

УДК 550.834

DOI: 10.52531/1682-1696-2026-26-1-67-76

Научная статья

EDN: SZWGEF

ПОДГОТОВКА СЕЙСМИЧЕСКИХ 3D-ДАННЫХ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ В СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ, ДЛЯ ВРЕМЕННОЙ И ГЛУБИННОЙ МИГРАЦИИ ДО СУММИРОВАНИЯ

С.А. Кириллов¹,
А.М. Алисолтанов¹,
О.А. Валющев¹,
А.С. Лаврик², А.А. Милехин¹

¹АО «ЦЕНТРАЛЬНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ
ЭКСПЕДИЦИЯ», Москва, РФ

²АО «РОСГЕОЛОГИЯ» (АО «РОСГЕО»),
Москва, РФ

Статья представляет временную обработку сейсмических полевых данных, зарегистрированных нерегулярной системой наблюдения в сложных поверхностных сухопутных и морских сейсмогеологических условиях от различных типов источников возбуждения и видов сейсмоприемников с высоким уровнем техногенных помех в рамках метода средней глубинной точки с большой кратностью перекрытия, с целью подготовки их для временной и глубинной миграции по сейсмограммам.

В статье детально рассмотрены этапы обработки сейсмограмм, позволяющие эффективно подавить индустриальные и техногенные помехи, возникающие при проведении полевых работ в промышленных районах с развитой транспортной инфраструктурой. Это обеспечивает высокую достоверность результатов после миграции, необходимых для корректного построения сейсмогеологической модели залежи углеводородов, последующего прогноза свойств коллектора и комплексной оценки ресурсного потенциала исследуемой территории.

Ключевые слова: пространственная сейсморазведка, средняя глубинная точка, нерегулярная система наблюдений, технологические помехи, цифровая технология обработки, программно-вычислительные средства, граф обработки, регуляризация, кратность накопления, временная и глубинная миграция по сейсмограммам

Original article

PROCESSING 3D SEISMIC DATA RECORDED IN COMPLEX SURFACE SEISMOGEOLOGICAL CONDITIONS BY AN IRREGULAR OBSERVATION SYSTEM

S.A. KIRILLOV¹, A.M. ALISOLTANOV¹,
O.A. VALUSCHEV¹, A.S. LAVRIC²,
A.L. MILEHIN¹

¹JSC "CENTRAL GEOPHYSICAL EXPEDITION",
Moscow, RF

²JSC "ROS GEOLOGIYA" (JSC "ROS GEO"),
Moscow, Russian Federation

The article presents the sequence of processing seismic field data recorded by an irregular observation system in complex surface land and marine seismogeological conditions from various types of excitation sources and types of seismic receivers with a high level of man-made interference in the framework of the method of the middle depth point with a large overlap ratio in order to prepare them for time and depth migration according to seismograms.

The article discusses in detail the stages of processing seismograms that make it possible to effectively suppress industrial and man-made interference arising during field work in industrial areas with a developed transport infrastructure. This ensures high reliability of the results after migration, which are necessary for the correct construction of a seismogeological model of the hydrocarbon deposit, the subsequent forecast of reservoir properties and a comprehensive assessment of the resource potential of the studied territory.

KEY WORDS: spatial seismic survey, mid-depth point, irregular observation system, process interference, digital processing technology, computational software, processing graph, regularization, accumulation multiplicity, time and depth migration by seismograms

© С.А. Кириллов, А.М. Алисолтанов, О.А. Валющев,
А.С. Лаврик, А.А. Милехин
Поступила в редакцию 16.02.2026

Результаты сейсморазведки МОГТ (метод общей глубинной точки) являются безальтернативными при детальной разведке залежей углеводородов в межскважинном пространстве, и позволяющие в комплексе

со скважинными геофизическими данными формировать пространственную геологическую модель залежи, которая является основой для подсчета запасов заключительного этапа геологоразведочных работ [5].

Экономическая эффективность применения сейсморазведки МОГТ-3D при разведке нефтегазоперспективных объектов охватывает весь комплекс сейсморазведочных работ – от методики и техники проведения полевых исследований до этапов цифровой обработки, комплексной интерпретации и построения сейсмогеологической модели. Она напрямую зависит от сроков и затрат на выполнение каждого этапа, включая время выполнения полевых работ в сложных поверхностных сейсмогеологических условиях, которые определяются строением верхней части геологического разреза. Поверхностные условия проведения полевых сейсморазведочных работ оказывают ключевое влияние на выбор параметров возбуждения и приема сейсмических колебаний, на соотношение интенсивности полезных волн и помех, их частотный состав и, как следствие, на качество и интерпретируемость получаемых данных.

Кроме того, процесс проведения полевых наблюдений осложняется рядом мешающих факторов, негативно влияющих на качество и структуру исходных сейсмограмм. К ним относятся:

- нерегулярность сети регистрации сейсмических волн.

Размещение приемников и источников возбуждения сигналов зачастую носит хаотичный характер из-за сложного рельефа местности, а также ограничено техническими или промышленными условиями. Это создает значительные трудности при построении регулярных профилей отображения регистрируемого волнового поля, необходимых для качественной цифровой обработки и корректного построения карт сейсмических горизонтов;

- высокий уровень промышленных и техногенных помех.

Воздействие промышленных объектов, транспорта и городской инфраструктуры существенно искажает полевые сейсмограммы. Регистрация данных происходит на фоне случайных и регулярных волн-помех, при этом соотношение сигнал/помеха остается низким в различных частотных диапазонах, что усложняет выделение полезной геологической информации.

Главной геологической задачей обработки данных сейсморазведки является получение кинематически и динамически согласованной сейсмической информации высокого разрешения, пригодной для построения структурно-тектонической модели и прогноза фильтрационно-емкостных свойств залежи углеводородов в межскважинном пространстве.

Оптимальное решение поставленной задачи достигается за счет интерпретационного сопровождения всех этапов обработки сейсмических данных [3, 6].

С.А. КИРИЛЛОВ, А.М. АЛИСОЛТАНОВ,
О.А. ВАЛЮШЕВ, А.С. ЛАВРИК, А.А. МИЛЕХИН
ПОДГОТОВКА СЕЙСМИЧЕСКИХ 3D-ДАННЫХ,
ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ В СЛОЖНЫХ
ПОВЕРХНОСТНЫХ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ
УСЛОВИЯХ, ДЛЯ ВРЕМЕННОЙ И ГЛУБИННОЙ
МИГРАЦИИ ДО СУММИРОВАНИЯ

Такой подход обеспечивает соответствие результатов интерпретации всей совокупности имеющейся геологической информации, включая данные других геофизических методов, результаты скважинных исследований, а также требованиям принятой принципиальной геологической модели залежи.

Таким образом, для повышения геологической информативности сейсмического разреза в процессе обработки полевых данных решаются следующие ключевые задачи:

- повышение соотношения сигнал/помеха;
- согласование амплитудного и частотного состава сейсмограмм ОПВ (общего пункта возбуждения), полученных от различных источников и приемников;
- увеличение временной и пространственной разрешенности результирующего сейсмического поля.

После эффективного ослабления фона промышленных, поверхностных и нерегулярных волн-помех производится перераспределение скорректированных данных на регулярную сетку наблюдений. Это позволяет перейти к последующему подавлению регулярных волн-помех с применением специализированных алгоритмов, которые обеспечивают оптимальное использование пространственных процедур обработки. В результате достигается согласование динамических характеристик сейсмического сигнала, что создает надежную основу для его последующей геологической интерпретации и прогнозирования коллекторских свойств.

Технологию обработки продемонстрируем на сейсмограммах, полученных при проведении полевых работ с высокой производительностью в сложных поверхностных морских и сухопутных сейсмогеологических условиях в объеме более 30 тыс. км². Часть полевых исследований проходила на территории города при регулярном движении автомобильного транспорта, работе промышленных предприятий, электролиний, и возникающие внешние искажающие факторы влияли на исходные сейсмические данные.

Производители полевых работ считали, что увеличение кратности наблюдений значительно уменьшит влияние внешних мешающих факторов на конечный сейсмический материал в результате цифровой обработки. После присвоения геометрии и бинирования, с размером бина 12,5×12,5 м, была получена карта кратности во всем диапазоне удалений, из которой следует, что около 50% площади характеризуются значениями кратности в диапазоне от 300 до 500 (рис. 1В).

В общей сложности примерно 60% физических наблюдений были получены с использованием воздушных пушек с различным объемом, 38% при использовании вибрационных источников, и оставшиеся 2% приходятся на взрывной тип источника (рис. 1А).

В районе работ также использовались различные типы приемников (10 приборов в группе), а именно

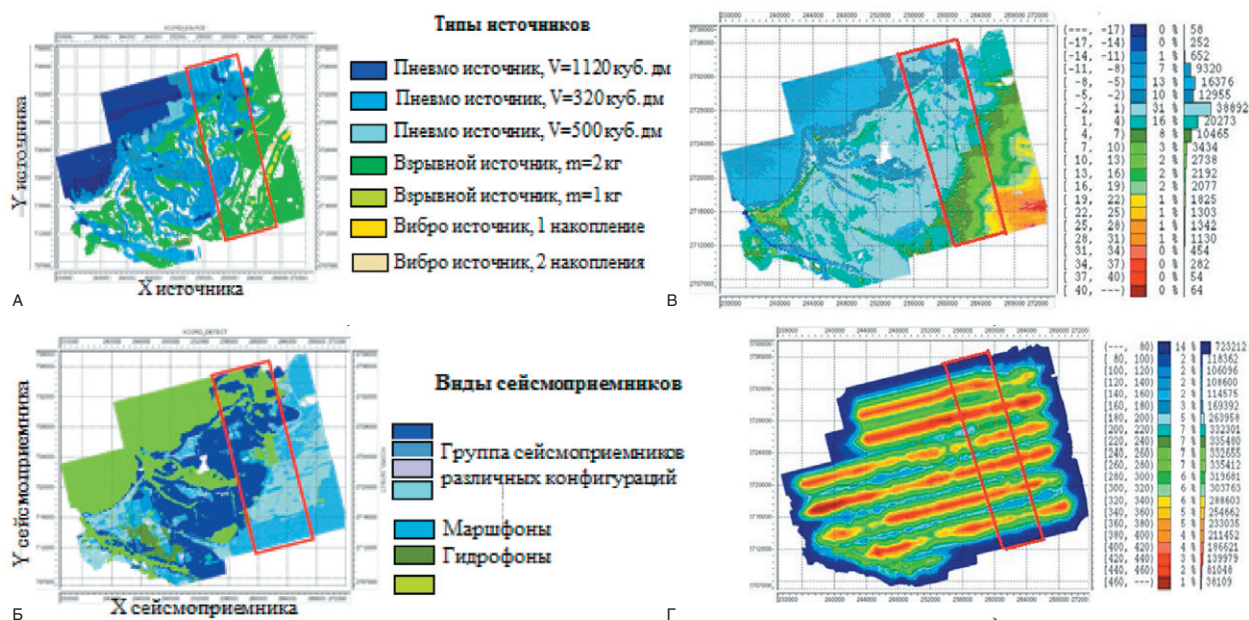


РИС. 1.

Схемы распределения источников возбуждения упругих волн, сейсμοприемников и кратности наблюдений МОГТ на участке исследований. А – схема распределения видов источников возбуждения, Б – схема распределения типов сейсμοприемников, В – схема альтиуд рельефа в точках приемников, Г – схема кратности наблюдений. Красный прямоугольник на рисунках обозначает участок обработки

геофоны (65%), двуканальные приемники (33%), гидрофоны (2%) и маршфоны (рис. 1Б). Характер отстрела, который можно оценить как нерегулярный в плане использования как типов источника, так и приемников, усложнит согласование данных.

Карты рельефа хорошо отображают зональность района работ, в которой присутствует повышение рельефа к юго-восточной части площади, понижение рельефа на северо-западе и выходом в море и транзитная часть, охватывающая 65% всех материалов с околонулевым уровнем рельефа (рис. 1В).

Сейсмограммы от разных типов источников возбуждения показаны на рис. 2.

По полевым данным проведен контроль качества в окнах, которые выбраны с учетом целевых интервалов, исключая попадание в оценку поверхностной волны. Атрибуты для гидрофонов и геофонов были рассчитаны отдельно и включали в себя отношение сигнал/помеха (рис. 3).

Пример исходных полевых сейсмограмм, полученных при максимальной производительности проведения полевых сейсмических работ показан на рис. 4.

По результатам контроля качества поступивших материалов были получены следующие оценки: отношение сигнал/шум имеют низкие значения, для 61% данных меньше 1,5; значения доминантных частот варьируются в диапазоне от 21 до 45 Гц.

Поэтому главными задачами обработки основного объема сейсмограмм ОПВ с небольшим соотношением сигнал/помеха (рис. 4Б, В), полученных с большой

кратностью перекрытий является формирование сейсмических данных на регулярной системе наблюдений для оптимального и эффективного применения процедур ослабления регулярных и нерегулярных волн помех и амплитудно-частотного согласования исходных волновых полей с целью выделения полезной сейсмогеологической информации.

Для этого на предварительном этапе подготовки сейсмических данных решаются следующие задачи:

1. Динамическая увязка данных, полученных различными источниками и приемниками.
2. Расширение частотного диапазона и повышение пространственной стабильности импульса.
3. Регуляризация и интерполяция данных.

1. ДИНАМИЧЕСКАЯ УВЯЗКА ДАННЫХ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ И ПРИЕМНИКОВ

Проект характеризуется наличием разнообразного технического оборудования для возбуждения и приема, которое из-за сильных различий в амплитудно-частотных и фазовых характеристиках отображается на зарегистрированном сейсмическом поле.

Для компенсации их влияния на фазовый и амплитудный спектр сигнала разных характеристик приема и возбуждения (гидрофон-геофон, источник пневматический, вибрационный, взрывной) выполнено приведение данных к минимально-фазовому виду с использованием расчета операторов по полевым сигналам источников. Для пневматических источников также выполнялась процедура подавления вторичной

С.А. КИРИЛЛОВ, А.М. АЛИСОЛТАНОВ,
О.А. ВАЛЮШЕВ, А.С. ЛАВРИК, А.А. МИЛЕХИН
ПОДГОТОВКА СЕЙСМИЧЕСКИХ 3D-ДАННЫХ,
ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ В СЛОЖНЫХ
ПОВЕРХНОСТНЫХ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ
УСЛОВИЯХ, ДЛЯ ВРЕМЕННОЙ И ГЛУБИННОЙ
МИГРАЦИИ ДО СУММИРОВАНИЯ

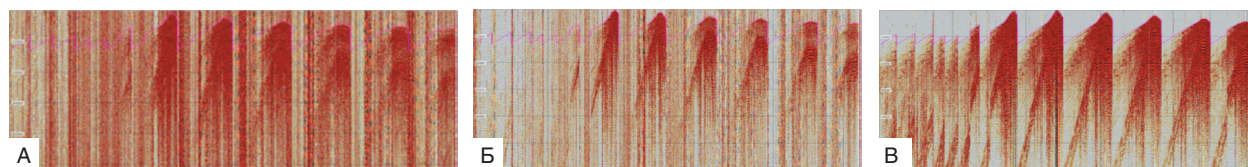


РИС. 2.

Сейсмограммы от различных источников возбуждения. А – вибрационный источник, Б – пневмоисточник 320 дм³, В – взрывной источник из 2-х скважин по 1 кг ВВ.

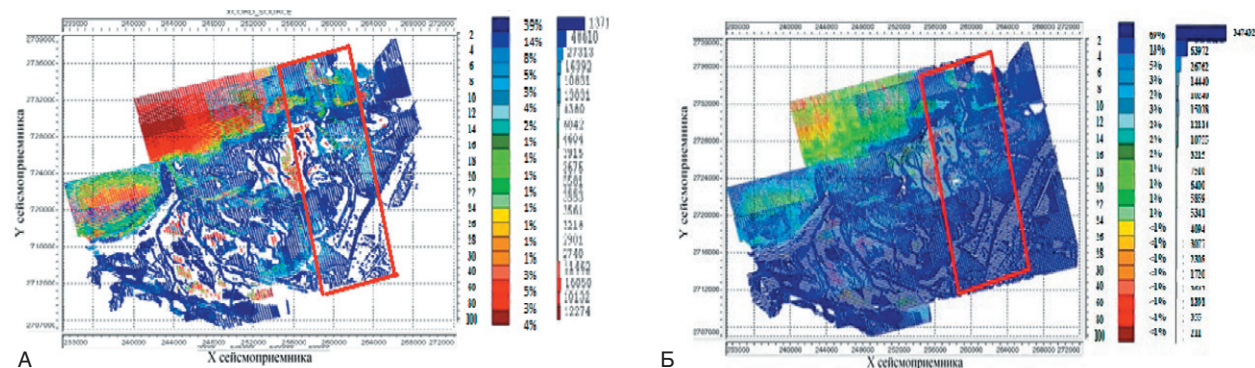


РИС. 3.

Схема распределения отношения сигнал/шум по точкам приема и возбуждения, рассчитанная по данным, полученным: А – с гидрофонов, Б – с геофонов

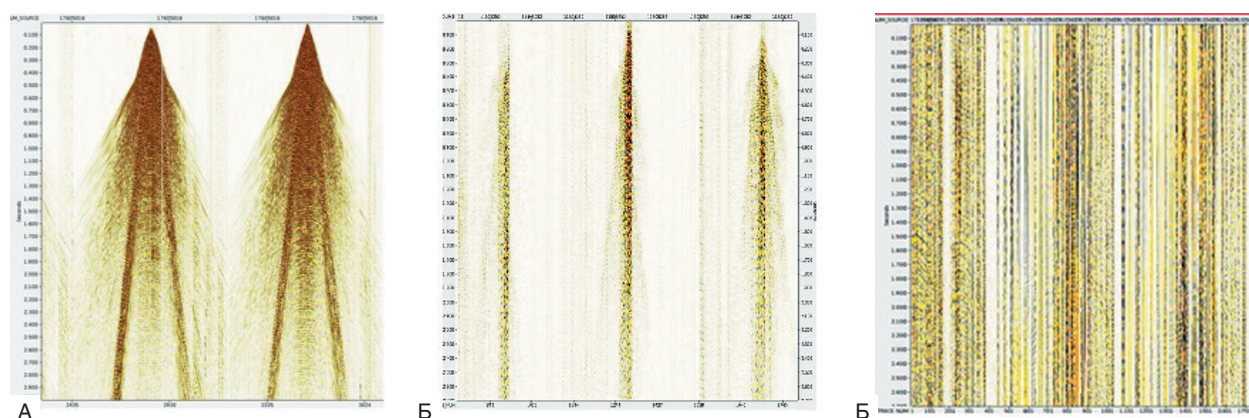


РИС. 4.

Примеры сейсмограмм ОПВ из разных зон полевых работ с разным соотношением сигнал/помеха: А – 26; Б – 1,2; В – меньше 1

пульсации и десигнатурная деконволюция [4]. Алгоритм приведения данных, представленный на рис. 5, направлен на приближение сигналов на сейсмограммах от всех невзрывных типов источников к взрывному перед применением деконволюции.

Подавление вторичной пульсации

Для решения задачи по увязке данных было выполнено подавление вторичной пульсации на сейсмограммах [1], полученных с использованием пневмо источника, для чего необходима исходная сигнатура

источника, которая может быть определена тремя вариантами:

1. Полевая сигнатура, полученная со вспомогательного канала.
2. Накопленная сигнатура из полевых данных.
3. Библиотечная сигнатура, полученная из технической документации к пневмо источнику.

Вариант 1 невозможно выполнить из-за отсутствия вспомогательных каналов. Получение сигнатуры из данных осложнено наличием кратных волн из-за малой глубины водного слоя. В связи с этим был

использован вариант 3 получения фильтра из библиотечной сигнатуры. В данной работе использовался вариант 3.

Дальше для приведения к истинно минимально-фазовому виду данных пневмо источника, применялась статистическая деконволюция. Для каждой сейсмограммы ОПВ рассчитывался единственный оператор, который применялся к трассам данной сейсмограммы (рис. 6) и, который формировался на основе рассчитанных АКФ функций сейсмограмм в диапазоне удалений 0–1200 м.



РИС. 5.

Блок-схема увязки сейсмических данных от разных источников и приемников

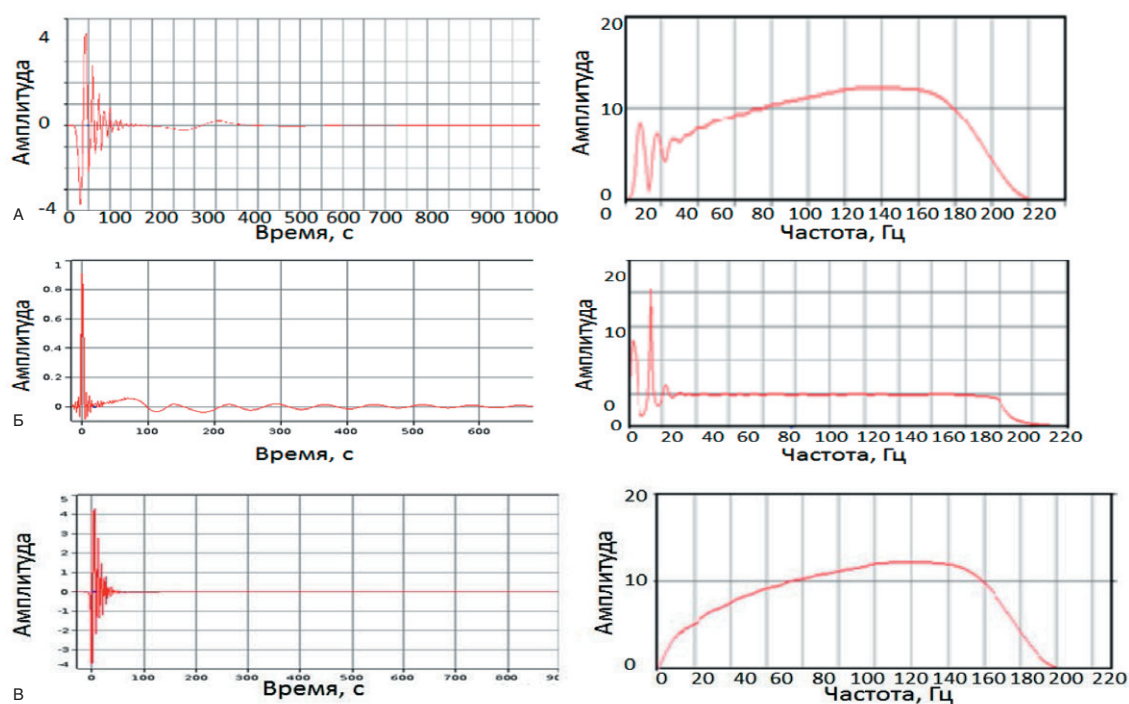


РИС. 6.

Расчет и применение оператора подавления вторичной пульсации: А – исходная сигнатура источника в дальней зоне; Б – оператор фильтра; В – сигнатура без влияния вторичной пульсации и их АЧХ

Для приведения сейсмических сигналов от вибрационных источников к минимально-фазовому виду был использован АКФ теоретического свип-сигнала, из которого получен эквивалентный минимально-фазовый сигнал (рис. 7). Он послужил основой для расчета фильтра согласования, приводящего нуль-фазовый сигнал к минимально-фазовому виду.

Выполнение PZ-суммирования обусловлено наличием двуканальных систем в приемной расстановке. В общем объеме полевой съемки применение геофонов составило 65% приемников, поэтому данное обстоятельство обуславливает то, что данные гидрофонов приводились к геофонам. Для устранения несогласованности данных были рассчитаны калибровочные фильтры и проведена оценка амплитудных скаляров за чувствительность приемника. Суммирование и оценка параметров была проведена в x-t области (рис. 8).

К сожалению, данные не позволяют провести подавление кратных волн с использованием методики Амундсена [2], с разделением волнового поля на восходящее и нисходящее. Это связано с низким отношением сигнал/шум и очень малой глубиной морского дна.

В результате примененных преобразований устранено влияние на сейсмическое поле различных типов источников, что является одним из важных этапов подготовки данных к применению процедур расширения частотного диапазона и пространственной стабилизации импульса (рис. 9). Цветными стрелками

С.А. КИРИЛЛОВ, А.М. АЛИСОЛТАНОВ,
О.А. ВАЛЮШЕВ, А.С. ЛАВРИК, А.А. МИЛЕХИН
ПОДГОТОВКА СЕЙСМИЧЕСКИХ 3D-ДАННЫХ,
ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ В СЛОЖНЫХ
ПОВЕРХНОСТНЫХ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ
УСЛОВИЯХ, ДЛЯ ВРЕМЕННОЙ И ГЛУБИННОЙ
МИГРАЦИИ ДО СУММИРОВАНИЯ

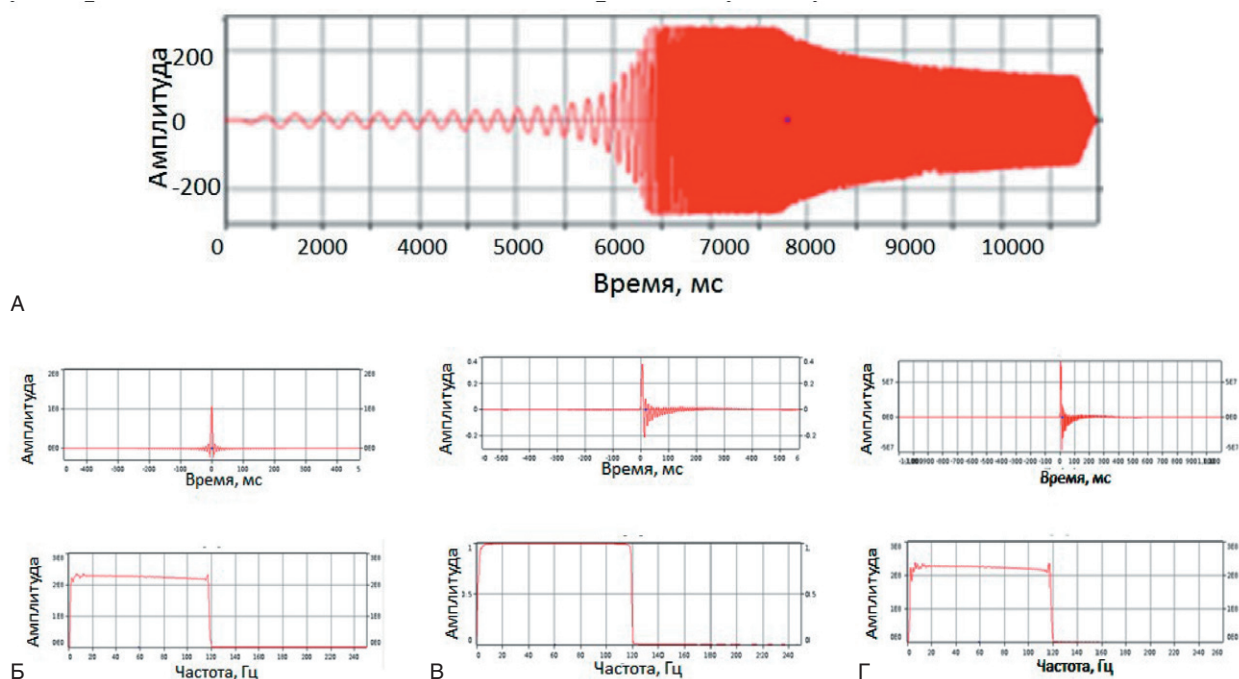


РИС. 7.

Приведение к минимально-фазовому виду сигнала от вибрационного источника: А – теоретический свип-сигнал; Б – АКФ; В – оператор приведения; Г – минимально-фазовый эквивалент

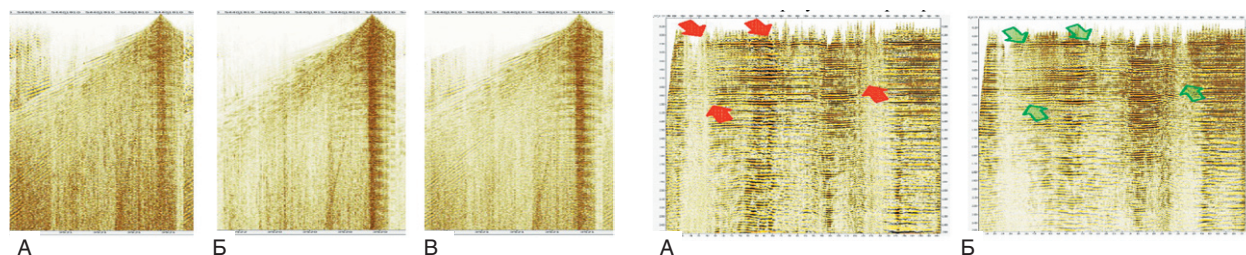


РИС. 8.

Сейсмограмма ОПП: А – геофон; Б – гидрофон; В – сейсмограмма после PZ-суммирования

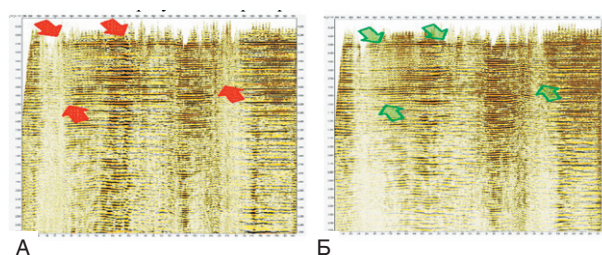


РИС. 9.

Временные разрезы до (а) и после (б) приведения к минимальной фазе и динамической увязки влияния источников

указаны места на временном разрезе, на которых отчетливо видно результаты преобразований.

2. РАСШИРЕНИЕ ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА И ПОВЫШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСА

Фазовая Q-фильтрация

Геологический разрез является не идеально упругой средой и обладает рассеивающими и поглощающими свойствами. Чем больший путь проходит волна, тем сильнее происходит поглощение высоких частот, которое отображается на растяжении формы сейсмического сигнала, т.е. особенностью в поведении поглощения является его практически линейное возрастание с частотой. К другой особенности в поведении поглощения относится резкое уменьшение

поглощающих свойств среды с увеличением глубины проникновения волны, ростом давления пород и увеличением плотности слагающих пород. Газонасыщенные пористые породы обладают большими значениями коэффициентов поглощения, чем водонасыщенные коллекторы.

В результате оптимально подобранный параметр компенсации Q позволит на разрезах улучшить динамическую выразительность временного разреза, повысить разрешенность волновой картины и прослеживаемость отражающих горизонтов.

Значение фактора добротности оценивалось статистически при помощи скважинных данных в процессе интерпретационной поддержки [3, 6]. Были опробованы значения от 75 до 195 с шагом 20. По результатам тестирования было выбрано значение $Q = 175$.

Компенсация за поглощение проводилась в частотной области, постоянная по времени и пространству. Данная процедура применялась до деконволюции, так как основное требование последней является неизменная форма импульса.

Робастная поверхностно-согласованная деконволюция

Для повышения вертикальной разрешенности сейсмической записи, устранения приповерхностных аномалий на спектральные характеристики и согласования между собой данных от различных источников и приемников использовалась робастная поверхностно-согласованная деконволюция (RSCD) [8]. Процедура выполняет оценку формы входного импульса на основе разложения спектральных оценок исходной записи по четырем факторам: пунктам взрыва, пунктам приема, удалениям и ОСТ, что позволяет ослабить влияние случайных вариаций спектра исходной записи на оценку формы входного импульса, стабилизировать по площади форму выходного сигнала и сохранить относительные амплитуды сейсмических трасс. RSCD использует метод Якоби с оверрелаксацией для выполнения поверхностного последовательного разложения спектров мощности логарифмов.

Частотно-зависимая балансировка амплитуд

После проведенной деконволюции сейсмические данные были подготовлены для выполнения частотно-зависимой поверхностно-согласованной балансировки амплитуд, целью применения которой явилось дальнейшее выравнивание амплитудно-частотного спектра по всей площади работ (рис. 10). Данные были разбиты на частотные полосы 0-16 Гц, 16-32 Гц, 32-64 Гц и 64-125 Гц.

Результаты расширения частотного диапазона и повышение пространственной стабильности импульса

Задачей данного этапа является повышение стабильности импульса по вертикали и латерали, а также расширение частотного диапазона. Данный этап является критически важным для подготовки данных к регуляризации и интерполяции, повышая устойчивость пространственных преобразований (рис. 11).

3. РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ И ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ДАННЫХ

В силу неблагоприятных поверхностных условий, техногенного фактора и характеристик используемой полевой методики сбора информации, системы наблюдения является регулярной как по пространственному распределению пунктов возбуждения и приема, так и по распределению азимутов и удалений.

Нерегулярность зарегистрированных полевых данных всегда ощутима в пространственных процедурах на всех стадиях обработки. Так, нерегулярность

С.А. КИРИЛЛОВ, А.М. АЛИСОЛТАНОВ, О.А. ВАЛЮШЕВ, А.С. ЛАВРИК, А.А. МИЛЕХИН
ПОДГОТОВКА СЕЙСМИЧЕСКИХ 3D-ДАННЫХ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ В СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ, ДЛЯ ВРЕМЕННОЙ И ГЛУБИННОЙ МИГРАЦИИ ДО СУММИРОВАНИЯ

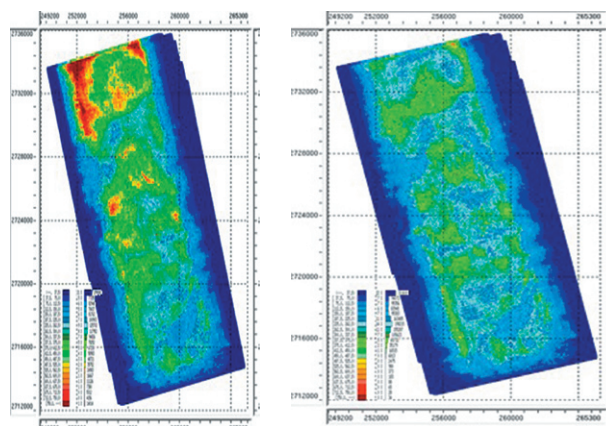


Рис. 10.

Карты RMS амплитуд до (А) и после (Б) применения балансировки амплитуд

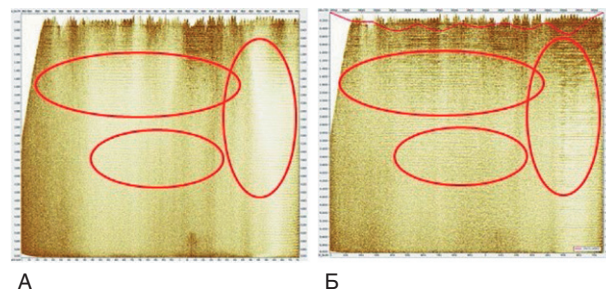


Рис. 11.

Временное сечение до (А) и после (Б) стабилизации импульса

распределения удалений приводит к «размыванию» и усилению аляйсинг-эффекта при преобразованиях Радона, при подавлении поверхностных волн-помех и других процедурах шумоподавления, а также приводит к усилению характерных помех foot-print на временных сечениях сейсмического куба. При глубинной миграции до суммирования нерегулярный спектр удалений провоцирует появление сильного фона помех на мигрированном разрезе. Кроме того, нерегулярность данных может повлиять на результаты скоростного анализа и результаты AVO/AVA анализа.

Поэтому в связи с нерегулярностью сейсмической съемки и отсутствием ближних каналов провели 5D-регуляризацию [7, 9], основная задача которой - приведение данных к регулярной сетке и восстановлению пропущенных трасс путем интерполяции и экстраполяции. В результате получили равномерное заполнение сейсмограмм ОСТ и наращивание информации на ближних удалениях. Был реализован вариант 5D-регуляризации с приведением полевых данных к проектной съемке (рис. 12).

Интерпретационное сопровождение этапа временной обработки позволило в комплексе со скважинны-

С.А. КИРИЛОВ, А.М. АЛИСОЛТАНОВ,
О.А. ВАЛЮШЕВ, А.С. ЛАВРИК, А.А. МИЛЕХИН
ПОДГОТОВКА СЕЙСМИЧЕСКИХ 3D-ДАННЫХ,
ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ В СЛОЖНЫХ
ПОВЕРХНОСТНЫХ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ
УСЛОВИЯХ, ДЛЯ ВРЕМЕННОЙ И ГЛУБИННОЙ
МИГРАЦИИ ДО СУММИРОВАНИЯ

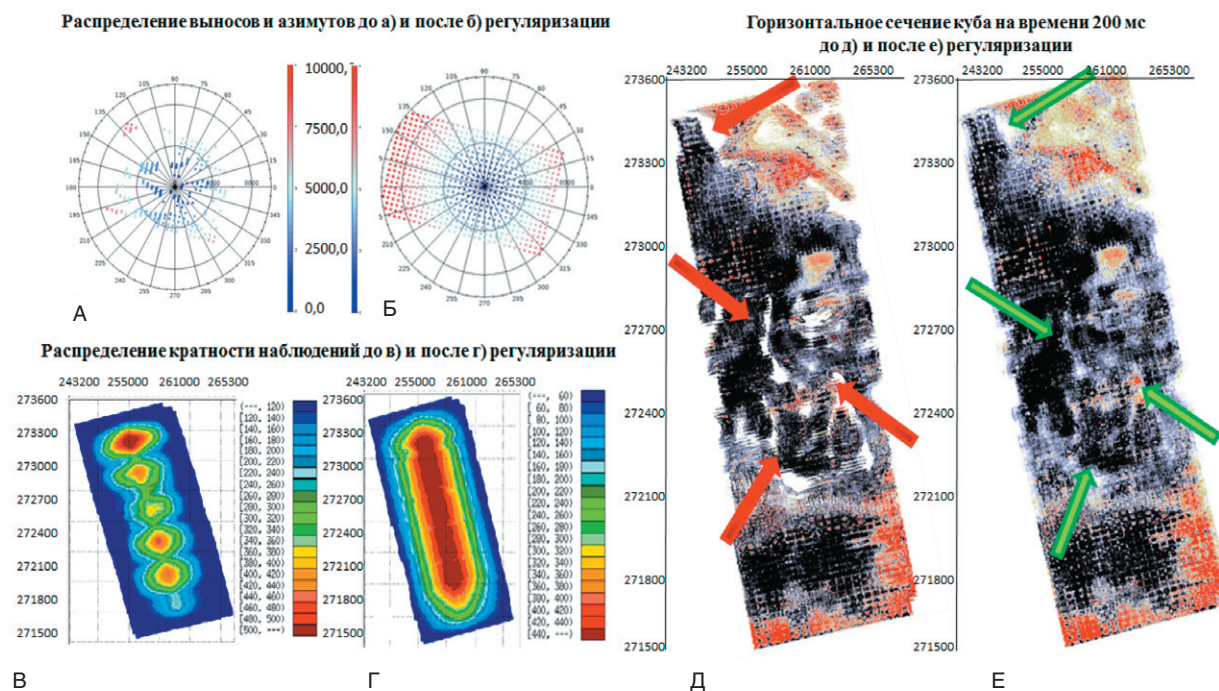


РИС.12

Регуляризация и интерполяция данных в проектную геометрию съемки

ми данными проводить контроль качества результатов учета статических поправок, позволяющего восстановить корректную геометрию отражающих горизонтов без влияния верхней части разреза на волновое поле, оценивать промежуточные результаты и подбирать эффективные параметры вычислительных процедур для амплитудно-частотного согласования волнового поля и расположения его на регулярной системе наблюдений.

Ключевым результатом этой работы стало значительное улучшение качества сейсмических данных, полученных в ходе полевых исследований, проводимых с высокой производительностью в сложных поверхностных сейсмогеологических условиях на фоне техногенных помех. На результирующем разрезе (рис. 13) уверенно выделяются целевые сейсмические горизонты, позволяющие решить геологические задачи по изучению недр и выделению нефтеперспективных зон.

Подготовка данных для процедур миграции до суммирования осуществлялась в соответствии с рассмотренной последовательностью обработки сейсмических данных для обеспечения полноты и однородности волнового поля. Ключевые этапы включали: подавление низкочастотных и линейных волн-помех, ослабление остаточных случайных и когерентных шумов на различных этапах сортировки данных, моделирование и вычитание кратных волн, компенсацию

затухания с использованием Q-фильтров, а также регуляризацию данных в пятимерном пространстве (5D).

Представленная последовательность обработки исходных сейсмических данных представляет собой высокотехнологичный и комплексный подход, который является ключевым для успешной разведки углеводородов в современных сложных поверхностных условиях.

Методика адаптирована для работы в реальных сложных условиях (неоднородности вблизи поверхности, техногенные помехи) с использованием различной аппаратуры. Позволяет получить оптимальное соотношение сигнал/шум и сохранение динамики – достоверной физической основы для всех последующих этапов.

Возможность применения временной и более сложной глубинной миграции до суммирования позволяет корректно учитывать сложное строение среды и получать наиболее точные сейсмические образы. Это фундамент для принятия обоснованных решений о локализации скважин, подсчете запасов и оценке экономической целесообразности разработки объекта.

Таким образом, описанный подход напрямую направлен на повышение эффективности и успешности геологоразведочных работ за счет получения более детализированных и достоверных данных о строении недр, что в конечном итоге минимизирует финансовые риски и увеличивает вероятность открытия новых месторождений.

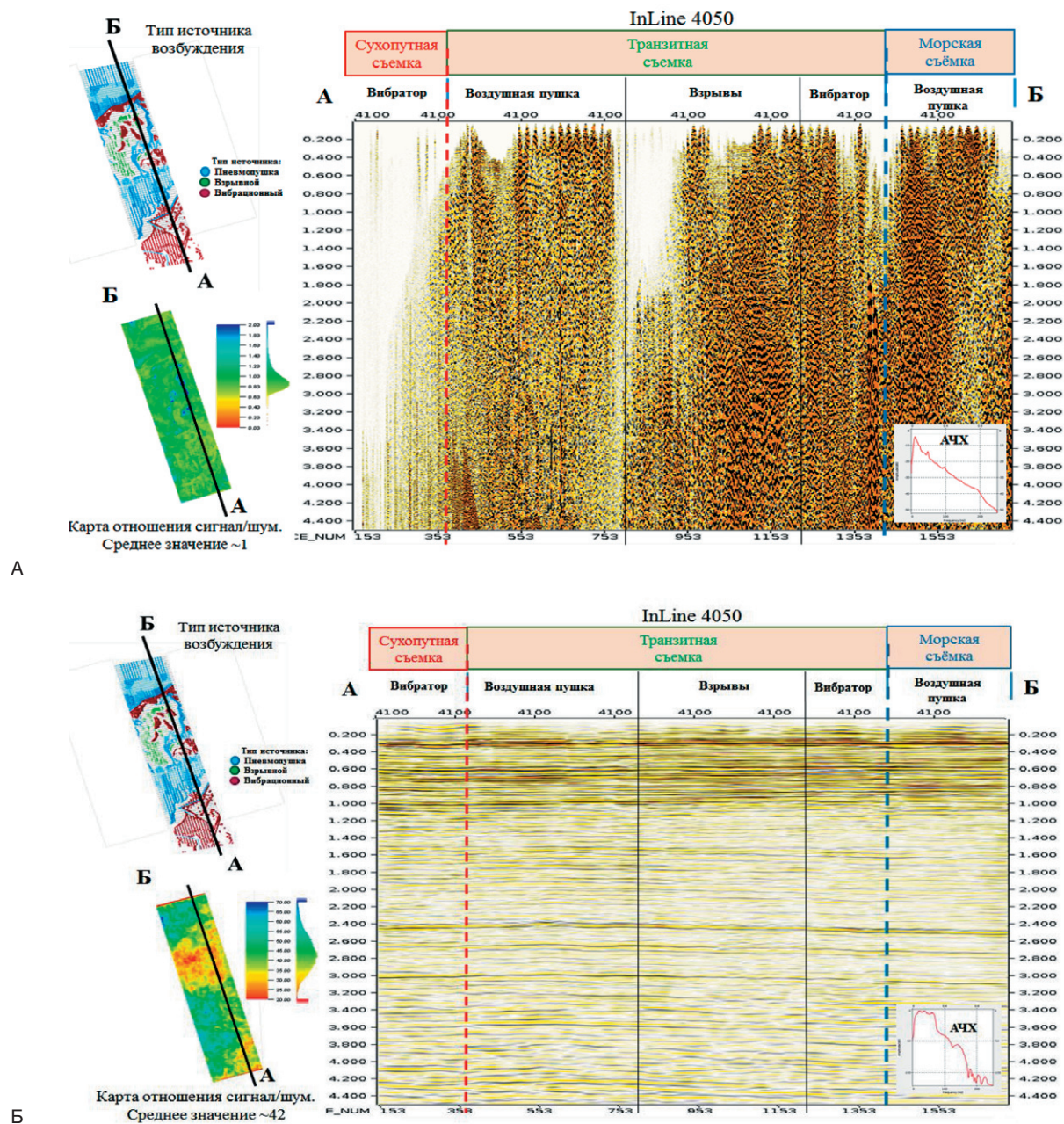


РИС.13.

InLine3850. Результат предварительной обработки данных по рассмотренной технологии. А – исходный временной разрез; Б – временной разрез после временной предварительной обработки

ЛИТЕРАТУРА

1. Алешкин М.В. Методика подавления повторных пульсаций пневмоисточника в морской сейсморазведке на мелководье // Вестник МГУ им. М.В. Ломоносова. Серия 4. Геология. 2020. С. 99–103.
2. Амундсен Л. Система и способ разделения электромагнитного волнового поля. Патент G01V 3/12. 2008.
3. Горбачев С.В., Никульников А.Ю., Векшин Р.В. Интерпретационное сопровождение обработки с непрерывным количественным анализом качества данных // Нефтяное хозяйство. 2023. №9. С. 98–101.
4. Денисов М.С. Особенности сигнатурной деконволюции со сложной формой сигнала // Геофизические технологии. 2024. № 3. С. 21–32.

5. КАШИК А.С., ГОГОНЕНКОВ Г.Н., КИРИЛЛОВ С.А., БИЛИБИН С.И. Сопровождение компьютерных геологических моделей при мониторинге разработки месторождений углеводородов // Нефтяное хозяйство. 2004. № 7. С. 95–99.
6. КИРИЛЛОВ С.А., ЧАПЛЫГИН А.В. Интерпретационное сопровождение обработки данных сейсморазведки // Приборы и системы разведочной геофизики. 2018. №1–2. С. 68–79.
7. КУРАШОВ И.А., БОНДАРЕВ В.И., КРЫЛАТКОВ С.М. Регуляризация сейсмических данных при объединении смежных съемок // Известия Уральского государственного горного университета. 2014. № 1(33). С. 12–17.
8. МАТВЕЕВ Н.М., ЧЕРТОВ В.В., СТЕПАНОВ П.Ю. Сравнение алгоритмов робастной поверхностно-согласованной деконволюции и оценка влияния частотного состава шумовой компоненты на результат процедуры // Геофизика. 2025. №1. С. 65–72.
9. НИКУЛЬНИКОВ А.Ю., ГОРБАЧЕВ С.В., НУРМУХАМЕДОВ Т.В., САМАРКИН М.А. Оптимизация методик регуляризации сейсмических данных 3D на примере транзитных данных акватории Печорского моря // Геофизика. 2021. №6. С. 61–67.

REFERENCES

1. ALESHKIN M.V. Methodology for Suppressing Repeated Pulsations of a Pneumatic Source in Shallow-Water Marine Seismic Surveys. *Vestnik MGU im. M.V. Lomonosova. Seria 4. Geologia*. 2020;99–103. (In Russian).
2. AMUNDSEN L. System and Method for Separating an Electromagnetic Wave Field. Patent G01V 3/12. 2008. (In Russian).
3. GORBACHEV S.V., NIKULNIKOV A.YU., VEKSHIN R.V. Interpretation Support for Processing with Continuous Quantitative Analysis of Data Quality. *Neftyanoye khozyaystvo*. 2023;9:98–101. (In Russian).
4. DENISOV M.S. Features of Signature Deconvolution with a Complex Signal Shape. *Geofizicheskiye tekhnologii*. 2024;3:21–32. (In Russian).
5. KASHIK A.S., GOGONENKOV G.N., KIRILLOV S.A., BILIBIN S.I. Support of computer geological models in monitoring the development of hydrocarbon fields. *Neftyanoye khozyaystvo*. 2004;7:95–99. (In Russian).
6. KIRILLOV S.A., CHAPLYGIN A.V. Interpretation support for seismic exploration data processing. *Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki*. 2018;1–2: 68–79. (In Russian).
7. KURASHOV I.A., BONDAREV V.I., KRYLATKOV S.M. Regularization of seismic data when combining adjacent surveys. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*. 2014;1;(33):12–17. (In Russian).
8. MATVEEV N.M., CHERTOV V.V., STEPANOV P.YU. Comparison of Robust Surface-Consistent Deconvolution Algorithms and Assessment of the Influence of the Noise Component Frequency Content on the Procedure Result. *Geofizika*. 2025; 1: 65–72. (In Russian).
9. NIKULNIKOV A.YU., GORBACHEV S.V., NURMUKHAMEDOV T.V., SAMARKIN M.A. Optimization of 3D Seismic Data Regularization Methods Using Transit Data from the Pechora Sea Area as an Example. *Geofizika*. 2021;6:61–67. (In Russian).

Кириллов Сергей Александрович,
д.т.н., к.ф.-м.н., доцент, советник, АО «Центральная геофизическая экспедиция» (АО «ЦГЭ»)

✉ 123298, г. Москва, ул. Народного Ополчения, 38/3,
123298, Moscow, Narodnaya Opolcheniya str., 38/3,
e-mail: KirillovSA@rusgeology.ru

Алисолтанов Алибек Магомедмуратович,
управляющий директор АО «Центральная геофизическая экспедиция» (АО «ЦГЭ»)

✉ 123298, г. Москва, ул. Народного Ополчения, 38/3,
123298, Moscow, Narodnaya Opolcheniya str., 38/3,
e-mail: AlisoltanovAM@rusgeology.ru

Валюшев Олег Александрович,
главный специалист АО «Центральная геофизическая экспедиция» (АО «ЦГЭ»)

✉ 123298, г. Москва, ул. Народного Ополчения, 38/3,
123298, Moscow, Narodnaya Opolcheniya str., 38/3,
e-mail: ValyushevOA@rusgeology.ru

Лаврик Александр Сергеевич,
заместитель директора по геофизическим работам АО «Росгеология» (АО «Росгео»)

✉ 117418, г. Москва, ул. Новочеремушкинская, д. 69,
117418, Moscow, Novocheremushkinskaya st., 69,
e-mail: LavrikAS@rusgeology.ru

Милехин Александр Львович,
эксперт АО «Центральная геофизическая экспедиция» (АО «ЦГЭ»)

✉ 123298, г. Москва, ул. Народного Ополчения, 38/3,
123298, Moscow, Narodnaya Opolcheniya str., 38/3,
e-mail: MilekhinALOA@rusgeology.ru