



ОБРАБОТКА СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО СЖАТИЯ. Ч. 2

Л. С. Станкевич

Неоднозначность при интерпретации сейсмических разрезов вызвана большей частью 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 литофизической модели среды. В первой части статьи описывались алгоритмы обработки и результаты моделирования, во второй рассматриваются результаты тестирования метода на реальных геологических объектах с использованием данных бурения.

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

SEISMIC SECTION PROCESSING BY DYNAMIC COMPRESSION METHOD. Pt 2

L. S. Stankevich

Ambiguity at interpretation of seismic sections is mostly caused by reflection interference and record-frequency characteristics. These factors limit temporal resolution of a section and, therefore, detail of structural imaging of complex geological features. An increase in temporal resolution by means of a frequency filtration is not often the optimum decision. The dynamic compression – the method of seismic section processing realizing a record inverse filtering in the time domain is considered. As a result of such inverse filtering, a wave section is transformed to the field of delta functions which reflects the structure of seismic boundaries and can form a basis for development of a litho-physical model of the environment. The first part of the paper described processing algorithms and model results. This part considers results of the method testing on real geological features using drilling data.

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

Алгоритмы динамического сжатия и результаты моделирования были описаны в предыдущей части статьи. Здесь будут рассмотрены примеры результатов обработки на реальных геологических объектах.

Одним из способов повышения временной разрешенности сейсмических разрезов является деконволюция сжатия во временной области, при этом волновая запись преобразуется 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 Л. С. Станкевича [4, 5], Г. Н. Гогоненкова [1, 3], Д. И. Рудницкой [2], В. Н. Трояна [6] и др.

Метод динамического сжатия реализует такой способ преобразования с целью повышения временной разрешенности записи с сохранением амплитудной разрешенности. Отличительная особенность метода – применение многосерийных итерационных алгоритмов для построения более точного импульсного разреза. Также метод включает в себя 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 $n(t)$:

$$S(t) = w(t)f(t) + n(t),$$

где функция $w(t)$ представлена суммой дельта-импульсов на n границах $w(t) = \sum_{i=1}^n A_i \delta(t - t_i)$; A_i – амплитуда коэффициента отражения на i -й границе слоев.

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 согласуется с фактическим. Для ЭСМ принимается пять допущений, описанных в первой части статьи, которые позволяют в некотором приближении решать обратную кинематическую задачу сейсморазведки и получать распределение коэффициентов отражения. Само преобразование

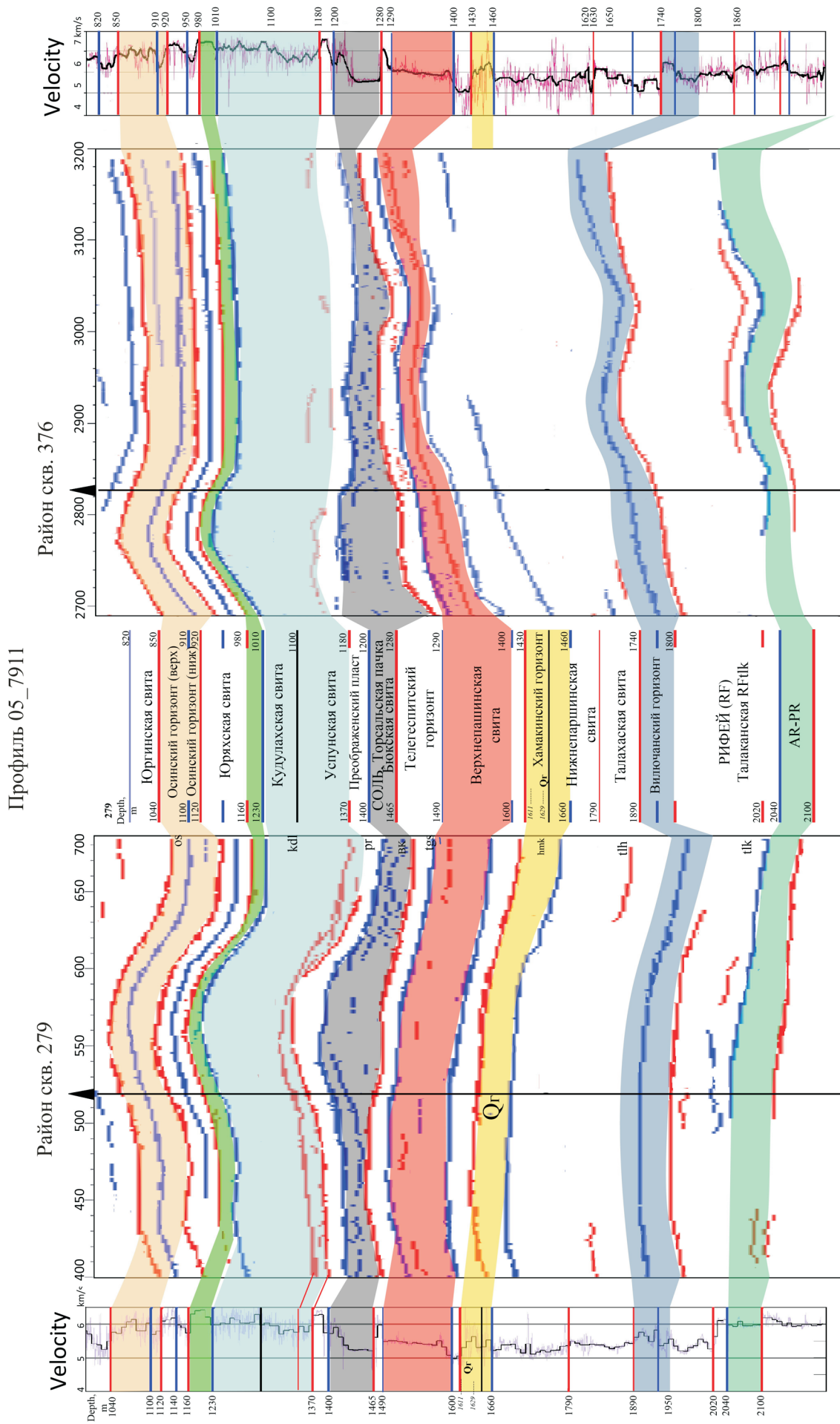


Рис. 1. Сравнение фрагментов временного разреза по профилю 05_7911 в районе скв. 279 до и после сжатия

выступает как естественное продолжение 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 с использованием данных, заложенных только в сейсмическом разрезе (иногда такое преобразование называют самофильтрацией [1]). Поле ЭКО лишено эффектов интерференции, и получаемые границы слоев имеют однозначное положение.

Тестирование

Рассмотрим результаты на примере Чайкинской площади. На рис. 1 показаны фрагменты разреза 05_7911 в сопоставлении с данными акустического каротажа (скважины Чайкинская 279 (продуктивная) и 367 («сухая»)) и разбивок по комплексу ГИС.

В левой части рис. 1 приведена кривая пластовых скоростей полученный по ГИС скв. 279 и фрагмент обработанного разреза ЭКО в ее районе. На кривой пластовых скоростей нанесены стратиграфические границы, красным и синим цветами показана полярность перепада акустической жесткости. Хорошо видно, что эти границы соответствуют границам ЭКО и в продолжении по профилю переходят на стратиграфические разбивки скв. 376. На разрезе ЭКО можно проследить изменение мощности слоев по латерали, например торсальских солей (выделено серым). Последовательное падение пластовой скорости от кровли к подошве также отражается в чередовании отрицательных ЭКО. Следует отметить связь между поведением продуктивного на газ Хамакинского горизонта (Q_r выделен желтым) и результатами испытаний в продуктивном интервале. В районе «сухой» скв. 376 горизонт в поле ЭКО проявляется слабо.

Отдельно рассмотрим район продуктивной скв. 279 в интервале торсальских солей (рис. 2). На

временном разрезе (слева) пачка интерференционного волнового пакета характеризуется только четырьмя регулярными фазами:

- 1) положительная широкая фаза кровли преобразованного пласта;
- 2) отрицательная, местами двойная фаза, образованная увеличением мощности солей в ядре структуры торсальских солей;
- 3) положительная яркая фаза подошвы солей;
- 4) отрицательная, параллельная третьей фазе отраженной волны, связанная с подошвой телегеспитского горизонта.

В то же время на разрезе ЭКО волновой пакет после сжатия характеризуется шестью границами, которые хорошо коррелирует с пластовой моделью по АК скв. 279.

Пример использования динамического сжатия для корреляции отражающих границ и разрывных нарушений рассмотрен на другом фрагменте разреза 05_7911 (рис. 3, а). При традиционной корреляции фаз волнового разреза получается гладкая модель поведения горизонтов – синклиналь с «плавающей» мощностью пластов, яркими и тусклыми пятнами отраженных волн (отмечено стрелками). При интерпретации разреза ЭКО можно проводить корреляцию границ не только по признакам амплитуды и регулярности отражателей, но и по композиции (сигнатуре) групп ЭКО. На рис. 3, б выделены юрская свита (желтый цвет) и торсальская пачка, включая телегеспитский горизонт (синий), которые на разрезе ЭКО образуют две хорошо различимые на фоне остальных отражений сигнатуры U_r и T_r . Их анализ позволяет определить более сложное поведение границ и систему разрывных нарушений. Также по форме изменения сигнатур можно с хорошей точностью анализировать внутреннюю структуру пачек и изменения мощности по латерали, что крайне полезно при изучении неантиклинальных ловушек углеводородов.

Рассмотрим разрез 10789003 в районе Нижнемадашенской скв. 138. На рис. 4 представлены

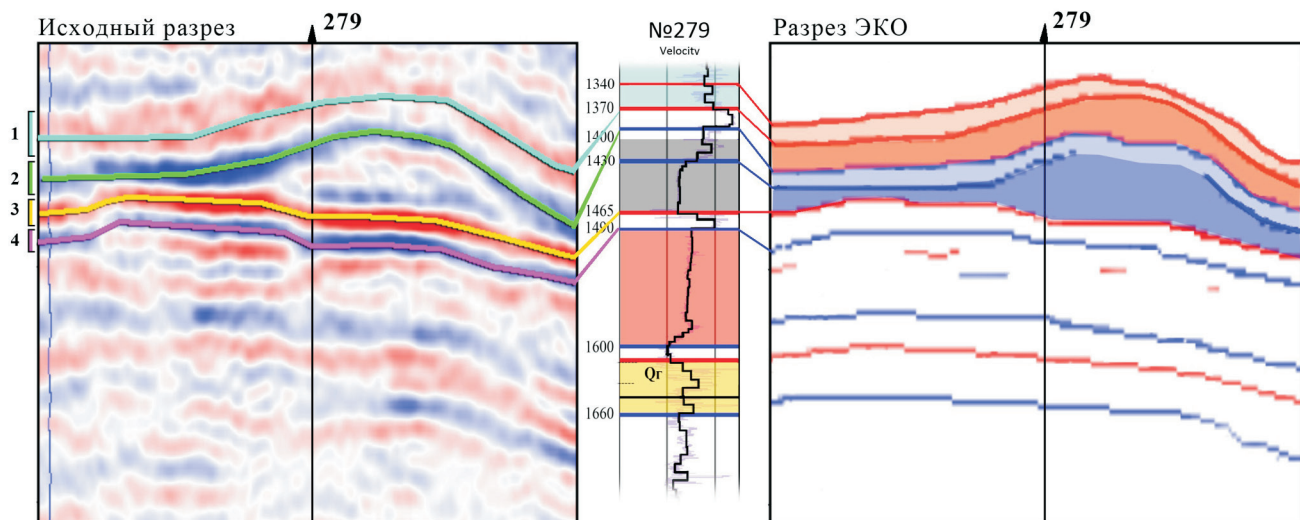


Рис. 2. Корреляция горизонтов по волновому разрезу и на основе поля ЭКО

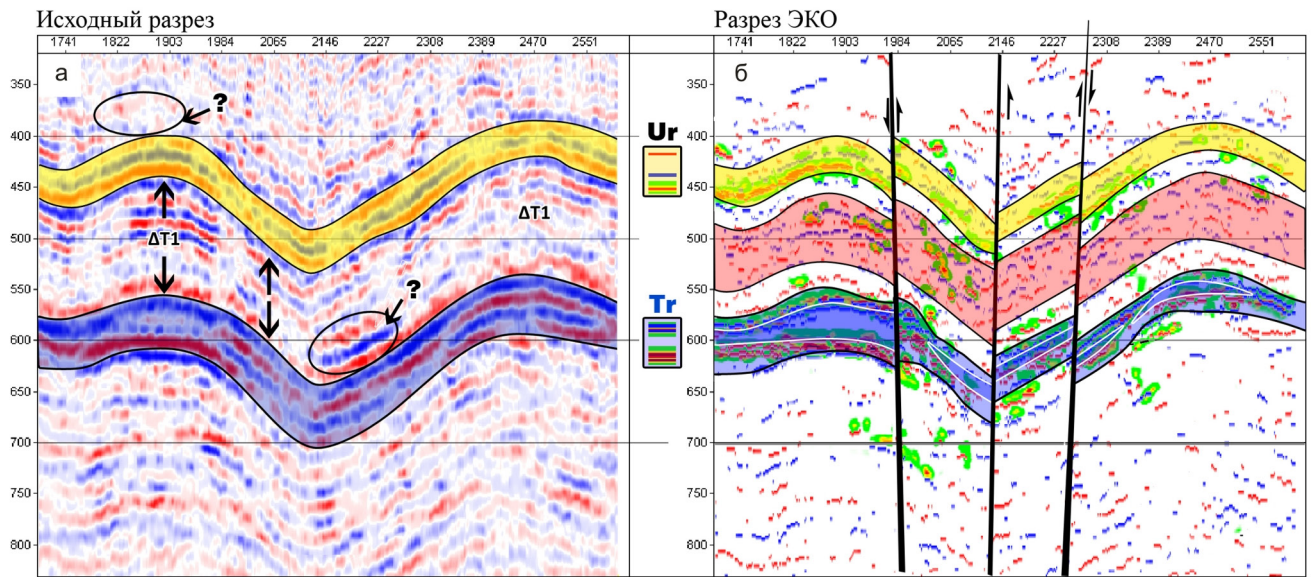


Рис. 3. Корреляция горизонтов и разрывных нарушений по волновому разрезу (а) и разрезу ЭКО (б) (пояснения см. в тексте)

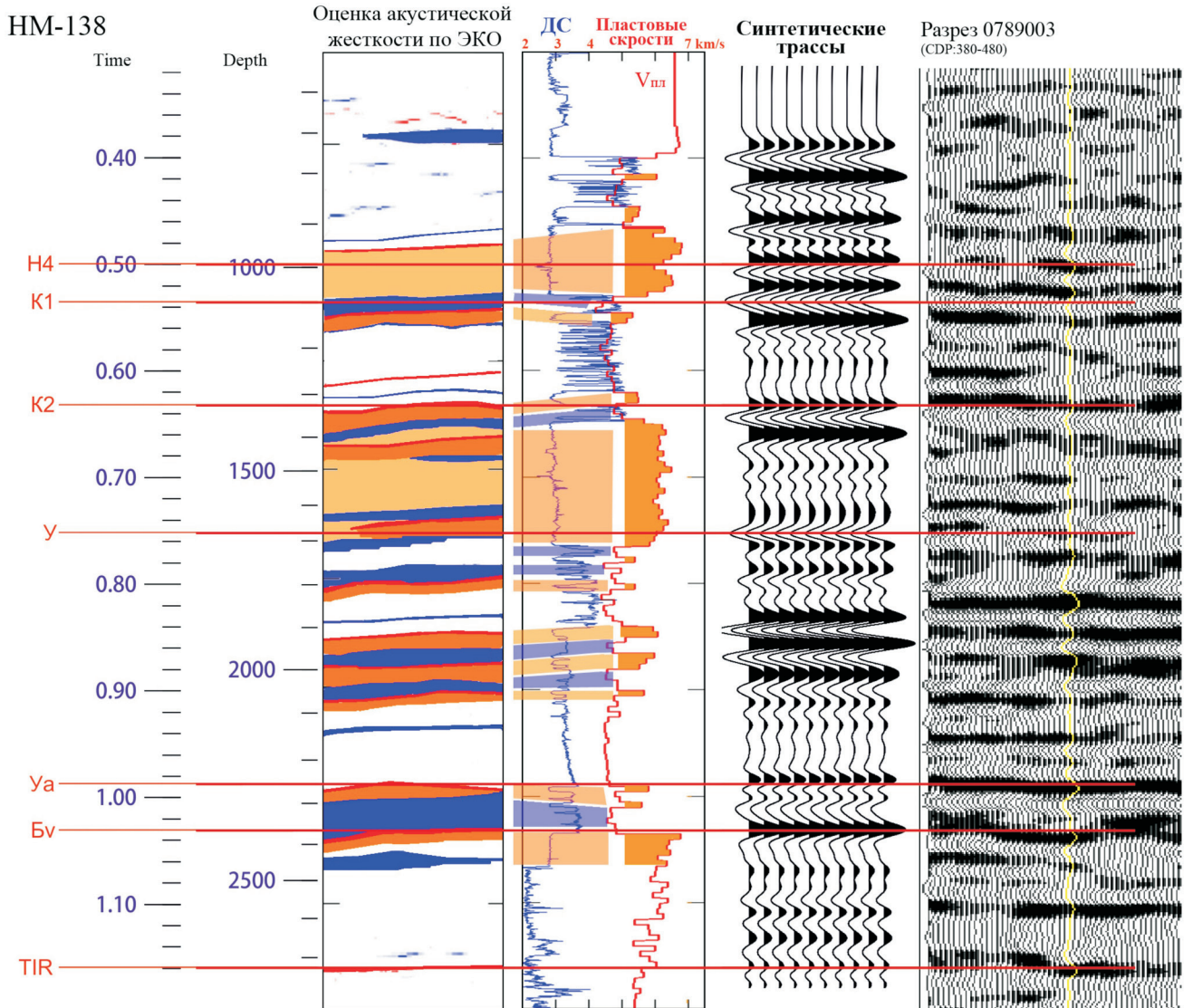


Рис. 4. Нижнемадашенская скв. 138: пластовая модель ЭКО, синтетические трассы и трассы сейсмического разреза в районе скважины

трассы ЭКО (с выделенными пластами акустической жесткости), кривые пластовой скорости

($V_{пл}$) и диаметра скважины, трассы синтетические и трассы временного разреза в районе скважины.



Можно отметить хорошее подобие между пластовой модели по ЭКО и моделью по комплексу ГИС. В частности, на основных сейсмических горизонтах падение скорости аналогично падению на K1 и росту на K2, падению на У и росту на Уа и Бv.

Выводы

Оценить степень повышения временной разрешенности разреза после динамического сжатия по реальным данным достаточно сложно. На примере пачки торсальских солей (Чайкинская площадь) в сигнатуре пачки можно отметить дополнительные внутренние особенности, которые коррелируют с акустической моделью по ГИС (см. рис. 2). Однако существенная разница в разрешающей способности и методике выполнения измерений, накладывая серьезные ограничения точность оценок. Динамическое сжатие на модельных данных дает хорошие результаты [4, 5], но полученные оценки эффективности остаются в рамках теоретической модели. Объективным выходом будет накопление статистики применения метода на большом количестве реальных материалов сейсморазведки и бурения.

В целом по результатам тестов на пяти различных объектах Восточной и Западной Сибири эффективная сейсмическая модель по полю ЭКО хорошо коррелирует со скоростной моделью скважины. (В статье приведены наиболее наглядные примеры.) Разрезы ЭКО самодостаточны для детальных структурных построений и интерпретации без использования волновых разрезов. По сигнатурам ЭКО отдельных горизонтов можно анализировать поведение акустических границ по латерали, изменение мощности слоев и их внутренних, специфических особенностей, выделять разрывные нарушения. Это достаточно, чтобы говорить о пользе преобразования с точки зрения привлечения дополнительной информации при интерпретации данных сейсморазведки МОВ ОСТ.

К объективным недостаткам метода можно отнести сильную зависимость получаемого результата от качества исходного материала. Целесообразно применять динамическое сжатие на разрезах с высоким качеством обработки (с сохранением динамических характеристик) для еще большего повышения их информативности. Также важно, какой будет форма найденного вейвлета при этих условиях 1–5 эффективной сейсмической модели.

Первые результаты, представленные в настоящей статье, по мнению автора, достаточно оптимистичны для дальнейших экспериментов.

Автор выражает благодарность научному руководителю д.г.-м. н. А. С. Сальникову и 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. – 221 с.
2. **Методические** рекомендации по обработке сейсмических записей для изучения акустических неоднородностей тонкослоистых сред с целью прогнозирования неантиклинальных ловушек нефти и газа [Текст] / Авт.-сост. Д. И. Рудницкая, Г. А. Берилко [и др.] ; ред. Д. И. Рудницкая. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 1983. – 60 с.
3. **Решения** обратной динамической задачи восстановления свойств тонкослоистых пластов [Текст] / Г. Н. Гогоненков, С. А. Кириллов, В. А. Ларичев, Г. А. Максимов // *Russia Geosciences : To Discover and Develop*, 16–19 October 2006, Lenexpo. – Санкт-Петербург, 2006. – С. 49.
4. **Станкевич, Л. С.** Обработка сейсмических разрезов методом динамического сжатия. Ч. 1 [Текст] / Л. С. Станкевич // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири*. – 2015. – № 1. – С. 78–85.
5. **Станкевич, Л. С.** Разделение интерференционного волнового пакета методом динамического сжатия [Электронный ресурс] / Л. С. Станкевич // *New Geotechnology for the Old Oil Provinces*, EAGE. – Тюмень, 2013. – Точка доступа: <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=67205>.
6. **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 osadochnyh tolshh sejsmorazvedkoj* [Studying of a detailed structure of sedimentary strata by seismic exploration]. Moscow, Nedra Publ., 1987. 221 p. (In Russ.).
2. Rudnickaja D.I., Berilko G.A., et al. *Metodicheskie rekomendacii po obrabotke sejsmicheskikh zapisej dlja izuchenija akusticheskikh neodnorodnostej tonkosloistyh sred s cel'ju prognozirovaniya neantiklinal'nyh lovushek nefi i gaza* [Methodical recommendations on processing of seismic recordings for studying acoustic heterogeneities of thin-layered media for the purpose of forecasting of noanticlinal traps of oil and gas]. Novosibirsk, SNIIGGiMS, 1983. 60 p. (In Russ.).
3. Gogonenkov G.N., Kirillov S.A., Larichev V.A., Maksimov V.A. [Solutions of the inverse dynamic problem of restoration of properties of thin-layered beds]. *Russia Geosciences – To Discover and Develop*



16-19 October, 2006, Lenexpo. St. Petersburg, 2006, p. 49. (In Russ.).

4. Stankevich L.S. Processing of seismic sections by dynamic compression method. Pt 1. Geology and mineral resources of Siberia, 2015, no. 1, p. 78–85. (In Russ.).

5. Stankevich L.S. [Separation of an interferential wave package by the method of dynamic compression]. *New Geotechnology for the Old Oil Provinces*,

EAGE, Tyumen, 2013. <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=67205>. (In Russ.).

6. Trojan V.N. *Statisticheskie metody obrabotki sejsmicheskoy informacii pri issledovanii sloistyh sred* [Statistical methods of seismic information processing in research of 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, науч. сотр. *E-mail: stankevich@uniscan.biz*

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