



ПРОВЕДЕНИЕ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ВОДНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСНОГО НЕВЗРЫВНОГО СЕЙСМОИСТОЧНИКА НА ЕСТЕСТВЕННОМ ВОДОЕМЕ

С.И. Малюта¹, С.Г. Зиновьев¹, Р.В. Семеновых², Н.В. Кузьмиченко², Г.В. Антоневиц²

¹Сибирский Федеральный университет, Институт нефти и газа,
630041, Красноярск, пр. Свободный 82/6, Россия,

²ООО «СибТехИмпэкс», 660012, Красноярск, ул. Гладкова, д. 4, каб. 5, 5-25, Россия,
e-mail: s.malyuta@gseis.ru

В статье рассматриваются количественные и качественные характеристики опытного образца сейсмического невзрывного источника с электромагнитным приводом и оценка потенциальных возможностей его применения при проведении геофизической разведки на нефть и газ при повышенных экологических требованиях.

Морская сейсмическая разведка; импульсное возбуждение; сейсмоакустический сигнал; геологический разрез; спектральный анализ

CONDUCTING FIELD TESTS OF A PROTOTYPE OF A WATER ELECTROMAGNETIC PULSED NON-EXPLOSIVE SEISMIC SOURCE ON A NATURAL RESERVOIR

S.I. Malyuta¹, S.G. Zinoviev¹, R.V. Semenovych², N.V. Kuzmichenko², G.V. Antonevich²

¹Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas, Svobodny pr., 82/6, Krasnoyarsk, 660041, Russia,

²SibTechImpex Ltd, Gladkov Str., 4, office 5, 5-25, Krasnoyarsk, 660012, Russia,
e-mail: s.malyuta@gseis.ru

The article presents the quantitative and qualitative characteristics of a prototype of a seismic non-explosive source with an electromagnetic drive and an assessment of the possibilities of its use during geophysical exploration for oil and gas with increased environmental requirements.

Marine seismic exploration, pulsed excitation, seismic signal, geological section, spectral analysis

ВВЕДЕНИЕ

«Прежде чем осваивать месторождение, его надо обнаружить, исследовать и оценить запасы. На этом начальном этапе собирается информация о геологической структуре района. Как правило, данные сейсморазведки уточняются и дополняются результатами разведочного бурения. Ранее для проведения работ на мелководье в сейсморазведке применялись подводные взрывы, способные приводить к катастрофическим последствиям» [Патин, 2017].

С каждым днем происходит прогресс в сейсморазведке: в системе наблюдения, регистрации сигнала, что ведет к облегчению проведения работ, более высокой производительности, к уменьшению затрат на проводимые работы, обеспечению эффективного контроля качества полевого материала [Буряк и др., 2007; Херолд, Демидов, 2007].

В свете современных реалий крайне актуальна разработка аппаратного комплекса импульсной невзрывной сейсморазведки, ориентированной на применение в акваториях морей и океанов, транзитных зонах, а также в сложных сейсмогеологических условиях при обеспечении высокой вероятности прогнозов залежей углеводородов, экологичности и соблюдения норм природоохранного законодательства.

Один из способов повышения эффективности сейсморазведки – увеличение количества источников сигнала на единицу площади (конечно, в данном случае речь идет о невзрывных источниках). Правда, реально увеличить число источников можно только на открытом пространстве: в степи, пустыне или тундре. Большое количество точек возбуждения волн сильнее влияет на окружающую среду, что вызывает опасения экологов, особенно если речь идет о морской сейсморазведке [Семенов и др., 2016]. Наиболее подходящим методом является способ импульсного воздействия на грунт, реализованный с использованием электромеханических, электродинамических, газодинамических источников, основанный, например, на непосредственном ударе груза на опорную плиту, лежащую на грунте [Певчев, 2008].

Нами был создан опытный образец высокоэффективного и экологически безопасного водного электромагнитного импульсного невзрывного сейсмоисточника (далее – ВИМС), предназначенный для геофизических сейсморазведочных работ в климатических условиях Крайнего Севера, в транзитных зонах, в том числе на предельном мелководье водных акваторий (рек, озер, болот, прибрежных зонах, морских и океанических акваториях). ВИМС обладает рядом базовых характеристик нового типа, определяющих его экологичность при воздействии на окружающую среду. Разработанный комплекс предназначен для повышения качества, рентабельности и энергоэффективности геологоразведки нефтегазовых месторождений в условиях транзитных зон и на морском шельфе при целенаправленном снижении экологической нагрузки на экосистему водоемов при сейсмических работах более чем в 10 раз в сравнении с существующими пневмоисточниками, создающими избыточное давление в водной среде до 150 атм.

Однако в России на данный момент в промышленную эксплуатацию на континентальном шельфе введено только одно месторождение. Поэтому анализ подходов к освоению морского шельфа в транзитном районе побережья недоступного для морской сейсморазведки крайне актуален на данный момент [Goertz, Wuestefeld, 2018].

Целью данной работы является изучение сейсмической эффективности на различных режимах настройки подвески опытного образца источника ВИМС на естественной акватории, а также проверка основного оценочного параметра, такого как глубинность.

Стоит отметить, что речь идет не только о новом виде электромагнитного источника, а о комплексе в целом: о разработанном плавсредстве, системе позиционирования в пространстве (GPS-системой), системе управления (в том числе дистанционной, по радиоканалу), однако в данной работе будут освещены лишь те элементы, над которыми проводились испытания.

Для получения оптимального соотношения сигнал/помеха возбуждение производилось с использованием сейсморегирующей аппаратуры и датчиков (геофонов), размещенных по схеме наблюдений по методике МОГТ-2D (фланговая, центральная системы). В ходе работ подбиралось оптимальное усиление с целью выделения на сейсмограммах целевых отражений.

Нельзя не отметить, что проверка данного опытного образца проводилась в сравнении с уже зарекомендовавшим себя водным электромагнитным источником (ВЭМ-50). Данные испытания проходили в два этапа: первый – оценка параметра глубинности на Быстряном полигоне (Быстряное газовое месторождение), второй – определение количественных характеристик силового воздействия опытного образца сейсмического комплекса ВИМС на различных режимах настройки подвески в акватории достроечной верфи в протоке р. Енисей (координаты N 56.0772° E 93.0492°).

УСЛОВИЯ ПРОИЗВОДСТВА ОМР

Местом проведения первого этапа работ был выбран Быстрянский полигон (Быстряное газовое месторождение) (рис. 1). Рельеф местности полигона крутосклонный, горный, интенсивно расчлененный. Абсолютные высотные отметки не превышают 450–600 м. Растительность носит степной характер. По условиям проведения работ район относится к III категории трудности.

Быстрянский полигон характеризуется крайне неоднородной ВЧР. ЗМС на большей части отчетных профилей (мощность 10–15 м, скорость 300–400 м/с). В осадочном чехле полигона принимают участие породы Девонской системы, такие как известняки, песчаники, конгломераты, аргиллиты.

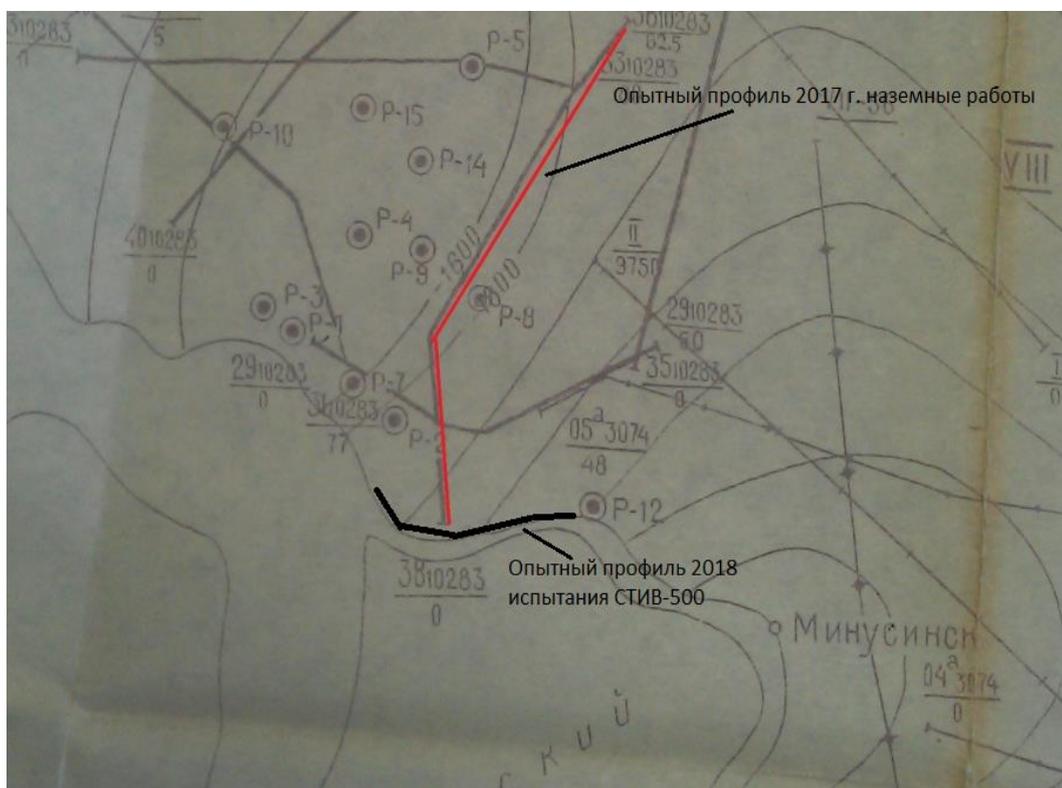


Рис. 1. Схема геофизической изученности (Быстрянский полигон). Опытный профиль отмечен черным цветом

Местом проведения испытаний второго этапа работ была выбрана акватория достроечной верфи в протоке р. Енисей (координаты N 56.0772° E 93.0492 °), так как имела якорную стоянку вблизи береговой линии и обеспечивала возможность безопасного маневрирования и установки сейсмоприемников вдоль уреза воды (рис. 2).

Район испытаний расположен в пределах г. Красноярск, в его юго-восточной части. Достроечная верфь находится в правобережной протоке, отделенной от основного русла намывным островом.

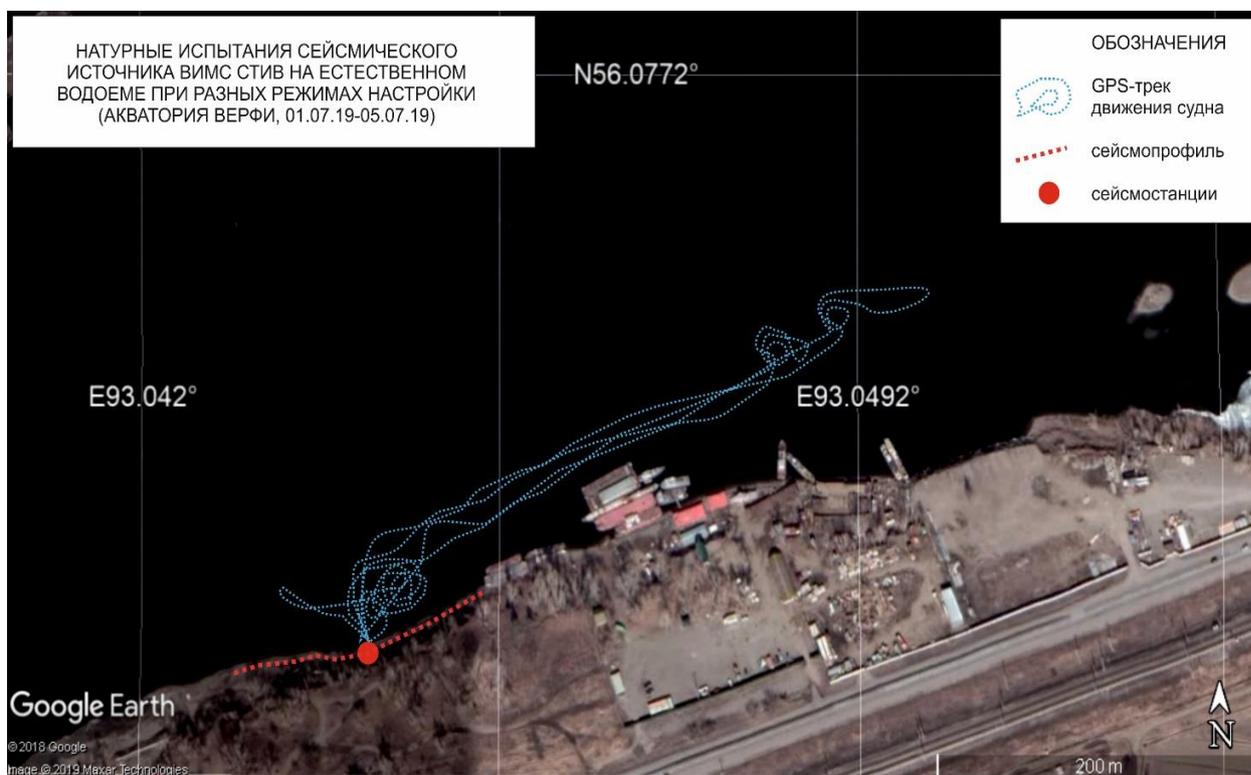


Рис. 2. Район проведения испытаний второго этапа

Территория находится в пределах Чулымо-Енисейской геологической области, являющейся северной окраиной Алтае-Саянского горно-складчатого региона. Рельеф территории имеет характер слабохолмистой равнины с абсолютными отметками 200–350 м, на фоне которой выступают эрозионные останцы высотой 500–600 м. Довольно значительные высоты и существенное эрозионное расчленение поверхности позволяет отнести рельеф к низкогорному, с карстовыми воронками и карстовыми озерными котловинами. В пределах города и окрестностей выделяются различные генетические типы рельефа.

ПРОГРАММА И МЕТОДИКА РАБОТ

В программу работ входит:

1. Проведение возбуждения двумя двигателями ВИМС, установленными на понтоне (рис. 3), и регистрация сейсмического сигнала с применением телеметрической системы SGD-SET (этап 1).
2. Проведение возбуждения упругих колебаний источником ВИМС СТИВ-500×2 в швартовном и ходовом режимах при различных параметрах настройки элементов пружинной подвески сейсмического модуля (этап 2).

3. Изучение амплитудно-временных характеристик волновых полей.
4. Атрибутивный анализ волновых полей.
5. Спектральный анализ полученных записей.

Опытные работы проводились с использованием сейсморегистрирующей аппаратуры и датчиков (геофонов), размещенных по схеме наблюдений по методике МОГТ-2D (фланговая, центральная системы, табл. 1). В ходе работ подбиралось оптимальное усиление с целью выделения на сейсмограммах целевых отражений, с регистрацией данных на SGD-SET_LFU/SGD-SEL_LFU. Длина опытного профиля 500 м с шагом ПП 10 м. Шаг дискретизации – 1 мс. Длительность записи 2–3 сек.



Рис. 3. Два модуля ВИМС, установленных на понтоне (слева) и на готовом судне (справа) в процессе возбуждения сигнала



Рис. 4. Опытный профиль и установленный в скважину геофон

Приемники устанавливались в заранее пробуренные скважины (рис. 4). При данной методике установки приемники имеют лучший контакт с грунтом, что позволяет минимизировать некогерентные помехи и повысить чувствительность приема. После установки приемников и настройки источника производились серии воздействий по накоплению сигналов с различным усилением записи.

Методика проведения натурных испытаний на естественном водоеме

Основные параметры методики полевых наблюдений. Сейсморазведка	Проект
Метод	2D
Тип сейсмостанции	SGD-SET/ SGD-SEL
Количество каналов (общее/активное)	48/48
Система наблюдения	Фланговая
Шаг дискретизации, мс.	1
Шаг ПП по линии приема, м	10
Максимальное удаление ПВ-ПП, м	500
Тип сейсмоприемников	SGD-SET_LFU
Группирование сейсмоприемников	Точное
- Методика возбуждения УК:	
- Количество и тип источников возбуждения	Ударный модуль ВИМС, 2 шт.
- Количество накоплений	4-16
Длина записи, с	2
Формат записи	SEG-Y
Точность плано-высотной привязки пунктов геофизических наблюдений	в плане 1 м, по высоте 1,5 м
Фильтр ФНЧ	$\frac{3}{4}$ Nmin
Фильтр ФВЧ	Выкл.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для получения оптимального соотношения сигнал/помеха возбуждение производилось в одной точке с целью накопления одиночных воздействий для подавления некогерентной помехи и подбиралось оптимальное усиление с целью выделения на сейсмограммах целевых отражений.

В ходе испытаний для определения координат места работ был применен разработанный на первом промежуточном этапе комплекс координатно-временного обеспечения (ККВО). На рис. 5 изображен снимок экрана программы TersusGNSSCenter с параметрами базовой станции комплекса.

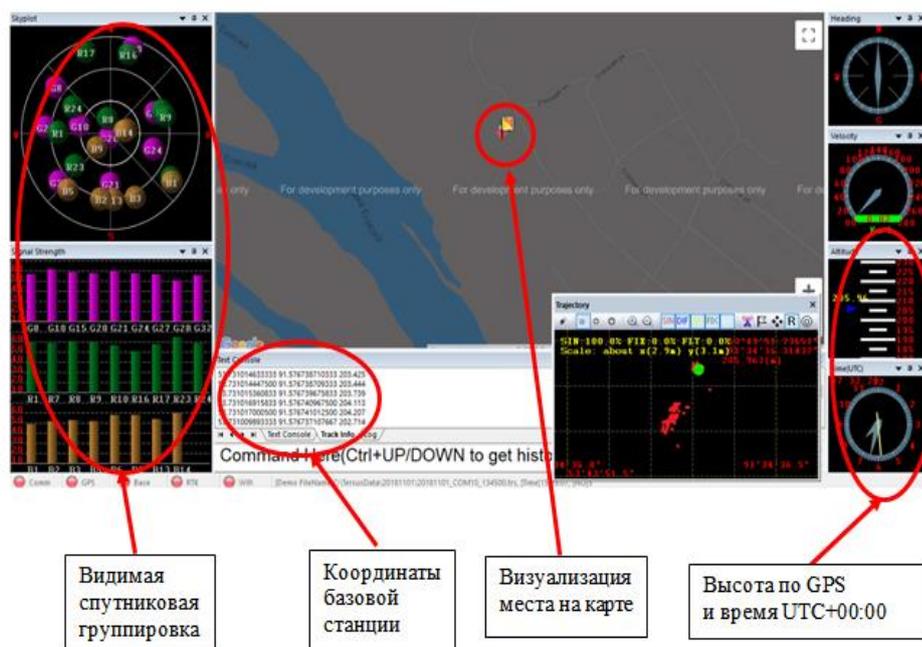


Рис. 5. Снимок экрана программы TersusGNSSCenter

В процессе испытаний были получены следующие результаты. Стоит сразу отметить, что на всех полученных на данном этапе сейсмограммах хорошо прослеживаются первые вступления, а соотношение сигнала и микросейсм высокое как раз за счет того, что приемники устанавливались в заранее пробуренные скважины. Как было сказано ранее, это дает лучший контакт с грунтом, что позволяет минимизировать некогерентные помехи и повысить чувствительность приема.

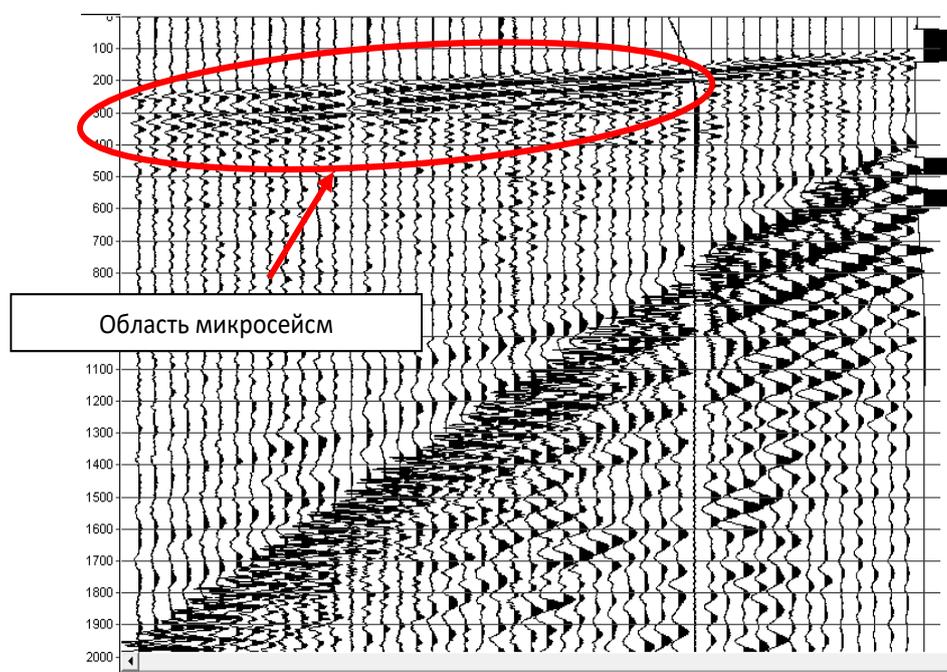


Рис. 6. Сейсмограмма. Накоплений – 8. Усиление – 0 дБ

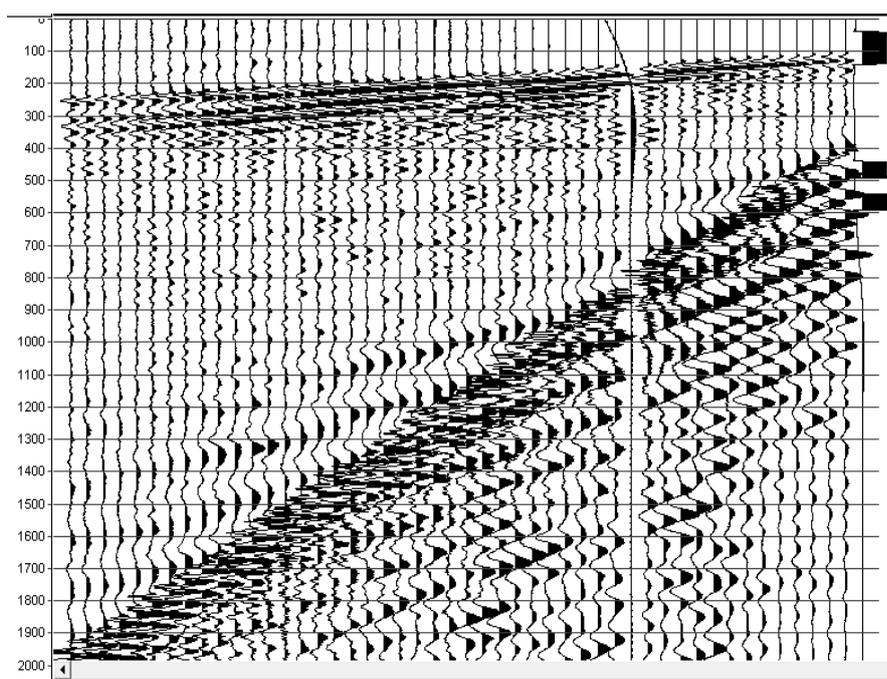


Рис. 7. Сейсмограмма. Накоплений – 16. Усиление – 12 дБ

Как видно из рис. 6, при увеличении накоплений до восьми помеха от служебного канала по-прежнему присутствует, однако при увеличении накоплений будет существенно подавляться, а после применения мьютинга отфильтруется полностью.

Учитывая тот факт, что при производстве работ на акватории плотность пунктов возбуждения достигает значений 100–200 ПВ/кв. км (при стандартных работах 20 ПВ/пог.км, на линии ПВ), а максимальное удаление взрыв-прибор составляет 4000–5000 м, кратность наблюдения на порядки выше стандартной, что приводит к значительному подавлению помех.

При использовании предусилителя с коэффициентом 12 дБ происходит повышение контрастности записи. При увеличении количества накоплений до 16 при усилении 12 дБ более детально начинает проявляться цуг волн с полезными отражениями, характерными для района работ (рис. 7).

Далее полученные данные были сопоставлены с разрезом прошлых лет для определения глубинности исследования (рис. 8). На первичных данных можно выделить оси синфазности, характерные для следующих геологических комплексов:

1. Подошва Тубинской свиты: глубина 1250 м время 0.5 сек.
2. Кровля Сарагашской свиты: глубина 2000 м, время 0.9 сек.
3. Подошва Сарагашской свиты: глубина 2200 м, время 1.1 сек.

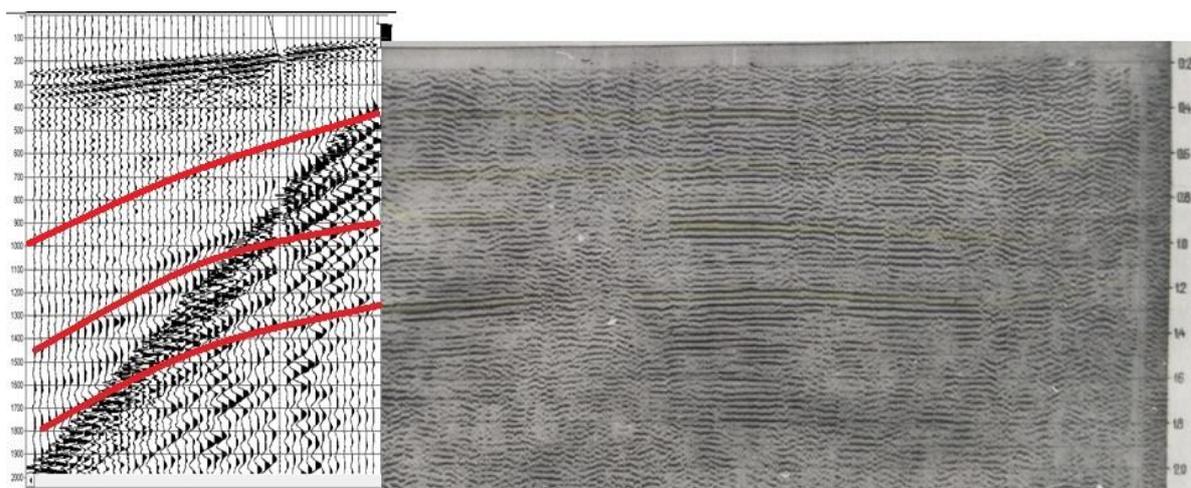


Рис. 8. Сопоставление исходных данных (16 накоплений, 12 дБ) и временного разреза прошлых лет

Как видно из представленных данных, глубинность изучения среды с использованием источника ВИМС (два модуля и понтон, обеспечивающий большую площадь контакта со средой) доходит до 2000 м.

Цель следующего этапа – проведение возбуждения упругих колебаний источником ВИМС СТИВ-500×2 в швартовном и ходовом режимах при различных параметрах настройки элементов пружинной подвески сейсмического модуля (конструкции электромагнитов), изучение амплитудно-временных характеристик волновых полей; их атрибутивный анализ и спектральный анализ полученных записей.

В ходе работ на данном этапе были получены следующие результаты:

- получены сейсмограммы как при работе с одиночным воздействием, так и при работе с серией накоплений (до восьми накоплений), а также сейсмограммы, полученные при суммировании одинарных накоплений в лабораторных условиях;
- рассчитаны АЧХ сигнала на полученном материале.

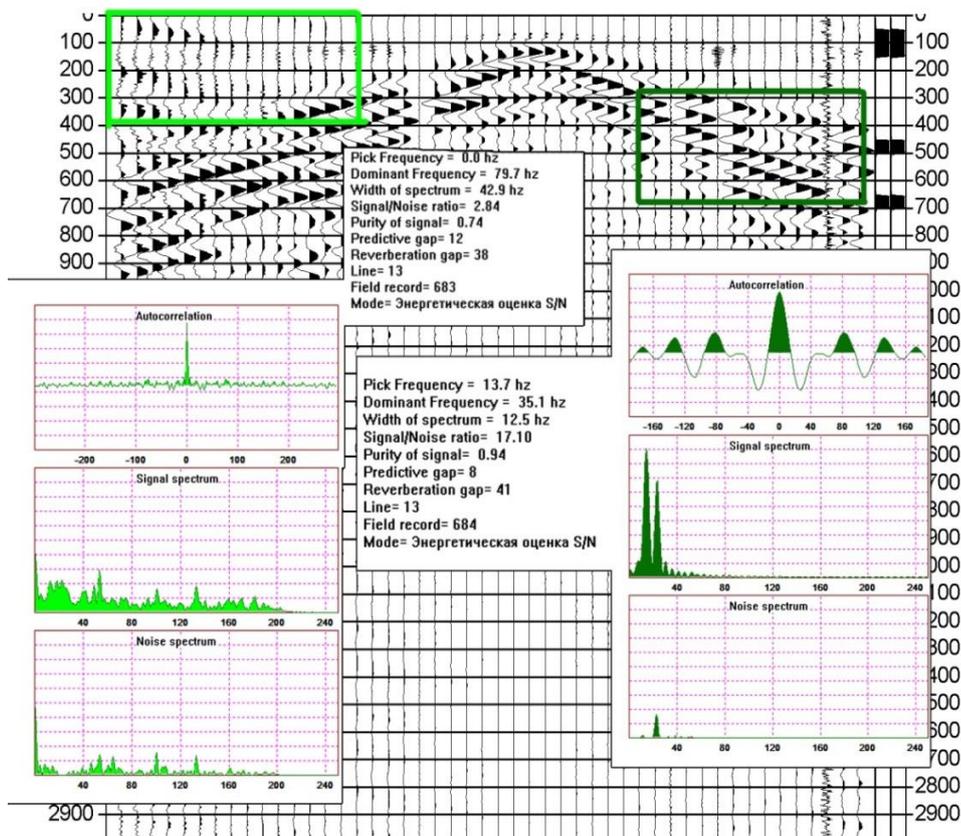


Рис. 9. Положение источника центральное, сумма восьми накоплений, режим подвесной конструкции (электромагнитов) «затянутые пружины», (5-12 файлы)

С помощью проведенного анализа спектров с применением полосовых фильтров видны различия сейсмических записей на проектном профиле как в частоте, так и в мощности сигнала (рис. 9–10). В первую очередь различия обусловлены применением разных режимов СТИВ-500, при регистрации в обоих случаях системой SGD-SET. Несмотря на это в обоих случаях хорошо прослеживаются первовступления и хорошо ощутима разница между полезным сигналом и производственными помехами, о чем свидетельствует показатель S/N. Для наглядности разными цветами на всех сейсмограммах была представлена форма сигнала и микросейсм, рассчитана ширина спектра и приведена энергетическая оценка.

При этом следует отметить, что повышение спектральной составляющей в области высоких частот на записях связано как раз с применением одиночного сейсмоприемника (т. е. отсутствием группирования сейсмоприемников).

Что касается полезного сигнала, то на сейсмограммах видно, что сигнал устойчивый и доминантная частота колеблется в узком диапазоне 29–35 ГЦ, о чем так же свидетельствуют ширина

спектра и доминантная частота на приведенных спектрограммах (рис. 11). Хорошо различим такой тип помех, как помехи от генераторов с частотой 45–55 Гц. (рис. 10), который в последующем при лабораторной обработке можно отфильтровать.

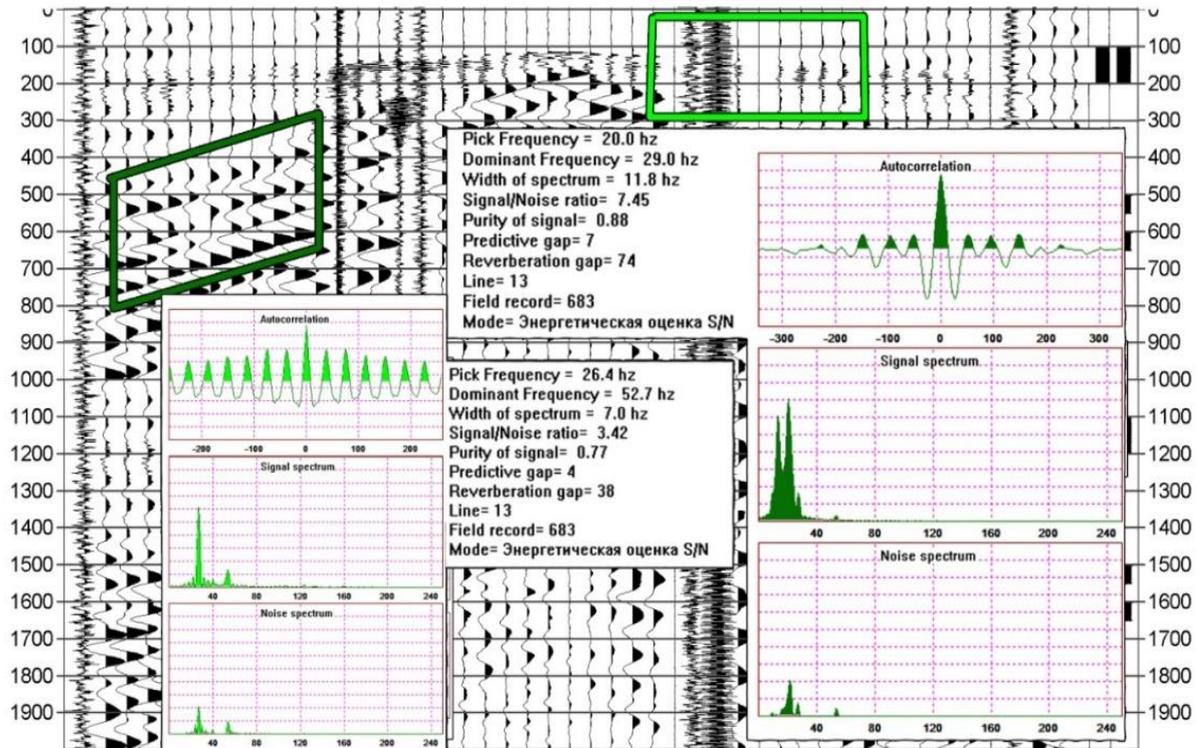


Рис. 10. Положение источника центральное, сумма восьми накоплений, режим подвесной конструкции (электромагнитов) «расслабленные пружины»

Как уже было отмечено, источник СТИВ-500 имеет несколько режимов работы:

– режим подвесной конструкции (электромагнитов) «затянутые пружины», тогда излучателем служит полностью дно судна (в этом случае вся энергия передается не только на стандартные излучатели, но и целиком на корпус, что может в последующем негативно отразиться как на сварных швах, так и на конструкции в целом. Другими словами, если удалить пружины из конструкции (или затянуть), то получается новый вид электромагнитного источника;

– режим подвесной конструкции (электромагнитов) «на расслабленных пружинах», при котором часть энергии, полученная источником возбуждения, передается на излучатели, а часть гасится этими пружинами, в этом режиме источник СТИВ-500 может прослужить гораздо дольше, однако полученный сигнал в разы ниже сигнала, полученного в первом режиме. При этом режиме конструкция данного опытного образца частично повторяет конструкцию ВЭМ-50.

Для наглядности представлены сейсмограммы, записанные при работе на данном источнике при разных режимах (рис. 11–15).

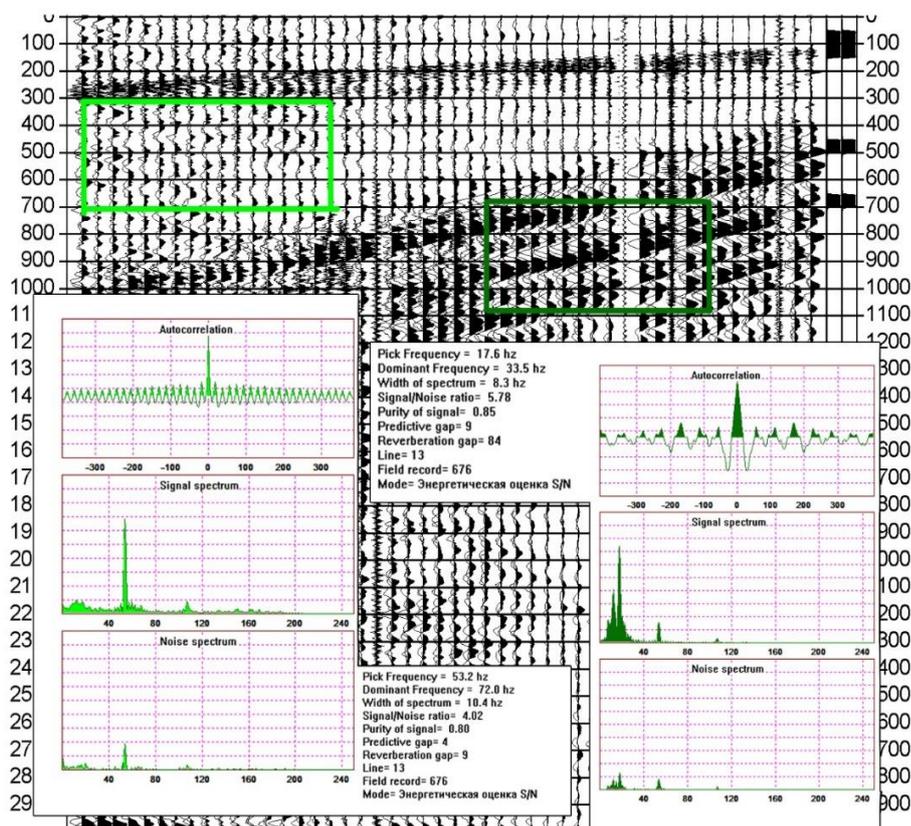


Рис. 11. Положение источника фланговое, сумма восьми накоплений, режим подвесной конструкции (электромагнитов) «затянутые пружины», (12–19 файлы)

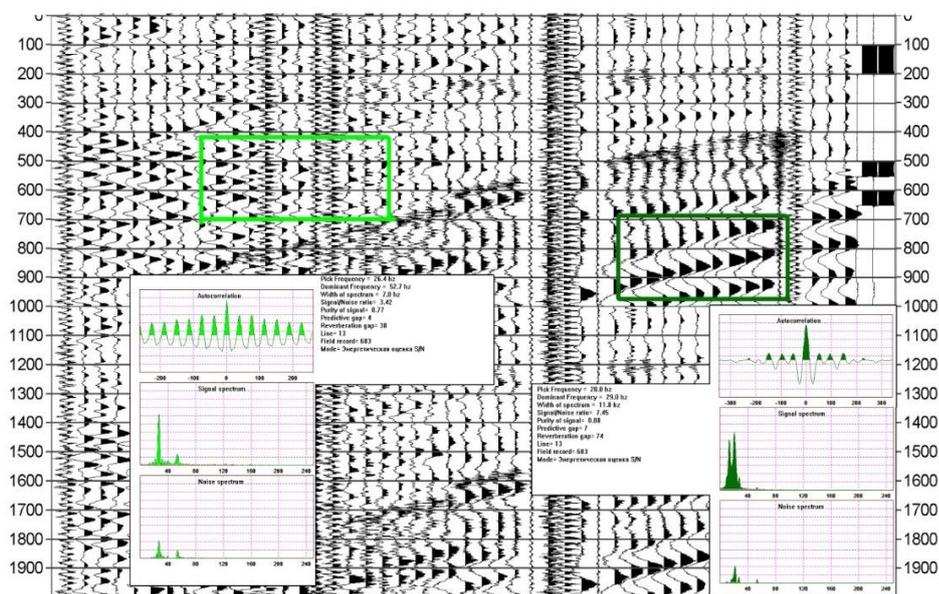


Рис. 12. Положение источника фланговое, режим подвесной конструкции (электромагнитов) «расслабленные пружины», на берегу

Как мы видим на приведенной выше сейсмограмме (рис. 12), сигнал уже становится плохо различим, а первые вступления гораздо труднее проследить, особенно на дальних удалениях, где помехи начинают забивать полезный сигнал, хотя на ближних удалениях полезный сигнал по-прежнему прослеживается, что можно заметить и без специальной лабораторной обработки.

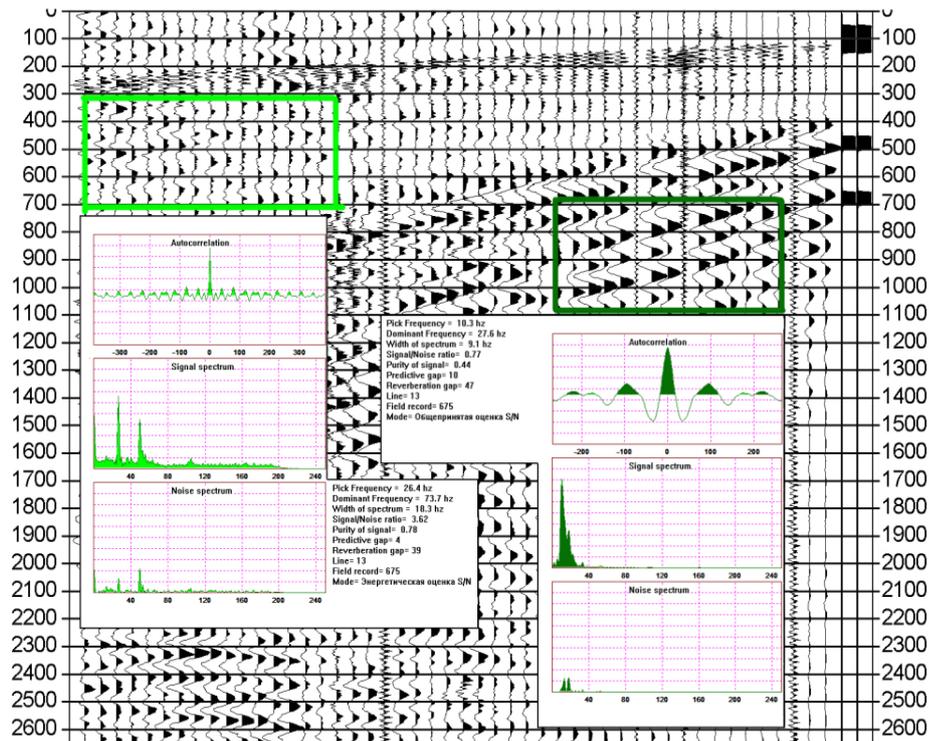


Рис.13. Положение источника фланговое, сумма восьми накоплений, режим подвесной конструкции («затянутые пружины»), возле берега

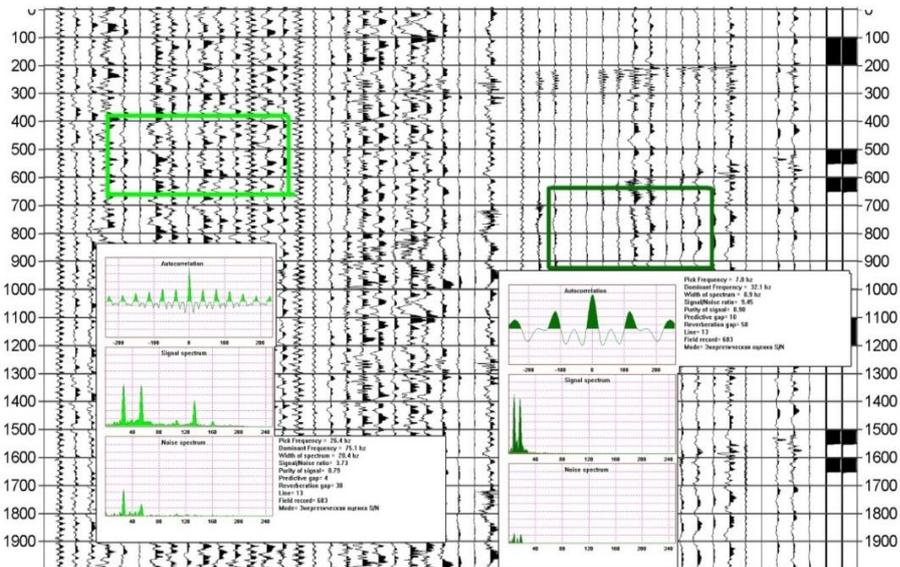


Рис.14. Положение источника фланговое, режим подвесной конструкции («расслабленные пружины»), возле берега

Однако, как только источник отплыл от берега подальше, полезный сигнал, на первый взгляд, и вовсе пропал (рис. 14), только при детальной обработке можно проследить первые вступления. Также при спектральном анализе можно заметить, что спектры полезного сигнала и микросейсм схожи или практически полностью перекрываются, а по спектрам чуть ли не дополняют друг друга, что также можно увидеть на спектрограммах. Все же по-прежнему имеются различия, как в ширине спектра, так и в доминантной частоте между полезным сигналом и микросейсмами (шумом).

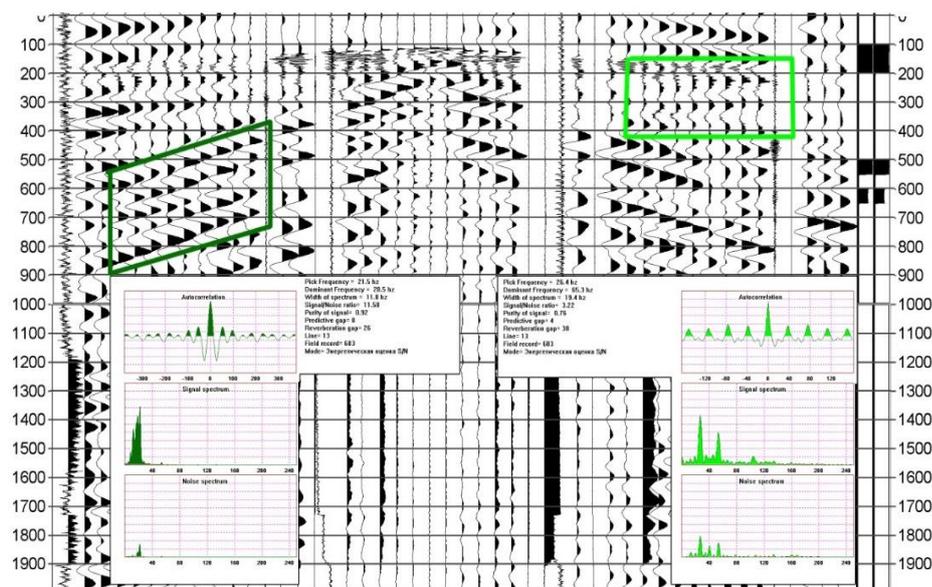


Рис. 15. Положение источника центральное, режим подвесной конструкции (электромагнитов) «расслабленные пружины», возле берега

На представленных сейсмограммах можно заметить закономерность между разными режимами: в режиме подвесной конструкции (электромагнитов) «при расслабленных пружинах» сигнал, передаваемый от источника в недра, значительно меньше, чем на затянутых (особенно заметно при отработке источника по флангам). Нельзя не отметить, что при отдалении от группы приемников сигнал, регистрируемый приемниками, становится на порядок меньше, чего нельзя заметить на другом режиме (с затянутыми пружинами), где сигнал остается стабильным, будь это одно накопление, сумма из одиночных накоплений или отработка ПГН серией накоплений.

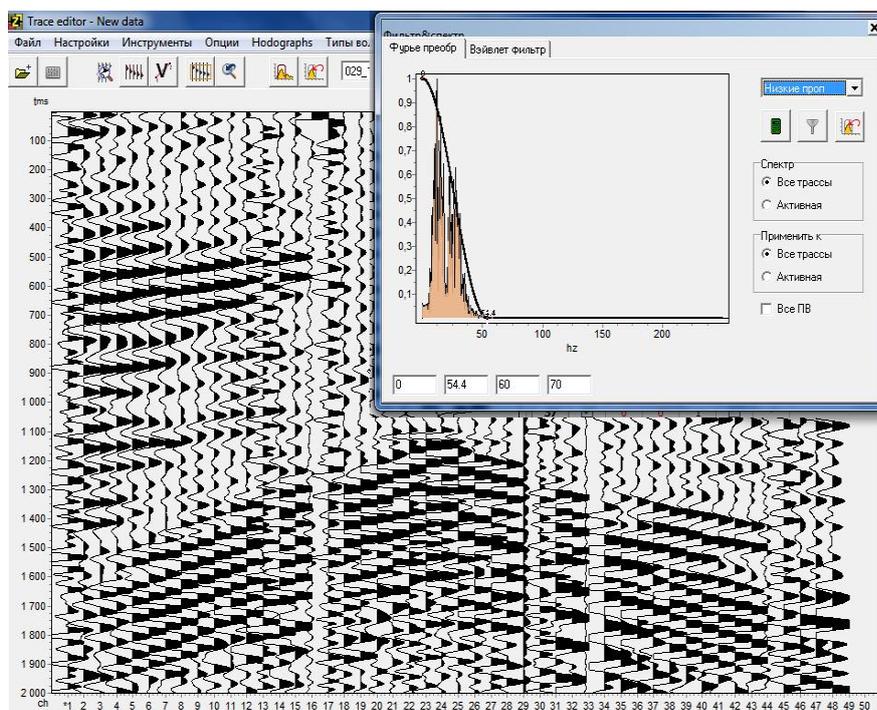


Рис. 16. Сейсмограмма, полученная в режиме подвески «расслабленных пружин» возле берега, центральная расстановка

На рис. 16 показана случайная сейсмограмма, на которой были отфильтрованы помехи, имеющие частоту выше 55 Гц, однако сейсмограмма до сих пор остается «шумной», так как остались шумы, которые имеют частоту близкую по значению к частоте полезного сигнала. В последующем эту проблему можно решить с помощью мьютинга, так как первые вступления по-прежнему хорошо прослеживаются.

ВЫВОДЫ

Как видно из представленных данных, глубинность изучения среды с использованием источника ВИМС (два модуля и понтон, обеспечивающий большую площадь контакта со средой) достигает 2000 м.

Что касается конструкции всего опытного образца, то речь идет о принципиально новом прототипе электромагнитного источника, в будущем (на следующих этапах) речь пойдет о конструктивных доработках, а именно об удалении промежуточного звена между электромагнитом и корпусом судна, серии пружин. Как показывает проведенный эксперимент, исследование пород, находящихся под водной толщей, требует другого подхода. Как мы видим, недостаточно разогнать электромагнит до нужной высокой скорости и необходимого ускорения, имея при этом маленькую площадь контакта излучателя с поверхностью, поэтому работа «на жесткой подвеске», когда излучателем выступает корпус судна (получаем большую площадь по сравнению с одним излучателем), будет намного эффективнее, а результат в разы качественнее.

Второй закон Ньютона гласит: ускорение, приобретаемое телом в результате воздействия на него, прямо пропорционально силе или равнодействующей силе этого воздействия и обратно пропорционально массе тела. Отсюда нужно взять во внимание массу тела, а не только ускорение, ведь масса тела – это ничто иное как произведение плотности на объем, а объем, в свою очередь, это произведение площади опоры на высоту. Получается, что масса тела – это не просто константа в нашем случае, а параметр, играющий главную роль, ведь сила, с которой воздействуют на объект, будет прямо пропорциональна массе, а точнее площади опоры (площади контакта со средой).

Следующий момент – частицы в водной среде ведут себя иначе, нежели в твердом теле, поэтому для передачи импульса через водную среду нужен другой подход, не через твердую поверхность. Чтобы частицы не успели ускориться, «разбежаться из-под излучателя» при повторном воздействии, для передачи упругой волны, необходимо обеспечить большую площадь контакта источника с водной поверхностью. Недостаточно только разогнать электромагнит до необходимой скорости и ускорения, также нужна и большая площадь контакта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По полученным сейсмограммам, которые представлены на рисунках после определенной обработки, видно, что все компоненты ВИМС при испытаниях в естественных условиях показали свою работоспособность.

Так же имеются трассы с отсутствием записи (неработающие каналы). Поэтому особое внимание нужно уделять установке сейсмоприемников, проводить тестирование оборудования перед отстрелом.

Следует отметить, что повышение спектральных составляющих, как в области низких частот, так и высокочастотной области на записях, связано с применением одиночного сейсмоприемника. Более того на текущем этапе с помощью данной технологии полученные данные были сопоставлены с разрезом прошлых лет для определения глубинности исследования.

Проведенная работа на разных режимах подвески показывает, что надо проводить повторные испытания с доработками в конструкции данного опытного образца, в частности удаления промежуточного звена, пружин.

ЛИТЕРАТУРА

Буряк С.В., Певзнер А.И., Понимаскин А.И., Харитонов А.Е. Контроль качества и полевая обработка сейсмических данных // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2007. – № 4. – С. 43–45.

Певчев В.П. Короткоходовой импульсный электромагнитный двигатель источника сейсмических волн. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. тех. наук. –Тольятти, 2008. – 18 с.

Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа: в 2-х т. Том 1: Морской нефтегазовый комплекс: состояние, перспективы, факторы воздействия. – М.: ВНИРО, 2017. – 326 с.

Семенов В.Н., Зуенко Ю.И., Атаманова И.А., Мухаметова О.Н., Зеленихина Г.С., Архипов Б.В., Корниенко А.Б. Методическое пособие по оценке размера вреда водным биоресурсам при сейсморазведке и электроразведке. – М.: Изд-во ВНИРО, 2016. – 86 с.

Херолд Д.Л., Демидов Н.И. Полевая обработка в реальном времени и оперативный атрибутивный количественный анализ качества сейсмических данных // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2007. – Т. 21, № 3. – С. 57–59.

Goertz A., Wuestefeld A. Real-time passive monitoring with a fibre-optic ocean bottom array // First Break. – 2018. – Vol. 36, No 4. – P. 55–61.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

КУЗЬМИЧЕНКО Николай Владимирович – инженер-конструктор ООО «СибТехИмпэкс». Область научных интересов: водный транспорт, машиностроение, конструирование механизмов

МАЛЮТА Станислав Игоревич – аспирант Сибирского федерального университета Института нефти и газа. Область научных интересов: использование телеметрии для исследований при построении детальной геологической модели и проектировании оптимальной схемы разработки месторождений УВ Западной Сибири.

СЕМЕНОВЫХ Роман Владимирович – инженер-технолог ООО «СибТехИмпэкс». Область научных интересов: радиотехника, геофизика, проектирование и производство электронных устройств

ЗИНОВЬЕВ Сергей Геннадьевич – доцент кафедры геофизики СФУ Института нефти и газа. Область научных интересов: невзрывная сейсморазведка.

АНТОНЕВИЧ Герман Валентинович – директор ООО «СибТехИмпэкс». Область научных интересов: машиностроение, разработка новых видов техники, инженерных устройств, организация и оптимизация производственных процессов.