

Результаты анализа полевых данных OMP МОГТ-3D, полученных по технологии возбуждения сигнала в движении GLIDE

- Кузнецов Е.С., ООО «ГЕОТЕК-ВГК», ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка»
- Баландин П.В., ООО «Эвенкиягеофизика», ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка»
- Дробинский А.А., ООО «ГЕОТЕК-ВГК», ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка»
- Череповский А.В., НТЦ, ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка»

Показаны перспективы и преимущества применения импульсного источника в движении с малым шагом возбуждения. Несмотря на высокий уровень регулярных и случайных помех на исходных записях, полученных по технологии GLIDE (без традиционного накапливания), гораздо более высокая плотность трасс позволяет получить более достоверные и детальные изображения геологической среды. Выполненные OMP и последующий анализ полученных данных подтвердили высокий методический и экономический потенциал технологии GLIDE, а также практическую готовность ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка» к применению новой высокопроизводительной технологии в производственных условиях на проектах в Западной и Восточной Сибири.

Актуальность применения технологии GLIDE в современных условиях

Сезон полевых сейсморазведочных исследований на территории Восточной Сибири ограничен 4-5 зимними месяцами. В условиях сокращения полевого сезона, вызванного климатическими изменениями [1], выполнение масштабных сейсморазведочных проектов 3D иногда растягивается на 4-5 лет. Методики высокопроизводительной сейсмики позволяют существенно ускорить выполнение таких работ. В полевом сезоне 2019-2020 гг. компанией «ГЕОТЕК Сейсморазведка» были выполнены опытно-методические работы (OMP) на территории Мирнинского участка недр (Республика Саха, Якутия) по технологии возбуждения сигнала импульсным источником в движении GLIDE [3, 4] в контуре производственных работ по стандартной методике. В данной работе выполнено сопоставление методик полевых работ, полученных данных и результатов их предварительной обработки.

OMP были проведены с целью оценки возможности получения кондиционных результатов по технологии возбуждения сейсмических сигналов в движении. Объем работ составил 22,77 км². По стандартной методике было зарегистрировано 1608 ф.н. за 10 дней, в то время как по технологии GLIDE было отработано

но 16833 точек возбуждения за 2,5 дня.

Опытный участок (рис.1) расположен в условиях пологоволнистой равнины с уплощенными водоразделами и относительно неглубоко врезанными долинами рек. Абсолютные высотные отметки в интервале от 305 до 375 м. Залесённость достигает 50%. Высота деревьев от 18 до 25 м.

Возбуждение сигнала осуществлялось спаркой двух импульсных источников СЭМ-100, буксируемых трактором (рис.2). По линиям возбуждения трактор двигался со скоростью 2,5 км/ч, что позволяло поддерживать временной

▼ Рис. 1. Участок OMP на космоснимке.



интервал между воздействиями 7,5 с при шаге ПВ около 5 м. Регистрация велась на все линии приёма, размотанные на участке ОМР. Работы не останавливались при превышении уровня шума 10 мкВ в пределах приемной расстановки, принятого как стандартное пороговое значение при производстве сейсморазведочных работ в данном районе исследования.

Сопоставление методик полевых работ

Характеристики систем наблюдения приведены в Табл. 1. Трассы вне стандартной расстановки были исключены из расчетов. Как мы видим, кратность наблюдений в бине 25 x 25 м отличается в 10 раз. Количество трасс, зарегистрированных по технологии GLIDE, было бы сопоставимо с работами по стандартной методике в том случае, если бы при стандартных работах велась запись каждого отдельного накопления (без

▼ Табл. 1.

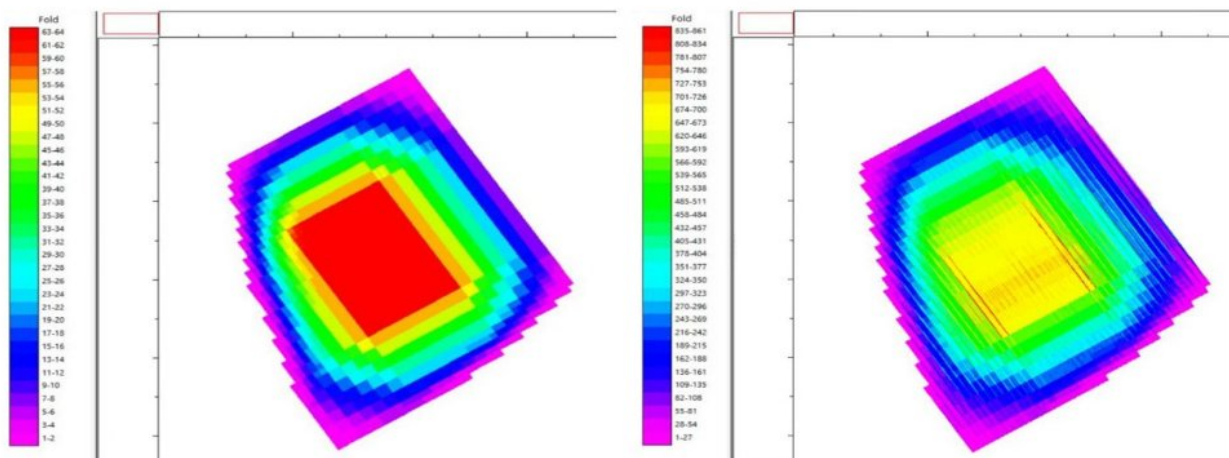
1	Методика работ	Стандартная	GLIDE
	Система наблюдения	центральная, симметричная, типа «крест»	центральная, симметричная, типа «крест»
	Кратность наблюдений номинальная	64	~640
	Расстояние между линиями приема, м	300	300
	Расстояние между линиями возбуждения, м	300	300
	Расстояние между ПП, м	50	50
	Расстояние между ПВ на линии возбуждения, м	50	~5
	Количество регистрируемых активных каналов	1536 (16 x 96)	1536 (16 x 96)
	Минимальное удаление ПВ-ПП, м	34	19
	Максимальное удаление ПВ-ПП, м	3360	3344
	Плотность ПВ на 1 кв. км	70.8	742.2
	Плотность трасс на 1 кв. км	102 400	1 024 000
	Бин, м	25 x 25	25 x 25
2	Параметры регистрации		
	Шаг квантования, мс	2	2
	Длина записи, с	4	4
3	Источники сейсмических колебаний	Енисей СЭМ-100	Енисей СЭМ-100
	Количество источников в группе	4	2
	Количество накоплений	8	1
4	Приёмники сейсмических колебаний	GS-20DX	GS-20DX
	Количество сейсмоприемников в группе	6	6
	База группирования	точечная	точечная



▲ Рис. 2. Спарка источников СЭМ-100 при динамическом возбуждении.

суммирования). Достигнутая плотность трасс на 1 кв. км, как и размер бина, не позволяют отнести данные к высокоплотным в общепринятом смысле [2].

Кратность ОГТ (рис.3) в зоне полной кратности съёмки по технологии GLIDE неравномерна: местами выше номинальной и изменяется в пределах 15%, что связано с некоторой нерегулярностью в размещении ПВ, обусловленной возбуждением импульсного источника в непрерывном движении.



▲ Рис. 3. Сопоставление схем распределения фактической кратности ОГТ (слева – стандартная методика, шкала до 64; справа – GLIDE, шкала до 860).

Анализ качества полевого материала

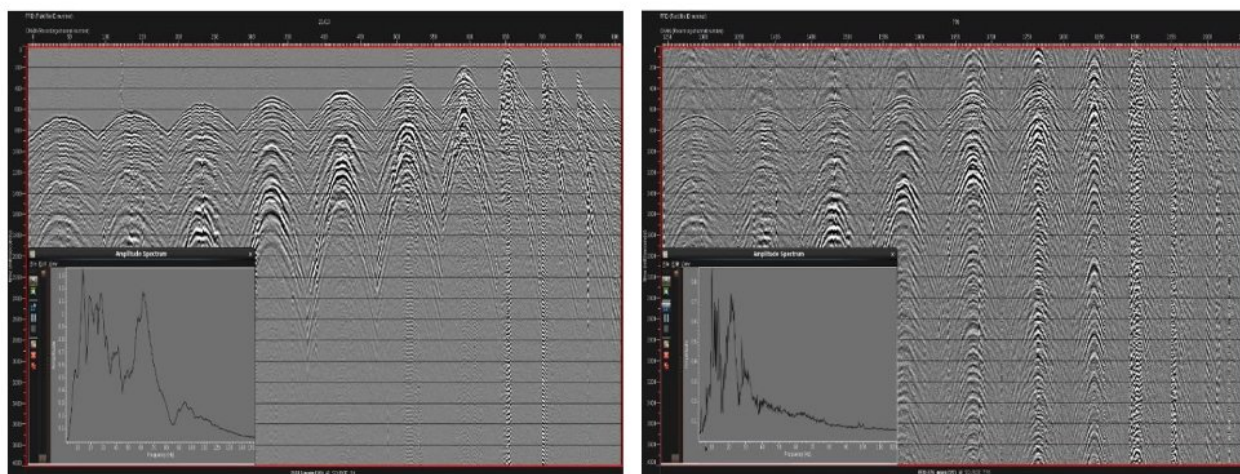
На рис. 4 представлены примеры полевых сейсмограмм. Основная энергия сейсмической записи сконцентрирована в диапазонах частот 10-80 Гц (стандартная методика) и 10-40 Гц (GLIDE). Исходные данные по технологии GLIDE закономерно отличаются высоким уровнем микросейсм, и волновая картина осложнена интенсивными поверхностными низко- и среднескоростными волнами-помехами. Отраженные волны, как и преломленные, прослеживаются увереннее на стандартных данных.

Медианные оценки атрибутов приведены нами в Табл. 2. Для корректного сопоставления качества исходных данных, сейсмограммы GLIDE были дополнительно просуммированы на базе 50 м (10 сейсмограмм). Отметим, что даже

суммированные данные GLIDE имеют уровень сигнала в 3 раза ниже, чем стандартные данные. Кроме того, суммированные данные GLIDE характеризуются более высоким уровнем шума (частоты в окне сигнала выше). Снижение уровня амплитуд на сейсмограммах GLIDE связано с уменьшением числа источников в группе от 4 до 2 при выполнении описываемых OMP.

Предварительная (полевая) обработка материалов

Граф эспресс-обработки был ориентирован на сохранение истинного соотношения амплитуд и улучшение прослеживаемости отраженных волн. Параметры процедур были взяты идентичными для обеих методик полевых работ.



▲ Рис. 4. Пример полевых сейсмограмм (слева – стандартная методика; справа – GLIDE).

▼ Табл. 2.

Атрибут	Стандарт	GLIDE	GLIDE ($\Sigma 10$)
Соотношение сигнал-микросейсмы	18	1.9	4
Амплитуда в окне сигнала	67	32	21
Амплитуда в окне микросейсм	3	15	5.5
Доминантная частота в окне сигнала	30	53	40

Загрузка данных и присвоение геометрии

Поскольку по технологии GLIDE сейсмостанция вела запись в непрерывном режиме «microseismic», данные были записаны со смещением нуля, что обусловлено технической реализацией такого режима в регистрирующих системах Sercel 428XL. Коррекция осуществлялась применением процедуры, приводящей средний уровень амплитуд трассы к нулю. При загрузке данных GLIDE выполнялась выборка пределов активной расстановки, соответствующих обрабатываемому ПВ, то есть исключались избыточные каналы, записанные в связи с регистрацией на все доступные на участке ОМР линии приёма. В остальном ввод данных по двум методикам был одинаков.

Учет влияния верхней части разреза

Сопоставление карт статических поправок по первым вступлениям преломленных волн приведено на рис.5. Пикирование отбивок осуществлялось в автоматическом режиме. Карта, построенная по данным GLIDE, отличается гораздо большей детальностью.

Сигнальная обработка

Компенсация амплитуд за геометрическое расхождение волнового фронта выполнялась с применением усредненного скоростного закона. Широкополосная полосовая фильтрация выполнялась в диапазоне 5-10-100-120 Гц, затем проводилась редакция амплитудных выбросов (отскоков). Линейные низко- и среднескоростные волны-помехи подавлялись с помощью FK-фильтрации в диапазоне скоростей 500-3500 м/с.

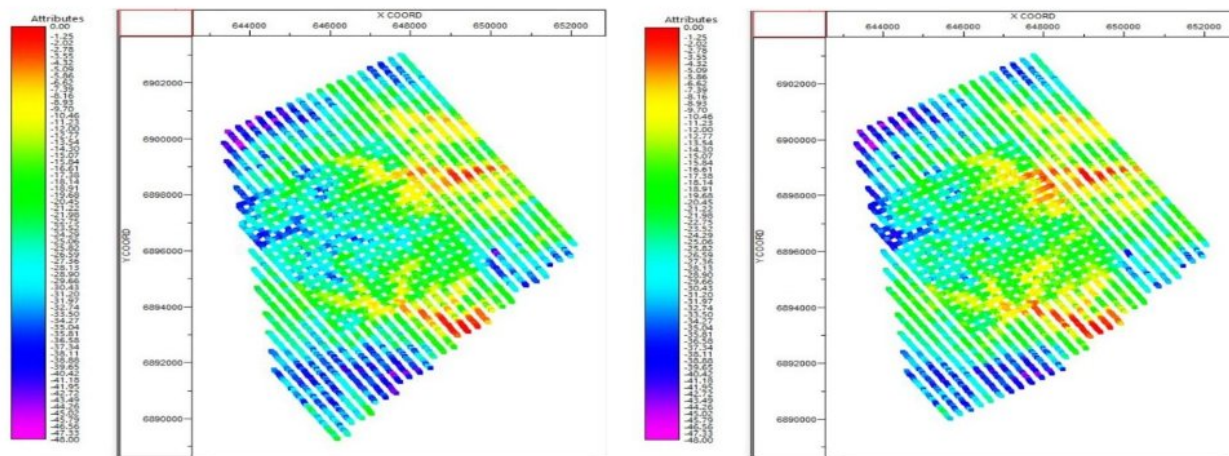
Коррекция амплитуд за неидентичность условий возбуждения и приёма производилась по поверхностно-

согласованной методике. Расчёт коэффициентов при этом выполнялся для 2-х факторной модели: ПВ, ПП. Задача повышения временной разрешенности волновой картины решалась с применением поверхностно-согласованной предсказывающей деконволюции. Длина оператора была выбрана равной 120 мс, шаг предсказания 2 мс, уровень белого шума 0,1 %. В разложении использовались все компоненты (ПВ, ПП, ОУ, ОГТ), но применялись только компоненты источника и приемника.

Кинематическая обработка

Были произведены две итерации скоростного анализа: первая с параметрами сетки 1,2 км x 1,2 км; вторая – 0,6 км x 0,6 км. Затем выполнялись коррекции статических поправок с максимальной величиной поправки 25 мс (1-я итерация) и 15 мс (2-я итерация). Для подавления кратных волн-помех и ослабления случайного шума выполнялась FK-фильтрация по сейсмограммам с введенной кинематикой. На заключительной стадии предварительной обработки до суммирования была выполнена коррекция остаточных фазовых сдвигов с максимальной величиной поправки 4 мс.

Сопоставление результатов предварительной обработки представлено на рис. 6 и рис. 7. Прослеживаемость горизонтов во всём временном интервале лучше по данным GLIDE. Разрез по стандартным данным характеризуется более высоким уровнем шума, особенно заметна разница на временах регистрации 100-500 мс. Видимые частоты во временном интервале 300-420 мс на 10-15 Гц выше в случае стандартной методики, ниже 420 мс различий в частотах практически нет. Потеря высоких частот в случае технологии GLIDE, вероятно,



▲ Рис. 5. Сопоставление карт статических поправок, полученных в ходе предварительной (полевой) обработки (слева – стандартная методика, справа – GLIDE).

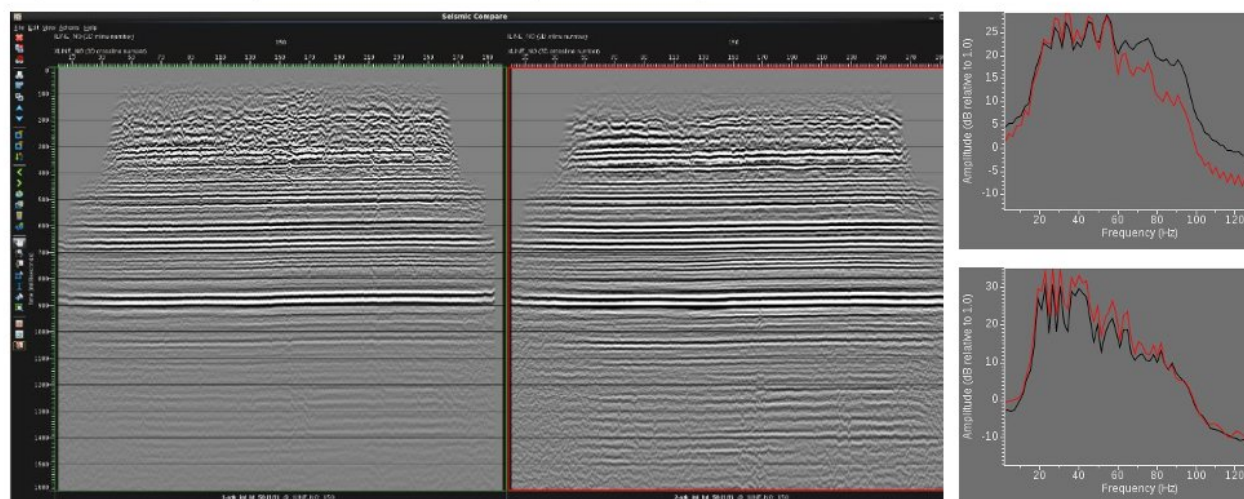
связана с недостаточной точностью определения координат ПВ: ошибка определения координат при стандартной методике < 2 м, ошибка определения координат по методике GLIDE < 1 м. Для общей оценки погрешности позиционирования источника можно рассчитать суммарную (накопленную) возможную ошибку для всех трасс полнократной выборки ОСТ. С учётом номинальной кратности 64 (стандартная методика) и 640 (GLIDE) суммарная возможная ошибка координат для полнократного бина составит: 128 м и 640 м соответственно.

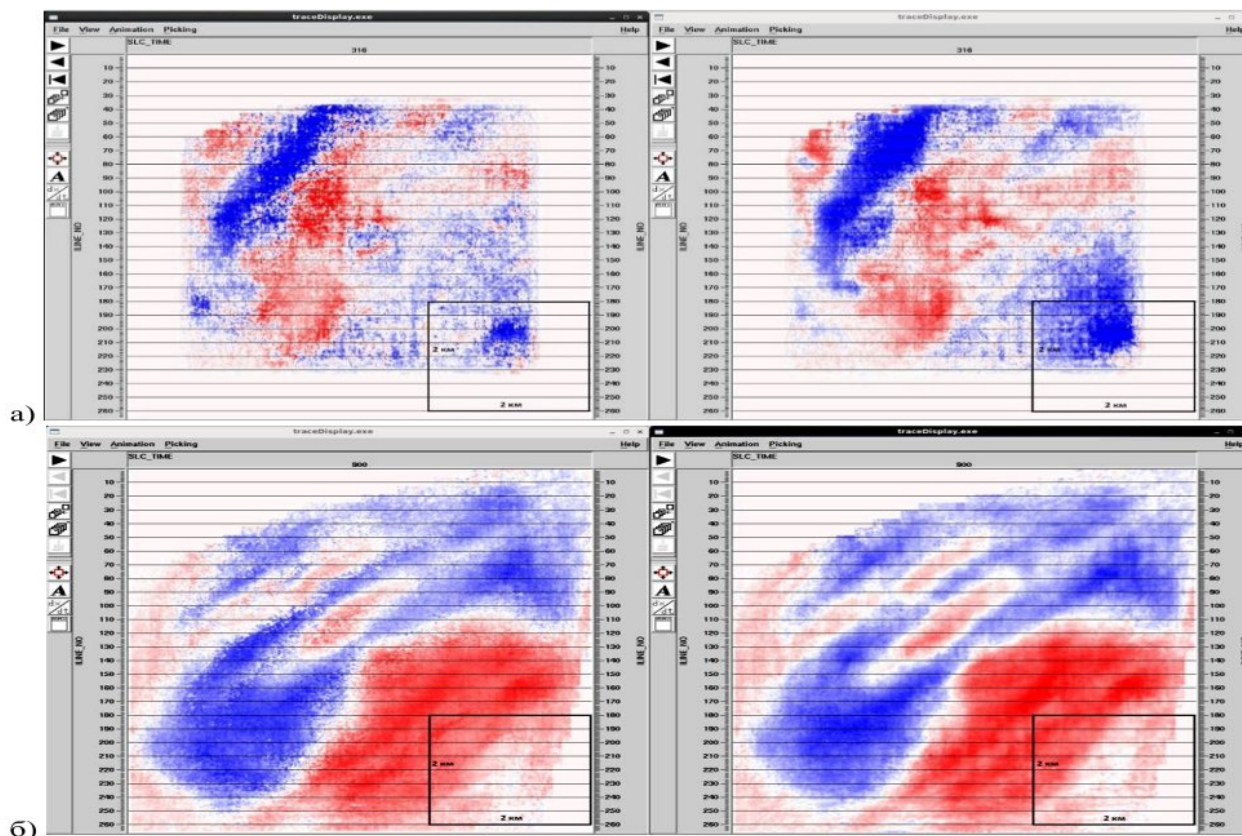
Сопоставление временных срезов показывает: по данным GLIDE картина отчетливее, разрешённое, уровень шума ниже (рис. 7).

Анализ статистических атрибутов, произведенный по исходным полевым данным, предвещал лучшее соотношение сигнал/шум на конечной сумме, полученной по стандартным данным. Медианное значение амплитуды в окне оценки сигнал/шум по площади: 67/3 (стандартная методика), 32/15 (GLIDE), 21/5.5 (GLIDE, сейсмограммы просуммированы на базе 50 м). В результате суммирования по ОГТ случайный шум снизится обратно пропорционально значению кратности ОСТ в степени $1/2$, соответственно, соотношение сигнал/шум на конечном разрезе, полученном в ходе экспресс-обработки, составит 178 для стандартной методики и 53 для GLIDE.

Очевидно, что стандартный подход к

▼ Рис. 6. Сопоставление априорных временных разрезов, inline 150 (слева – стандартная методика, справа – GLIDE).





▲ Рис. 7. Сопоставление временных срезов результирующего куба, полученного по завершению предварительной (полевой) обработки: а) на ~300 мс; б) на ~900 мс (слева – стандартная методика, справа – GLIDE).

оценке качества несовершенен: амплитуда в окне сигнала не всегда связана с отражениями, амплитуда в окне сигнала не может быть меньше амплитуды в окне шума, в результате обработки уровень случайного шума снижается. Данный подход к оценке качества малоприменим в случае высокопроизводительных методик ввиду того, что они характеризуются высоким уровнем микросейсм. Цифровое группирование ПВ (суммирование) в поле, без применения корректирующих поправок, также малоэффективно для решения этой задачи. В таких случаях первостепенное внимание должно уделяться контролю основных технических параметров возбуждения и регистрации, таких как: позиционирование источника, надлежащее его функционирование, соответствие расстановки порогам тестовых характеристик.

Возможным путём для объективного количественного контроля качества данных GLIDE с использованием тради-

ционного подхода может послужить техника скользящего цифрового накопления первичных сейсмограмм с учётом сдвигов, рассчитанных по ФВК выбранной группы трасс [5]. В этом случае выборки общего пункта возбуждения суммируются на определённой подвижной (скользящей) базе, определяемой шагом пунктов приёма (чаще всего это 50 м), и проектными параметрами сетки бинирования. Атрибутный анализ (в первую очередь, по соотношению сигнал/шум) выполняется в таком случае по результату накопления и уже может рассматриваться как близкий по своей сути к стандартной оценке, общепринятой в российской наземной сейсморазведке. В комплекс процедур количественной оценки качества получаемых данных также желательно включить предварительную обработку с последующим анализом значений ключевых атрибутов (сигнал/помеха, видимая и пиковая частоты, ширина спектра и др.),

получаемых по целевым интервалам предварительных суммарных разрезов.

Скользящее цифровое накапливание по предложенной схеме [5] также может быть полезным для целей прослеживания первых вступлений в случае низкого качества исходных сейсмограмм ОПВ. В этом случае накапливание позволит улучшить прослеживание годографа преломлённой (головной) волны, его аномалий и сделает определение отбивок первых вступлений более достоверным, в том числе в автоматическом режиме, что положительно скажется на точности расчёта статических поправок [6].

Дополнительным преимуществом данных GLIDE является возможность применения методик оптимизации суммирования по ОСТ на конечных стадиях обработки (в т. ч., после применения престаек-миграции). Эффективность соответствующих процедур может существенно возрасти в условиях высокой кратности ОСТ (от 600 и выше). Наличие положительного опыта применения подобных алгоритмов, основанных на определении весов суммируемых отсчётов путём взаимной корреляции трасс с предварительно получаемым набором эталонов, на стандартных данных МОГТ [7] позволяет рассчитывать на по крайней мере не худший результат для данных GLIDE. Описанные в [7] эксперименты показали способность оптимизированного суммирования выявлять новые, подавленные на стандартной сумме, отражения. В случае данных GLIDE применение схожих методик может обеспечить получение результирующей волновой картины, качественно превосходящей стандартную методику в части прослеживания отражающих горизонтов или их фрагментов, становящихся практически неразличимыми при традиционном суммировании из-за влияния сложных сейсмогеологических условий.

Выводы и рекомендации

Повышение производительности полевых работ по новой технологии, позволившее сократить продолжительность ОМР более чем в 3 раза, подтвердило на практике перспективность технологии GLIDE в части повышения рентабельности и снижения рисков невыполнения проектов в сложных поверхностных условиях.

Несмотря на зашумленность исходных данных, связанную с отсутствием накапливания, применяемого при стандартных методиках полевых работ с невзрывными источниками, данные GLIDE демонстрируют лучшую прослеживаемость сейсмических горизонтов практически во всём интервале записи. Некоторое снижение частот на временах до 500 мс в случае данных GLIDE, скорее всего, связано с ограниченной точностью позиционирования источника (1 м), которую рекомендуется повысить не менее, чем в 5 раз по сравнению со стандартной точностью (2 м).

Обработка данных GLIDE определённо потребует больших вычислительных мощностей из-за существенно большего объёма первичных данных. Работа с данными новой технологии должна включать новые методические решения, в качестве которых можно рекомендовать скользящее цифровое накапливание ПВ с учётом сдвигов, рассчитанных по ФВК, а также применение алгоритмов оптимизации суммирования ОСТ.

Оценка качества данных GLIDE путём стандартного анализа атрибутов сейсмической записи представляется нецелесообразной. Рекомендуется сосредоточить основное внимание на контроле ключевых технических параметров возбуждения и регистрации, а оценку полученного материала проводить по суммарным данным или же (в качестве компромисса на время адаптации к новому подходу) путём расчёта атрибутов по сейсмограммам, полученным по методике скользящего цифрового накапливания ПВ.

Проведение ОМР и последующий анализ полученных данных подтвердили высокий методический и экономический потенциал технологии GLIDE, а также практическую готовность ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка» к её применению в реальных производственных условиях на объектах предстоящих сезонов.

Благодарности

Коллектив авторов благодарит компанию ООО «ИНК» за разрешение на публикацию результатов анализа данных ОМР по технологии GLIDE, полученных ООО «ГЕОТЕК-ВГК» на Мирнинском УН в сезоне 2019-2020 гг.

Литература:

1. Толкачев В.М., Климатическое оружие природы: Приборы и системы разведочной геофизики, 2(63)/2020, С.6-10.
2. Череповский А.В., Наземная сейсморазведка нового технологического уровня. Издание второе, дополненное. – Москва, ЕАГЕ Геомодель, 2017, 252 с.
3. Бердюгин И.Н., Баландин П.В., Детков В.А., Копылов М.А., Технология невзрывной динамической импульсной сейсморазведки высокого пространственного разрешения. – Материалы III-й Международной геолого-геофизической конференции и выставка «ГеоЕвразия-2020. Современные технологии изучения и освоения недр Евразии», Москва, 3-7 февраля 2020 г.
4. Детков В.А., Баландин П.В., Копылов М.А., Технология возбуждения упругих колебаний в движении GLIDE. – «Приборы и системы разведочной геофизики», Саратов, №2(63)/2020, С.32-40.
5. Фёдоров А.Б., Череповский А.В., Скользящее цифровое накопление при импульсном возбуждении упругих волн в движении по технологии GLIDE. – «Приборы и системы разведочной геофизики», Саратов, №4(67)/2020, С.11-18.
6. Козырев В. С. Учёт неоднородностей верхней части разреза в сейсморазведке. Современные технологии / В. С. Козырев, А. П. Жуков, И. П. Коротков, А. А. Жуков, М. Б. Шнеерсон. – Москва, ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003, 227 с.

7. Sanchis C., Hanssen A. Enhanced local correlation stacking method. – Geophysics, Volume 76, No. 3, Issue 1, 2011, P. V33-V45.

Подробнее об авторах



**Кузнецов
Егор Сергеевич**

Окончил Казанский федеральный университет (КФУ). Ведущий специалист ООО «ГЕОТЕК-ВГК».



**Баландин
Павел Владимирович**

Главный геофизик ООО «Эвенкиягеофизика». Автор и соавтор 5 научных публикаций.



**Дробинский
Александр Алексеевич**

Главный геофизик ООО «ГЕОТЕК-ВГК». Автор и соавтор 4 научных публикаций. Аспирант кафедры «Геология нефти и газа» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет».



**Череповский
Анатолий Викторович**
Главный специалист НТЦ компании «ГЕОТЕК Сейсморазведка», к. т. н. Автор и соавтор 36 научных публикаций и докладов, двух монографий по наземной сейсморазведке и англо-русского/русско-английского словаря по прикладной геофизике. Лектор Европейской ассоциации геочеловеческих и инженеров (EAGE).