

УДК 550.34

В.Д. Петруняк,  
Е.В. УстенкоКиевский национальный университет им. Т. Шевченко, г. Киев,  
Украина, e-mail: petruniak@univ.kiev.ua, ustenko@univ.kiev.ua

## МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОЙ ПРИБОРТОВОЙ ЧАСТИ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ

V.D. Petruniak,  
I.V. UstenkoTaras Schevchenko National University of Kiev, Kiev, Ukraine,  
e-mail: petruniak@univ.kiev.ua, ustenko@univ.kiev.ua

## SEISMIC DATA PROCESSING METHODOLOGY: SOUTHERN CUTOFF PART OF DNIEPER-DONETS BASIN CASE STUDY

**Цель.** Разработка оптимальной методики обработки и создание графа обработки сейсмических данных южной прибортовой части Днепровско-Донецкой впадины, которая позволит более эффективно подавить множество регулярных и нерегулярных волн-помех и выявить кинематические (время прихода) и динамические (амплитуда сигналов) характеристики волн.

**Методика.** В программной среде Geodepth компании Paradigm проведен анализ ключевых процедур обработки и их влияния на качество результирующего материала. Разработанный граф обработки сейсмических данных включает стандартные процедуры введения полевых данных и формирование базы данных проекта. На следующем этапе рекомендуется введение априорных статических поправок, после чего проводится редакция исходных сейсмограмм и уточнение параметров процедуры восстановления амплитуд, оценка основных параметров характеристик сейсмического поля. В дальнейшем формируется априорный временной разрез, анализ характера априорных статических поправок, после чего проводится минимально-фазовая деконволюция первых записей. После корреляции статистических поправок выполняется суммирование по общей глубинной точке, деконволюция по временному разрезу, переменная полосовая фильтрация, выравнивание амплитуд по суммотрассам общей глубинной точки. Конечным этапом является когерентная фильтрация, уточнение скоростей миграции и собственно миграция разреза общей глубинной точки.

**Результаты.** Предлагается методика обработки сейсмических данных, которая позволила улучшить результаты и скорость обработки материалов.

**Научная новизна.** Разработан и усовершенствован граф обработки сейсмической информации, который адаптируется к разным по характеру 2D и 3D сейсмическим материалам (разные системы наблюдений, спектральный состав, мощности источников возбуждения, аппаратные решения и т.п.). Предложена методика оптимизации графа обработки сейсмических данных на основе сейсмогеологических моделей для повышения качества сейсмических материалов.

**Практическая значимость.** Данная методика может быть использована при обработке сейсмических данных на других площадях южной прибортовой зоны Днепровско-Донецкой впадины для большей детализации полученных данных и оптимизации процесса обработки.

**Ключевые слова:** граф обработки, сейсморазведка, общая глубинная точка, деконволюция, миграция

**Актуальность проблемы.** Увеличение минерально-ресурсной базы Украины уже давно стало одной из наиболее ключевых задач геологоразведочного процесса. Увеличение же ресурсов нефти и газа не возможно без досконального изучения как уже открытых месторождений, так и перспективных площадей. Основную роль в этом процессе уже давно играет сейсморазведка. Несмотря на большую популярность данного метода и разнообразие информации о геологическом разрезе, которую можно получить, точность данного метода в значительной степени зависит от качества обработки результатов полевых исследований. Перечень процедур, доступных геофизику-обработчику, огромен, а выполнение большинства данных операций требует солидных

вычислительных мощностей и большой затраты времени. Поэтому, ключевым является разработка такой методики проведения обработки сейсмических данных (графа обработки), которая позволит наиболее эффективно использовать компьютерные ресурсы и добиться приемлемого качества результатов.

**Анализ геологических данных.** Площадь исследований расположена в Кобеляцком и Новосанжарском районах Полтавской области Украины.

Работы по изучению геологического строения данной площади начались в середине XX ст. и продолжают в настоящее время. За этот период был проведен значительный комплекс геолого-геофизических исследований: гравиметрических, магнитометрических, электроразведочных, геохимических, тематических, сейсморазведочных; структурно-поисковое, поисково-разведочное и параметрическое бурение.

Геологический разрез площади исследований представлен толщей осадочных пород палеозойского, мезозойского и кайнозойского возрастов, залегающей на породах докембрийского кристаллического фундамента.

**Нефтегазоносность.** Площадь работ относится к Руденковско-Пролетарскому нефтегазоносному району. Перспективы нефтегазоносности Ливенской площади необходимо связывать с тем, что она расположена между такими месторождениями как Зачепиловское – на северо-западе, Михайловское – на юго-востоке, Руденковское – на севере, Новониколаевское и Гнатовское – на северо-востоке. На Руденковском, Гнатовском и Новониколаевском поднятиях промышленные притоки нефти и газа получены из визейских и турнейских отложений. Залежи пластовые, литологические, тектонически и стратиграфически ограниченные. Коллекторами служат песчаники визейского, а также трещиноватые известняки и пачки песчаников турнейского ярусов. На Михайловском газовом месторождении первый промышленный приток газа дебитом 1698 тыс. м<sup>3</sup>/сутки получен в 1953 г. из верхневизейского горизонта В-15. В этом же году месторождение было включено в Государственный баланс. Поисково-разведочными работами выявлены и оценены газовые залежи визейских горизонтов В-15, В-16, В-17 и В-21. Скопление углеводородов связано с пластовыми сводчатыми тектонически-экранированными ловушками. Коллекторами являются песчаники пористостью 7–28%. Скопление газа образовало месторождение с этажом газоносности около 290 м. В рамках Зачепиловского нефтегазоносного района (НГР) залежи обнаружены в серпуховских, визейских и турнейских отложениях. Коллекторами служат алевролиты и песчаники, которые формируют пластово-сводовые, тектонически и литологически ограниченные залежи. Результаты бурения на Зачепиловском, Михайловском, Новониколаевском и Руденковском месторождениях указывают на перспективность серпуховских, визейских и турнейских отложений в пределах площади работ. На площади исследований залежи углеводородов могут быть связаны как с антиклинальными структурными формами, с блоками, экранированными разрывными нарушениями, так и с литологическими и стратиграфическими ограниченными ловушками.

**Методика исследования.** Обобщенный граф обработки, который применялся при исследованиях, состоял из следующих процедур:

1. Введение полевых сейсмограмм.
2. Введение параметрической информации. Формирование базы данных профиля и контроль правильности присвоения геометрии наблюдений.
3. Запись в заголовки трасс параметрических данных.
4. Введение априорных статических поправок, контроль на наличие грубых ошибок в статических поправках.
5. Редакция входных сейсмограмм и уточнение параметров процедуры восстановления амплитуд.
6. Оценка основных характеристик сейсмического волнового поля.

7. Формирование априорного временного разреза общей глубинной точки (ОГТ).

8. Анализ характера априорных статических поправок и, при необходимости, выполнение их коррекции по суммам общей точки взрыва (ОТВ) и общей точки приема (ОТП).

9. Минимально-фазовая с предвидением деконволюция первичных записей.

10. Анализ и уточнение скоростей суммирования по ОГТ (2–3 цикла).

11. Коррекция статических поправок (2–3 цикла).

12. Суммирование по ОГТ.

13. Деконволюция по временному разрезу ОГТ.

14. Переменная полосная фильтрация.

15. Выравнивание амплитуд по суммотрассам ОГТ.

16. Когерентная фильтрация.

17. Уточнение скоростей миграции.

18. Миграция временного разреза ОГТ.

Обработка материалов 3D метода общей глубинной точки (МОГТ) на Ливенской площади выполнялась с использованием программного обеспечения GeoDepth компании Paradigm Geophysical.

Математические основы обработки сейсмических данных широко описаны в литературе [3–6, 8] и отдельно останавливаться на них не будем.

Объем полевых сейсмических исследований 3D, использующийся для обработки, составляет 4665 физических наблюдений длиной записи 5 с, с дискретизацией 2 мс, расстоянием между пунктами возбуждения 50 м и расстоянием между линиями возбуждения 300 м, шагом между пунктами наблюдения 100 м и линиями наблюдения 250 м. Фрагмент записанной полевой сейсмограммы показан на рис. 1. Были использованы полевые сейсмограммы (корелограммы), записанные на DVD-дисках в формате SEG-D, входящие данные сформированы во внутреннем формате системы обработки Focus (DSK-файлы), SPS-файлы, обобщенные выходные SPS-файлы с альтитудами пунктов возбуждения и приема съемки 3D, рапорты оператора в электронном виде и априорные статические поправки. Априорные статические поправки были рассчитаны на основе данных взрывных сейсмических исследований МОГТ предыдущих лет. Уровень приведения статических поправок – 100 м.

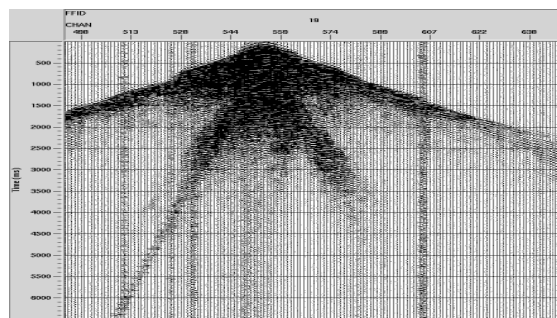


Рис. 1. Фрагмент полевой сейсмограммы

**Анализ основных процедур.** В начале обработки был выполнен анализ основных сейсмических харак-

теристик волнового поля входных данных, определен частотный диапазон полезных составляющих, произведена оценка уровня и влияния волн-помех. По результатам выполненных работ определена последовательность процедур обработки и выбраны параметры их применения. Обработка выполнялась в широком частотном диапазоне с сохранением кинематических и динамических особенностей сейсмической записи.

Расчет априорных статических поправок проводился на основе данных изучения зоны малых скоростей методом первых вступлений (МПВ) по системе зондирований на профилях МОГТ. Дополнительно, учитывая сложное геологическое строение площади, были проведены специальные работы по уточнению априорных статических поправок на основе данных о статических поправках взрывчатых профилей прошлых лет наблюдений с последующей увязкой значений поправок по всей площади работ [2].

По обобщенному графу обработки были выполнены работы по изучению частотного спектра входных сейсмограмм, определению частотного диапазона полезных составляющих волнового поля, ослаблению нерегулярных и регулярных волн-помех, повышению разрешающей способности записи, уточнению значений остаточных статических поправок и скоростей суммирования по ОГТ, уменьшению влияния кратных волн, повышению динамической выразительности полезных отражений и увеличению глубины их прослеживания, определению скоростей и параметров процедур миграционных преобразований.

Редакция сейсмограмм и восстановление амплитуд выполнялись по всем профилям. Это предполагало частичное или полное обнуление бракованных трасс, изменение полярности, использование, в некоторых случаях, процедуры редакции аномально больших значений отсчетов трасс в автоматическом режиме (Spike / Noise Burst Edit) и ослабление звуковых волн (Air Blast Attenuation).

Что касается восстановления амплитуд, то после тестирования параметров были применены процедуры Offset Amplitude Recovery (восстановление действительных значений амплитуд с учетом изменений расстояния от пункта взрыва (ПВ) до пункта приема (ПП)). После визуальной оценки результатов тестирования был выбран вариант с коррекцией 4 децибел на секунду.

Контроль на наличие грубых ошибок в статических поправках выполнялся в несколько циклов путем анализа коротких рядов, которые формировались из трасс оптимально удаленных, с точки зрения наименьшего влияния кинематического фактора и достаточной динамической выразительности отражений для эффективного анализа.

На рис. 2 показано сравнение временного разреза с априорными кинематическими поправками и после полного цикла обработки. Как видно, в результате предложенного графа удалось достичь значительного увеличения фокусировки отражающих границ.

Деконволюция сейсмограмм осуществлялась процедурой Spiking / Predictive Deconvolution в ре-

жиме минимально-фазового с предвидением расчета оператора фильтра, после редакции, коррекции амплитудного уровня и полосовой фильтрации частотных компонент с высоким уровнем шума.

Параметры деконволюции выбирались в процессе проведения большого объема тестирований. Анализу подлежали как входные сейсмограммы, так и результат суммирования по ОГТ. Наибольшее внимание уделялось интервалу окна расчета оператора обратного фильтра и изменению его конфигурации вдоль профиля. Окна расчета оператора, по возможности, включали интервалы, в которые попадают целевые отражения. Был выбран вариант с использованием двух окон с длиной оператора по 140–160 мс, уровнем белого шума 1–10, интервалом предсказания 24–36 мс. При таких параметрах снижается уровень помех, выравнивается частотный спектр и улучшается отношение сигнал / помеха.

Коррекция статических поправок, как правило, завершалась за три цикла, каждый из которых выполнялся поочередно после коррекции кинематических поправок. Для расчета остаточных статических поправок использовалась программа Maximum Power Autostatics, что также позволило увеличить фокусировку отражающих границ (рис. 3). В общем виде, схема работы с программой выглядела так. На временном разрезе ОГТ задавались положения горизонтов, которые формировали модельные трассы, базу формирования модельных трасс и размеры соответствующих временных окон. После этого процедура рассчитывала значения поправок и коэффициенты качества по ПВ и ПП в пределах заданных максимально допустимых смещений. Величины этих смещений и коэффициенты качества заносились в базу данных профиля и в дальнейшем использовались для контроля качества и изучения характера остаточных статических поправок. Методические подходы, в зависимости от цикла обработки сейсмических данных, были разные. Сначала задавалось максимально широкое временное окно, в которое входили динамично выраженные отражения, при небольшой базе формирования эталонных трасс (5–7 трасс) и максимально допустимых временных сдвигах, не превышали полуфазы сигнальных составляющих (8–16 мс). В дальнейшем, при следующем цикле коррекции, лучшие результаты давали такой подход, при котором задавались относительно узкие временные окна (200–500 мс) так, чтобы на одной и той же части временного разреза описывалось несколько горизонтов, разнесенных по временной шкале. Базы формирования эталонных трасс и величины максимально допустимых смещений задавались в зависимости от характера отражений.

Деконволюция по разрезу ОГТ выполнялась в режиме минимально-фазовой деконволюции с предвидением (Spiking / Predictive Deconvolution) при переменных параметрах расчета оператора обратного фильтра для различных временных окон. Чаще использовались два окна. Длина оператора обратного фильтра составляла 160–180 мс, интервал предсказания – 24–36, уровень белого шума – 10–50.

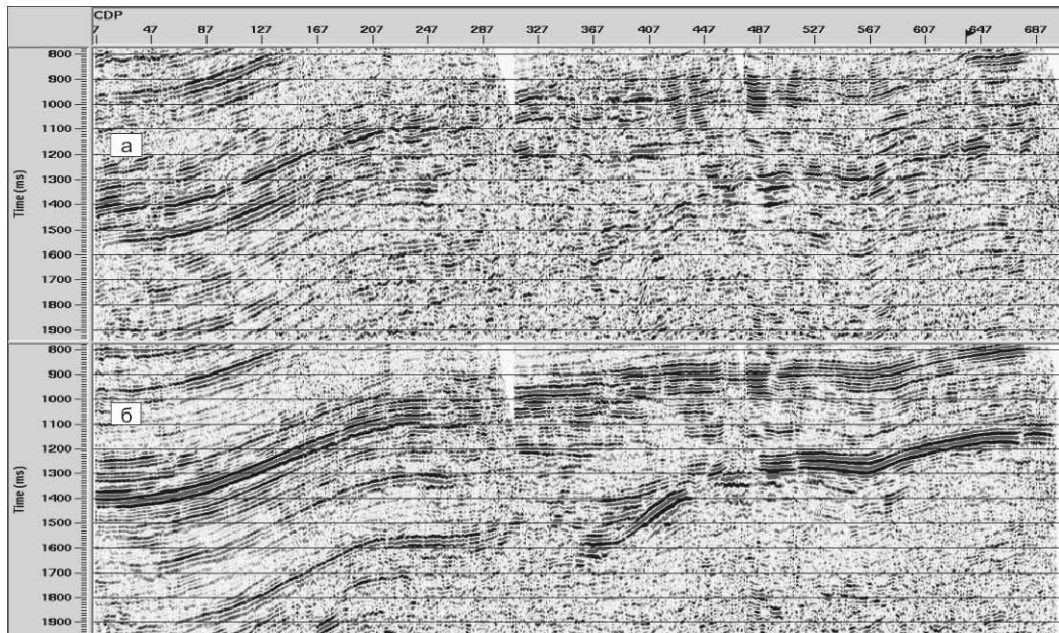


Рис. 2. Временной разрез ОГТ: а) с априорными кинематическими поправками; б) после полного цикла обработки

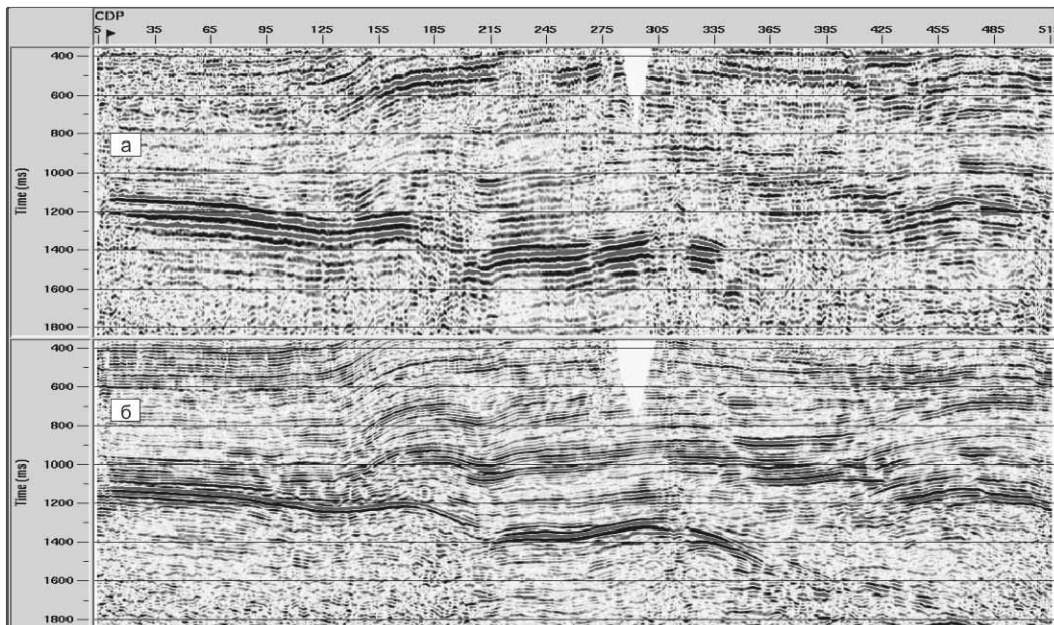


Рис. 3. Временной разрез ОГТ: а) с априорными кинематическими и статистическими поправками; б) после полного цикла обработки

Когерентная фильтрация выполнялась процедурой FX Descon. Процедура трансформирует данные из временной области (Т-Х область) в спектральную область (F-X область), где и происходит фильтрация адаптивным фильтром вдоль частотных срезов. Разница между модельным и зарегистрированным спектрами является критерием оценки шумовой составляющей.

Миграция временного разреза завершала обработку [1, 2]. Перед проведением миграции проводилась переменная во времени полосная фильтрация процедурой Bandpass Filter и выравнивание ампли-

туд суммотрасс процедурой автоматического регулирования усиления (AGC). Для уточнения скоростей миграции и тестирования параметров применялась процедура миграции в FK области (Memory Stolt FK Migration). Но точность сейсмического сноса в этой процедуре уменьшается при увеличении углов наклона отражений. Поэтому, в конечном варианте, была применена конечно-разностная миграция, хотя она и требует больше времени на расчеты и точнее работает при значительных углах наклона отражений. Скорости переноса предварительно ре-

дактировались и уточнялись с учетом скоростных данных полученных в результате.

Такой подход позволил получить объемные сейсмические данные с гораздо большей детализацией

отражающих границ и меньшим соотношением полезного сигнала и помех (рис. 4). А в итоге и более корректную информацию для последующей геологической интерпретации сейсмических данных.

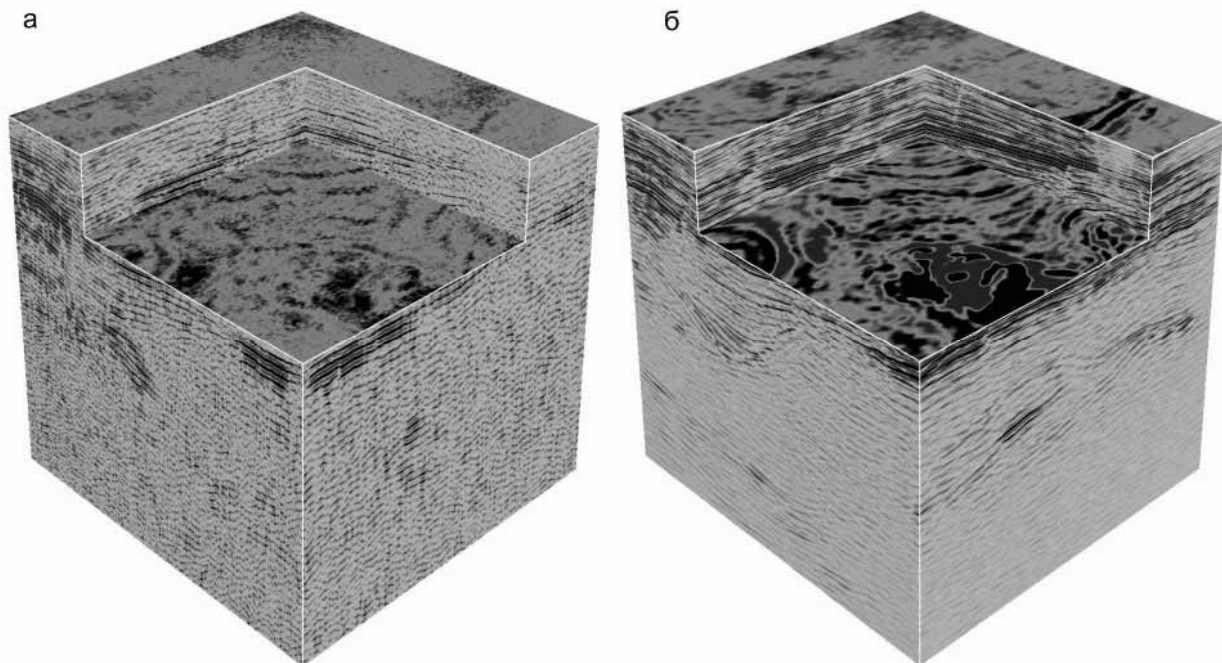


Рис. 4. Объемное сейсмическое изображение площади работ: а) априорный куб 3Д; б) временная миграция до суммирования (Kirchhoff PSTM)

**Выводы.** В результате проведенных исследований был разработан граф обработки сейсмических данных, который позволяет добиться наиболее эффективных результатов обработки в оптимальные сроки.

Весь процесс обработки состоял из трех этапов – временная обработка сейсмограмм, временная миграция до суммирования и обработка по кубу сейсмических данных.

В результате обработки сейсмических данных по площади работ по использованному графу был получен куб данных с высокой частой и латеральной разрешающей способностью волнового поля, высоким соотношением сигнал-помеха.

#### Список літератури / References

1. Jones, I.F., (2008), *Prestack Depth Migration and Velocity Model Building*, Society of exploration geophysicists. 853 p.
2. Cox, M., (1999), *Static Corrections for Seismic Reflection Surveys*, Society of Exploration Geophysicists. 534 p.
3. Yilmaz, Öz (2001), *Seismic Data Analysis*, Society of Exploration Geophysicists. 837 p.
4. Sheriff, R.E., Geldart, L.P., (1995), 2nd Edition, *Exploration Seismology*, Cambridge University Press.
5. Biondi, B., (2006), *3D Seismic Imaging*, Society of Exploration Geophysicists. 204 p.
6. Лісний Г.Д. Використання моделі анізотропного середовища для аналізу сейсмічних зображень геологічних об'єктів / Лісний Г.Д. – К.: Київський університет, 2002. – 136 с.

логічних об'єктів / Лісний Г.Д. – К.: Київський університет, 2002. – 136 с.

Lisnyi, G.D. (2002), *Vykorystannia modeli anizotropnoho seredovyshcha dlia analizu seismichnykh zobrazhen heolohichnykh ob'ektiv* [Application of the Anisotropic Media Model for Analysis of Seismic Images of Geological Objects], Kiev University. Kiev, Ukraine.

7. Bancroft J. (2007), *A Practical Understanding of Pre- and Poststack Migration*, University of Calgary. 362 p.

8. Воскресенский Ю.Н. Построение сейсмических изображений / Воскресенский Ю.Н. – М.: РГУ нефти и газа, 2006. – 116 с.

Voskresensky, Yu.N. (2006), *Postroyrniye seismicheskikh izobrazheniy* [Seismic Imaging], Moscow, Russia.

**Мета.** Розробка оптимальної методики обробки та створення графу обробки сейсмічних даних південної прибортової частини Дніпровсько-Донецької западини, що дозволяє більш ефективно подавити більшість регулярних і нерегулярних хвиль-завад та виявити кінематичні (час приходу) та динамічні (амплітуда сигналів) характеристики хвиль.

**Методика.** У середовищі програми Geodepth компанії Paradigm був виконаний аналіз ключових процедур обробки та їх впливу на якість результуючого матеріалу. Розроблений граф обробки сейсмічних даних включає стандартні процедури вве-

дення польових даних та формування бази даних проекту. Наступним кроком рекомендується введення апріорних статичних поправок, після чого проводиться редакція вхідних сейсмограм та уточнення параметрів процедури встановлення амплітуд, оцінка основних параметрів характеристик сейсмічного поля. У подальшому формується апріорний часовий розріз, аналіз характеру апріорних статичних поправок, після чого виконується мінімально-фазова деконволюція первинних записів. Після кореляції статистичних поправок виконується підсумовування по спільній глибинній точці, деконволюція по часовому розрізу, змінна смугова фільтрація, вирівнювання амплітуд по сумотрасам спільної глибинної точки. Кінцевими етапами є когерентна фільтрація, уточнення швидкостей міграції та власне часова міграція розрізу спільної глибинної точки.

**Результати.** Пропонується методика обробки сейсмічних даних, що дозволила покращити результати та швидкість обробки матеріалів.

**Наукова новизна.** Розроблений та вдосконалений граф обробки сейсмічної інформації, що адаптований до різного характеру 2D та 3D сейсмічних матеріалів (різні системи спостереження, спектральний склад, потужність джерела збудження, апаратні рішення та інше). Запропонована методика оптимізації графу обробки сейсмічних даних на основі сейсмогеологічних моделей для підвищення якості сейсмічних матеріалів.

**Практична значимість.** Дана методика може бути використана при обробці сейсмічних даних на інших площах південної прибортової зони Дніпровсько-Донецької западини для більшої деталізації отриманих даних та оптимізації процесу обробки.

**Ключові слова:** *граф обробки, сейсмозвідка, спільна глибинна точка, деконволюція, міграція*

**Purpose.** Development of the optimal methodology and of seismic data processing and creation of processing graph for Southern cutoff part of Dnieper-Donets Basin,

that provides more effective way of suppress interference of different regular and irregular noise waves and to determine kinematic (arrival time) and dynamic (amplitude of signals) wave characteristics.

**Methodology.** Using Paradigm Geodepth software package analysis of main processing procedures and their impact on the quality of resulting material was carried out. Developed seismic data processing graph includes standard procedures on field data input and creating project database. At the next stage, it is recommended to apply a priori static corrections, which is followed by editing of initial seismograms and refining of amplitudes recovery procedures, followed by estimation of main characteristics of wave field. Further, an a priori time stack data is formed, analysis of static corrections is carried out. Completing the latter procedures, minimal phase deconvolution of initial data is carried out. After applying static corrections we carry out the common depth point stacking, flexible band filtering, and amplitude equalization of common depth point stacking data. Final step is coherence filtration, adjustment of migration velocities and migration itself.

**Results.** Methodology of seismic data processing is being proposed. The methodology allows to quality and time duration of data processing. Advanced processing graph was developed. It can be adapted to different types of 2D and 3D seismic data (different acquisition geometry, spectral composition, source power, equipment decisions etc.). Methodology for optimization of seismic data processing graph based on seismic geological models is being proposed to enlarge quality of seismic data. Proposed methodology can be used for seismic data processing at other fields of the Southern cutoff part of Dnieper-Donets Basin for higher resolution of acquired data and processing optimization.

**Keywords:** *processing graph, common depth point, seismic exploration, deconvolution, migration*

*Рекомендовано до публікації докт. геол. наук С.А. Вижвою. Дата надходження рукопису 10.07.13.*