

Современный и переосмысленный взгляд на применение импульсных электромагнитных источников «Абакан» в движении по сравнению с классическими взрывными источниками

- Копылов М.А, Баландин П.В., Федоров, П.В.
АО «ГЕОТЕК», г. Москва, г. Тюмень, г. Минусинск.
- Жуков С.Е., Шишов Д.Г., Тищенко С.В., Бекешко П.С., Лаптев П.С.,
ООО «ГеоПрайм», г. Москва, г. Санкт-Петербург, г. Томск.

Аннотация

В статье приведены результаты опытно-производственных сейсморазведочных работ 3D, проведенных по высокоплотной и высокопроизводительной технологии с использованием импульсных электромагнитных источников повышенной мощности — «Абакан», в движении и сравнение её со стандартной взрывной методикой.

Приведены результаты обработки двух наборов данных, которые позволили сделать ряд важных выводов и заключений, которые должны учитываться в процессе камеральных работ.

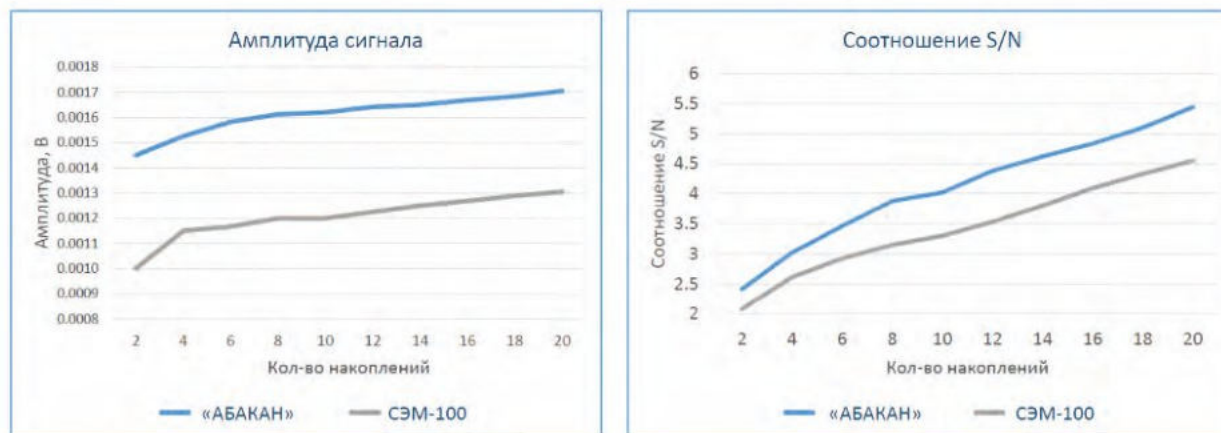
Введение

Современные реалии поиска и разведки углеводородов таковы, что при общем сокращении объемов геологоразведки в стране, количество сейсмической информации не уменьшается, а ежегодно увеличивается. Это обусловлено внедрением современных и высокотехнологичных подходов получения и сбора информации, а также современными вызовами, которые стоят перед нефтегазовой отраслью: быстрее, дешевле, качественнее, экологичнее и безопаснее, т.е. требованием быть максимально эффективными. Наглядным примером является использование высокоплотных методик сейсморазведки, которые обеспечивают десятикратное увеличение объема первичных данных (Е.В. Мосягин, 2023), при этом позволяют сократить время этапа полевых работ в 2–4 раза, что учитывает современные требования и вызовы.

Излучающая установка, работающая в условиях непрерывного движения, позволяет в разы ускорить выполнение сейсмических работ и повысить плот-

ность исходных данных, в то же время регистрируются данные с низким отношением сигнал/помеха. При этом стоит учитывать, что современные подходы и алгоритмы камеральной обработки данных высокой плотности позволяют решить данную проблему для последующих задач интерпретации и повысить информативность окончательных сейсмических данных (Е.А. Гордич, 2023).

Ключевыми отличительными характеристиками двух методик в рамках проведенных опытно-производственных работ является: тип источников возбуждения упругих колебаний и шаг между ПВ, и, как следствие, разное количество физических наблюдений и плотность трасс на квадратный км. Такие изменения достигаются за счёт применения высокопроизводительной технологии в движении. Отличительной чертой текущих работ от всех предшествующих (П.В. Баландин, 2020) является использование нового поколения электромагнитных источников повышенной мощности «Абакан», которые в 1.3 раза мощнее, чем предыдущее поколение СЭМ-100. Предпосыл-



▲ Рис. 1. Сравнение атрибутов сейсмической записи полученных от различных источников.

кой к разработке более мощного источника послужила необходимость увеличения амплитуды полезного сигнала (A_s), т.к. 2 источника совершают одно накопление вместо 4–12 шт. группой из 4–5 источников.

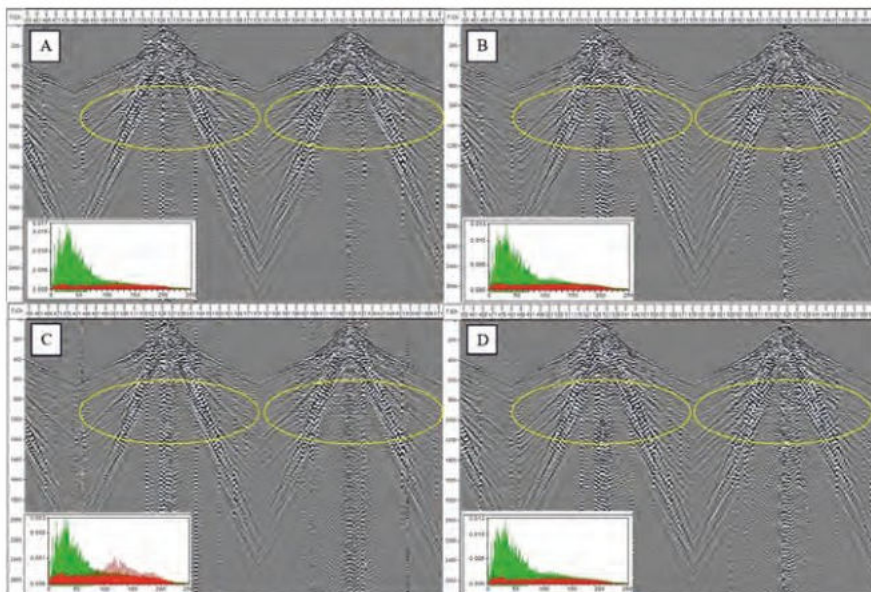
Работы прошлых лет

Первые испытания источника «Абакан» в действующей полевой партии были проведены в 2019 году в рамках ОМР (П.В. Баландин, 2021). Источники были расположены в центре активной расстановки, применяемой при выполнении производственных работ. Для выполнения данных работ было задействовано 4 импульсных источника —

два источника «Енисей-СЭМ-100» и два источника «Абакан». Всего каждым типом источника было произведено 20 воздействий с записью промежуточных сумм 2, 4, 6, 8 ... 20. На Рисунке 1 изображены графики зависимости атрибутов волнового поля от количества воздействий.

Как видно из сопоставления, амплитуда сигнала источника «Абакан» выше на 30%. Отношение сигнал-помеха данных, полученных с применением источника «Абакан», также выше на 25–30%. На рисунке 2 изображены полевые записи, полученные при применении двух типов источников.

Как видно из рисунка 2 на сейсмог-



◀ Рис. 2.
Полевые записи.
А — «Абакан»,
8 накоплений;

В — «Енисей-СЭМ-100»,
8 накоплений.

С — «Абакан»,
1 накопление;

D — «Енисей-СЭМ-100»,
8 накоплений.



▲ Рис. 3. Полевые записи. Источники в движении.

А — «Абакан», 1 накопление; В — «Енисей-СЭМ-100», 1 накопление.

раммах, полученных с применением источников «Абакан», отражения имеют большую выразительность и контрастность на фоне поверхностных волн-помех. При одном накоплении отражения также имеют выразительность и сопоставимы с 8 накоплениями источника «Енисей-СЭМ-100».

На рисунке 3 представлены записи, полученные в движении на одном и том же ПВ различными источниками. Как и в случае со сравнительными испытаниями в статическом режиме, на записях, полученных с применением источников «Абакан», отражения имеют большую выразительность.

Таким образом, испытания показали, что характеристики источника «Абакан» соответствуют заявленным.

Производственные работы

Исследуемый участок находится на территории Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Одним из производственных подразделений АО «ГЕОТЕК» в сезоне 2022–2023 были проведены сейсморазведочные опытно-производственные работы по двум технологиям.

Работы выполнялись по высокоплотной методике МОГТ-3D (таблица 1). Возбуждение осуществлялось группой,

▼ Табл. 1. Основные характеристики систем наблюдений.

Параметры съемок	Стандартная полевая методика	ОМР «Абакан»
Шаг ЛПВ и ЛПП, м	300x300	300x300
Шаг ПВ и ПП, м	50x25	~5x25
Кратность (бин 25x12,5м)	100	1000
Источник возбуждения	Взрыв в скважине (h=20м, Q=5-10кг)	«Абакан» 2 источника в группе
Количество ф.н.	1350	12156
Суммарное время отработки	69 часов (19 буровых станков и 3 взрыв пункта)	41 час (одиночная группа)
Плотность трасс на кв.км, шт	320 000	2 901 136



▲ Рис. 4. Работа импульсных источников «Абакан» на профиле.

состоящей из двух источников «Абакан» (рис. 4), буксируемых трактором Т-10МБ по технологии ISSD. Трактор двигался со скоростью 2.0 км/ч (средний шаг ПВ≈5м), что дает возможность за 10-ти часовую смену отработать участок съёмки длиной в 20 км без учета технических простоев. Регистрация осуществлялась телеметрической системой Sercel 428XL.

С целью применения большого количества групп источников, для повышения производительности высокоплотных съёмок, был разработан программно-аппаратный комплекс обеспечения автономного независимого импульсного возбуждения, при использовании которого сейсмостанция и источники выполняют свои функции независимо, т.е. отсутствуют сигналы управления процессом возбуждения-регистрации. Критерием синхронизации выступает GPS время.

Источник совершает воздействия в процессе движения по профилю. В это время, местоположение, альтитуда ПВ, а также момент времени совершения воздействия (GPS время) определяются спутниковой навигационной системой,

работающей в режиме RTK включающей передвижные приёмники и базовую станцию. Локальное время сейсмостанции также переводится на GPS время, запись SEGД файлов ведется непрерывно. После завершения работ на профиле SEGД файлы и база данных источников используются для формирования стандартных SEGД файлов с помощью специального программного обеспечения. В дальнейшем полученные SEGД файлы передаются в обработку.

Контроль качества работы источников «Абакан» осуществляется по тяговым характеристикам электромагнита, регистрируемым цифровыми акселерометрами. Параметрами контроля являлись — синхронность срабатывания и напряжение заряда (рис. 5–6, таблица 2). За весь период работ источниками было совершено 15317 воздействий. Анализ данных показал, что отклонения по параметрам контроля не превышало 0.1% от общего количества воздействий, что говорит о стабильной работе источников.

На рисунке 7 представлен фрагмент сейсмограммы ОПВ для двух источников возбуждения. Стоит отметить, что сейсмограмма, полученная с помощью электромагнитного источника возбуждения, имеет низкое отношение сигнал/шум и значение абсолютных амплитуд в 250 раз меньше, чем для взрывного источника, при этом за интенсивными регулярными помехами можно видеть множество осей синфазности отраженных волн. Используя стандартный подход к оценке качества исходного сейсмического материала, основанный на отношении RMS-амплитуд в различных

▼ Табл. 2. Параметры контроля качества работы источников.

Параметр	Допуск		Количество срабатываний в допуске, %
	min	max	
Синхронность срабатывания, мс	2.5	2.9	99.99
Напряжение заряда, В	850	870	99.99



▲ Рис. 5. Статистика работы источников. Параметр — синхронность срабатывания.

окнах, получаем значения отношения сигнал/шум для источника «Абакан» в диапазоне 0.5–1.5, то для случая взрывного источника значения находятся в диапазоне 4–192, что однозначно говорит о высоком качестве исходного материала взрывного источника (рис. 8). Такое поведение сейсмической записи, зарегистрированной от импульсного источника, обусловлено несколькими причинами: способом перемещения источника вдоль профиля с помощью гусеничной техники и работой в светлое время суток, когда проводилась базировка партии и другие производственно-технологические процессы сейсмопартии, что вызвало высокую интенсивность нестационарных источников шума.

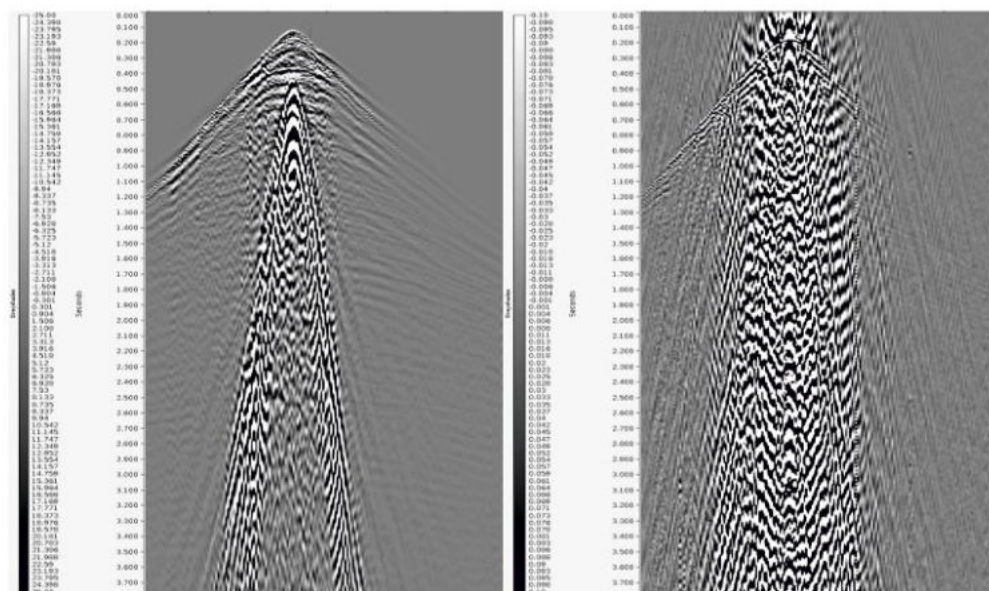
В последующем с двумя наборами

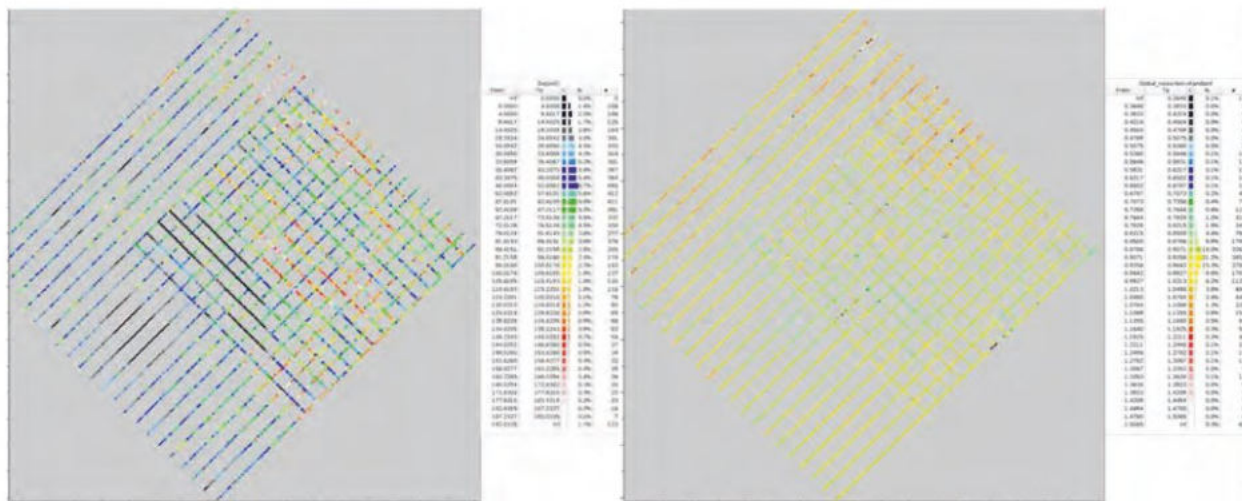


▲ Рис. 6. Статистика работы источников. Параметр — напряжение заряда. Обработка данных ОПР.

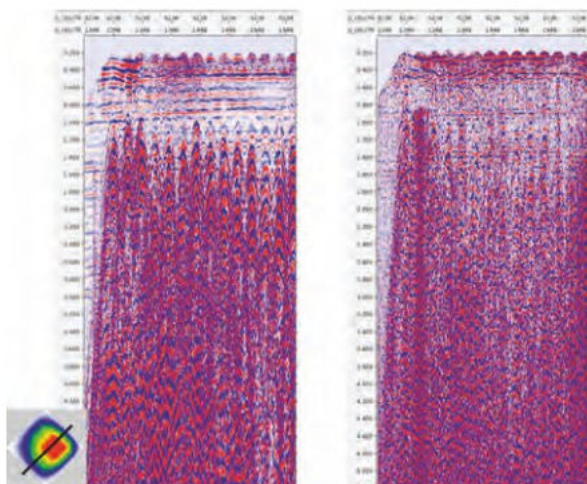
данных была выполнена стандартная обработка с сохранением истинного соотношения амплитуд и получены мигрированные сейсмические изображения. Хотелось обратить внимание, что текущие подходы обработки базируются на принципе работы в реальной геометрии, т.е. с учётом всех геометрических положений ПП и ПВ, а также на моделировании помех и их последующем адаптивном вычитании из данных. Использование различных пространственных фильтров, таких как 3DFKK, могут существенно нарушить пространственную разрешённость финального сейсмического изображения, т.к. можно сгладить часть дифракционной составляющей волнового поля, обеспечивающей латеральную фокусировку разломов и мелко-масштабных геологических объектов.

▲ Рис. 7. Пример исходных сейсмограмм ОПВ: взрывной источник (слева) и импульсный источник (справа).



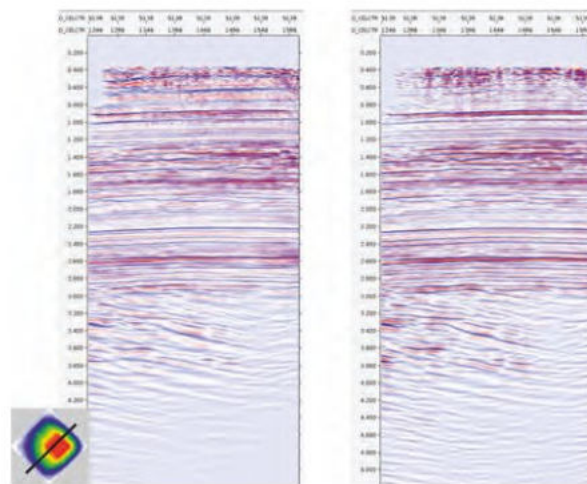


▲ Рис. 8. Карта отношения RMS-амплитуд в окне сигнала и микросейсм. Взрывной источник — слева, импульсный в движении — справа.



▲ Рис. 9. Карта отношения RMS-амплитуд в окне сигнала и микросейсм. Взрывной источник — слева, импульсный в движении — справа.

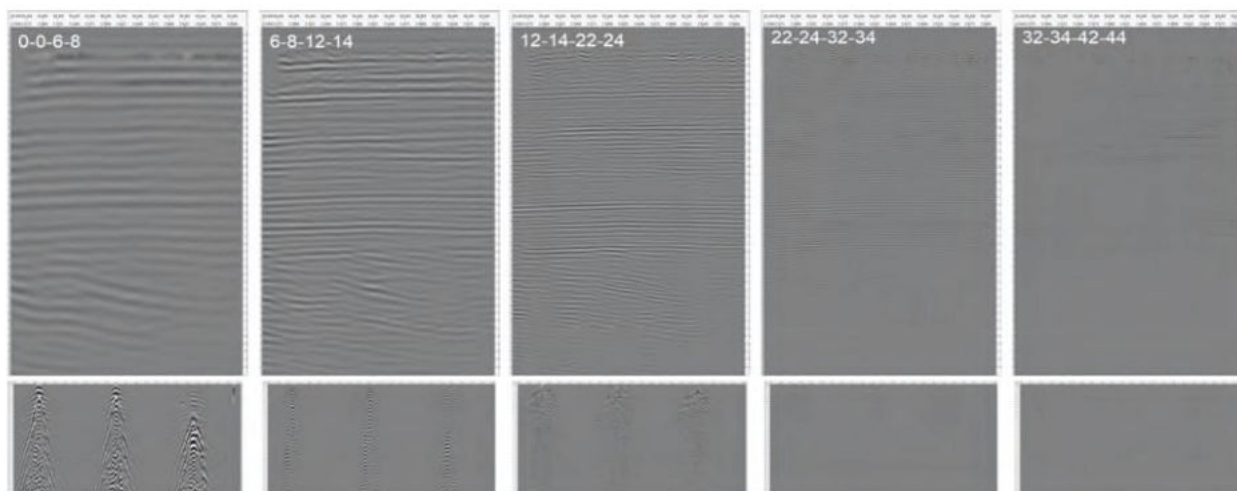
На рисунках 9–10 приведены исходные и окончательные вертикальные временные сечения куба после обработки. Детальный анализ в различных полосах частот (рис. 11–12) показывает, что кубы обладают сопоставимым отношением сигнал/помеха, одинаковой глубиной и схожим амплитудно-частотным составом, несмотря на существенное отличие этих параметров на исходных сейсмических материалах. Дополнительно была проведена привязка финального волнового поля к скважинным данным и извлечен детерми-



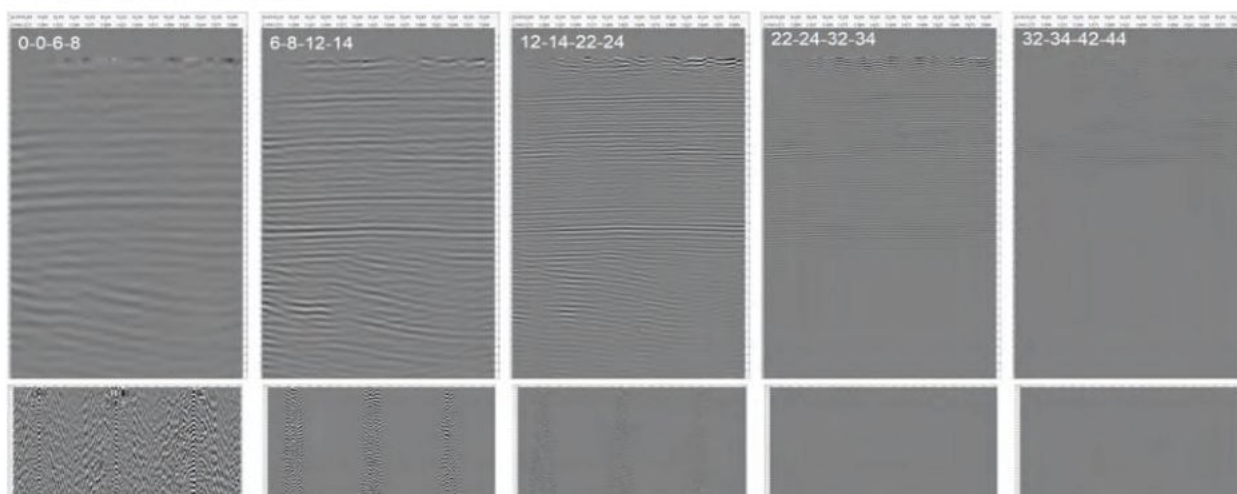
▲ Рис. 10. Вертикальные временные сечения кубов после динамической обработки. Взрывной источник — слева, импульсный — справа.

нистический импульс. Полученные результаты свидетельствуют о схожести формы импульса в целевом интервале (рис.13).

Далее была проведена более углублённая обработка данных, полученных по технологии импульсных электромагнитных источников в движении. Основной фокус данной обработки был направлен на тестирование и анализ результатов миграции для получения максимальной пространственной разрешённости записи. Результаты анализа приведены на рисунке 14 в виде горизон-

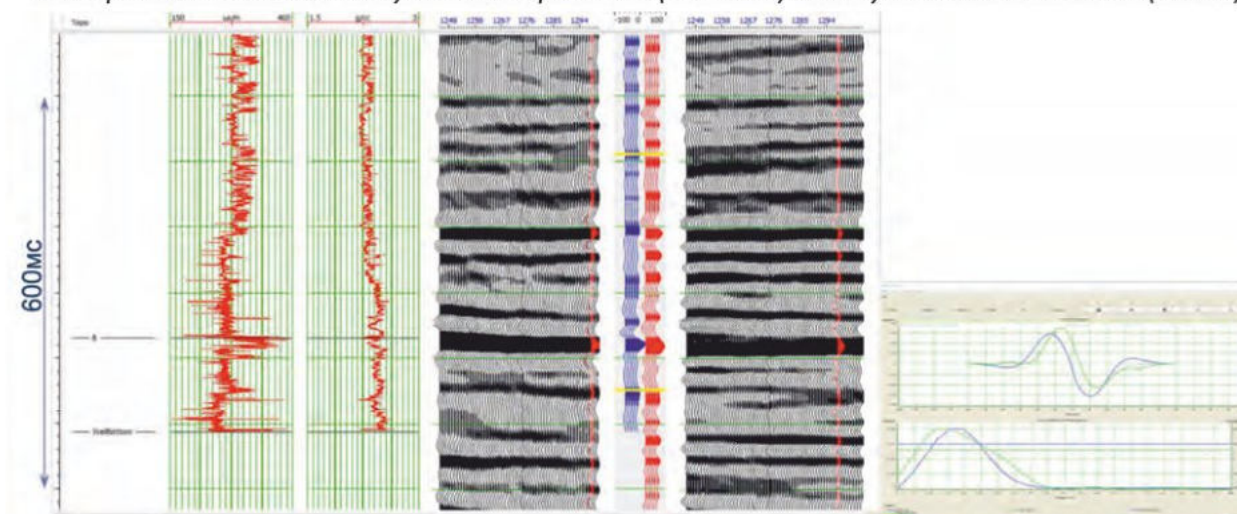


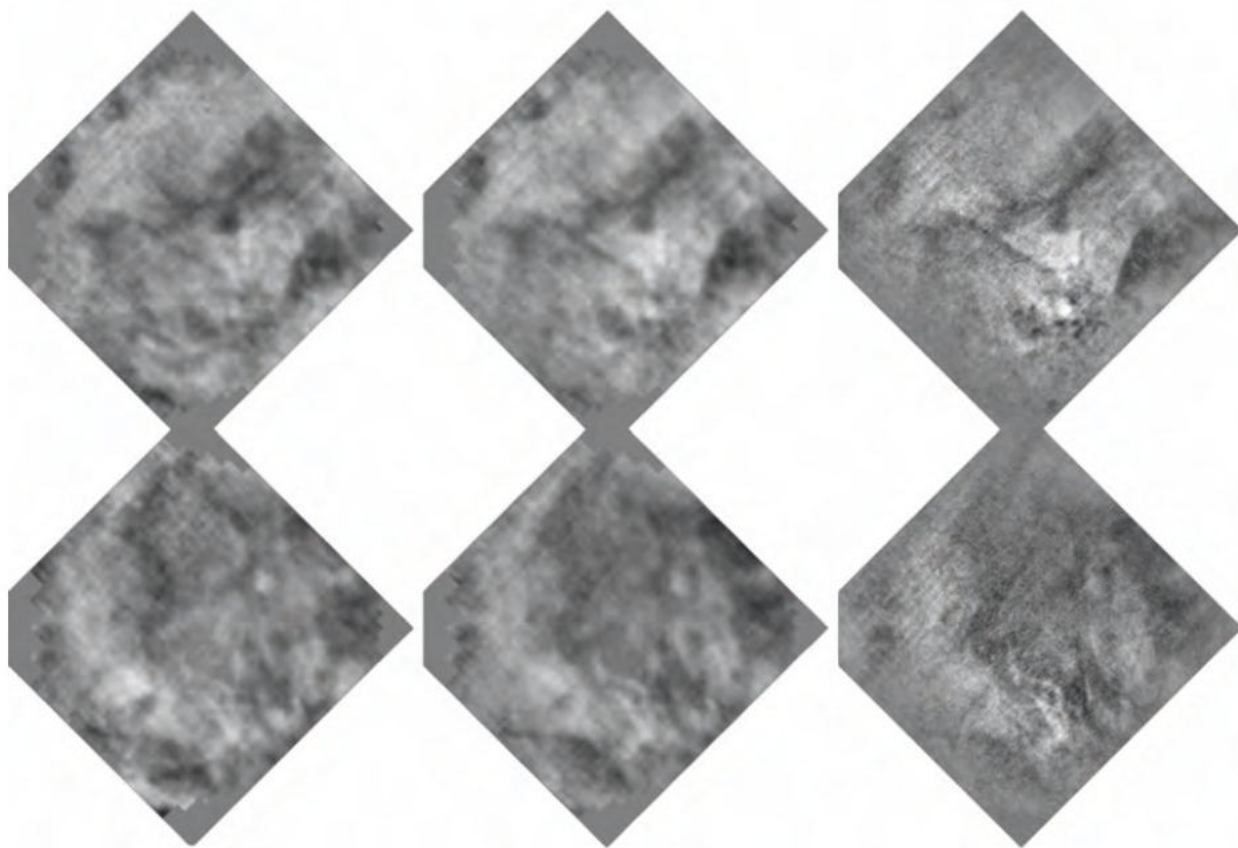
▲ Рис. 11. Вертикальные временные сечения куба после динамической обработки (сверху) и исходные сейсмограммы ОПВ (снизу) в различных частотных диапазонах. Взрывной источник.



▲ Рис. 12. Вертикальные временные сечения куба после динамической обработки (сверху) и исходные сейсмограммы ОПВ (снизу) в различных частотных диапазонах. Импульсный источник.

▼ Рис. 13. Пример привязки волнового поля к скважинным данным и извлеченный детерминистический импульс для взрывного (зеленый) и импульсного источника (синий).





▲ Рис. 14. Пример горизонтальных сечений сейсмических изображений на различных временах. Взрывной источник бин 12.5x25 (слева), Импульсный источник бин 12.5x25 (центр) Импульсный источник бин 12.5x2.5 (справа). Времена снятия амплитуд 1340мс (сверху) и 1420мс (снизу).

тальных сечений сейсмического изображения на разных временных интервалах, где виден положительный эффект от малого размера бина с точки зрения фокусировки геологических объектов.

Выводы

Исходя из полученных результатов, можно сделать ряд очень важных выводов:

1) Использование новой модификации импульсного электромагнитного источника повышенной мощности позволяет изучать осадочный чехол Западной Сибири, включая фундамент.

2) Технология в движении обеспечивает высокую производительность и плотность сейсмических данных, которая в несколько раз превосходит стандар-

тные технологии.

3) Качество исходных сейсмических данных, полученных по такой технологии не может быть корректно оценено никакими имеющимися на данный момент подходами, в силу наличия постоянного источника шума в виде движущегося трактора.

4) При работе с данными высокой плотности текущие подходы обработки и контроля должны быть пересмотрены в сторону получения и сохранения максимальной пространственной разрешённости сейсмического изображения. В основном это касается этапов шумоподавления, регуляризации и миграции. Визуальный анализ пространственной разрешённости показывает, что имея АЧХ для взрывного источника чуть шире, чем

для импульсного мы теряем латеральную разрешённость при больших размерах бина (12.5x25). При этом относительно узкий АЧХ, в сравнении со взрывным источником, и меньший размер бина (12.5x2.5) дают более детальную картину и существенно лучше подчеркивают геологические объекты в случае импульсного источника в движении.

5) Техничко-экономические оценки импульсной технологии в движении говорят о том, что стоимость и/или время для СРР для ряда регионов могут быть уменьшены в пределах 15–20%, при кратном увеличении плотности сейсмических данных.

На текущий момент АО «ГЕОТЕК» занимает лидирующие позиции по производству и использованию импульсных электромагнитных источников, в том числе более современной их модификации — «Абакан». Последние стендовые испытания показывают ускорение цикла зарядки конденсаторов в 2 раза. Это дополнительно открывает возможности для потенциального увеличения плотности трасс, ускорения СРР и получения ещё более пространственно-разрешенных сейсмических изображений, что может положительно отразиться на формировании геологических концепций и гидродинамических моделей сложных залежей УВ.

Компания ООО «ГеоПрайм» обладает необходимым набором компетенций и ресурсной базой для выполнения обработки высокоплотных данных.

Авторы выражают благодарность ООО «Газпромнефть-ГЕО» за возможность использовать данные для целей продвижения высокоплотных и высокопроизводительных методик СРР на рынке геофизических услуг Российской Федерации.

Литература

1. В.А. Детков, П.В. Баландин, М.А. Копылов, «Технология возбуждения упругих колебаний в движении Glide», Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №2, 2020.
2. A. Ourabah, From nimble node to STRYDE — a brief history of a disruptive nodal technology. — Second HGS and EAGE Conference on Latin America, Dec 2020.
3. Е.С. Кузнецов, П.В. Баландин, А.А. Дробинский, А.В. Череповский. «Результаты анализа полевых данных OMP МОГТ-3D, Полученных по технологии возбуждения сигнала в движении GLIDE», Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №1, 2021.
4. О.О. Адамович, П.С. Бекешко, С.Е. Жуков, Я.В. Лаптев, И.Л. Альмендингер, А.В. Ермолаев. «Высокоэффективные съемки GLIDE как потенциальный инструмент повышения качества сейсмических изображений и ускорения цикла ГРП». Тезисы конференции ПроГРРесс 2021
5. П.С. Бекешко, С.Е. Жуков, Я.В. Лаптев, И.Л. Альмендингер, А.В. Ермолаев, Е.С. Кузнецов, П.В. Баландин, А.А. Дробинский, А.В. Череповский. «Результаты обработки сейсморазведочных данных 3D полученных по технологии GLIDE на одном из участков Восточной Сибири». Тезисы конференции Геомодель 2021.
6. Николая Телье и др. «Методика xDSS для достижения высочайшей производительности при вибросейсмических операциях», Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №1, 2022.
7. П.С. Бекешко «Несостоятельность стандартных подходов к оценке качества сейсмических данных при использовании высокоплотных методик СРР Приборы и системы разведочной геофизики», №3(74), 2022.
8. A. Crosby, D. Ablyazina, J. Naranjo, O.

Adamovich, A. Ourabah, D. Tverdokhlebov. «Seismic Acquisition in Western Siberia: a Comparison Between Conventional Cabled Receiver Arrays and Lightweight Autonomous Nodes». First Break, Jan 2022.

9. А.Б. Федоров, П.С. Бекешко, М.А. Копылов, «Возбуждение упругих волн импульсным источником в движении по технологии GLIDE». Приборы и системы разведочной геофизики, №3, 2022.

10. Е.А. Гордич. «Уплотняй или проиграешь!». Тезисы конференции ПроГРРесс 2023

11. Е.В. Мосягин, А.Н. Ошкин. «Примеры современных материалов 2D/3D сейсмических съемок с уплотнением пунктов возбуждения и результаты их обработки». Тезисы конференции ПроГРРесс 2023

12. А.Б. Федоров, М.А. Копылов, П.В. Баландин, П.С. Бекешко, С.В. Тищенко, С.Е. Жуков, Д.Г. Шишов, Я.В. Лаптев, Д.Д. Назыров, В.З. Воцалевский. «Оценка эффективности применения импульсных электромагнитных источников «Абакан» в движении по сравнению с классическими взрывными источниками». Тезисы конференции ПроГРРесс 2023.

Подробнее об авторах



Копылов
Михаил Александрович

Управляющий директор
ТЗСГО «Импульс»,
АО «ГЕОТЕК»



Баландин
Павел Владимирович

Главный специалист,
Сервисный центр,
ТЗСГО «Импульс»,
АО «ГЕОТЕК»



Федоров
Андрей Борисович

Главный геофизик,
АО «ГЕОТЕК»



Жуков
Сергей Евгеньевич

Старший геофизик,
Департамент обработки
данных, ООО «ГЕОПРАЙМ»



Шишов
Дмитрий Геннадьевич

Старший геофизик,
Департамент обработки
данных, ООО «ГЕОПРАЙМ»



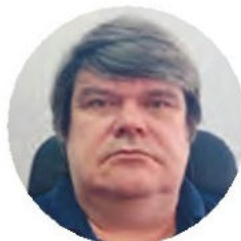
Тищенко
Сергей Валерьевич

Руководитель проектов,
Департамент обработки
данных, ООО «ГЕОПРАЙМ»



Бекешко
Павел Станиславович

Главный геофизик,
Служба главного геофизика,
ООО «ГЕОПРАЙМ»



Лаптев
Ярослав Владимирович

Директор департамента
обработки данных,
ООО «ГЕОПРАЙМ»