

Технология возбуждения упругих колебаний в движении GLIDE

■ Детков В.А., НТЦ «ГЕОТЕК-Сейсморазведка»

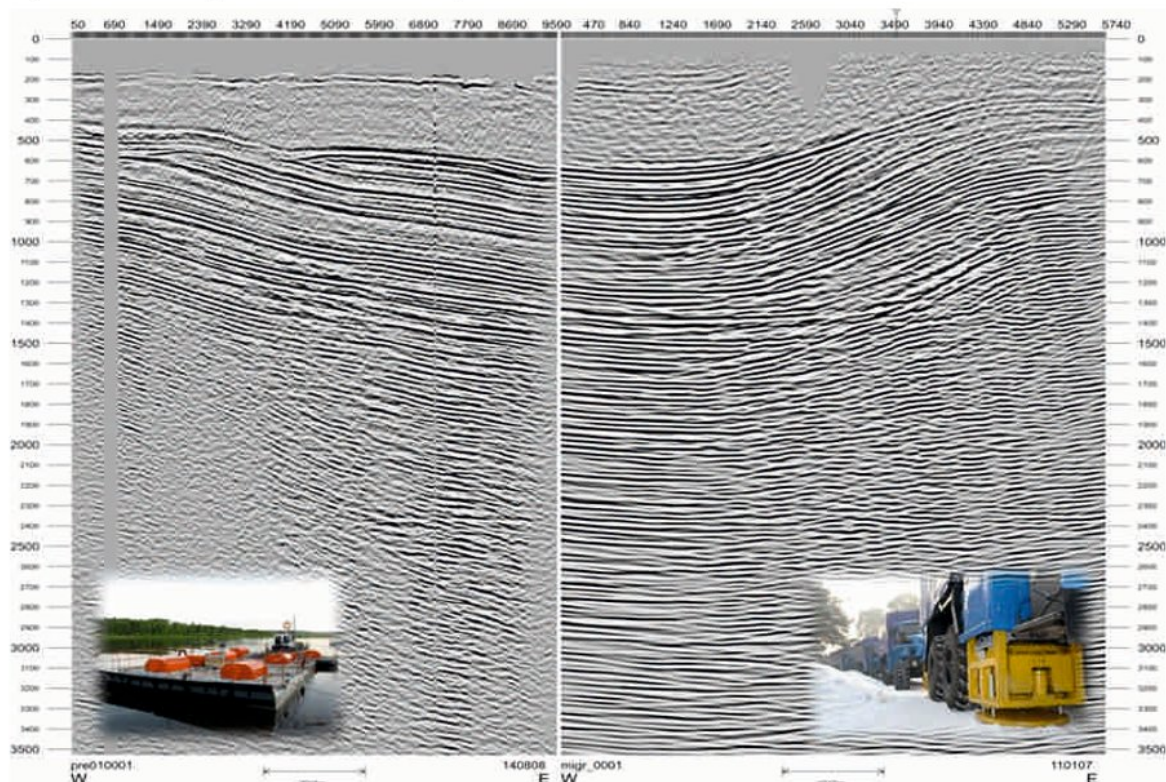
■ Баландин П.В., Копылов М.А., ООО «Эвенкиягеофизика», г. Красноярск

Предпосылки создания технологии и описание эксперимента

Высокоплотные системы наблюдений предполагают увеличение количества пунктов приёма (ПП) и пунктов возбуждения (ПВ) в десятки раз, что приводит к необходимости применения способов установки ПП и отстрелу ПВ, обеспечивающих минимизацию времени проведения данных технологических операций. Если для ПП эта задача частично решена – применение нодальных (бескабельных) систем сбора данных, – то для ПВ вопрос остается открытым. В статье изложены результаты опробования технологии непрерывного возбуждения сейсмического сигнала с применением импульсных источников «Енисей-СЭМ-100», позволяющих значительно увели-

чить плотность ПВ и производительность работ по сравнению со стандартной технологией.

Предпосылкой к проверке возможности использования технологии возбуждения в движении (технология получила название Glide) послужил опыт проведения сейсморазведки на акваториях с применением источников «Енисей-ВЭМ-50», «Енисей-ВЭМ-100». Исследования, проведенные на реках Бирюса, Чуна, Ангара, показали, что даже при очень низком соотношении сигнал/помеха на первичных данных получению качественных и информативных временных разрезов способствует высокая кратность, лежащая в диапазоне от 300 до 3000 (рис. 1.).



▲ Рис. 1. Результаты работ на реке Ангара. Слева – «Енисей-ВЭМ-50». Справа – «Енисей-КЭМ-4»

Начиная с 2015 года предприятием ООО «Эвенкиягеофизика» было проведено несколько экспериментов, целью которых было подтверждение возможности применения движущегося источника на суше. Значимый эксперимент был проведен в сезоне 2017-2018 г. на Юго-Восточном склоне Камовского свода.

Целью опытно-методических работ являлась отработка элементов производственной технологии возбуждения в движении с использованием спарки двух «Енисей-СЭМ-100», обеспечивающих силу воздействия в 200 Тонн-сил.

К основным проверяемым показателям относились:

- получение данных с качеством, позволяющим решать поставленные геологические задачи поискового этапа;
- оценка технологичности непрерыв-

ного возбуждения, включая хронометраж рабочего времени;

- опробование и усовершенствование координатной привязки источников при возбуждении по технологии Glide в условиях сильной залесённости, гористой местности и неблагоприятных погодных условиях.

Работы проводились в два этапа:

1. Работы по стандартной технологии.
2. Работы по технологии Glide.

Следует отметить, что работы по стандартной технологии проводились при хороших погодных условиях при низком уровне микросейсм. Работы по технологии Glide проводились при уровне микросейсм в 10 раз превышающих уровень при проведении стандартных работ. Характеристики технологий приведены в таблице 1.

▼ Табл. 1. Характеристики технологий.

Показатели	Стандартная технология	Технология Glide
Параметры регистрации:		
Система наблюдения	MOB ОГТ 2D	MOB ОГТ 2D
- аппаратура	Sercel 428 XL	Sercel 428 XL
- разрядность АЦП	24	24
- расстояние между ПВ, м	50	7.3
- расстояние между ПП, м	50	50
- номинальная кратность наблюдений	80	460
- количество активных каналов, шт.	161	161
- min удаление ПВ-ПП приема, м	0	0
- max. удаления ПВ в регулярной сети, м	4000	4000
- база приема	8000 м	8000 м
- тип сейсмоприемников	GS -20DX	GS -20DX
- группирование сейсмоприемников, база группирования	6 шт. в точку	6 шт. в точку
- способ группирования сейсмоприемников	последовательное	последовательное
- шаг квантования, мс	2	2
- длина записи, с	6	6
- ФВЧ, Гц	Выкл.	Выкл.
- ФНЧ, Гц	$\frac{3}{4}$ (0,8) F Nyquist , минимально-фазовый	$\frac{3}{4}$ (0,8) F Nyquist , минимально-фазовый
- формат записи	SEG-D	SEG-D
Возбуждение колебаний	«Енисей СЭМ -100»	«Енисей СЭМ -100»
- количество импульсных источников в группе	4-5 шт.	2 шт.
- количество накоплений на ПВ	8-12	1
- база группирования источников	40м	12 м
- уровень шума, мкВ	< 10	не ограничен

Возбуждение по технологии Glide осуществлялось спаркой двух источников СЭМ-100, буксируемых трактором Т-10М (рис. 2.). Трактор двигался со скоростью 0.675 м/с (2.5 км/ч). Интервал между воздействиями составлял 10 сек, шаг ПВ в среднем составлял 7.3 м. Объём работ по технологии Glide составил 10 км, 1390 ф.н, по стандартной технологии 12 км, 256 ф.н.

Определение местоположения источников в момент удара осуществлялось приёмником Trimble R7 с установленной на крышу трактора антенной (рис. 3.). Работы проводились на участке с плотной залесённостью, при высоте деревьев 25 метров и выше. Это обстоятельство затрудняло получение точных координат точки удара при динамическом режиме, что не лучшим образом сказалось на качестве полученного материала.



▲ Рис. 2. Спарка источников «Енисей-СЭМ-100», технология Glide.

Время отработки профиля по технологии Glide составило 4 часа, по стандартной технологии 17 часов (таблица 2)

▼ Табл. 2. Хронометраж работ.

Параметр	ТЕХНОЛОГИЯ	
	СТАНДАРТНАЯ	GLIDE
Длина участка, м	12 000	10 000
Время отработки, час	17	4
Физ. наблюдений, шт	256	1390
Количество накоплений	8-12	1



▲ Рис. 3. Приёмная антенна на тракторе.

Как видно из таблицы, производительность ГРР, проводимых по технологии Glide, в 3.5 раза выше, чем при проведении работ по стандартной технологии. Время отработки не включает в себя простой по ветровой помехе (только для стандартной технологии), наладки линии и т.д.

Качество полевых данных

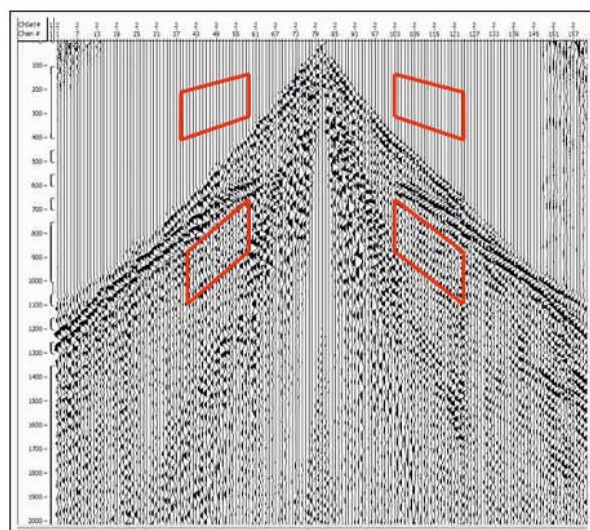
Оценка качества полевых данных производилась в программе ProMax. Конфигурация окон расчёта приведена таблице 3 (рис. 4.).

Оценивались следующие атрибуты:

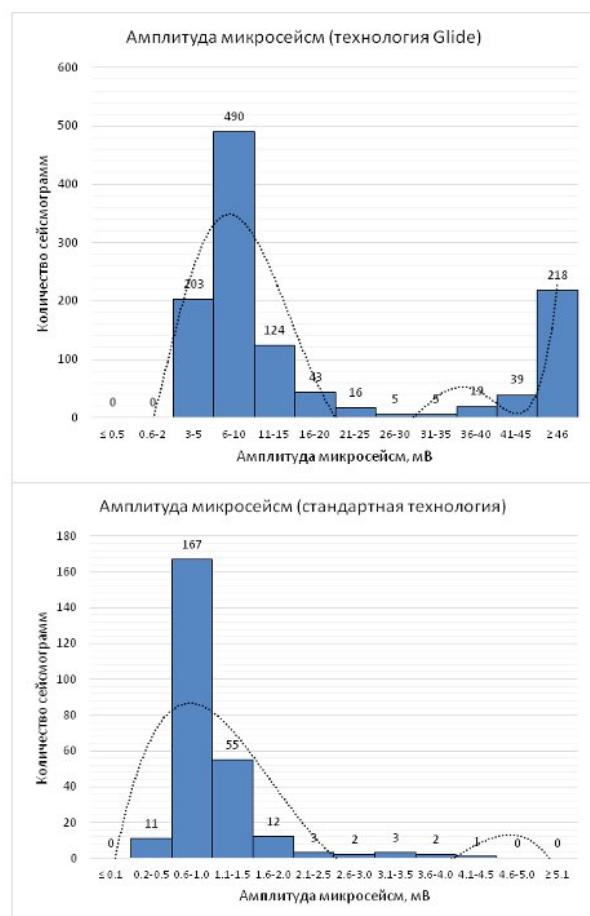
- амплитуда сигнала (As);
- амплитуда микросейсм (An);
- соотношение сигнал/помеха (S/N).

▼ Табл. 3. Конфигурация окон расчёта.

Окно расчёта	Вынос, м	tнач, мс	tкон, мс
Сигнала	1000	700	900
	2000	900	1100
Помехи	1000	110	300
	2000	200	400

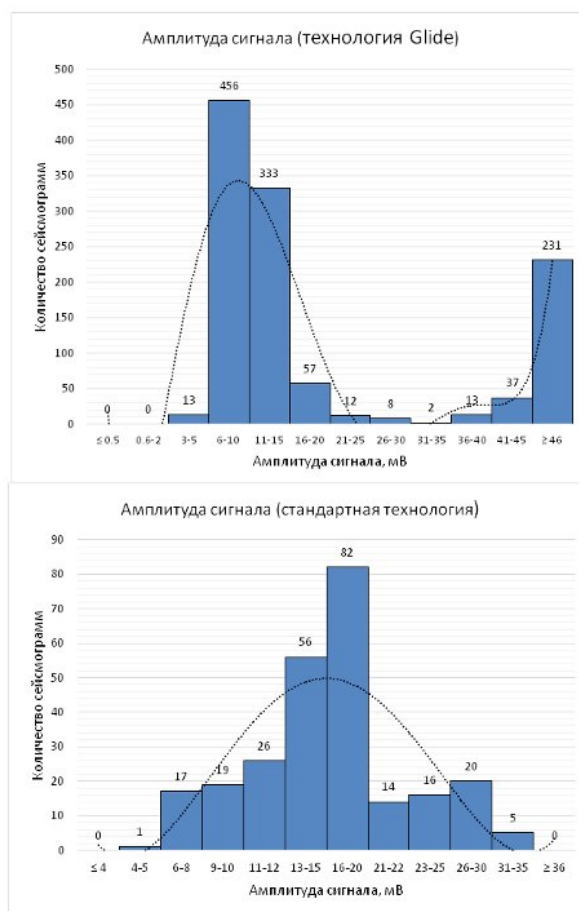


▲ Рис. 4. Конфигурация окон расчёта.



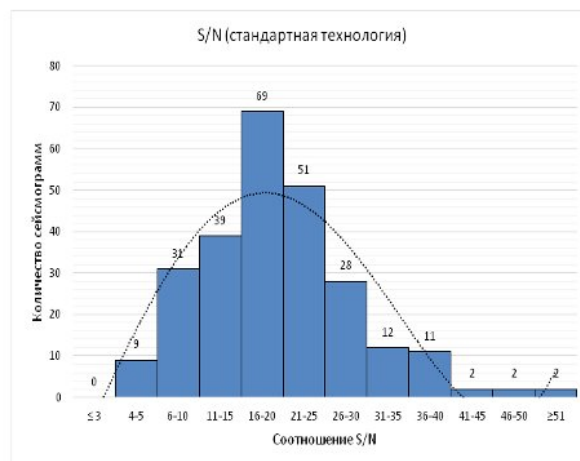
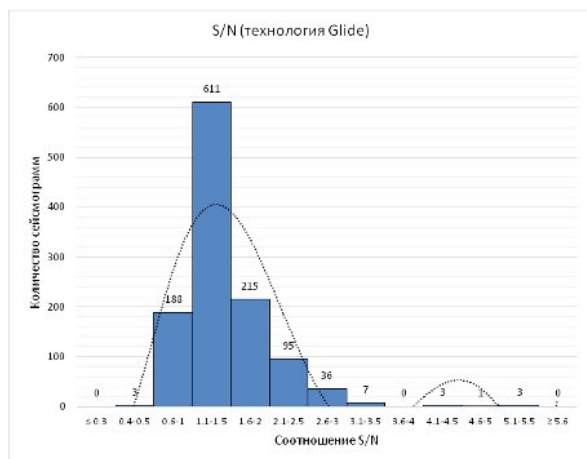
▲ Рис. 5. Амплитуда микросейсм.

Работы по технологии Glide проводились при повышенном уровне микросейсм, о чём свидетельствуют гистограммы. Большая часть сейсмограмм по технологии Glide получена с уровнем 6-10 мВ. Данные по стандартной технологии получены с уровнем микросейсм 0.6-1 мВ.



▲ Рис. 6. Амплитуда сигнала.

Амплитуды сигнала также различны. Большая часть сейсмограмм по технологии Glide получена с уровнем сигнала 6-15 мВ. Данные по стандартной технологии получены с уровнем сигнала 11-22 мВ.



▲ Рис. 7. Соотношение сигнал/помеха.

Большинство сейсмограмм, полученных по технологии Glide, имеют соотношение сигнал/помеха 1.1-1.5. Сейсмограммы, полученные по стандартной технологии, – 11-30.

▼ Табл. 4. Статистические показатели атрибутов записи.

Атрибут	Статистические показатели					
	Стандартная технология			Технология Glide		
	Среднее	Дисперсия	Станд. отклонение	Среднее	Дисперсия	Станд. отклонение
As, мВ	16.1	34.1	5.8	10.3	10.3	3.2
An, мВ	1.0	0.3	0.6	7.6	14.8	3.9
S/N	19.3	82.8	9.1	1.4	0.3	0.53
As norm, мВ	3.8	2.1	1.4	1.3	0.13	0.37

При расчёте статистических показателей (технология Glide) не учитывались сейсмограммы с уровнем сигнала и микросейсм выше 36 мкВ (рис. 5, 6), т.к. в окна расчёта атрибутов попадала интенсивная помеха, вызванная работой тракторов, не задействованных в ходе эксперимента.

Для более точной оценки уровня полезного сигнала данный атрибут был нормирован по количеству задействованных источников и уровню микросейсм. Для стандартной технологии – 4-5 источников, Glide – 2. Нормировка производилась по следующей формуле:

$$As_{norm} = \frac{As - An}{ns}$$

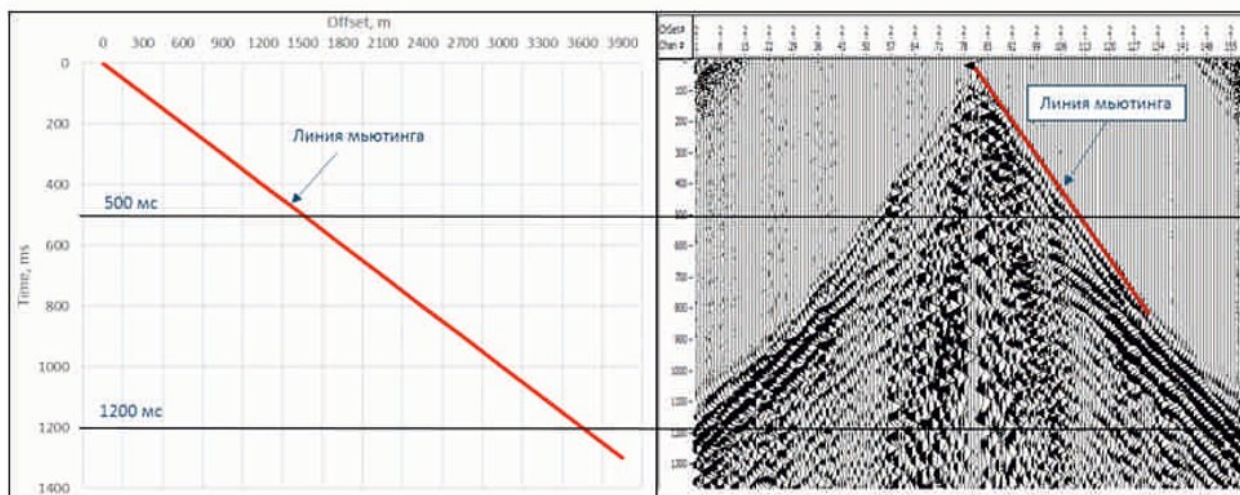
где As_{norm} – нормированная амплитуда сигнала, мкВ;

As и An – рассчитанные в окнах значения амплитуды сигнала и микросейсм, мкВ;

ns – количество источников в группе, шт.

Как видно из таблицы 4 и рис. 5, 6, 7, данные, полученные по технологии Glide, более однородные т.к. имеют меньший разброс амплитуд сигнала по сравнению со стандартными данными за исключением амплитуды микросейсм, т.к. работы по стандартной технологии проводились в благоприятных погодных условиях.

Кратность была рассчитана в програм-

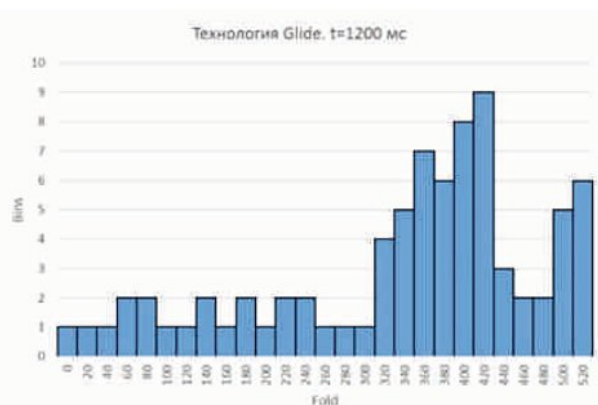
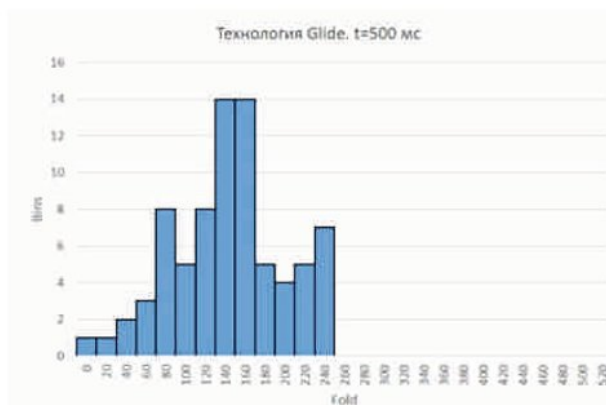


▲ Рис. 8. Линия мьютинга для расчёта кратности.

ме Mesa. На площади работ основные сейсмогеологические комплексы расположены в интервале времен от 500 мс (кровля чехла) до 1200 мс (кровля фундамента). Поэтому при расчёте кратности была использована скорость преломленной волны для моделирования линии

мьютинга (рис. 8.).

Как видно из (рис. 9, 10), кратность технологии Glide на времени 500 мс равна 155, на времени 1200 мс равна 365. Кратность при стандартной технологии на времени 500 мс равна 30, на времени 1200 мс равна 75.



▲ Рис. 9. Кратность. Технология Glide. Слева для $t=500$ мс; Справа $t=1200$ мс.

▼ Рис. 10. Кратность. Стандартная технология. Слева для $t=500$ мс; Справа $t=1200$ мс.



Работы по технологии Glide проводились при ветровой помехе (6-10 мВ) в десять раз превышающей уровень микросейсм при стандартной технологии (0.6-1.0 мВ). Кроме того, при производстве возбуждения по технологии Glide на профиле находилась группа возбуждения, создававшая интенсивную помеху от работы тракторов. Данная группа не задействовалась в эксперименте.

Данные, полученные по технологии Glide, обладают меньшим рассеянием амплитуды полезного сигнала (см. таблица 4). Это обусловлено применением постоянного количества источников в группе равного двум, а также отсутствием накоплений. В то время как при стандартной технологии количество источников и накоплений менялось. Изначально малая по величине амплитуда полезного сигнала при обработке будет компенсироваться более высокой кратностью.

Номинальная кратность составляла: стандарт – 80, Glide – 460. Кратность наблюдений при технологии Glide значительно превосходит кратность по стандартной как на малых, так и на больших временах (глубине исследования). Кратность при стандартной технологии на времени 500 мс равна всего 30, Glide - 155; на времени 1200 мс стандартная - 75, Glide - 365 за счёт высокой плотности ПВ. За счёт высокой кратности на малых временах неглубокие горизонты будут лучше выделяться при технологии Glide. Также высокая плотность ПВ даёт преимущество для создания более детальной модели ВЧР, что необходимо для точного расчёта статических поправок.

Обработка данных

В обработке использовались данные со следующими параметрами системы наблюдения:

1. Стандартная технология: шаг ПВ/ПП=50 м, шаг ОГТ 25 м, кратность 80, максимальное удаление 4000.

2. Технология Glide: Шаг ПВ ≈ 7.3 м, Шаг ПП = 50м, бинирование на шаг ОГТ 10м, кратность ≈ 460 , максимальное удаление ограничено до 4000 м.

Первичный материал технологии Glide имеет существенно более высокий уровень шумов за счет отсутствия группирования источников, это видно по сейсмограммам с нормировкой по амплитудам (рис. 11.).

Учитывая различное качество исходных материалов, оптимальный граф обработки может существенно различаться для данных стандартной технологии и технологии Glide. Прежде всего, это касается процедур деконволюции и фильтрации помех.

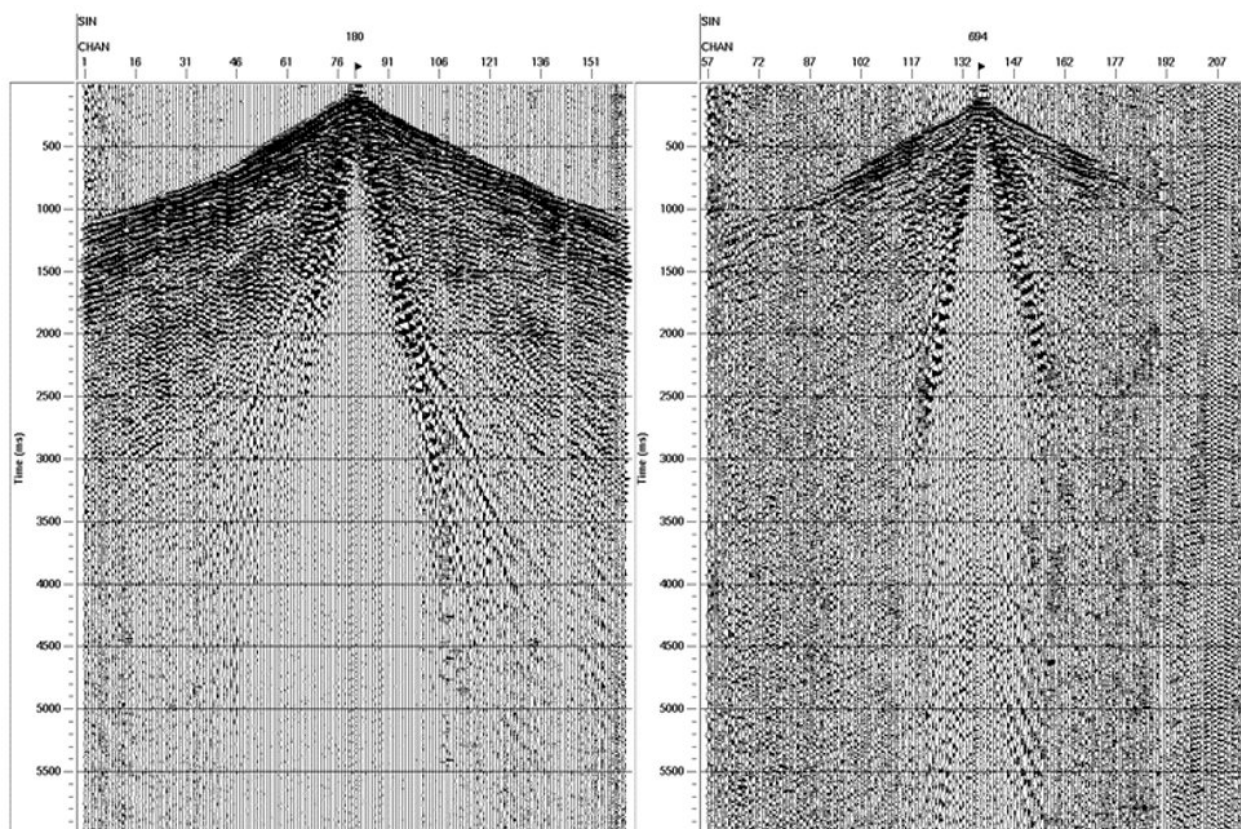
Для каждого набора данных был подобран свой граф обработки, включающий в себя следующие процедуры:

1. Поверхностно-согласованная деконволюция с оптимальными параметрами.
2. Подавление высокоамплитудных помех по сейсмограммам ОПВ.
3. Подавление случайных помех по сейсмограммам ОСТ.
4. Подавление волн помех с линейной кинематикой.
5. Несколько итеративных коррекций высокочастотных статических и кинематических поправок.
6. Суммирование.

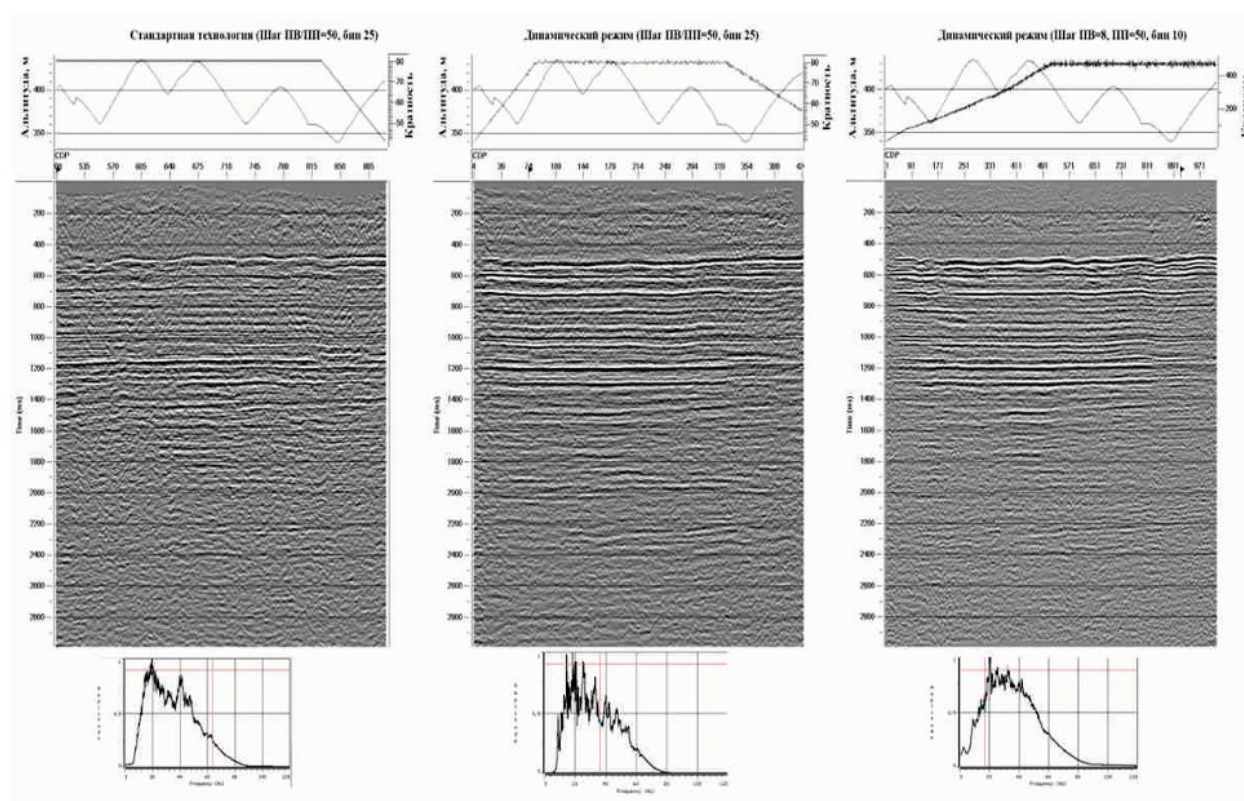
Была проведена обработка профиля в трех вариантах (Рис. 12.):

1. Стандартная технология (шаг ПВ 50 м, шаг ПП 50 м, бин 25 м, кратность 80, макс. Удаление 4000 м, дискрет 2 мс).
2. Технологии Glide (шаг ПВ около 8м, шаг ПП 50 м, бин 10 м, кратность 460, макс. удаление 4000 м, дискрет 2 мс).

Технологии Glide (шаг ПВ 50 м (лабораторное группирование), шаг ПП 50 м, бин 25 м, кратность 80, макс. Удаление 4000 м, дискрет 2 мс).



▲ Рис. 11. Сейсмограммы разных технологий с одного участка профиля с нормировкой амплитуд. Слева – стандартная методика, справа – Glide.



▲ Рис. 12. Временные разрезы. Обработка профиля в трех вариантах.

Как видно из (рис. 12.), лабораторное группирование источников на базе 50 м повысило соотношение сигнал/шум на глубоких горизонтах, однако разрешенность целевых горизонтов закономерно снизилась. По временным разрезам видно, что, несмотря на слабую энергию, спарки двух источников «Енисей-СЭМ-100» относительно стандартной группы 4-5 источников, рифейские горизонты (время 2200-2300 мс) могут быть получены на разрезе технологии Glide после выполнения комплекса процедур по подавлению помех. Ряд процедур, таких как подавление регулярных помех по сейсмограммам, будет работать лучше по более плотным данным (то есть по данным технологии Glide). Временной разрез в интервале основных ОГ выглядит чище по сравнению со стандартной технологией после выполнения одних и тех же этапов обработки. Алгоритмы коррекции высокочастотной статики работают эффективнее по более плотным данным (технологии Glide), анализ скоростей суммирования также приводит к более однозначным результатам по причине существенно большей кратности данных технологии Glide.

Заключение

Результаты проведенных опытно-методических работ показали:

1. Применение технологии Glide не требует серьезного технического переоснащения импульсных источников «Енисей-СЭМ-100». Для более эффективного выполнения такого рода работ необходим независимый источник питания (ДЭС мощностью 25 КВт). Это даёт возможность работы в таком режиме с более широким диапазоном скоростей движения и интервалов возбуждения сейсмических сигналов, что увеличит плотность ПВ.

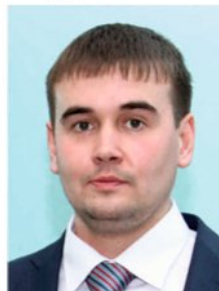
2. В результате использования малых групп источников (спарка двух «Енисей-СЭМ-100») пониженное по сравнению со

стандартной технологией соотношение сигнал/помеха успешно компенсируется высокой кратностью за счёт плотности ПВ.

3. В данный момент ведутся работы по обеспечению технологии специальными ГНСС приемниками с подсистемой инерциальной навигации (ИНС) для более надёжного определения координат в местности с густым лесом, сложным рельефом. При выполнении работ в тундре и степях для надёжного определения координат достаточно стандартной пары ровер-базовая станция.

4. Результаты обработки данных полученных по технологии Glide показали перспективность применения технологии для решения поисковых и разведочных задач методами 2D и 3D, что подтверждается проведением опытов в Восточной Сибири.

Подробнее об авторах



Баландин
Павел Владимирович

главный геофизик
ООО «Эвенкиагеофизика»,
e-mail: pbalandin@gseis.ru



Копылов
Михаил Александрович

управляющий директор
ООО «Эвенкиагеофизика»
e-mail: mkopylov@gseis.ru



Детков
Владимир Алексеевич
к.т.н., заместитель
начальника НТЦ ПАО
«ГЕОТЕК Сейсморазведка»
e-mail: vdetkov@gseis.ru