивная помеха* $N(t) = 0$. Не является серьезным допущением для качественных сейсмических разрезов с хорошим отношением сигнал/помеха более 3. Общую (и неизбежную) компоненту помех далее будем считать частью функции коэффициентов отражения

$$\bar{w}(t) = \sum_{i=1}^n [A_i + N_i] \delta(t - t_i).$$

Сейсмограмма будет представлена в виде

$$S(t) = \bar{w}(t)f(t). \quad (2)$$

2. *В целевом интервале обработки форма импульса $f(t)$ стационарна*. Данное допущение аналогично условию традиционной деконволюции в частотной области. Применять динамическое сжатие целесообразно на небольших (200–500 мс) интервалах разреза, на котором вследствие расхождения волнового фронта или поглощения изменением формы импульса можно пренебречь.

3. *Амплитуды боковых полупериодов волнового импульса по модулю в 2 раза меньше главного максимума*. Такое допущение обусловлено получением неустойчивого решения в случае близкорасположенных, контрастных по $\bar{w}(t)$ границ пластов. По результатам моделирования [4] наложение волновых импульсов на интервале менее 1/4 его длины может создавать интерференционный волновой пакет, в котором точки главных экстремумов не соответствуют границам слоев. Деконволюция таких пакетов во временной области дает заведомо ложное распределение коэффициентов отражения.

4. *Источник формирует плоскую продольную волну, которая падает на границу слоев вертикально (поперечные волны не образуются)*. Не будем учитывать зависимость угла падения от коэффициентов отражения. В большинстве случаев глубина до целевого интервала много больше длины измерительной расстановки.

5. *Акустическая жесткость среды зависит только от скорости*. Традиционно для подобных моделей плотность принимается постоянной.

Принятые допущения ЭСМ позволяют в некотором приближении решать обратную кинематическую задачу сейсморазведки и получать распределение коэффициентов отражения. Само преобразование выступает как естественное про-

должение графа обработки сейсмических данных после получения волнового сейсмического разреза.

Коэффициенты отражения $\bar{w}(t)$, найденные в рамках принятой ЭСМ, будут также эффективными (ЭКО). Динамическое сжатие решает задачу восстановления максимально достоверного поля ЭКО, используя данные, заложенные только в сейсмическом разрезе (иногда такое преобразование называют самофильтрацией [1]). Поле ЭКО лишено эффектов интерференции, и получаемые границы слоев имеют однозначное положение.

Методика обработки

Метод динамического сжатия заключается в трех основных этапах обработки исходного сейсмического разреза. Результатом метода является разрез эффективных коэффициентов отражения и данные о волновом импульсе, образующих исходный разрез. Рассмотрим поочередно этапы обработки (рис. 1).

1. *Когерентная фильтрация* – это двумерное преобразование суммарного разреза, позволяющее выделять регулярные отражения на фоне нерегулярных волн-помех. Фильтрация требуется для выделения регулярных целевых волн в условиях ограничений метода, так как само сжатие происходит на каждой трассе независимо от соседних. Когерентная фильтрация происходит во временной области и главным образом повышает отношение сигнал/шум за счет незначительного снижения горизонтальной разрешенности разреза (на 2–3 трассы). Если исходный разрез уже имеет хорошее отношение сигнал/шум и качественную обработку, то изменение его амплитуд будет минимально.

Преобразование заключается в итерационном алгоритме поиска ярких фаз отраженных волн и ассоциации их с амплитудами соседних экстремумов при наличии регулярности отражения. Изменения, происходящие во временной и частотной областях, можно рассмотреть на примере фрагмента разреза Аргишской площади (рис. 2). Когерентная фильтрация уменьшила амплитуду нерегулярного сигнала при минимальном изменении спектра записи.

2. *Восстановление формы волнового импульса (вейвлета)*. Есть различные подходы к оценке

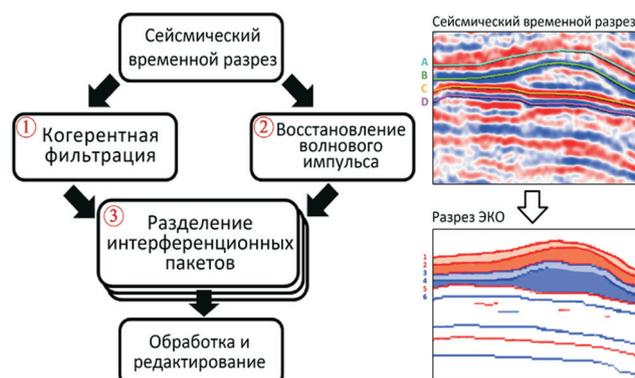


Рис. 1. Процедуры динамического сжатия



формы волнового импульса во временной и частотной областях [1, 3]. В методе динамического сжатия используется метод **итерационного суммирования волновых пакетов** (ИСВП). Он работает во временной и частотной областях и позволяет с высокой точностью восстанавливать форму импульса даже в неблагоприятных условиях, например в случае малого количества регулярных отражений на разрезе.

При построении алгоритмов метода ИСВП используется теория метода суммирования волновых пакетов (СВП), сверточно-аддитивная модель и условия 1–5 ЭСМ.

В методе суммирования волновых пакетов, описанном в [3], каждый пакет $u(t)$ (состоящий из n волновых импульсов) на трассе $S(t)$ может быть описан формулой

$$u(t) = \sum_{i=1}^n A_i f(t - \tau_i) + N(t),$$

где A_i – амплитуда волнового импульса, τ_i – время задержки вступления волнового импульса, $f(t)$ – волновой импульс отраженной волны.

В методе СВП исключают временные сдвиги между первыми фазами импульсов и нормируют каждый импульс на амплитуду первой фазы. Тем самым суммируются окрестности **первой сильной фазы** отраженной волны в пакете, которая предположительно является главным экстремумом волнового импульса трассы (элементарного сигнала). Для применимости этого метода в работе Д. И. Рудницкой вводится **шесть специальных условий**, в том числе это: «на интервале от момента вступления до точки экстремума первой сильной фазы волнового пакета отсутствует интерференция элементарных сигналов» [2, с. 9]. На практике же «чистые» первые вступления волновых пакетов встречаются нечасто.

В методе ИСВП в отличие от СВП суммируются окрестности не «первой сильной фазы», а главного экстремума сейсмической трассы. Таким образом, количество и форма первых вступлений волновых пакетов на трассе не имеют большого значения. В вычислении участвуют все регулярные отражения, амплитуда которых выше нерегулярных помех. При этом чем больше слагаемых входит в накопления массива ИСВП, тем более точным будет результат оценки формы импульса. В методе ИСВП каждая j -я трасса разреза (или фрагмента разреза), состоящая из n волновых импульсов, описывается формулой

$$S_j(t) = \sum_{\substack{i=1 \\ j=\text{const}}}^n A_{ij} f(t - T_{ij}) + N_j(t),$$

где A_{ij} – весовой коэффициент равный амплитуде экстремума, T_{ij} – позиция экстремума на j -й трассе.

Оценку импульса можно представить в виде суммы пакетов $u_{ijm}(T_{ijm})$ по трем параметрам:

$$f_s(t) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^j \sum_{m=1}^M \left[\frac{u_{ijm}(T_{ijm})}{A_{ijm}} + N_{ijm}(t) \right], \quad (3)$$

где M – число итераций метода.

В дальнейшем $f_s(t)$ нормируется на единицу.

Пользуясь сверточно-аддитивной моделью (2), можно с помощью итерационных вычитаний многократно использовать разрез для уточнения формы волнового импульса. На первой итерации ($m = 1$) с каждой трассы копируется по одной окрестности экстремума $u_{ij1}(T_{ij1})$, затем они приводятся к одной полярности, суммируются, нормируются на единицу, подвергаются частотной и амплитудной фильтрации. Полученный результат является первой оценкой формы импульса. Этот волновой импульс вычитают в точках T_{ij1} всех трасс, позволяя на следующей итерации получить новые по форме пакеты $u_{ij2}(T_{ij2})$ и повторить суммирование. В конце второй итерации по двум оценкам импульса переопределяется новый. Итерации повторяются, пока амплитуды регулярных волн разреза не выйдут на уровень шума.

Таким образом, в массиве данных оценки формы импульса $f_s(t)$ увеличивается число слагаемых в M раз, что повышает статистический эффект накопления при борьбе с аддитивной помехой $N(t)$. Иллюстрация эффективности итерационных процедур представлена на рис. 3.

Исходя из допущений 1–5 ЭСМ, для дальнейшего этапа разделения интерференции разреза предлагается использовать не $f_s(t)$, а импульс Рикера (вейвлет «Mexican hat»):

$$f_R(t) = \left(1 - \frac{\omega^2 t^2}{2} \right) e^{-\frac{\omega^2 t^2}{4}}.$$

Он всегда удовлетворяет допущениям ЭСМ и не имеет аддитивной помехи. Форма вейвлета $f_R(t)$ определяется частотой ω , которая подбирается по максимуму коэффициента корреляции с импульсом $f_s(t)$. Предлагаемую замену можно рассматривать как удобную аппроксимацию $f_s(t)$, позволяющую избавиться от аддитивных помех. Если $f_s(t)$ значительно отличается от импульса Рикера (например, импульс несимметричен или не выполняется допущение 3), то для дальнейшей обработки можно замену не проводить и пользоваться $f_s(t)$. Но стоит учитывать, что результат сжатия будет менее точным и вероятность получения правдоподобного распределения ЭКО значительно более низкой. В таких ситуациях стоит пересмотреть обработку самого разреза.

Логично рассмотреть точность и устойчивость решения метода ИСВП с помощью моделирования.

Моделирование

Как зависит результат ИСВП от формы исходного, сверточного вейвлета?

Для изучения зависимости построим слоистую акустическую модель с аддитивным шумом 10 %, затем «свернем» ее с различными вейвлета-

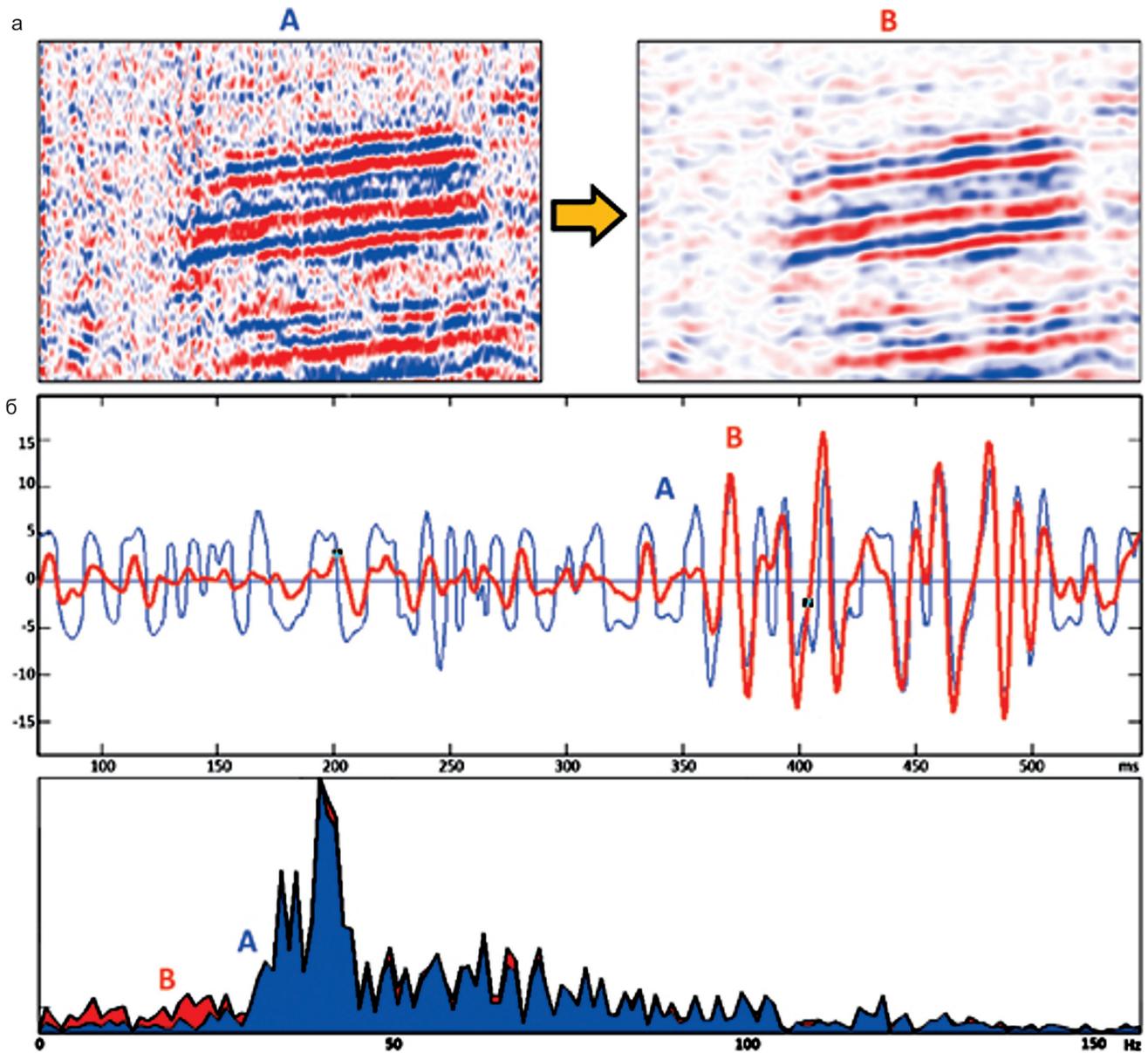


Рис. 2. Когерентная фильтрация (а – разрезы: А – исходные трассы, В – после когерентной фильтрации) фрагмента разреза ARG_030205vp (Аргинская площадь, Восточная Сибирь); б – сравнение центральных трасс и спектров фрагментов А и В

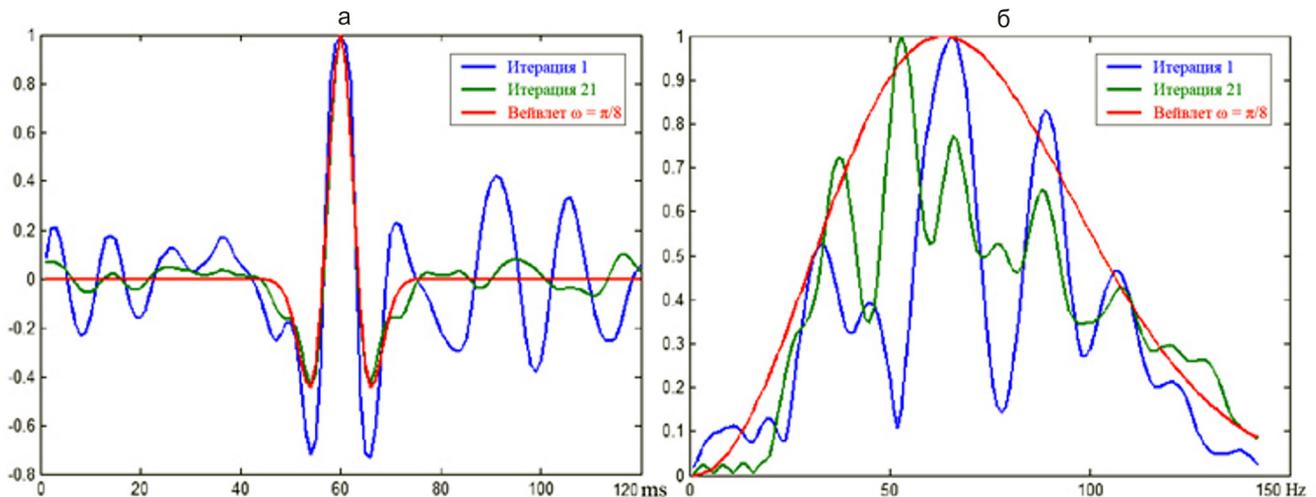


Рис. 3. Результаты ИСВП на 1-й и 21-й итерациях, сопоставленные с исходным вейвлетом Рикера (а); спектры волновых импульсов (б)



ми Рикера ($\omega_0 = \pi/5, \pi/6, \dots, \pi/12$). Модель содержит один волновой пакет, образованный из 20 слоев переменной мощности с контрастными границами, представленными на 400 трассах временного интервала 200 мс. Полученные синтетические разрезы отличаются спектральными характеристиками, временной разрешенностью и формой волновых пакетов (табл. 1).

Как видно из табл. 1, метод ИСВП верно восстанавливает вейвлет в пределах одного шага измерений, равного 2–3 мс «ширины» вейвлета.

Рассмотрим зависимость результата ИСВП от формы и количества регулярных отражений на трассе, количества трасс, уровня помех. Зафиксируем вейвлет Рикера с $\omega_0 = \pi/9$. Свернем вейвлет с набором различных моделей, различа-

Таблица 1

Результаты вычисления вейвлета методом ИСВП из модельных данных

Длина вейвлета, мс	ω_0 исходного вейвлета Рикера	ω_R вейвлета ИСВП $f_R(t)$
20	$\pi/5$	$\pi/6$
23	$\pi/6$	$\pi/7$
26	$\pi/7$	$\pi/7$
29	$\pi/8$	$\pi/8$
33	$\pi/9$	$\pi/8$
35	$\pi/10$	$\pi/9$
38	$\pi/11$	$\pi/10$
41	$\pi/12$	$\pi/11$

ющихся разнообразными ситуациями чередования акустических границ, уровнем аддитивного шума, интервалами между границами, количеством и внутренней структурой волновых пакетов. Модели содержат от 50 до 500 трасс для изучения статистического эффекта ИСВП. После вычисления $f_S(t)$ будем сравнивать его с исходным вейвлетом

по коэффициенту корреляции. После аппроксимации $f_S(t)$ импульсом Рикера $f_R(t)$ можно сравнивать его частоту ω_R с частотой исходного вейвлета ω_0 . Успешным результатом можно считать получение ω_R в пределах одного шага знаменателя ω_0 , так как в этом диапазоне различие вейвлетов незначительно $\pm 2\%$ коэффициента корреляции (табл. 2).

Исходя из результатов данного моделирования, можно сделать следующие выводы:

- В целом метод дает хороший результат $f_S(t)$ при наличии на разрезе 10 и более регулярных фаз отраженных волн, а также в условиях сильных помех (до 45 %) при достаточном количестве (более 15) регулярных отражений.

- Количество трасс разреза, на котором прослеживаются регулярные отражения, слабо влияет на результат ИСВП (модели 4, 9). Большое значение имеет участок разреза, на котором происходит вычисление вейвлета.

- Аппроксимация импульса $f_S(t)$ вейвлетом Рикера, даже в случае недостаточной корреляции, позволяет с хорошей точностью приближаться к исходному вейвлету.

3. *Разделение интерференционных волновых пакетов.* Основной этап метода динамического сжатия заключается в преобразовании волновых трасс в трассы дельта-импульсов ЭКО. Процедура базируется на методе рекуррентного оценивания В. Н. Трояна [5] и на модели последовательности однородных по акустическим свойствам слоев. Сущность метода рекуррентного оценивания сводится к итерационному процессу нахождения искомого параметра, который сходится при достаточно большом числе приближений. Очевидно, неограниченно увеличивая число слоев в модели, можно сколь угодно близко подойти к общей модели с непрерывным распределением акустической

Таблица 2

Результаты вычислений корреляции вейвлетов (исходного и полученного методом ИСВП) в зависимости от уровня амплитуды помех и структуры модели

Модель	Кол-во трасс	Регулярные фазы отраженных волн	Относительная амплитуда помехи, %	ω_R вейвлета ИСВП (исходная $\omega_0 = \pi/9$)	Коэффициент корреляции $f_S(t)$ с исходным вейвлетом, %
1	100	7	45	$\pi/8$	92,81
			15	$\pi/7$	92,80
2	100	9	40	$\pi/8$	94,50
			20	$\pi/8$	95,80
3	100	11	45	$\pi/8$	95,47
			15	$\pi/9$	99,32
4	100	12	45	$\pi/9$	95,18
	50	12	15	$\pi/8$	97,99
45			$\pi/8$	97,22	
5	100	14	45	$\pi/8$	95,29
			15	$\pi/8$	98,69
7	100	16	15	$\pi/9$	98,14
			45	$\pi/8$	97,68
6	100	26	40	$\pi/8$	98,51
		31	5	$\pi/9$	99,66
8	350	26	10	$\pi/10$	97,46
			45		97,93
9	10	19	20	$\pi/9$	98,56
	500				99,50



жесткости по вертикали. В то же время наложение разумных ограничений на число слоев позволяет обеспечить частичное преодоление трудностей, связанных с ограничением частотного диапазона сейсмической записи (частота дискретизации), получая приемлемое приближение к реальным средам [3].

Сейсмическая запись (согласно ЭСМ) описывается формулой (2). Тогда задача заключается в определении эффективных коэффициентов отражения $\bar{w}(t)$, для чего требуется точно восстанавливать позицию вейвлета на трассе для последующего вычитания. Для наиболее корректного получения распределения ЭКО требуется еще и максимально точно воспроизвести последовательность, в которой вейвлеты складывались в интерференционные пакеты (от начала к концу). От нее зависит позиция и амплитуда вейвлетов на каждой следующей итерации вычитания, что прямо влияет на поле ЭКО. В методе рекуррентного оценивания В. Н. Трояна для поиска позиции вейвлета используется функция взаимной корреляции (ФВК) трассы $S(t)$ и вейвлета $f(t)$. Использование ФВК не позволяет учитывать последовательность вычитания вейвлетов из пакета. В методе динамического сжатия для нахождения точек вычитаний вейвлета используется функция $P(t)$. Данная функция является сглаженной кривой взаимной корреляции между градиентами амплитуд $S(t)$ и вейвлета:

$$P(t) = A_g [R(t)] = \frac{\sum_{t=1}^g |u_t(t-t')|}{g} \times \left[\frac{\sum_t |\nabla[u_t(t-t')]| |\nabla[f(t)]|}{\sqrt{\sum_t (\nabla[u_t(t-t')])^2 \sum_t (\nabla[f(t)])^2}} \right],$$

где g – размер интервала сглаживания.

Исследуя поведение кривой $P(t)$ можно получить наиболее вероятные позиции вейвлетов, образующие интерференционный пакет начиная с первых вступлений. Комплексное использование корреляции и амплитуд сейсмической трассы позволяет более точно определять позиции вейвлетов на первых итерациях, что прямо влияет на будущий вид трассы ЭКО.

На рис. 4 проиллюстрирован пример с двумя волновыми пакетами и соответствующими им кривыми $P(t)$: черная кривая – амплитуды пакета и $P(t)$ до сжатия; синяя – после сжатия, зеленая прямая – уровень срабатывания оператора (уровень помехи). Видно, что после сжатия амплитуды регулярных отражений переходят на уровень нерегулярного шума, как и кривая $P(t)$, что означает нецелесообразность дальнейшего сжатия. В случае продолжительного интервала пакета на трассе 2 систематическая погрешность накапливается к концу обработки и появляется небольшой остаточный фон кривой $P(t)$

(выделен желтым), который не является признаком наличия импульсов в пакете.

Рассмотрим повышение разрешающей способности при применении сжатия. Создадим акустическую модель, состоящую из одного слоя интервала 4 мс при уровне шума до 20 %. Свернем модель с вейвлетом Рикера длиной 33 мс ($\omega_0 = \pi/9$). Здесь и далее частота дискретизации принимается 1 мс. Сравнивая полученный результат сжатия с исходной моделью (рис. 5, а), можно отметить, что при свертке с указанным вейвлетом можно различить ЭКО-слой интервала 4 мс. Эффект сжатия проявляется в том, что расстояние между ЭКО меньше, чем расстояние между пиками волнового пакета (6 мс).

Однако если усложнить акустическую модель еще двумя подобными слоями так, чтобы все интервалы между границами были равны, то прирост временной разрешенности исчезает. Точное совпадение ЭКО и коэффициентов отражения модели наблюдается при интервалах между границами, равных интервалам между пиками волновой трассы, при любой частоте вейвлета ω_0 . Значит, повышение временной разрешенности записи будет происходить в определенных благоприятных ситуациях, так как зависит от уровня помехи, амплитуды и порядка полярности акустических границ образующих интерференцию. Все эти факторы затрудняют получение однозначной оценки изменения разрешенности записи после сжатия с помощью моделирования.

Рассмотрим зависимость поля ЭКО от формы интерференционных колебаний. Создадим акустическую модель, состоящую из шести слоев (семь границ) с интервалами от 7 до 14 мс и с 20 %-ным уровнем. Свернем модель с вейвлетом Рикера ($\omega_0 = \pi/9$). Ключевая особенность исходной модели – это положительный градиент скорости, т.е. все коэффициенты отражения положительные. Полученный синтетический разрез будет иметь восемь разнополярных регулярных фаз отраженных волн. Как видно на рис. 5, б, после сжатия позиции и амплитуды ЭКО слабо связаны с полярностью регулярных фаз волновой записи. Деконволюция во временной области не просто «сужает» фазы отраженных волн до единичных импульсов, а последовательно вычленяет ЭКО и видоизменяет волновой пакет. Таким образом, ЭКО могут быть получены на позиции вне экстремума с амплитудой, отличной от амплитуды трассы до разделения (ЭКО № 2, см. рис. 5, б).

Другие результаты моделирования позволили выявить еще несколько особенностей динамического сжатия, которые следует учитывать при применении метода на практике:

1. Когда два *разнополярных* близкорасположенных коэффициента отражения в модели сворачиваются с вейвлетом, они компенсируют друг друга. Получаемые амплитуды колебаний интер-



ференционного пакета могут не выйти за уровень шума. Это связано с ограничениями на тонкоструктурные пачки, где решение обратной задачи некорректно [2].

2. Если для этапа разделения интерференции использовать импульс ИСВП в чистом виде, без аппроксимации вейвлетом, то результат сжатия менее точный. Это вызвано наличием в форме импульса (3) компонент случайных аддитивных помех $N(t)$, которые тоже принимают участие в итерационном вычитании, т.е. многократном изменении формы пакета.

3. Отдельно стоит отметить специфику динамического сжатия, заключающуюся в зависимости между итерациями на этапе разделения интерференции. Каждая следующая итерация зависит от предыдущей, вследствие чего накапливаются

и увеличиваются ошибки, появившиеся в начале разделения. Это приводит к получению «выпадающих» трасс ЭКО, которые не согласуются с закономерностями поведения ЭКО границ на соседних трассах. Однако такие трассы несложно выделить на общем фоне и отредактировать.

Выводы

В данной статье были рассмотрены основные алгоритмы и процедуры метода динамического сжатия, а также некоторые результаты моделирования. По приведенным результатам можно сделать несколько выводов:

1. Метод восстановления волнового импульса ИСВП достаточно эффективен и обладает высокой точностью при 10 и более регулярных отражениях на трассе.

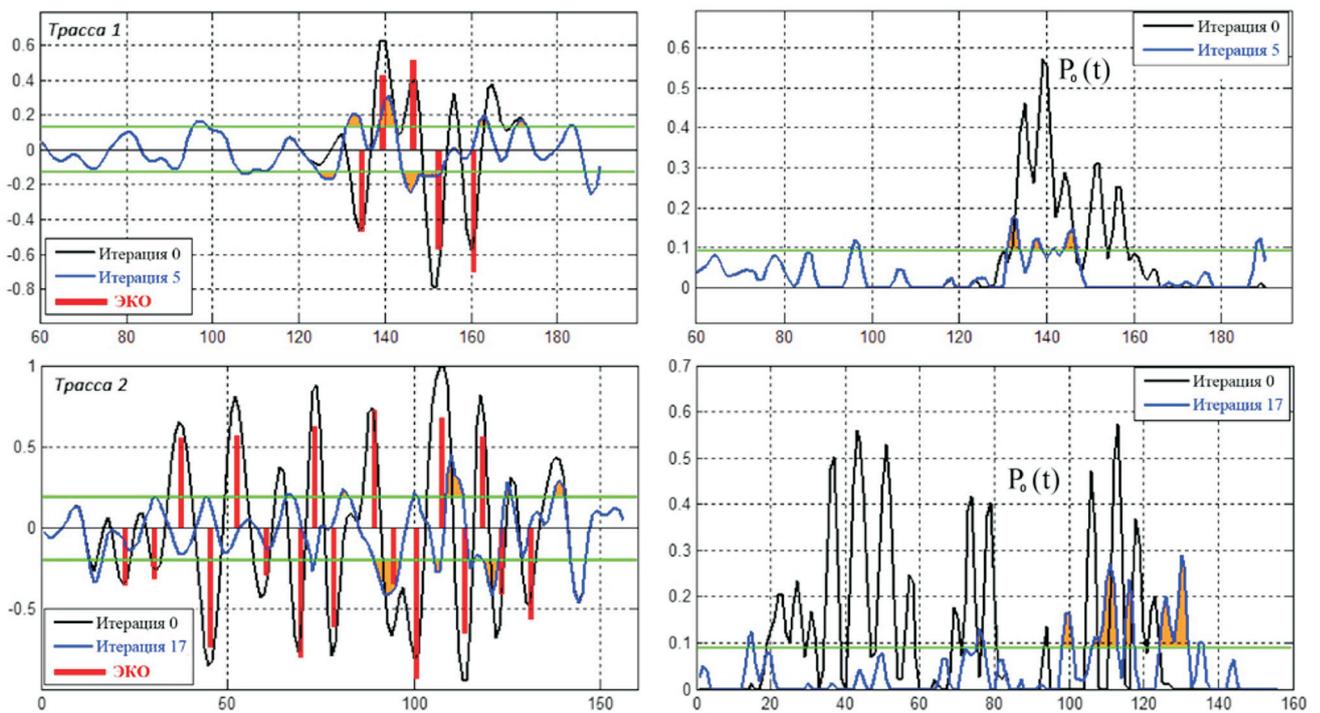


Рис. 4. Два различных волновых пакета и соответствующие им функции $P(t)$ на нулевой и последней итерации. Красные штрихи ЭКО – результат динамического сжатия. Разрез 05_7911 Чайкинской площади

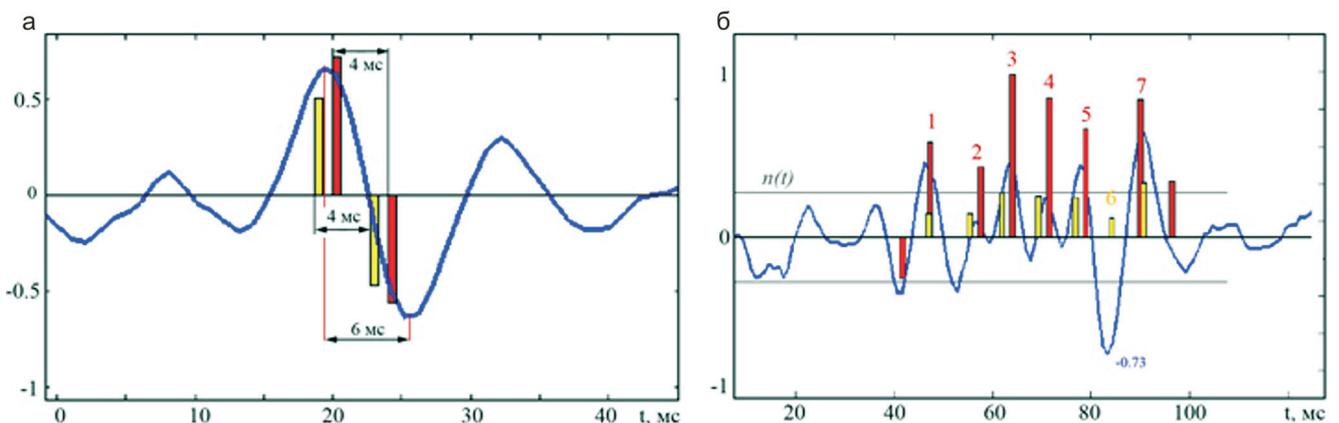


Рис. 5. Модели: а – из двух близкорасположенных коэффициентов отражения, б – образованная только положительными коэффициентами; синий – синтетическая трасса модели, желтый – исходные коэффициенты отражения, красный – результат сжатия (ЭКО)



2. Аппроксимация найденного вейвлета импульсом Рикера позволяет повысить точность сжатия за счет отсутствия накопления помех.

3. Деконволюция во временной области имеет ряд особенностей, связанных с итерационными процедурами вычитания. Так, финальный результат сжатия больше зависит от первых двух-трех итераций, на которых определяются главные ЭКО пакета. Это решается редактированием участков трасс, «выпадающих» из общей картины при исследовании закономерностей поведения границ.

4. Повышение временной разрешенности после сжатия возникает только в определенных благоприятных ситуациях строения интерференционного пакета.

5. Поле ЭКО лишено эффектов «маскировки» разрывных нарушений, присущих волновой записи. Независимо от соотношений вертикального и горизонтального масштабов однозначные позиции единичных импульсов ЭКО позволяют качественно проследить разломы в пластовой модели.

6. Использование перед каждой итерацией вычитания функции $P(t)$ позволило уточнить позиции ЭКО и минимизировать количество ложных коэффициентов. Тем не менее остается актуальной задача поиска более точного положения и амплитуды вейвлетов в пакетах.

Все основные выводы о целесообразности применения метода на практике, его эффективности и ограничениях будут изложены во второй части статьи, на основе обобщенных данных моделирования и тестирования. Будут также представлены результаты тестирования метода на практических данных по Восточной Сибири (разрезы и ГИС) с целью выявления особенностей сжатия традиционных временных разрезов.

Автор выражает благодарность научному руководителю д.г.-м.н. А. С. Сальникову, а также к. т. н. О. М. Сагайдачной за поддержку настоящей работы и ряд важных замечаний.

Работа выполнена при поддержке индивидуального гранта по программе «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (УМНИК)», проект № 0002602 «Разработка программного обеспечения обработки данных сейсморазведки методом динамического сжатия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гогоненков, Г. Н. Изучение детального строения осадочных толщ сейсморазведкой [Текст] / Г. Н. Гогоненков. – М. : Недра, 1987. – 225 с.

2. Методические рекомендации по обработке сейсмических записей для изучения акустических

неоднородностей тонкослоистых сред с целью прогнозирования неантиклинальных ловушек нефти и газа [Текст] / Сост. Д. И. Рудницкая, Г. А. Берилко [и др.]. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 1983. – 59 с.

3. Решения обратной динамической задачи восстановления свойств тонкослоистых пластов: матер. Междунар. конф. [Текст] / Г. Н. Гогоненков, С. А. Кириллов, В. А. Ларичев, Г. А. Максимов. – СПб., 2006. – С. 10–13.

4. Станкевич, Л. С. Разделение интерференционного волнового пакета методом динамического сжатия [Электронный ресурс] // New Geotechnology for the Old Oil Provinces, EAGE (Tyumen, 2013). – Точка доступа: <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=67205>

5. Троян, В. Н. Статистические методы обработки сейсмической информации при исследовании слоистых сред [Текст] / В. Н. Троян. – М. : Недра, 1982. – 184 с.

REFERENCES

1. Gogonenkov G. N. *Izuchenie detal'nogo stroeniya osadochnykh tolshch seysmorazvedkoy* [Studying of detailed structures of sedimentary units by seismic exploration]. Moscow, Nedra Publ., 1987. 222 p. (In Russ.).

2. Rudnitskaya D. I., Berilko G. A., et al. *Metodicheskie rekomendatsii po obrabotke seysmicheskikh zapisey dlya izucheniya akusticheskikh neodnorodnostey tonkosloistykh sred s tsel'yu prognozirovaniya neantiklinal'nykh lovushek nefi i gaza* [Methodical recommendations on processing of seismic recordings for studying acoustic heterogeneities of thin-layered media aimed at forecasting nonanticlinal traps of oil and gas]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1983. 59 p. (In Russ.).

3. Gogonenkov G. N., Kirillov S. A., Larichev V. A., Maksimov G. A. *Resheniya obratnoy dinamicheskoy zadachi vosstanovleniya svoystv tonkosloistykh plastov* [Solutions of the inverse dynamic problem of restoration of properties of thin-layered formations] (Russia Geosciences – To Discover and Develop, 16–19 October, 2006, Lenexpo). Saint Petersburg, 2006, pp. 10–13. (In Russ.).

4. Stankevich L. S. *Razdelenie interferentsionnogo volnovogo paketa metodom dinamicheskogo szhatiya* [Separation of interferential wavetrain by dynamic compression method]. (Tyumen 2013 – New Geotechnology for the Old Oil Provinces, EAGE). Tyumen, 2013. Available at: <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=67205>. (In Russ.).

5. Troyan V. N. *Statisticheskie metody obrabotki seysmicheskoy informatsii pri issledovanii sloistykh sred* [Statistical methods of processing of seismic information in studying layered media]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 184 p. (In Russ.).

© Л. С. Станкевич, 2015

СТАНКЕВИЧ Леонид Сергеевич, Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, инженер. E-mail: stankevich@uniscan.biz

STANKEVICH Leonid, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: stankevich@uniscan.biz