

ISSN 2074-8906

# ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

ОБЩЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ

АПРЕЛЬ-ИЮНЬ

02/2011

Издается с 2002 г.

ТЕМА НОМЕРА:

## ИНСТРУМЕНТАРИЙ ГЕОФИЗИКА- СЕЙСМОРАЗВЕДЧИКА

ТАКЖЕ В НОМЕРЕ:

Оптимизация зондирующего сигнала  
для структурных электромагнитных исследований Земли

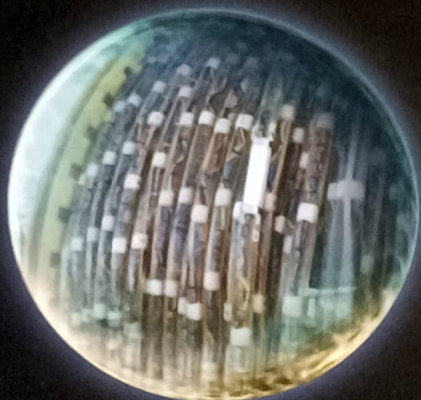




 **XZone®**  
Bottom Fish

 **XZone®**  
Marsh Line

 **XZone®**  
Fly Lander



**СИ Технолоджи**  
ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

353477 Россия, Краснодарский край,  
г. Геленджик, ул. Ручейная, 8  
т.: (86141) 26615, ф.: (86141) 26601  
office@intromarin.ru, www.intromarin.ru



## ■ КОЛОНКА РЕДАКТОРА

Предваряя номер

П.А. Турлов

4

● **Тема номера:** «Инструментарий геофизика-сейсморазведчика»

## ■ О ГЛАВНОМ

Современные бескабельные телеметрические сейсморегистрирующие системы (обзор)  
Кузнецов И.М.

5

Оправдан ли переход на бескабельные системы регистрации  
А. Череповский, Д. Мужно

16

## ■ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Опробование технологии бескабельного сбора полевой геофизической информации отечественной сейсморегистрирующей системой «Scout»

Аккуратов О.С., Селезнев В.А. Матвеев В.В., Тарасов Н.В.,  
Гнатюк А.И., Абдулвалиев М.Т., Навроцкий А.О.

22

Бескабельная сейсмометрия на море, в транзитной зоне и на суше

Воронов М.А., Жемчужников Е.Г., Рослов Ю.В.

27

ТЕЛСС-3 – эффективный инструмент для проведения сейсморазведочных работ по технологиям 2D, 3D, 4D

Федотов А.С.

29

## ■ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Сейсмотомография верхней части разреза Восточно-Камчатского прогиба

Канарейкин Б.А., Сагайдачная О.М., Дунаева К.А.

31

Оптимизация зондирующего сигнала для структурных электромагнитных исследований Земли

Шайдуров Г.Я. Ступников А.И.

37

Выделение комплексных критериев эффективности в работе сейсморазведочной партии с целью повышения качества геологогеофизической продукции

Симоненко А.Г., Соловьев Д.О., Чернышев В.В.

40

## ■ ОБМЕН ОПЫТОМ

Применение геофонов SM-45 в ОАО «Пермнефтегеофизика» при сейсмокаротажных работах

Логинов С.В., Киселев Е.В., Чудинов Ю.В.

44

## ■ СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

Становление высокоразрешающей сейсморазведки (ВРС) в ЗАОр «НП «Запприкаспийгеофизика»

Колосов Б.М., Андреев Г.Н., Колосов А.Б.

47

## СОДЕРЖАНИЕ

«Приборы и системы разведочной геофизики»  
Общероссийский научно-технический ежеквартальный журнал  
Издаётся с 2002 года

Учредитель  
СРО МОО ЕАГО  
Председатель П.А. Турлов

Издатель  
ООО «ИнформГеофизСервис»  
Директор Турлов П.А.  
paturlov@mail.ru

Адрес издательства  
410019, г. Саратов,  
ул. Крайняя, 129  
Тел: (8452) 64-14-32

Главный редактор  
Турлов П.А.  
paturlov@mail.ru  
тел: (927) 221-12-45

Выпускающий редактор  
Кузнецов И.М.

Координатор проекта  
Матвеев С.А.  
(987) 362-53-24

Верстка  
Коваленко В.А.  
v425489@yandex.ru

Обложка и оформление  
Мокроузов Д.В.

www.prgf.blogspot.com

Тел./факс: (8452) 64-14-32

Тираж отпечатан  
в типографии  
ООО «Правильный Вывод»  
тел: (845-2) 60-07-07  
Тираж: 300 экз.  
Подписано в печать  
30.05.11  
Дата выпуска: 06.06.11 г.  
Заказ № 66362

Издание зарегистрировано в  
Министерстве РФ по делам  
печати, телерадиовещания и  
средств массовых коммуникаций  
за номером ПИ №77-  
7906 от 27.04.2001 г.

От редколлегии  
Ответственность за подбор  
и наложение фактов в статье  
несут авторы. Редколлегия  
не разделяет точки зрения  
авторов.

© П.А. Турлов, составление,  
2011

© СРО МОО ЕАГО, оформление,  
2011





## Предваряя номер...

Турлов П.А., СРО МОО ЕАГО, г.Саратов

Всегда волнуюсь при выборе темы очередного журнала – будет ли актуальным собранный в едином блоке пакет материалов? До сих пор, правда, содержание материалов вызывало читательский интерес и удовлетворяло желаниям авторов продемонстрировать свои находки и решения.

Тема номера, который вы держите в руках: «Инструментарий геофизика - сейсморазведчика», очень близка по духу журналу «Приборы и системы разведочной геофизики». Ведь функциональные и метрологические возможности инструментария однозначно определяют качество и результативность полевых работ.

Что же на этот раз скрывается за обложкой журнала? Прежде всего, это аналитическая статья И.М. Кузнецова с обзором «Современные бескабельные телеметрические сейсморегистрирующие системы», в которой читатели найдут обширную информацию об этих сравнительно недавно появившихся на рынке геофизического оборудования системах, их особенностях и технических характеристиках. Последующая статья сотрудников фирмы SERCEL А.Череповского и Д.Мужно «Оправдан ли переход на бескабельные системы регистрации?» введет читателя в мир дискуссий, которые неизбежно возникают при внедрении в практику выполнения работ новых технических средств.

В этом плане весьма интересной представляется информация о результатах опробования технологий сбора полевой геофизической информации с использованием отечественной автономной бескабельной сейсморегистрирующей системы SCOUT, представленная в статье, подготовленной коллективом специалистов «СГЭ» ФГУП «НВНИИГТ», ОАО «СКБ СП» и ООО «Сибгеотехсервис».

Впервые в нашем журнале публикуется коллектив авторов ООО «СейсмоШельф» со статьёй об аппаратном комплексе на базе автономной 4С сейсмической станции, позволяющем вести «бесшовную» сейсмическую съёмку на акваториях глубин до 500м, в транзитной зоне и на суше, с любым типом источника колебаний и длительностью сбора данных до 30 суток.

О новой сейсморегистрирующей системе ТЕЛСС-3, предназначенной для проведения сейсморазведочных работ по технологиям 2D, 3D, 4D, в которой используется 32-разрядный АЦП, читатели узнают из статьи А.С. Федотова (ООО «ГЕОСИГНАЛ»).

Результаты применения телеметрической системы РОСА-А в технологии сейсмотомографии, на примере исследования ВЧР Восточно-Камчатского прогиба, представлены в статье наших постоянных авторов О.М. Сагайдачной, К.А. Дунаевой и Б.А. Канарейкина (ФГУП СНИИГТИМС).

Также в номере помещены материалы, которые продолжают тематику предыдущих номеров, предваряют тематику номеров последующих и отражают широту интересов наших читателей и авторов. Это: статья «Оптимизация зондирующего сигнала для структурных электромагнитных исследований Земли» Г.Я. Шайдурова, А.И. Ступникова (ИИФир СФУ); статья «Выделение комплексных критериев эффективности в работе сейсморазведочной партии...», подготовленная сотрудниками ФГУП «НВНИИГТ» А.Г. Симоненко и др.; статья о применении новых геофонов SN-45 в ОАО «Пермнефтегеофизика» С.В. Логинова и др. и, наконец, обстоятельная статья о становлении высокоразрешающей сейсморазведки в ЗАОр «НП «Запприкаспийгеофизика» апологета этой технологии Б.М. Колосова с сотрудниками.

И, как всегда часть страниц журнала предоставлена нашим уважаемым рекламодателям: зарубежным - компании SERCEL и INOVA, и российским - ООО «СИ Технологии Инструментс», ООО «Фирма «Геосейс», ЗАО «Соединитель», ОАО «СКБ - СП».

Честно говоря, дорогие читатели, я испытываю сейчас легкое чувство зависти. Ведь Вам еще предстоит взять в руки новый, еще пахнущий свежей типографской краской номер журнала и узнать столько нового, интересного и полезного. Но, как говорится, для того мы и работаем.

С уважением, главный редактор журнала

П.А. Турлов

## НАШИ ПАРТНЕРЫ



СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО  
СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ



ФГУП НВНИИГТ



ООО «ГЕОСИГНАЛ»



ЗАО «СОЕДИНИТЕЛЬ»



# Современные бескабельные телеметрические сейсморегирующие системы (обзор)

Кузнецов И.М., ОАО «СКБ СП», г. Саратов

Одной из объективных тенденций развития сейсморегирующих систем является увеличение их канальности. Согласно [1] и ряду других источников, число каналов сейсморегирующих систем удваивается каждые 3.5 года и к 2025 году ожидается появление сейсморегирующих систем, обеспечивающих выполнение сейсморазведочных работ с более чем 250000 каналами.

Необходимость увеличения канальности вызвано несколькими причинами:

1. Одной из наиболее убедительных причин расширения канальности сейсморегирующих систем является стремление к увеличению производительности работ.
2. Миграция двухмерного разреза не восстанавливает истинные глубины залегания отражающего горизонта если падение слоев не совпадает с направлениями профиля. Истинные глубины могут быть получены только при трехмерном сейсмическом профилировании. При этом, чем круче падение отражающих слоев и/или, чем большая нужна детальность разведки, тем требуется большая частота пространственной дискретизации и, соответственно, большая канальность.
3. Применение трехкомпонентной регистрации, обеспечивающей более эффективное использование динамических параметров сейсмических волн для получения дополнительной информации о геологическом разрезе, требует дальнейшего увеличения канальности сейсморегирующих систем.
4. В настоящее время весьма актуальной задачей становится реализация геолого-геофизического мониторинга на нефтяных и газовых месторождениях. Для проведения мониторинга крупных объектов необходимо использование нескольких тысяч датчиков, размещенных на значительной площади
5. Разрабатываемые геофизические технологии, основанные на взаимодействии физических полей (например, сейсмoeлектроразведка), также требуют увеличения канальности полевых измерительных систем.

Авторы ряда публикаций считают, что дальнейшее развитие сейсмических технологий сдерживается широким использованием кабелей в процессе регистрации сейсмоданных [2, 3, 4].

Кабели служат для различных целей, хотя основной является передача информации в реальном времени от датчиков в центральную систему регистрации. Конечно, возможность видеть все записи возбуждений в реальном времени, а также иметь возможность контролировать уровень шума на профиле чрезвычайно важно для обеспечения контроля качества данных, однако с точки зрения производительности, обеспечения безопасных, здоровых, экологических условий труда и качества результатов наблюдений, цена этого удобства очень высока. Использование кабельных сейсморегирующих систем имеет, по крайней мере, 6 основных недостатков.

- Значительный вес системы
- Интенсивность ручного труда и перемещений
- Увеличение риска причинения вреда здоровью, нарушения экологии и требований безопасности

- Потери времени, связанные с ремонтом и обслуживанием кабелей
- Сложные схемы сети наблюдений
- Недостаточное квантование подповерхностной среды

Решение этих проблем требует революционных изменений в наземной сейсморазведке. Многие геофизики считают, что основой общего успеха отрасли должен стать отказ от кабелей в регистрирующем оборудовании и широкое внедрение в практику выполнения сейсморазведочных работ бескабельных телеметрических сейсморегирующих систем (в дальнейшем БТСС). И с этим трудно не согласиться. Тем более, что помимо обеспечения возможности работы с мегаканальными расстановками и связанными с этим преимуществами, БТСС должны обеспечить и ряд других, весьма существенных преимуществ, по сравнению с кабельными ТСС:

- Существенное снижение численности персонала полевой партии;
- Существенное снижение количества и веса оборудования перемещаемого в полевой партии в процессе выполнения полевых работ;
- Существенное повышение гибкости и скорости развертывания оборудования на исследуемой площади, а также его свертывания по окончании выполнения работ;
- Обеспечение возможности выполнения сейсморазведочных работ в районах, в которых проведение данных работ с другим оборудованием из-за различного рода ограничений не возможно;
- Режим непрерывной регистрации в течении длительного периода (до 30 и более суток), реализуемый в ряде БТСС, идеально подходит для мониторинга месторождений;
- Снижение степени воздействия на окружающую среду;
- Более полное удовлетворение требований охраны труда и техники безопасности в процессе выполнения полевых работ.

С широким внедрением в практику выполнения геофизических работ мегаканальных БТСС геофизики получат множество дополнительных преимуществ, включая возможность проведения широкоазимутальных наблюдений, с большими выносами, с учетом всех требований заказчика работ, а так же возможность полного квантования всего волнового поля с использованием одиночных датчиков.

Представляется, что в настоящее время мы являемся свидетелями нового переходного периода в области регистрации сейсмической информации. Периода, в котором, как сказано в [5]: - «пространственные выборки могли бы обрабатываться так же, как это делается с временными выборками. Таким образом, можно было бы регистрировать в пространственной области практически с тем же подходом, который используется для временной области и обеспечить избирательность позже на соответствующей фазе обработки. Это упростило бы процесс сбора данных до уровня общей измерительной системы и обеспечило бы неограниченные возможности обработки без исходных обязательств при сборе. Дополнительно, была бы обеспечена высокая степень стандартизации».

## О ГЛАВНОМ ИНСТРУМЕНТАРИИ ГЕОФИЗИКА- СЕЙСМОРАЗВЕДЧИКА







В последнее десятилетие, с появлением ряда технологических достижений в области телекоммуникационной связи, компактных и чрезвычайно емких устройств хранения данных, литиево-ионных источников питания, появилась возможность создания сверхмногоканальных бескабельных ТСС нового типа. При этом, при создании данных БТСС могут быть использованы различные подходы к проблеме организации проведения сейсмического наблюдения. Это, в свою очередь, накладывает свои требования к системной архитектуре БТСС и технологиям, используемым при их создании.

Возможны следующие варианты выполнения сейсмического наблюдения с использованием БТСС:

1. Выполнение сейсмического наблюдения с мониторингом процесса регистрации сейсмоданных и технического состояния полевых блоков путем пересылки данных об уровне шума на профиле, зарегистрированных сейсмоданных, данных о результатах тестирования полевых модулей в ЦРК в реальном времени. Техническая реализация таких БТСС требует использования сетевых беспроводных технологий передачи данных. Назовем такие БТСС «сетевыми». В данных БТСС могут быть использованы различные сетевые топологии, например:

- Сотовая топология сети (cellular topology), в которой модули объединяются в ячейки и взаимодействуют только с узлом ячейки. Обмен информацией между ячейками и центральным устройством (хабом) осуществляется только через приемно-передающее устройство узла ячейки;

- Ячеистая топология сети (mesh network topology), в которой к любому узлу сети ведут не менее двух маршрутов;

- топология типа гирлянда (daisy chain topology), при которой узлы связываются в цепочку двухточечными соединениями;

2. Выполнение сейсмического наблюдения с мониторингом процесса регистрации сейсмоданных и технического состояния полевых блоков путем пересылки в ЦРК в нереальном времени только основных атрибутов выбранных трасс и данных оценки результатов тестирования полевых блоков, используемых для оценки функ-

ционирования расстановки. Каждый полевой блок имеет независимую, двунаправленную связь с ЦРК. Назовем такие БТСС «полуавтономными». В основе сети наблюдения, реализуемой данными БТСС, лежит звездообразная сетевая топология (star topology).

3. Выполнение сейсмического наблюдения без мониторинга процесса регистрации сейсмоданных и технического состояния полевых блоков со стороны ЦРК. Так называемая «слепая регистрация». Такие БТСС получили название «автономные».

В свою очередь, БТСС и, в частности автономные БТСС, могут отличаться способами формирования временных меток для разделения трасс и формирования информации о пространственном положении блока.

В первой подгруппе БТСС приемник GPS может устанавливаться в каждом полевом блоке и использоваться для локализации блока на местности и/или, по крайней мере, для обеспечения временной синхронизации.

Во второй подгруппе БТСС может быть использован альтернативный подход, не требующий установки дорогих GPS приемников в каждый блок и обеспечения контроля их работоспособности. Этот подход предполагает использование одного GPS приемника, встроенного в радиопередатчик, передающего информацию о времени для всех полевых блоков одновременно. При этом в каждом из блоков должен иметься радиоприемник. Полевые блоки БТСС размещаются на профиле рабочим, имеющим GPS приемник и устройство хранения информации о координатах положения блоков на профиле, которые впоследствии переносятся в базу данных системы.

Таким образом, структура полевых блоков существенно упрощается, снижается их стоимость и потребление энергии. В этом случае обслуживание требуется всего лишь для нескольких GPS приемников, а однонаправленный радиоканал может быть использован, в случае необходимости, для перевода полевых модулей в режим экономии энергии.

В таблице 1 приведены сравнительные данные о технических характеристиках ряда БТСС зарубежного и отечественного производства.

Табл. 1

| Параметр                            | UNITE<br>(Sercel,<br>Франция)                               | SIGMA<br>(iSeis, США)                                       | Ultra G5<br>(ASCEND GEO<br>США) | GSR<br>(OYO<br>GEOSPACE<br>США) | Z Land<br>(Fairfield<br>Industries<br>США) | ПОСА-А<br>(СНИИГиМС,<br>Россия) |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Общие характеристики системы</b> |                                                             |                                                             |                                 |                                 |                                            |                                 |
| Макс. число каналов                 | Нет ограничений                                             | 50000                                                       | 50000                           | 50000                           | Нет ограничений                            | Нет ограничений                 |
| Режимы работы                       | Передача данных в реальн. времени<br>Автономн.<br>Смешанный | Передача данных в реальн. времени<br>Автономн.<br>Смешанный | Автономн.                       | Автономн.                       | Автономн.                                  | Автономн.                       |
| Длительность, непрерывной записи    | 20 суток                                                    | 30 суток                                                    | 30 суток                        | 30 суток                        | 12 суток                                   | 10 суток                        |
| Выходной формат                     | SEG-D                                                       | SEG-Y, SEG-D                                                | SEG-Y                           | SEG-2, SEG-D                    | SEG-D                                      | Н/д                             |
| <b>Блок сбора данных</b>            |                                                             |                                                             |                                 |                                 |                                            |                                 |
| Число каналов в блоке               | 1                                                           | 3                                                           | 3                               | 1, 2, 3 или 4                   | 1                                          | 4                               |
| АЦП                                 | 24 разр.                                                    | 24 разр.                                                    | 24 разр.                        | 24 разр.                        | 24 разр.                                   | 24 разр.                        |





# О ГЛАВНОМ

## ИНСТРУМЕНТАРИЙ ГЕОФИЗИКА-СЕЙСМОРАЗВЕДЧИКА

|                                     |                                                                                                        |                                                               |                                                          |                                                        |                                  |                                                        |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Период квантования                  | 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 мс                                                                            | 0.0208, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 мс | 2.0, 4.0 мс                                              | 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 мс                            | 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 мс            | 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16 мс            |
| Внутренняя память                   | Н/д                                                                                                    | До 32 Гбайт                                                   | 4 Гбайта                                                 | 4 Гбайта                                               | 2 Гбайта                         | 1 Гбайт                                                |
| Точность временной синхронизации    | < 1 мкс                                                                                                | ± 1 мкс                                                       | ± 50 мкс                                                 | < 1 мкс                                                | ± 100 мкс                        | < 0.1 мкс                                              |
| Макс. входной сигнал                | Н/д                                                                                                    | 3.58В р-р                                                     | Н/д                                                      | 1.8 В RMS                                              | 442 мВ RMS                       | Н/д                                                    |
| Усиление предусилителя              | 0, 12, 24, 36 дБ                                                                                       | 6, 30 дБ                                                      | 0, 12, 24, 36 дБ                                         | Н/д                                                    | 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36 дБ      | 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36 дБ                            |
| Частотный диапазон                  | 0 – 1600 Гц                                                                                            | 0 – 15 кГц                                                    | 1 – 202 Гц                                               | 0 – 1600 Гц                                            | 0 – 85.8% частоты Найквиста      | 0 – 3200 Гц                                            |
| КНИ                                 | - 100 дБ                                                                                               | Н/д                                                           | -106 дБ                                                  | 0.0005%                                                | 0.0006%                          | 0.0003%                                                |
| Входной шум                         | Н/д                                                                                                    | 0.2 мкВ RMS                                                   | 0.7 мкВ                                                  | 0.17 мкВ                                               | 0.4 мкВ                          | 0.2 мкВ                                                |
| Фильтры                             | ФВЧ, ФНЧ, РФ                                                                                           | ФВЧ, ФНЧ, РФ                                                  | ФНЧ, РФ                                                  | ФНЧ, РФ                                                | ФВЧ, ФНЧ, РФ                     | ФНЧ, РФ                                                |
| Общий динам. диапазон               | 120 дБ                                                                                                 | 144 дБ                                                        | Н/д                                                      | 140 дБ                                                 | Н/д                              | Н/д                                                    |
| Мгновенный динам. диапазон          | Н/д                                                                                                    | 118 дБ                                                        | 125 дБ                                                   | 124 дБ                                                 | Н/д                              | 125 дБ                                                 |
| Взаимн. влияния                     | Н/д                                                                                                    | -125 дБ                                                       | Н/д                                                      | Н/д                                                    | Н/д                              | - 100 дБ                                               |
| Подавление синфазных помех          | 100 дБ                                                                                                 | >100 дБ                                                       | -120 дБ                                                  | -120 дБ                                                | > 90 дБ                          | Н/д                                                    |
| Потребляемая мощность (регистрация) | 1.3 Вт<br>1.6 Вт*                                                                                      | 3.48 Вт                                                       | 290 мВт/канал                                            | Н/д                                                    | Н/д                              | 1.7 Вт/канал                                           |
| Потребляемая мощность (спящ. режим) | 10 мВт                                                                                                 | 12 м Вт                                                       | Н/д                                                      | Н/д                                                    | Н/д                              | Н/д                                                    |
| Внутренняя батарея                  | Есть                                                                                                   | Есть                                                          | Есть                                                     | Нет                                                    | Есть                             | Нет                                                    |
| Внешняя батарея                     | Есть                                                                                                   | Есть                                                          | Есть                                                     | Есть                                                   | Нет                              | Есть                                                   |
| Вес с внутренней батареей           | 1.3 кг                                                                                                 | 5.7 кг                                                        | 2.49 кг                                                  | 0.9 кг без батареи                                     | 2.0 кг                           | Н/д                                                    |
| Встроенные системные тесты          | Состояние батареи<br>Состояние GPS<br>Уровень сигнала                                                  | Точность усиления<br>Реакция на импульс<br>Шум<br>Дин.диапаз. | Состояние батареи<br>Уровень сигнала<br>радиопередатчика | КНИ<br>Реакция на импульс<br>Входн. шум<br>Шум геофона | Питание<br>Регистрация<br>Ошибка | Шум Макс. вход. сигнал<br>КНИ<br>Подавление синф.помех |
|                                     | WLAN                                                                                                   | Взаимные влияния КНИ                                          |                                                          | Мгн. дин. диапазон<br>Подавл. синфазного сигнала       |                                  | Взаимные влияния Коэф. усиления                        |
| Встроенные тесты геофона            | Шум, Сопротив. КНИ<br>Подавление синф. помех<br>Наклон* Шум*<br>Гравитация*<br>Усиление*<br>КНИ* Фаза* | Сопротив. Собст. частота<br>Коэф. затухания                   | Сопротив.                                                | Сопротивл. КНИ                                         | Нет                              | Сопротив. Реакция на импульс                           |
| Индикация техн. состояния блока     | Светодиоды                                                                                             | Светодиоды                                                    | Светодиоды                                               | Светодиоды                                             | Светодиоды                       | Светодиоды                                             |



| Тип используемых датчиков          | Геофоны MEMS акселером.                                                                               | Геофоны Гидрофоны                                                                                     | Геофоны                               | Геофоны       | Геофоны  | Геофоны       |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|----------|---------------|
| Наличие встроенной GPS             | Есть                                                                                                  | Есть                                                                                                  | Нет                                   | Есть          | Есть     | Есть          |
| Радиопередача                      |                                                                                                       |                                                                                                       |                                       |               |          |               |
| Информация, передаваемая по радио  | Сейсмич. Информация<br>Состояние блока<br>Состояние батареи<br>Состояние памяти<br>Запуск регистрации | Сейсмич. Информация<br>Состояние блока<br>Состояние батареи<br>Состояние памяти<br>Запуск регистрации | Запуск регистрации<br>Синхро- сигналы | Нет           | Нет      | Нет           |
| Используемая технология радиосвязи | WLAN                                                                                                  | Mesh Wi-Fi                                                                                            | УКВ                                   | Нет           | Нет      | Нет           |
| Рабочий температурный диапазон     | - 20 - + 60°C                                                                                         | - 20 - + 60°C                                                                                         | - 40 - +70°C                          | - 40 - + 85°C | Н/д      | - 40 - + 60°C |
| Влажность                          | 0 - 100%                                                                                              | 0 - 100%                                                                                              | 0 - 100%                              | 0 - 100%      | 0 - 100% | Н/д           |

\* отмечены параметры, касающиеся БСД с MEMS акселерометром

### СБТСС «UNITE» [6, 7]

СБТСС «UNITE» разработана в 2005 г. и до 2008 г. поставлялась потребителям компанией Vibration Technology Ltd. (Vibtech) (Великобритания). В 2008 г. компания Vibtech была поглощена компанией Sercel и в настоящее время СБТСС «UNITE» является продуктом данной компании.

Архитектура СБТСС «UNITE» представлена на Рис. 1.

Вся сейсмическая расстановка делится на ячейки. Каждая ячейка включает определенное количество одноканальных полевых блоков сбора данных (RAU). В каждой ячейке имеется Узел Доступа Ячейки (CAN), управляющий всеми полевыми блоками ячейки и обменивающийся с ними информацией по радиоканалу. Для обмена информацией используется не лицензируемый частотный диапазон 2.4 ГГц. Блоки сбора данных ячейки используют разные радиочастоты этого диапазона. При этом, поскольку степень затухания радиоволн используемого диапазона довольно высока, то число ячеек с одними и теми же используемыми радиочастотами ничем не ограничено. Надо лишь размещать их на расстоянии, достаточном для

устранения взаимного влияния в процессе радиопередачи. CAN, контролирующий все блоки в своей ячейке, собирает зарегистрированную информацию и передает ее по радиоканалу либо по оптоволоконному кабелю в Центральный регистрирующий комплекс.

CAN использует для обмена данными с ЦРК радиочастотный диапазон ISM, отведенный для промышленной, научной и медицинской радиослужбы (918 МГц, 2450 МГц, 5800 МГц и 22500 МГц).

СБТСС «UNITE» включает:

- Центральный регистрирующий комплекс;
- Полевые блоки сбора данных для аналоговых датчиков (RAU);
- Полевые блоки сбора данных для цифровых датчиков (RAU-D);
- Цифровые датчики DSU3-SA для RAU-D;
- Узел доступа ячейки (контроллер ячейки) CAN;
- Антенный комплект контроллера ячейки CAN для беспроводной связи с RAU;
- Портативный полевой терминал PFT для сбора и регистрации в RAU информации о сборе и обработки тестовой информации о

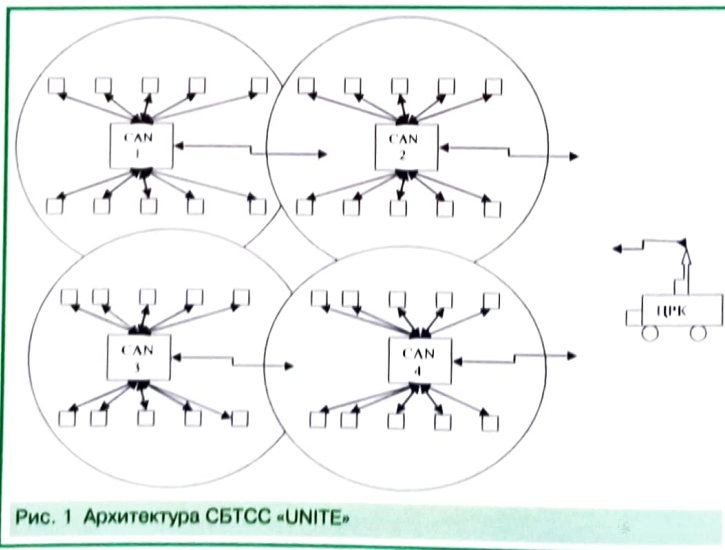


Рис. 1 Архитектура СБТСС «UNITE»

техническом состоянии RAU

- Беспроводной интерфейс данных WDI для полевого терминала
- Программное обеспечение для полевого терминала QC SPX предназначенное для обработки тестовой информации RAU;
- Антенный комплект для связи между контроллерами ячеек

Блок сбора данных RAU включает:

- электронные узлы сейсмического тракта;
- интегрированную высокоточную систему позиционирования GPS обеспечивающую так же высокоточную синхронизацию работы всех узлов блока;
- встроенную неразрушаемую память большой емкости, обеспечивающую

возможность автономной работы в течение 4 недель (12 часов работы)





чий день);

- интегрированные средства беспроводной локальной сети WLAN, обеспечивающие высокоскоростную беспроводную связь с контроллером ячеек CAN и полевым терминалом PFT;
- внутреннюю батарею с емкостью на 36 часов автономной работы;
- сетевую карту высокоскоростного Ethernet;
- разъем для подключения внешней батареи (9-12 В) с возможностью «горячей» замены;
- два сигнальных светодиода, отображающих техническое состояние системы GPS, беспроводной сети WLAN, датчика и общего состояния RAU;
- разъем для подключения датчика.

После установки RAU на профиле и включения питания, RAU находится в режиме пониженного потребления электроэнергии до поступления команды СТАРТ. Сбор данных RAU осуществляет только в течение заданного при конфигурации рабочего периода. Вне этого периода RAU остается в режиме пониженного потребления электроэнергии. Управление всеми RAU в расстановке осуществляется одновременно.

Система может работать в трех режимах регистрации сейсмоданных:

- В режиме реального времени с передачей полного набора данных в пределах цикла возбуждения. Данный режим реализуется в условиях хорошей радиосвязи. При работе системы в режиме реального времени, поступающие в RAU данные немедленно через контроллеры ячеек CAN-ы по радиоканалу отправляются в сервер ЦПК;
- В полуавтономном режиме, который используется при неоптимальных условиях для радиосвязи. В этом режиме в ЦПК пересылаются только данные контроля качества. Полный набор данных сохраняется во внутренней памяти RAU.
- В автономном режиме.

При использовании полуавтономного и автономного режимов регистрации, сейсмоданные, сохраненные во внутренней памяти RAU, в любой подходящий момент данные могут быть перезагружены из RAU в полевой терминал PFT по беспроводному каналу связи или по кабелю. Полевой терминал PFT компактен и может транспортироваться любым удобным способом. Независимо от процесса съема информации из RAU в ЦПК с помощью программного обеспечения e-UNITE осуществляется формирование «Заголовка Файла», содержащего все параметры, полученные от источника возбуждения и вспомогательных каналов.

При поступлении в ЦПК сейсмоданных, собранных с помощью терминала PFT, с помощью программного обеспечения e-DOL и с использованием «Заголовка файла» формируются выходные SEG-D файлы.

Устанавливаемое в полевой терминал PFT программное обеспечение QC SPY обеспечивает возможность контроля функционального состояния любого RAU. При этом проверка состояния блоков расстановки (состояние батареи, наличие GPS сигнала, уровень сигнала WLAN, сопротивление датчика) может быть выполнена в процессе регистрации сейсмоданных без его прерывания.

В случае необходимости, CAN-ы и ЦПК могут быть соединены оптоволоконным кабелем.

Помимо СБТСС «Unite» компания Vibtech в сотрудничестве с NASA создала комплекс «Min-it», представляющий собой уменьшенный вариант систем «Unite» и ранее разработанной СБТСС «it Systems» [8]. Обычно, для сейсмических исследо-

ваний с небольшим числом каналов, методом преломленных волн (МПВ), в зоне малых скоростей (ЗМС), микросейсмокаротажа (МКС), а также геотехнических и инженерных изысканий - используются специальные сейсмографы. Это вынуждает пользователей, специализирующихся на выполнении сейсмических наблюдений методом МОВ, иметь два вида оборудования с очень отличающимися рабочими режимами и функциями.

В системе «Min-it» для конфигурации расстановки, управления комплексом и регистрации информации используется портативный планшетный персональный компьютер. В результате, компания создала весьма портативную сейсмостанцию. В качестве наземного оборудования в системе «Min-it» используются блоки сбора данных систем «it Systems» и «Unite», что существенно снижает расходы компаний на приобретение оборудования и расширяет его функциональные возможности.

### СБТСС «FireFly» [9]

Первая версия СБТСС «FireFly» была выпущена компанией INPUT-OUTPUT (США) в 2006 г. По результатам опытных сейсморазведочных работ, выполненных по заказам нефтяных компаний BP и Apache, вложивших основные средства в создание данной СБТСС, в 2008 г. была представлена коммерческая версия 2.0 СБТСС «FireFly».

Ниже представлены основные компоненты системы «FireFly».

#### Центральный модуль (ЦМ)

Является центром управления всеми операциями в партии. В нем размещены:

- компьютер Центральной станции (CSC), обеспечивающий мониторинг всех операций в поле;
- Интерфейсный Модуль (TIM), предназначенный для управления, контроля и синхронизации работы источника возбуждения;
- Центральный радиоблок (CRU);
- Компьютер контроля качества (QCC).

#### Бескабельная наземная Электроника\*

Обеспечивает выполнение 2D и 3D наблюдений в сложных условиях окружающей среды, с числом активных каналов регистрации в несколько десятков тысяч. Включает:

1. Полевые блоки сбора данных FSU, каждый из которых содержит процессор с операционной системой Linux, флэш-память большой емкости, встроенную систему GPS, две радиосистемы: одна УКВ, а другая Bluetooth, встроенную аккумуляторную батарею.

Емкость встроенной неразрушаемой памяти составляет около 4 ГВ и обеспечивает хранение десятков тысяч 3-х компонентных сейсмозаписей.

Комбинация GPS и цифровой модели вертикального профиля поверхности участка, полученной с помощью лазерного радара LiDAR, используется для:

- определения и регистрации X, Y и Z координат положения пикета на профиле, что позволяет размещать FSU и источник возбуждения без предварительной разметки профиля, снижая степень воздействия на окружающую среду;
- обеспечения сохранности FSU;
- удобства при сборе FSU и, при необходимости, повторном размещении FSU на ранее пройденном профиле.

Эта информация вместе с информацией о положении источника возбуждения хранится в FSU вместе с сейсмоданными в заголовке трасс. УКВ радиостанция используется для дуплексной радиосвязи с ЦПК для приема централизованных команд и передачи конфигурируемой пользователем информации о состоянии профиля и внутрен-



ной диагностической информации о техническом состоянии FSU.

Bluetooth используется для ввода и вывода служебной информации в полевых условиях.

3-х компонентные датчики VectorSeis на базе MEMS акселерометров;

Комбинация внутренней и внешней батареи питания, позволяет использовать FSU на одном и том же месте более месяца, обеспечивая питание FSU и датчика VectorSeis.

\*Технические параметры блока сбора данных компании IOX не публикует.

**Комбинация программных продуктов и полевых приборов Connex**

Пакет программных продуктов Connex, созданный дочерней компанией Concept Systems, является основой управляющей и командной инфраструктур системы, обеспечивая навигацию, позиционирование и функциональный контроль. Включает:

- NavServer для управления пространственными данными и координации программ регистрации сейсмоданных;
- NavTool для навигации, развертывания и свертывания оборудования, моделирования состояния аккумуляторных батарей в блоках и определения батарей, нуждающихся в замене, контроля качества, поиска неисправностей в поле, операций со взрывами;
- Цифровой Компас и Дальномерный Шест для точного расчета и замера реального положения датчика;
- VNav Vibe для навигации, позиционирования и управления группой вибраторов;
- VNav Drill для управления операциями бурения взрывных скважин.

#### **Вспомогательный модуль**

Этот модуль предназначен для съема данных и диагностики FSU, существенно снижая временные затраты на поиск неисправностей в поле. К модулю можно подключить до 396 FSU и датчиков VectorSeis, одновременно обеспечивая съем данных и контроль их качества с помощью встроенного устройства Transcriber 3, а также зарядку батарей.

#### **СБТСС «SIGMA» [10]**

СБТСС «SIGMA» разработана компанией iSeis, основанной специально для создания нового типа наземной сейсморегистрирующей системы. СБТСС «SIGMA» может работать в одном из 4-х режимов регистрации сейсмоданных:

- Автономный режим регистрации;
- Режим работы в сети с узловой структурой (Mesh Radio Network);
- Режим беспроводной связи в стандарте Wi-Fi с полным возвратом данных в ЦРК;
- Смешанный режим.

#### **Автономный режим регистрации сейсмоданных**

Обеспечение в каждом полевом блоке сбора данных точного отсчета времени позволяет выполнять операции по сбору сейсмоданных «в слепую». Широкий выбор периода квантования, установок преусилителя, встроенная память емкостью до 32 Гбайт и внешний источник питания обеспечивают СБТСС «SIGMA» широкие функциональные возможности даже в этом простейшем режиме регистрации сейсмоданных.

#### **Режим работы в сети на основе Mesh технологии**

Обеспечив одному или нескольким блокам сбора данных системы возможность работы в режиме узловой радиосвязи, можно вывести систему на новый уровень работы. Активные блоки сбора данных теперь могут контролироваться из

ЦРК. Оператор может получать информацию о техническом состоянии активных блоков, GPS информацию, данные о состоянии аккумулятора и объеме загруженной памяти, результаты тестирования геофонов. Особенно данный режим полезен для получения в ЦРК информации о шуме на профиле. Активные блоки могут быть использованы в качестве ретрансляторов данных для активных блоков, испытывающих трудности с прохождением радиосигналов.

#### **Режим Wi-Fi с возвратом данных в ЦРК в процессе их регистрации**

При обеспечении автономным блоком возможности работы в режиме беспроводной связи в стандарте Wi-Fi (не лицензируемый диапазон радиочастот) в ЦРК передается вся регистрируемая блоками сейсмическая информация. Для увеличения дальности связи можно использовать блоки Wi-Fi ретрансляторов.

#### **Смешанный режим**

Для достижения оптимальной производительности и высокого качества регистрируемой сейсмической информации используется смешанный режим (автономный, узловая радиосвязь, режим Wi-Fi) работы блоков сбора данных в сейсмической расстановке.

СБТСС «SIGMA» может работать совместно с различными источниками возбуждения: взрывной, падающий груз, воздушные пушки, другие импульсные источники возбуждения. Обеспечена возможность использования новейших методов вибросейсмических наблюдений (Slip Sweep, одновременная работа нескольких групп вибраторов).

Система может быть использована для мониторинга месторождений (пассивного и активного).

Операции корреляции и накопления осуществляются в ЦРК. Выходной формат данных SEG-Y или SEG-D.

В системе обеспечена возможность «горячей» замены батарей, а также включения, при необходимости, блоков сбора данных в режим экономного потребления энергии (в режиме узловой радиосвязи).

В СБТСС «SIGMA» предусмотрено несколько способов съема информации из блоков сбора данных:

- Съем информации с помощью Wi-Fi связи. Данные могут быть считаны из блоков сбора данных и переданы в ЦРК при наличии связи Wi-Fi. В случае необходимости могут быть использованы блоки-ретрансляторы. Если связь в этом диапазоне не уверенная, то можно считать данные, находясь в непосредственной близости от блоков.
- Съем данных с помощью компьютера путем подключения его непосредственно к блоку. Эта операция может быть выполнена даже в процессе регистрации данных.
- При использовании в блоках связи Wi-Fi для съема данных, не переданных в ЦРК, может быть использован мини-транспортёр. В этом случае данные и результаты контроля качества не контролируются.
- Данные могут быть считаны с помощью устройства, установленного на автомобиле, при перемещении блоков на профиле.
- При необходимости съема данных с большого числа блоков (от тысячи и выше) может быть использовано специальное оборудование, установленное в кунге автомобиля или в офисе. При этом формируются файлы данных и обеспечивается полный контроль качества зарегистрированных данных.

#### **БТСС «Ultra G5» [11, 12]**

БТСС «Ultra G5» разработана и выпускается



компанией ASCEND GEO (США). Данная компания является дочерней компанией нефтяной компании Aspect Energy LLC (США), которая основала ASCEND GEO в 2001 г. с конечной целью снижения затрат на проведение сейсморазведочных работ. BTCC Ultra G5 выпускается с 2005 г.

Архитектура BTCC Ultra G5 реализует концепцию сети автономных узлов сбора и хранения информации с временной синхронизацией работы полевых блоков по радио сигналами, синхронизированными GPS с точностью < 1 мкс UPC.

Система может использоваться для выполнения сейсмических исследований в условиях города, районов с легко ранимой экологией, труднодоступных районов, гор, джунглей и т.д. Трехканальные блоки сбора данных системы идеально подходят для многокомпонентного мониторинга месторождений с использованием активного и пассивного сбора сейсмической информации.

Специально созданные компанией программные средства Seamless Expansion обеспечивают совместное использование любых кабельных ТСС и автономной Ultra G5, а также визуализацию полученной при этом сейсмической информации.

Система совместима с источниками возбуждения любого типа.

BTCC Ultra G5 включает следующие компоненты:

- Полевой блок сбора данных (DAU);
- Сеть радиопередатчиков (TXU);
- Интерфейс Ultra Source;
- Программный комплекс Ultra Survey Manager;
- Блок съема сейсмической информации, зарегистрированной в DAU, а также зарядки аккумуляторов (DOCK);
- Сервер данных

Полевой блок системы DAU обеспечивает возможность непрерывной регистрации и имеет в своем составе:

- программируемый усилитель;
- радиоприемник с программируемыми радиочастотами приема;
- 3 аналоговых канала, обеспечивающих, в том числе, трехкомпонентную регистрацию;
- измеритель уровня радиосигнала;
- комбинированный разъем, обеспечивающий возможность подключения к блоку геофонов, зарядного устройства и устройства считывания данных;
- встроенный FRID чип, используемый для радиочастотной идентификации блока с помощью специально разработанных ручных устройств PDA, регистрирующих информацию о пространственных координатах блока при установке его на профиле. Кроме того, FRID используется при складского учете оборудования.
- датчик окружающей температуры.

Сеть радиопередатчиков TXU включает мало-мощные основной и вспомогательные УКВ радиопередатчики, работающие на одной частоте и размещаемые с учетом характера местности и конфигурации расстановки.

Основной радиопередатчик имеет в своем составе:

- активный генератор, синхронизируемый сигналами GPS и обеспечивающий синхронизацию работы всей системы;
- встроенный DAU для записи ведущей временной синхронизации;
- монитор с большим экраном.

TXU обеспечивает передачу синхросигналов, синхронизирующих работу внутренних тактовых генераторов полевых блоков, а также команд начала регистрации и перевода блоков в энергосбере-

гающий режим.

Интерфейс UltraG5 обеспечивает:

- передачу команд через контроллеры взрывного или вибросейсмического источников для инициирования процесса возбуждения сейсмических колебаний;
- запись свипа на вспомогательном канале;
- «бесшовную» интеграцию BTCC с обычной кабельной сейсморегистрирующей системой.

Программный комплекс Ultra Survey Manager обеспечивает:

- управление сейсмическими операциями;
- контроль и управление радиопередатчиками, а также запуск работы источников и блоков сбора данных;
- формирование графического отображения состояния системы наблюдения, используемого для управления размещением и перемещением оборудования;
- учет всего полевого оборудования;
- интеграцию зарегистрированных сейсмических данных, временной информации и информации, полученной от источника возбуждения.

Блок съема сейсмической информации DOCK обеспечивает:

- считывание информации из полевых блоков в процессе зарядки аккумуляторов под управлением встроенного компьютера.

Одновременно обрабатывается 32 блока. Каждый блок перезаряжается в течение 2 часов, а 4000 часов зарегистрированной информации может быть считано в течение 60 минут. Антенна DAU при установке в DOCK не снимается;

- использование для быстрой зарядки аккумулятора DAU специального алгоритма зарядки Delta T;
- синхронизацию и формирование данных в выходном формате SEG-Y;
- тестирование и перепрограммирование каждого DAU перед установкой в поле;
- возможность установки в кунге автомобиля, трейлере или в офисе.

Сервер данных обеспечивает:

- синхронизацию во времени файлов зарегистрированных «сырых» сейсмоданных и файлов источника возбуждения. В результате, на выходе формируются подготовленные к обработке сейсмоданные в формате SEF-Y с информацией о координатах местонахождения блока в расстановке

#### BTCC «GSR» [13]

BTCC «GSR» создана компанией OYO GEOSPACE (США) в 2007 г.

BTCC «GSR» является автономной бескабельной системой сбора и хранения сейсмоданных.

Система включает:

- Систему управления данными GSR GeoRes-XTC;
  - Полевые блоки сбора данных GSR;
  - Модуль переноса данных (DTM).
- Отличительными особенностями системы являются:
- 24-х разрядная оцифровка сейсмических сигналов;
  - Встроенные GPS и синхронизируемые часы;
  - Встроенный генератор тест-сигналов с высоким разрешением;
  - Флэш-память;
  - Возможность наращивания системы до 50000 и более каналов;
  - Непрерывная запись в течение 30 суток и более;
  - Совместимость с взрывными, вибрационными и другими импульсными источниками возбуждения сейсмических колебаний;



## О ГЛАВНОМ

# ИНСТРУМЕНТАРИЙ ГЕОФИЗИКА-СЕЙСМОРАЗВЕДЧИКА





- Светодиодный индикатор, сообщающий о состоянии прибора и его готовности к работе;
- Радиочастотный идентификатор-транспондер для ускорения обнаружения прибора на местности и на складе;
- Прием сигналов от стандартных аналоговых датчиков.

Центральная система управления данными GeoRes-XTC включает два программных модуля: GeoReaper и GeoMerge.

GeoReaper используется для программирования блоков перед их установкой на местности. Устанавливаются такие параметры как период дискретизации, коэффициент предварительного усиления, режим записи, параметры тестирования и т.д. Через интерфейс локальной сети Ethernet данные передаются в Модуль переноса данных (DTM) и в высокоскоростной компьютер системы GeoRes-XTC.

GeoMerge используется для считывания и импортирования трех главных компонент SPS (записи R, S и X). Этот программный модуль объединяет все данные, полученные из полевых блоков GSR, в файлы SEG-D и SEG-2, в зависимости от записи X SPS (файл перекрестных ссылок, сортируемый в том же порядке, что и файл источника "S"), и превращает всю информацию о широте и долготе в те же координаты, которые используются в файлах SPS. Эти данные затем переносят в полевую базу данных (память RAID) и/или на твердый носитель (лента, диск и т.д.). Система GeoRes-XTC совместима с SPS-файлами, полученными третьими сторонами.

Полевой блок GSR спроектирован для записи сейсмоданных без использования кабелей и радиоканала. Автономный полевой блок включает в себя от одного до 4-х каналов с 24-х разрядной оцифровкой, встроенный высокочувствительный GPS-приемник, тактовый генератор, встроенный генератор тест-сигналов, энергонезависимую память емкостью до 4 Гбайт на канал и высокоскоростной порт для передачи данных. При потере сигнала GPS тактовый генератор может сохранять точное время в течение нескольких часов.

В одноканальном варианте, вместо обычно используемых 6 геофонов и суммирования их выходных сигналов, полевой блок может иметь один встроенный высокочувствительный геофон [14].

Полевой блок имеет герметичный корпус, на котором имеются разъемы для ввода данных, присоединения блока внешнего аккумулятора большой емкости и съема записанной информации.

BTCC «GSR» может выполнять тестирование работоспособности цепи каждого сейсмического канала и геофонов. Пользователь может на свой выбор задать программу тестирования – частичную или полную. По желанию пользователя можно вывести либо все результаты тестирования, либо только данные о неполадках. Собираемые и используемые для анализа данные записываются во флэш-память полевого блока GSP. При проведении тестов программа автоматически управляет переключателем входов каналов и параметрами генератора тест-сигналов. Все тесты проводятся с использованием текущих заданных значений частоты дискретизации и коэффициента усиления предварительного усилителя.

Перечень возможных тестов включает:

- КНИ;
- Реакция на импульс;
- Эквивалентный входной шум;
- Шум геофона;
- Мгновенный динамический диапазон;
- Амплитудная неидентичность;

- Подавление синфазного сигнала;
- Полное сопротивление и суммарные гармонические искажения геофонов;
- Омическое сопротивление геофонов.

Согласно [14], полевые блоки могут передавать на небольшие расстояния критические значения данных тестирования. Таким образом, можно периодически контролировать работоспособность блоков и состояние батарей в расстановке, используя автомобиль или вертолет.

#### BTCC «Z Land» [15]

BTCC «Z Land» создана и выпускается компанией Fairfield Industries (США) с 2008 г. Система «Z Land» является сухопутным вариантом сейсморегистрирующих систем Z-3000 и Z-700, разработанных компанией Fairfield Industries для реализации, так называемой, Z-узловой технологии сбора сейсмоданных, реализуемой с помощью автономных блоков сбора сейсмоданных, размещаемых на дне любого водоема – как на большой глубине (океан, море), так и на незначительной глубине (шельф, мелководье, озера, реки, транзитные зоны и т.д.). Специалисты компании Fairfield Industries считают, что в настоящее время наземная сейсморазведка находится в таком же переходном состоянии, в каком она находилась в 1980-е и 1990-е годы, когда осуществлялся переход от 2D наблюдений к 3D наблюдениям. Только теперь сейсморазведка начинает переход от наблюдений с ортогональными расстановками к наблюдениям со свободным размещением узлов сбора данных в соответствии с особенностями местности, объектов и целей исследования. По мнению специалистов компании Fairfield Industries этим новым технологиям проведения сейсморазведочных работ в наибольшей степени отвечают BTCC с полностью автономными блоками сбора данных, включающие: датчик (обычно геофон), батарею, систему управления и контроля, АЦП, фильтр, память и высокоточные часы. Не имея необходимости связи с ЦРК, эти BTCC должны иметь в своем составе полевые блоки сбора данных, контроллер для полевых блоков, координатор источника возбуждения, блок съема данных и сортировщик данных.

По мнению специалистов компании Fairfield Industries следующее поколение сухопутных сейсморегистрирующих систем должно отвечать следующим требованиям:

- Полностью автономные узлы сбора данных, свободные от кабелей и разъемов;
- Технические параметры аналоговой части должны соответствовать или превосходить параметры существующих сейсморегистрирующих систем;
- Время непрерывной автономной работы должно быть не менее 288 часов;
- Допустимая интенсивность отказов полевого оборудования должна составлять не более 6 отказов в день для 10000 канальной расстановки;
- Связь блока сбора данных с грунтом должна быть не хуже связи с грунтом обычного геофона.

Всем этим требованиям отвечает BTCC «Z Land».

#### BTCC «POCA-A» [16]

BTCC «POCA-A» (АР «POCA-A» разработана и выпускается ФГУП «СНИИГТМС» (Россия).

Система является автономной бескабельной системой сбора и хранения сейсмоданных и имеет следующие функциональные возможности [16]:

- Свободный режим работы с сейсмическими, в том числе и с вибросейсмическими, источниками возбуждения;





# ИНСТРУМЕНТАРИЙ ГЕОФИЗИКА- СЕЙСМОРАЗВЕДЧИКА О ГЛАВНОМ

- Возможность организации сейсмического мониторинга;
- Практически неограниченное число сейсмических каналов;
- Экономичность, отсутствие необходимости в аналого-цифровых кабелях;
- Многоуровневое защищенное хранение и высокая скорость передачи больших объемов информации на основе файловой системы FAT16;
- Высокоточная внешняя синхронизация по сигналам системы GPS;
- Оперативный многооперационный контроль системы регистрации сейсмических данных в полевых условиях с документированием результатов в виде файлов во встроенной Флэш-памяти;
- Широкий частотный диапазон регистрации: до 3.2 кГц при шаге квантования 0.125 мс;
- Возможность использования цифровых акселерометров, выполненных по MEMS-технологии;
- Возможность работы в особо сложных условиях эксплуатации.

В состав автономного полевого блока системы АР «РОСА-А» входят следующие основные функциональные узлы:

- Четырехканальный 24-х разрядный АЦП;
- Устройство управления;
- Блок внутреннего контроля;
- Генератор тестовых сигналов;
- Твердотельная Флэш-память;
- GPS-приемник;
- Высокостабильный термостатированный тактовый генератор;
- USB интерфейс.

Устройство управления выполняет следующие основные функции:

- настройка АЦП в соответствии с выбранным режимом регистрации;
- синхронизация внутренних часов блока;
- управление режимами энергосбережения и регистрации;
- мониторинг технического состояния блока.

Внутреннее программное обеспечение блока хранится в перезаписываемой Флэш-памяти, объем которой достаточен для возможных расширений и модернизаций.

При программировании режима работы АЦП, помимо задания частоты квантования и коэффициента усиления, возможно конфигурирование входов АЦП на работу с внутренним генератором тестовых сигналов для диагностики параметров канала регистрации без использования дополнительных приборов. Контролируются следующие параметры: шумы, максимальный входной сигнал, КНИ, подавление синфазной помехи, взаимные влияния, идентичность коэффициентов усиления, сопротивление и импульсная характеристика геофонов, правильность настроек регистрации. КНИ самого генератора составляет менее 0.0003 %.

В блоке реализовано два варианта синхронизации внутреннего времени: с использованием GPS-приемника и, при нестабильном приеме радиосигналов, при помощи встроенного высокостабильного тактового генератора.

Источник питания модуля (внешний аккумулятор 12 В, 30 Ач) обеспечивает питанием самый энергоемкий непрерывный режим регистрации в течение 10 суток.

В качестве энергонезависимой памяти используются промышленные Флэш-карты емкостью от 256 Мб до 1 Гб, с возможностью их замены и считывания отдельно от устройства. Для записи информации на карту используется стандартная

файловая система FAT16, которая обеспечивает многоуровневое защищенное хранение и высокую скорость переноса на другие носители больших объемов информации.

Конфигурирование блока, а так же съем служебной и зарегистрированной сейсмической информации осуществляются путем подключения компьютера к USB интерфейсу блока. При этом блок представляется пользователю как жесткий диск, на который, используя соответствующие программные средства, можно занести информацию о предстоящих сеансах работы, считать тестовую информацию о состоянии модуля, GPS, данные о проведенных сеансах наблюдений и т.п., а также файлы с сейсмическими данными для последующего просмотра, обработки и хранения.

Результаты сравнения функциональных возможностей различных БТСС представлены в таблице 2.

Анализ данных, представленных в таблицах 1 и 2 показывает, что все рассмотренные БТСС можно разделить на следующие группы:

- БТСС UNITE, SIGMA являются сетевыми БТСС;
- БТСС FireFly является полуавтономной БТСС, хотя также использует сетевую топологию;
- БТСС Ultra G5, GSR, Z Land и РОСА-А являются автономными БТСС.

Анализ сетевых архитектур, реализованных в БТСС первой группы показывает следующее:

В БТСС UNITE реализована классическая иерархическая структура сети наблюдения (сотовая топология сети), приспособленная для синхронного сбора данных, с использованием технологий радиопередачи данных на короткие и длинные расстояния, что обеспечивает возможность передачи данных от полевых модулей в ЦРК в режиме реального времени. Наличие полуавтономного и автономного режимов регистрации существенно повышает устойчивость системы к неблагоприятным условиям передачи данных по радиоканалу и расширяет ее функциональные возможности. В БТСС UNITE имеется возможность использования, как аналоговых геофонов, так и цифровых MEMS акселерометров.

Практически те же функциональные возможности реализованы в БТСС SIGMA.

Вместе с тем, есть и определенные отличия. В частности, полуавтономный режим (узловая радиосвязь) в системе SIGMA реализуется только для блоков, включенных в сеть узлов радиосвязи. В этом случае контроль из ЦРК возможен только для активных блоков. Кроме того, в системе SIGMA реализован смешанный режим (автономный, узловая радиосвязь, режим Wi-Fi) работы блоков сбора данных в сейсмической обстановке. Это сделано для обеспечения максимальной эффективности работы системы в сложных условиях выполнения сейсмических наблюдений.

Отличительной особенностью БТСС FireFly, помимо ее «полуавтономного» режима сбора данных, является использование в качестве датчика только одиночного цифрового 3-С MEMS акселерометра, что несомненно будет сдерживать ее широкое распространение, по крайней мере, в ближайшие годы, поскольку, несмотря на многообещающие перспективы, многоволновая регистрация широкого распространения пока не получила.

Среди автономных БТСС вполне конкурентоспособной по своим техническим параметрам является российская БТСС «РОСА-А».

Интересно отметить, что из всех рассмотренных БТСС, только в автономной БТСС «Ultra G5» подстройка тактовых генераторов полевых модулей осуществляется из ЦРК, с помощью радиопе-



Табл. 2

| Функциональные возможности                                                             | UNITE | SIGMA | FireFly | Ultra G5 | GSR | Z Land | POCA A |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|---------|----------|-----|--------|--------|
| 1                                                                                      | 2     | 3     | 4       | 5        | 6   | 7      | 8      |
| Передача всех данных в ЦРК в режиме реального времени                                  | +     | +     | -       | -        | -   | -      | -      |
| Передача данных контроля состояния профиля в ЦРК                                       | +     | +     | +       | -        | -   | -      | -      |
| Передача данных контроля качества сейсмической информации в процессе регистрации в ЦРК | +     | +     | +       | -        | -   | -      | -      |
| Контроль технического состояния полевого модуля                                        | +     | +     | +       | +        | +   | +      | +      |
| Передача данных контроля технического состояния полевого модуля в ЦРК                  | +     | +     | +       | -        | -   | -      | -      |
| Работа в автономном режиме                                                             | +     | +     | +       | +        | +   | +      | +      |
| Наличие встроенной GPS                                                                 | +     | +     | +       | -        | +   | +      | +      |
| Работа с импульсными источниками возбуждения                                           | +     | +     | +       | +        | +   | +      | +      |
| Работа с вибрационными источниками возбуждения                                         | +     | +     | +       | +        | +   | -      | +      |
| Использование аналоговых геофонов                                                      | +     | +     | -       | +        | +   | +      | +      |
| Использование цифровых 3 С геофонов                                                    | +     | -     | +       | -        | -   | -      | -      |
| Наличие внутренней батареи                                                             | +     | +     | +       | +        | -   | +      | -      |
| Возможность подключения внешней батареи                                                | +     | +     | +       | +        | +   | -      | +      |
| Съем сохраненных в модулях данных в поле                                               | +     | +     | -       | -        | -   | -      | -      |
| Съем сохраненных в модулях данных на базе партии                                       | +     | +     | +       | +        | +   | +      | +      |

«+» - данная функциональная возможность реализована  
«-» - данная функциональная возможность не реализована

редатчика, передающего синхронизированную с GPS информацию о времени для всех полевых модулей одновременно.

Фактически БТСС находятся в начале своего развития. Однако уже сейчас можно наметить следующие основные направления, по которым, развиваются и, по-видимому, будут развиваться ТСС данного типа:

- Обеспечение максимальной канальности системы.
- Обеспечение максимальной длительности регистрации.
- Обеспечение максимальной надежности работы полевого оборудования.
- Обеспечение максимальной производительности.

1. Из всех рассмотренных БТСС компанией-изготовителем не установлено ограничение общего числа каналов для следующих БТСС: UNITE, FireFly, ZLand, POCA-A. Максимальная канальность БТСС SIGMA, UltraG5 и GSR составляет 50000. Таким образом, утверждение ряда авторов, о том, что стремление к обеспечению максимальной канальности БТСС неизбежно приводит к необходимости использования автономного варианта БТСС, обеспечивающего неограниченные возможности для увеличения числа каналов в системе, хоть и не вызывает сомнений, но пока не подтверждается практикой. Однако, для автономных БТСС достаточно остро встает вопрос контроля состояния профиля в процессе регистрации, контроля техниче-

ского состояния полевого оборудования и, соответственно, его надежности, а также контроля качества зарегистрированной информации.

Одно из решений данной проблемы предложено в [4]. Учитывая, что одной из областей, в которой кабели имеют, по крайней мере, в настоящее время, бесспорное преимущество, является контроль в реальном времени уровня шума на профиле, было бы разумно использовать это качество кабельных ТСС в совместных расстановках с автономными БТСС. Это было бы тем более разумно, если учесть, тот факт, что в настоящее время в сейсморазведке доминируют кабельные сейсморегирующие системы и это оборудование еще долгое время будет в распоряжении геофизиков.

Пример совместной расстановки кабельной ТСС и автономной БТСС показан на рис.2.

В таких расстановках кабельная система может быть развернута с пониженной плотностью каналов, достаточной для контроля шума в реальном времени. Интервал между кабельными каналами может быть 100 и более метров, а интервал между кабельными линиями – не менее 500 м. Бескабельные каналы можно размещать в линии кабельных каналов, что улучшит качество данных регистрируемых данной линией наблюдения и снизит риски, связанные с возможным повреждением кабеля. Необходимо отметить, что подобные совместные расстановки уже используются в настоящее время [2, 4].



2. Обеспечение максимальной длительности регистрации особенно необходимо для БТСС, используемых для мониторинга месторождений.

Из всех рассмотренных БТСС 5 систем (UNITE, SIGMA, FireFly, GSR, Z Land), работая в автономном режиме, могут регистрировать информацию в течение 24 и более суток. Этот параметр определяется объемом встроенной памяти, потреблением энергии электроникой БТСС, организацией оптимального режима регистрации, емкостью используемых батарей питания (внутренней и внешней), возможностью «горячей» замены внешней батареи.

3. Проблема обеспечения высокой надежности работы оборудования особенно важна для автономных сверхмногоканальных БТСС, не имеющих обратной связи с ЦРК в реальном времени. При этом технические параметры полевых блоков данных БТСС должны обеспечивать возможность автономной работы не менее 288 часов или 24 дня при 12 часовой загрузке в день. Блоки должны иметь чрезвычайно высокую надежность работы. Специалисты компании Fairfield Industries считают, что для 10000 канальной расстановки допустимая интенсивность отказов должна быть не более 6 отказов в день [3].

4. Наиболее важными факторами, влияющими на производительность БТСС, являются:

- Вес оборудования;
- Энергия, потребляемая наземной электроникой;
- Используемые батареи питания и управление системой питания;
- Управление источниками возбуждения и расстановкой.

Проблема веса для БТСС в основном связана с тем, что в бескабельной системе количество батарей равно числу пунктов наблюдения, которое сегодня может быть в диапазоне от 5000 до 50000. В то время как в кабельных системах это число обычно надо делить на 30 ч 40. Необходимо отметить, что современные литиево-ионные батареи не всегда выдерживают свои очень хорошие энергетические параметры во всем рабочем температурном диапазоне полевых блоков (-40°C до +70°C) и, в частности, при низких температурах. Вот почему, тип батареи, особенно внешней, выбирается с учетом совокупности требований: условия окружающей среды, удобство управления системой питания и перезарядки.

Чтобы бескабельные телеметрические сейсморегирующие системы действительно обеспечили наступление эпохи мегаканальных партий, а также реальное уменьшение стоимости проведения работ и снижение воздействия на окружающую среду, они, помимо упомянутых ранее критериев, должны отвечать следующим требованиям:

- Доступная стоимость оборудования.
- Не имеет значения насколько изделие хорошее, если оно дорогое. У него будет слишком узкая ниша на рынке оборудования. Сейсмические данные не могут иметь слишком высокую стоимость. Даже те, которые зарегистрированы только одной мегаканальной расстановкой.

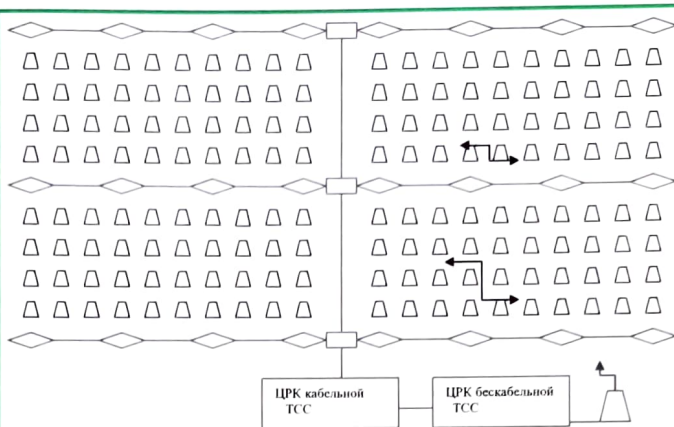


Рис.2 Кабельные и бескабельные каналы дополняют друг друга для обеспечения мегаканальной расстановки с возможностью контроля процесса регистрации в реальном времени. В данном случае отношение бескабельных каналов к кабельным равно 12:1

- Система должна обеспечивать низкие затраты на работу с оборудованием в поле. Это особенно важно для систем с огромным числом каналов. Эти затраты напрямую связаны с надежностью оборудования и его весовыми характеристиками и, в частности, с потребляемой мощностью.

#### Литература

1. Durham, L.S., A Wireless Future? Cables Can Tangle Seismic Plans., AAPG EXPLORER, 09/06/2007
2. Heath, R.G., Trends in land seismic instrumentation., The Leading Edge, July 2008, vol. 27, no. 7, p. 872-877
3. Freed, D., Cable-free nodes: The next generation land seismic system, The Leading Edge, July 2008, vol. 27, no. 7, p. 878-881
4. Heath, R.G., Land Seismic: the move towards the mega-channel., First Break, February 2008, vol. 26, p. 53-58
5. Ongkienhong, L., Changing philosophy in seismic data acquisition, First Break, v. 6, no. 9, 1988
6. Smith, J.F., How a new cable-less land seismic survey acquisition system was born, First Break, v. 24, February 2006
7. UNITE, Sercel [2009], <http://www.sercel.com/Products/land/systems/unite.php>
8. The Ultimate Portable Seismic Recording System, Vibtech [2006], [http://www.vibtech.co.uk/minit\\_features/html](http://www.vibtech.co.uk/minit_features/html)
9. FIREFLY. Full Wave Cableless Land Recording, ION [2009], [http://www.iongeo.com/Land Imaging/Recording\\_systems/FireFly/](http://www.iongeo.com/Land Imaging/Recording_systems/FireFly/)
10. SIGMA, i-SEIS [2009], <http://www.i-seis.com/corporate.pdf>
11. ULTRA, AscendGeo, LLC., [2006], [http://www.ascendgeo.com/products\\_home.html](http://www.ascendgeo.com/products_home.html)
12. Ultra G5, рекламный проспект компании Ascend Geo, LLC., 06/2009
13. Geospace Seismic Recorder (GSR), OYO GEOSPACE [2009], <http://www.oyogeospace.com/gsr.htm>
14. Can seismic be improved?, Feature Articles, August 03 2009 (Digital energy Journal), <http://www.digitalenergyjournal.com>
15. Z Land Nodal System, Fairfield [2009], <http://www.fairfield.com/Products/ZLand/index.html>
16. Сагайдачная О.М. и др. Автономные регистраторы POCA-A для высокоточных сейсмических наблюдений. Приборы и системы разведочной геофизики, № 2(16)6 2006, стр. 40-43







## Оправдан ли переход на бескабельные системы регистрации?

Анатолий Череповский, Дени Мужно, SERCEL

Сегодня на рынке предлагается большое количество бескабельных регистрирующих систем. Часто бескабельные системы описываются как технологический прорыв в области наземной сейсморазведки, поскольку они позволяют избавиться от кабелей и множества разъемов при проведении полевых работ и сэкономить на их ремонте. В данной статье мы попытаемся проанализировать причины бурного роста количества предлагаемых бескабельных систем, сравнить их с предыдущим поколением радиотелеметрических систем и описать их действительные преимущества по сравнению с кабельными системами. Последние также продолжают совершенствоваться, и их возможности и надежность все время повышаются. Кабельные системы по-прежнему доминируют на рынке, и мы полагаем, что они не будут полностью вытеснены. Скорее, бескабельные системы будут комбинироваться с кабельными системами при выполнении съемок в условиях развитой инфраструктуры, сложных поверхностных условиях и экологически чувствительных районах.

### Введение

Большинство наземных сейсморегирующих систем, применяемых в настоящее время, состоят из полевых модулей, соединенных между собой кабелями для передачи данных и питания наземной электроники. Поскольку вес кабелей составляет значительную долю веса полевого оборудования, для перемотки и перевозки кабелей требуется большое количество людей и транспортных средств, что осложняет технику безопасности и охрану окружающей среды. Кроме того, ремонт и обслуживание кабелей и разъемов повышают затраты на полевые работы и снижают их производительность. В связи с этим в последние годы многие поставщики геофизического оборудования, включая нашу компанию, рекламируют регистрирующие системы, в которых полевые модули не соединены кабелями. Питание полевых модулей в таких системах осуществляется с помощью аккумуляторов, по одному или больше на пункт приема, а регистрация данных выполняется автономно и непрерывно. Такие регистрирующие системы называют «бескабельными», даже если кабели продолжают использоваться для подключения (групп) сейсмоприемников и (при необходимости) внешнего аккумулятора.

Но несмотря на резкое увеличение количества компаний, производящих и предлагающих бескабельное оборудование, ситуация на рынке меняется медленно. Не более 7% всех каналов, приобретенных сейсмическими подрядчиками за последние два года, являются бескабельными. Сейсмапартии с кабельным оборудованием обеспечивают высокую производительность полевых работ с приемными расстановками, площадь которых достигает 200 кв. км при работах на открытой местности в Северной Африке и на Ближнем Востоке. При некоторых трехкомпонентных съемках с одиночными приемниками и высокой плотностью наблюдений количество активных каналов достигает 90000, и данные передаются в реальном времени с шагом дискретизации 2 мс. При площадной сейсморазведке в гористой местности число активных каналов иногда

превышает 10000. В настоящее время крупнейшие сейсморазведочные компании располагают кабельными системами, способными регистрировать до 200000 каналов с шагом дискретизации 2 мс. И это реально востребованные на рынке конфигурации – например, объявляемые в тендерах на проведение сейсмических работ с одиночными приемниками в Кувейте и других странах Ближнего Востока. Таким образом, кабельные системы продолжают расширяться и еще не достигли предела своих возможностей.

В этом свете, как объяснить вспышку интереса к бескабельным системам со стороны стольких производителей геофизического оборудования и к тестированию этих систем со стороны нефтегазовых компаний? Какие новые технологии позволили разработать такое большое количество бескабельных систем?

### К регистрирующим системам без кабелей и без радио

Около 20 лет назад появились сейсморегирующие системы, использующие радиосвязь в диапазоне метровых волн (200-250 МГц), с радиусом действия до нескольких десятков км. Такие системы предназначались для работы в сложных поверхностных условиях (реки, овраги, заповедники) или в условиях развитой инфраструктуры (нефтепромысловые сооружения, трубопроводы, шоссе, промышленная и жилая застройка), где сложно проложить непрерывные приемные линии. Радиомодуль, часто называемый автономной станцией, можно было соединить с несколькими группами сейсмоприемников, для чего требовался значительный объем кабелей, а также с аккумулятором. Для снижения стоимости радиосистем их автономные станции были многоканальными (часто от 4 до 8 каналов).

Но все эти радиосистемы не были широко внедрены из-за высокой стоимости, необходимости получения лицензии на радиосвязь в ОВЧ-диапазоне, необходимости установки антенн большой высоты для синхронизации автономных станций, высокого потребления энергии и – все еще – довольно большого количества соединительных кабелей. И только в последние 5 лет новые технологии позволили разработать регистрирующие системы как без кабелей, так и без радиосвязи [3]. Ключевым моментом стало появление дешевых и высокочувствительных GPS-приемников с низким потреблением энергии. Причем GPS-приемники в автономных модулях предназначены, как правило, не для определения координат (поскольку точность, требуемая для сейсморазведочных работ, обеспечивается дифференциальной глобальной спутниковой системой DGPS), а для синхронизации записываемых отсчетов сейсмических трасс. Это ключевой момент, который позволил исключить центральную радиосистему и открыл путь автономным модулям. К другим важнейшим техническим новинкам относятся литиево-ионные (LiO) аккумуляторы небольшого размера, флеш-память (2-16 Гб) и компактная электроника с низким потреблением энергии. Все эти новшества позволили начать производство недорогих одноканальных модулей для автономной регистрации сейсмических данных без радиодатчиков. В большинстве случаев такие реги-





Рис.1. Программирование автономных модулей бескабельной системы на базе партии с помощью антенны Wi-Fi. Эта передвижная антенна может также использоваться для считывания сейсмических данных и контроля их качества во время полевых работ

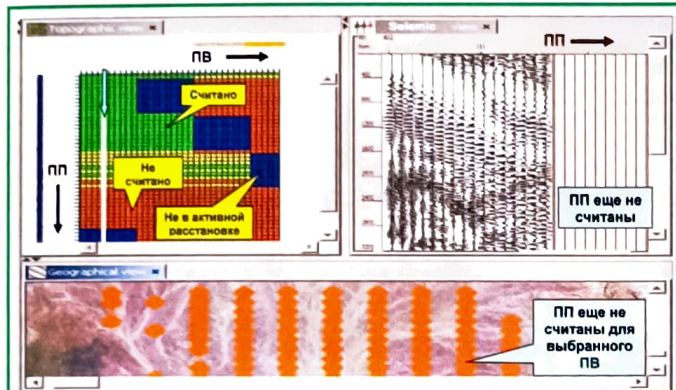


Рис.2. Трехоконный интерфейс системы загрузки и сортировки данных

стрирующие системы не вполне бескабельные: часто необходимо подключать внешний аккумулятор, а также нужны кабели для подключения групп сейсмоприемников. Объем используемых кабелей можно снизить за счет применения одиночных однокомпонентных или трехкомпонентных датчиков, основанных на МЭМС-акселерометрах [4, 5].

Полное исключение антенн означает, что мы должны вести съемку вслепую: во время регистрации данных мы ничего не знаем о состоянии автономных модулей и не получаем сейсмических данных для контроля качества. Это определенный риск, и он неприемлем для многих заказчиков сейсморазведочных работ. Это объясняет, почему в некоторых регистрирующих системах, даже с GPS-приемниками на каждом пункте приема, все же используется сеть антенн. Радиосвязь может осуществляться в обычном метровом диапазоне с большим радиусом действия для сбора результатов контроля качества или выборочных сейсмических данных (первые вступления, отдельные записи). Более инновационный подход — использовать технологию Wi-Fi (Рис.1). В этой технологии используются нелицензируемые частоты микроволнового диапазона (2,4 ГГц; 5,8 ГГц) и обеспечивается высокая скорость передачи данных (до 5 Мб/с). Но недостатком является небольшой радиус действия (от 500 м до 1,5 км в зависимости от рельефа местности, высоты антенн и применяемого протокола). Однако, есть несколько способов преодолеть это ограничение. Один из них — это установка сети антенн небольшой высоты. Каждая антен-

на собирает данные из автономных модулей в радиусе порядка 500 м, используя стандартный протокол (2,4 ГГц). Затем данные могут передаваться с одной антенны на другую и, в конечном счете, на центральный электронику. Хотя при таком подходе обеспечивается телеметрия почти в реальном времени, как в некоторых прежних ОВЧ-радиосистемах, требуется значительное время для установки густой сети антенн и их переноса по площади работ. Одно из решений проблемы оперативного сбора данных — использовать передвижные антенны на вездеходах, движущихся вдоль линий приема. Такой способ дистанционного считывания данных позволяет периодически (ежедневно) доставлять регистрируемые данные в полевой лагерь, не прерывая полевые работы.

### Скрытая часть бескабельных систем

Помимо компактного и легкого полевого оборудования (автономные модули), имеется и другая часть бескабельных регистрирующих систем, о которой обычно говорят гораздо меньше: это энергоемкое и крупногабаритное оборудование в лагере полевой партии, необходимое для перезарядки аккумуляторов, считывания данных из полевых модулей (в некоторых бескабельных системах), контроля качества и сортировки сейсмограмм общей точки приема (ОТП) в сейсмограммы общего пункта возбуждения (ОПВ). Для выполнения этих процедур обычно требуется несколько контейнеров, в которых устанавливают специальные стеллажи с ячейками для размещения автономных модулей. Эти ячейки соединены с мощным сервером, на котором установлено специальное программное обеспечение, и кластером дисков. Процесс считывания и сортировки исходных трасс обычно отражается на дисплее в виде двумерного поля с осями пунктов возбуждения и пунктов приема (Рис.2). Каждый пиксел на этом двумерном поле соответствует одной сейсмической трассе, и цвет пиксела говорит о статусе данной трассы: она может быть уже считана или нет, или не должна быть считана, если не попадает в данную активную расстановку. Если регистрируется 5000 пунктов приема и обрабатывается 500 ПВ в день, то двумерное поле трасс будет содержать 2,5 миллиона пикселов — больше, чем можно вывести на экран высокой четкости. Эти 2,5 миллиона трасс при шаге дискретизации 2 мс и длине записи 5 секунд имеют объем 25 Гб, которые нужно считать, проконтролировать качество и пересортировать в сейсмограммы ОПВ. Кроме того, интерфейс системы загрузки и сортировки сейсмических данных должен иметь окно с визуализацией трасс, выбранных на двумерном поле, и окно с положением автономных модулей на местности и их статусом на текущий момент.

По сравнению с кабельными системами, где готовые сейсмограммы ОПВ передаются, контролируются и записываются на диск или ленту

# О ГЛАВНОМ

## ИНСТРУМЕНТАРИЙ ГЕОФИЗИКА-СЕЙСМОРАЗВЕДЧИКА



# ИНСТРУМЕНТАРИЙ ГЕОФИЗИКА- СЕЙСМОРАЗВЕДЧИКА

## О ГЛАВНОМ

время вес бескабельной системы остается все большее количество каналов. В то же время аккумулятор может снабжать энергией и один кабель соответствует шалу ПП), интервала между пунтами приема (при усложнении канала, уменьшается с уменьшением ной электроники в кабельной системе, в расче- и стоимости бескабельных систем. Вес назем- аккумуляторы, и это отражается на общем весе кабельных систем, что мы меняем кабель на тельности, переход от кабельных систем к бес- условия очень низких температур). В действи- при выполнении длительных наблюдений или в аккумулятор – для повышения автономности аккумулятор (и зачастую, еще один внешний мы требуется собственный литиево-ионный му автономному модулю бескабельной систе- течение нескольких дней, в то время как каждо- обеспечивает питание от 60 до 120 каналов в один стандартный аккумулятор (12 В) может шает 100 мВт на канал. В кабельной системе ни снизилось почти в 3 раза и теперь не превы- Потребление энергии за тот же период време- нального модуля теперь составляет 300-400 г. в 10 раз в расчете на один канал, и вес однокан- ние 10 лет вес наземной электроники снизился жает повышаться с каждым годом. За послед- Эффективность кабельных систем продол- **Аргументы в пользу кабельных систем**

бескабельных систем. партия также называют среди преимуществ первого оборудования и численности полево- передачу данных исключена. Снижение веса ных модулей, а проблема последовательной извольности расставленных идентичных автоном- может состоять из любого количества про- плотачных работах (3Д). Бескабельная система аккумуляторами, межлинейные модули при тронки (модули с АЛП, буферы по питанию с чередованием различных типов наземной элек- линиям приема, что требует определенного по- исследованием передаточной системы по проблем связан с их архитектурой, то есть с В случае кабельных систем еще один тип ное расстояние между ПП.

любом шагом наблюдений, включая перемен- costly и пригодны для обработки съемок с бескабельные системы обладают большей гиб- ми может быть недостаточной. Очевидно, что шат наблюдений, и длина кабеля между канала- и приема. И наоборот, иногда нужна большой наблюдений с шагом 10 или 15 м между пункта- мо выполнять работы с высокой плотностью между каналами (скажем, 55 м), а ей необходи- оборудовании со стандартной длиной кабеля Это особенно важно, когда партия располагает быть значительной долей затрат подразделения стоимость ремонта и перевозки кабелей может населением. С более общей точки зрения, живыми или непереработанными местным повреждение кабелей обусловлены дикими пробы. В некоторых случаях частые ков часто представляет собой неразрешимую чатах с развитой инфраструктурой или слож- выдает, что они отвечают определенным требованиям к бескабельным системам пока- Высокий интерес подрядчиков и нефтегазо-

**Аргументы в пользу бескабельных систем**  
ОП в выходные сейсморамы ОПВ. времени на пересортировку исходных данных системах требуются дополнительные затраты в (почти) реальном времени, в бескабельных

постоянным вне зависимости от интервала между ПП. Если сравнить данные системы с шагом 50 м и шагом 15 м, то общий вес (включая все оборудование) будет примерно одинаковым, а при шаге 15 м между ПП вес кабельной системы будет в два раза ниже, чем вес бескабельной системы [1, 2]. Если на площади работ встречаются бескабельные системы, то контраст между кабельными и бескабельными системами может быть даже более разительным. В случае относительно небольшого количества кабельных систем – до 2000 каналов с шагом дискретизации 2 мс; взрывной источник – для ее управления достаточно портативного компьютера (ноутбук), GPS-приемника и меж- для питания центральной электроники (с общим весом менее 5 кг) и будет один аккумулятор. В то же время для бескабельных систем, независимых от канальности, потребуются дополнительные транспортные средства и контейнеры со складами для размещения автономных модулей и их подзарядки, передвижной дизель-генератор и мощный сервер для сортировки исходных трасс и компоновки выходных сейсмограмм. И, конечно же, самое главное преимущество кабельных систем – полный контроль качества сейсмических данных в реальном времени, что дает возможность оперативно внести изменения в ход полевых работ (перестроить тех или иных ПП, увеличение количества накопления при высоком уровне помех и т.д.). **Опыт применения бескабельных систем UNITE за рубежом**

Бескабельная система UNITE компании Serget обладает важными отличительными особенностями. Во-первых, она полностью интегрирована с кабельной регистрирующей системой 428XL. Это дает экономические и технологические преимущества при выполнении сейсмических съемок (с кабельными и бескабельными шлангами съемки та же самая ми пунтами приема), поскольку та же самая центральная электроника может использоваться для оперативного вывода объединенного массива выходных данных в формате SEG-D. Во-вторых, регистрация данных качества при- UNITE не сложная, и контроль качества полевых работ выполняется прямо в процессе полевых работ. – либо с помощью компактных полевых термометров, либо с помощью CAN-антенн, установленных на вездеходах и на сейсмостанциях. За последние два года несколько компаний выполнили как в полностью автономном режиме, так и в режиме с системой UNITE. В то же время для бескабельных систем, независимых от канальности, потребуются дополнительные транспортные средства и контейнеры со складами для размещения автономных модулей и их подзарядки, передвижной дизель-генератор и мощный сервер для сортировки исходных трасс и компоновки выходных сейсмограмм. И, конечно же, самое главное преимущество кабельных систем – полный контроль качества сейсмических данных в реальном времени, что дает возможность оперативно внести изменения в ход полевых работ (перестроить тех или иных ПП, увеличение количества накопления при высоком уровне помех и т.д.).





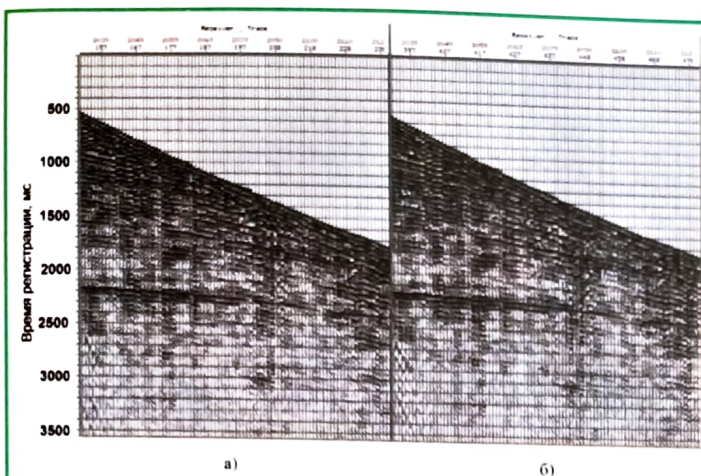


Рис.3. Сравнение сейсмограмм ОПВ в формате SEG-D после считывания информации из автономных модулей RAU и сортировки трасс: а) регистрация кабельными каналами; б) регистрация автономными модулями.

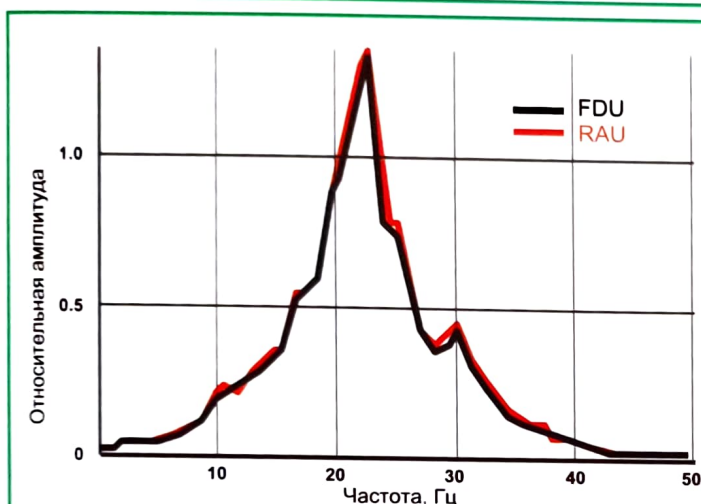


Рис.4. Сравнение амплитудно-частотных спектров в целевом интервале сейсмограмм, полученных с помощью кабельных (FDU) и бескабельных (RAU) каналов. Окно анализа от 2100 до 2700 мс.

ме – например, в Мексике и Португалии, так и в смешанном режиме (как дополнение к кабельной регистрирующей системе) – например, в США, Румынии и Ираке. Наиболее крупная производственная бескабельная съемка 3Д площадью около 900 кв. км была выполнена в штате Табаско, в южной части Мексики, где приемная расстановка включала несколько тысяч автономных модулей на 16 линиях приема. Поверхностные условия были очень сложными: джунгли, холмы, каньоны, населенные пункты, поэтому применялись два типа источников: вибраторы и взрывы. При выполнении прежних съемок 2Д и 3Д в этом регионе наблюдались конфликты с местными фермерами при прокладке линий приема и размотке кабелей. Но теперь, благодаря использованию автономных модулей, потенциальный ущерб сельскохозяйственным угодьям существенно снизился и, соответственно, снизился риск порчи или хищения сейсморазведочного оборудования. По всей площади работ была достигнута высокая плотность ПП благодаря установке автономных модулей там, где сложно размотать кабели – например, в центре населенных пунктов. Заказчик требовал ежедневного контроля качества приемной расстановки, чтобы быть

уверенным, что все данные будут зарегистрированы и считаны, а затем загружены в центральную электронику в течение 48 часов.

Бескабельные системы находят применение и при сейсмическом мониторинге на действующих месторождениях. Возможность произвольного размещения приемных модулей и непрерывной автономной регистрации данных в течение одной-двух недель без перезарядки аккумуляторов особенно важна в условиях ограниченного доступа и большого количества промышленных объектов.

#### Тестирование бескабельной системы UNITE в России

За последние три года бескабельная система UNITE была успешно протестирована ведущими сейсмическими подрядчиками в самых разных природных условиях – от Арктики (Канада) до тропических лесов (Бразилия) и болот (Луизиана, США). В России, в связи с растущим интересом нефтегазовых компаний к бескабельным системам нового поколения, в этом году в Западной Сибири было выполнено два теста системы UNITE: для компаний ТНК-Уват и Салым-Петролеум Девелопмент (Shell). Для этих тестов нашей компанией было предоставлено 600 автономных модулей RAU. Работы 2Д были выполнены с целью определения эффективности бескабельной сейсморазведки в труднодоступных районах (реки, меандры, значительные перепады рельефа и т.д.), оценки её производительности, качества регистрируемых данных и готовности подрядчиков к применению этой технологии.

В первом случае (исполнитель – ОАО «Башнефтегеофизика») около 400 автономных модулей RAU были уста-

новлены вдоль 15-км участка профиля с кабельным оборудованием системы 428XL с таким же шагом пунктов приема (50 м). Шаг взрывных скважин также был равен 50 м. Дистанционный сбор данных, зарегистрированных автономными модулями RAU, осуществлялся двумя способами: 1) с ближних модулей – в режиме реального времени, в радиусе до 1 км с помощью CAN-антенны; 2) с удаленных модулей – с помощью полевых терминалов (планшетных компьютеров) в пешем порядке и с вездехода, проезжающего вдоль профиля. Опрос одного канала длился около 2 секунд благодаря выборочному считыванию памяти автономного модуля в соответствии с отметками моментов взрывов, заранее занесенными в полевой терминал. При этом процесс регистрации данных может продолжаться, и снятие автономных модулей с пунктов приема и доставка их на базу не требуется. Потери данных были очень низкими, и было сохранено около 99,6% всей информации.

Подрядчик не встретил никаких проблем при тестировании смешанного режима регистрации данных. Как и ожидалось, отличить

## О ГЛАВНОМ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ГЕОФИЗИКА- СЕЙСМОРАЗВЕДЧИКА





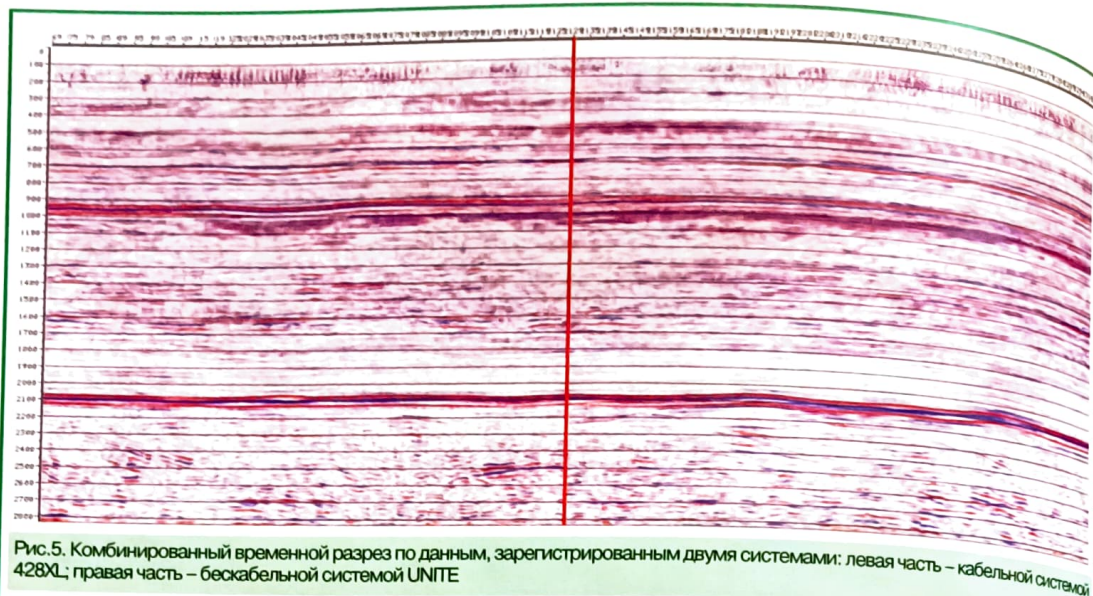


Рис.5. Комбинированный временной разрез по данным, зарегистрированным двумя системами: левая часть – кабельной системой 428XL; правая часть – бескабельной системой UNITE

результаты кабельной и бескабельной систем было невозможно (Рис.3) благодаря одинаковому группам сейсмоприемников, идентичности электроники в бескабельных блоках RAU и кабельных блоках FDU и одинаковому формату записи SEG-D. Амплитудно-частотные характеристики практически совпали, а доминирующая частота составила около 22 Гц (Рис.4). Данные были обработаны по одинаковому графу, что позволило получить бесшовный временной разрез по данным двух регистрирующих систем (Рис.5). Заказчик описанных опытных работ сделал вывод, что бескабельная система UNITE работоспособна и вполне применима в условиях Западной Сибири, особенно как дополнение к кабельной системе на участках, где затруднена смотка-размотка линий приема.

Второй тест был выполнен компанией ОАО «Интегра-Геофизика» в условиях густого леса. Было установлено, что густой лес не препятствовал приему сигнала GPS со спутников, что гарантировало синхронизацию времени с сейсмостанцией. Радиус действия передвижной CAN-антенны, установленной на гусеничном вездеходе, достигал 450 м при высоте антенны 2,5-3 м. Вездеход двигался вдоль профиля со скоростью 15-20 км/час. Среднесуточная температура при проведении описываемых опытных работ составляла -5е С. Снежный покров толщиной до 30 см (над модулями RAU) не влиял на уровень сигнала, передаваемого на CAN-антенну. Геофоны, подключенные к автономным модулям RAU, устанавливались как можно ближе (на расстоянии 10-20 см) к рабочим геофонам, используемым при производственных наблюдениях с кабельной регистрирующей системой. При визуальном сравнительном анализе полученных сейсмограмм ОПВ, их амплитуд и спектральных характеристик значительных различий не было выявлено.

Как и при первом тесте был сделан вывод, что бескабельная система сбора геофизических данных UNITE по качеству регистрируемого сигнала идентична регистрирующей системе 428 XL. В то же время бескабельная система легко адаптируется под различные методики наблюдений и облегчает расстановку оборудования в населенных пунктах и на промышленных объектах.

**Заключение: будущее кабельных и**

### бескабельных систем

Кабельные системы с группами обычных геофонов на сегодняшний день занимают более 90% рынка. В обозримом будущем бескабельные системы вряд ли займут доминирующее положение на рынке, поскольку кабельные системы сохраняют определенные преимущества как с точки зрения стоимости, так и с точки зрения технологичности. Бескабельные системы, прежде всего, расширяют линейку имеющихся у сейсморазведчиков инструментов для выполнения работ любой сложности. Мы ожидаем, что комбинация этих систем будет целесообразна в сложных поверхностных условиях и в экологически чувствительных районах. Если две системы используются в режиме ведущий-ведомый для обеспечения синхронизации отметки момента, то предпочтительно использовать один и тот же тип центральной электроники и программного обеспечения для осуществления однотипного контроля качества и получения данных в одном формате. Это упрощает последующее слияние массивов данных, зарегистрированных кабельной и бескабельной системами.

*Авторы выражают благодарность ООО «ТНК-Уват» за разрешение использовать результаты тестовых полевых работ в данной статье и компаниям ОАО «Башнефтегеофизика» и ОАО «Интегра-Геофизика» за согласие на проведение опытных работ и их безупречную организацию.*

### Литература:

1. Lansley, M., Laurin, M. and Ronen, S., 2007. Land 3D: Groups or single sensors? Cables or radio? Geophysical and operational considerations – SEG Expanded abstracts, vol 26.
2. Lansley, M., Laurin, M. and Ronen, S., 2008. Modern land recording systems: How do they weigh up? – The Leading Edge, vol 27, issue 7, p 888-894.
3. Mougnot, D., 2010. Land cableless systems use and misuse. – First Break, vol.28, Feb 2010, p.55-58.
4. Mougnot, D., Cherepovskiy, A., and Junjie L., 2011. MEMS-based accelerometers: expectations and practical achievements. – First Break, vol.29, Feb 2011, p 85-90.
5. Мужно Д., Череповский А.В., 2009. Цифровые акселерометры и их влияние на сейсморазведку. – «Приборы и системы разведочной геофизики», Саратов, №04 (30), с 18-22



# 428XL + UNITE

Передовое решение для наземной  
сейсморазведки

Компания SERCEL совершила прорыв в производстве аппаратуры для наземной сейсморазведки объединив системы 428XL и UNITE. SERCEL успешно интегрировала две самые передовые системы в области сейсморазведки - кабельную и бескабельную - и предложила первое действительно интегрированное решение для обхода препятствий в сейсморазведке в сложных условиях.

## СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ

- Полностью интегрирована с системой регистрации сейсмоданных e428
- Данные интегрируются на едином носителе
- Полный контроль качества всей расстановки

## УПРАВЛЕНИЕ РАССТАНОВКОЙ

- Данные собираются блоками UNITE и регистрируются системой 428XL в режиме реального времени по радио каналу или полевым блоком сбора данных.
- Собранные данные от удалённых блоков могут быть загружены в систему



Ahead of the Curve<sup>SM</sup>

Nantes, France  
[sales.nantes@sercel.com](mailto:sales.nantes@sercel.com)

[www.sercel.com](http://www.sercel.com)

В любом месте. В любое время. Всегда.



## Опробование технологии бескабельного сбора полевой геофизической информации отечественной сейсморегистрирующей системой «SCOUT»

Аккуратов О.С. (ФГУП «ВНИИГеосистем»), Селезнёв В.А, Матвеев В.В. (филиал «СГЭ» ФГУП «ВНИИГТ») г. Саратов, Гнатюк А.И., Тарасов Н.В. (ОАО «СКБ СП») г.Саратов, Абдулвалиев М.Т., Навроцкий А.О. (ООО «Сибгеотехсервис») г.Москва

В ноябре 2010г. в рамках выполнения Государственного Контракта на проведение геофизических исследований на территории Саратовской области в сложных сейсмогеологических условиях солянокупольной тектоники Прикаспийской впадины впервые была опробована технология бескабельного сбора полевой геофизической (сейсмической) информации с использованием отечественной Системы бескабельной телеметрической сейсморегистрирующей «SCOUT» (СБТС «SCOUT»), производства ОАО «СКБ СП».

Работы по опробованию новой технологии сбора данных выполнялись специалистами филиала «Саратовская геофизическая экспедиция» ФГУП «ВНИИГТ», ОАО «СКБ Сейсмического приборостроения» и ООО «Сибгеотехсервис». В результате было отработано 123 погонных километра МОГТ-2Д с кратностью профилирования  $k=60$  по сети сейсмических профилей, ранее отработанных с использованием телеметрической кабельной системы «Прогресс-ТЗ». При

этом, для обеспечения корректной сравнимости результатов сбора данных при дублировании обрабатываемых профилей были максимально выдержаны все параметры системы наблюдения и возбуждения сейсмических колебаний. Район производства работ отличался набором многочисленных техногенных помех: железная дорога, железнодорожная станция, населённый пункт (райцентр), многочисленные линии электропередач и связи, автомобильная магистраль, карьер, газопровод, прудовые и сельскохозяйственные предприятия, которые в значительной степени усложняли проведение сейсмических исследований. МОГТ при разворачивании на местности длинных (10 и более км.) телеметрических кабельных систем регистрации. Сравнение параметров кабельной и бескабельной систем в процессе выполнения съёмки на местности приведено в таблице 1.

На все работы по опробованию СБТС «SCOUT» было затрачено 20 приборосмен: на разворачивание, настройку и опытные работы ушла одна приборосмена (что подтверждает традиционную надёжность изготавливаемого ОАО «СКБ СП» оборудования) и 19 приборосмен ушло на собственно производство наблюдений по технологии МОГТ-2Д.

СБТС «SCOUT» является автономной бескабельной системой сбора сейсмоданных и включает в себя (рисунок 1):

- Систему управления данными;
- Полевые блоки сбора данных (бескабельные регистрационные регистраторы БОР-1, представленные на рисунке 2);
- Модуль зарядки внутренней батареи;
- Модуль переноса данных;
- Модуль вспомогательных каналов;
- Портативный компьютер.

Особенностями системы являются:

- Встроенные GPS-приёмник и синхронизируемые часы;
- Встроенный генератор тест-сигналов с высоким разрешением.

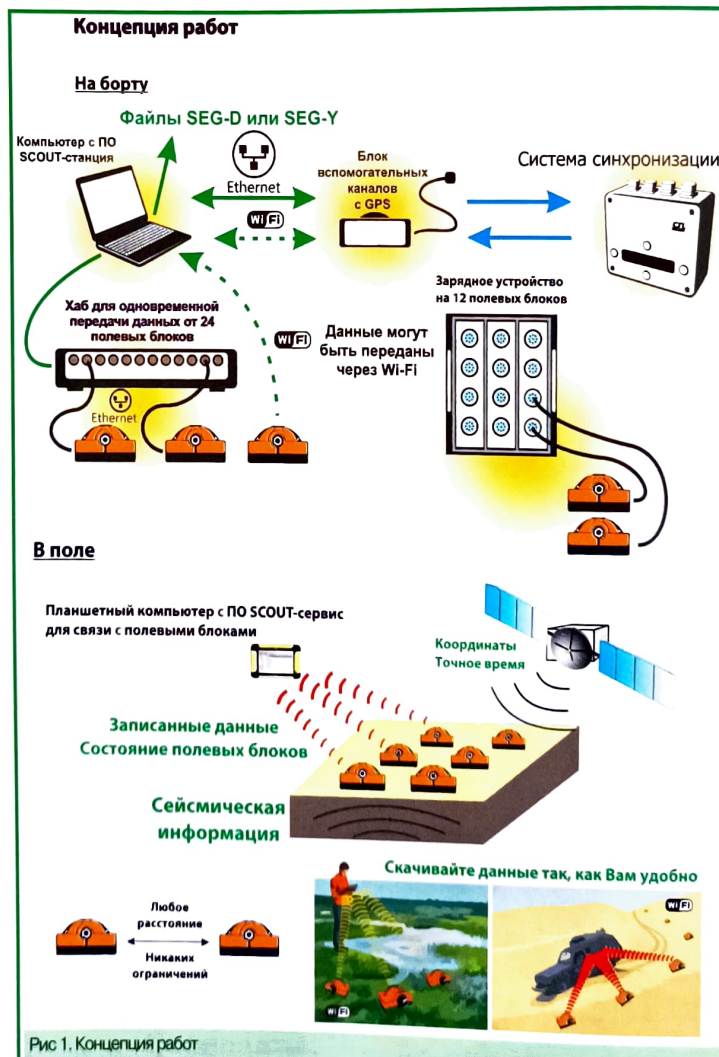




Таблица 1.  
Сравнение параметров кабельной и бескабельной систем сейсмической съемки.

| № пп                                   | Содержание                                                    | Прогресс-ТЗ                         | SCOUT                               |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1                                      | Район работ                                                   | РФ Приволжский ФО                   | РФ Приволжский ФО                   |
| 2                                      | Местонахождение (название объекта)                            | 70-42                               | 70-42                               |
| 3                                      | Характеристика полевых работ (производ., опытные, оп.-метод.) | Производственные<br>Озинская зона   | Производственные<br>Озинская зона   |
| 4                                      | Масштаб съемки                                                | Региональные работы                 | Региональные работы                 |
| 5                                      | Общее количество физических наблюдений                        | 2460                                | 2474                                |
| 6                                      | Заказчик полевых работ                                        | «Саратовнедра»                      | «Саратовнедра»                      |
| 7                                      | Сейсмическая партия / год проведения полевых работ            | №7/2010г                            | №7/2010г                            |
| <b>Методика сейсмических работ</b>     |                                                               |                                     |                                     |
| 8                                      | Тип съемки                                                    | МОГТ-2Д (ВП ОГТ)                    | МОГТ-2Д (БСПГИ)                     |
| 9                                      | Расстановка (фланговая; центр. симметр., асимметр.)           | Ассиметричная                       | Ассиметричная                       |
| 10                                     | Количество активных каналов на одной ЛПП                      | 2x120                               | 120                                 |
| 11                                     | Минимальное удаление ПВ - ПП (м)                              | 50                                  | 50                                  |
| 12                                     | Максимальное удаление ПВ - ПП (м)                             | 5000                                | 5000                                |
| 13                                     | База группирования приборов (м)                               | 0                                   | 45                                  |
| 14                                     | Расстояние между центрами групп (м)                           | 50                                  | 50                                  |
| 15                                     | Полная кратность системы наблюдения:                          | 60                                  | 60                                  |
| <b>Параметры возбуждения колебаний</b> |                                                               |                                     |                                     |
| 16                                     | Тип источника возбуждения (взрыв, виброисточник, импульсный)  | Виброисточник                       | Виброисточник                       |
| 17                                     | Пиковое усилие, кН                                            | 300,6                               | 300,6                               |
| 18                                     | Рабочее усилие, кН                                            | 180,36                              | 180,36                              |
| 19                                     | Количество вибраторов                                         | 3                                   | 3                                   |
| 20                                     | Тип вибраторов, изготовитель                                  | СВ 27-150БКГ, ЗАО «ГЕОСВИП»         | СВ 27-150БКГ, ЗАО «ГЕОСВИП»         |
| 21                                     | Количество накоплений (п)                                     | 6                                   | 6                                   |
| 22                                     | База возбуждения (м)                                          | 24                                  | 24                                  |
| 23                                     | Характеристики свип-сигнала (тип, f, t, конус)                | ЛЧМ<br>10-75гц<br>10 сек<br>0,5 сек | ЛЧМ<br>10-75гц<br>10 сек<br>0,5 сек |
| <b>Параметры регистрации колебаний</b> |                                                               |                                     |                                     |
| 24                                     | Тип сейсмостанции                                             | Прогресс -ТЗ                        | SCOUT                               |
| 25                                     | Тип сейсмоприемников (СП)                                     | GS-20DX-1                           | GS-20DX                             |
| 26                                     | Тип соединения СП в группе (послед., параллельно-послед.)     | последовательный                    | последовательный                    |
| 27                                     | Количество СП в группе / база группы (м)                      | 5 в точке                           | 16 на базе 45 м                     |
| 28                                     | Характеристики антиаляйсинг-фильтра (тип, f)                  | 250                                 | 250                                 |
| 29                                     | Шаг дискретизации (мс)                                        | 2                                   | 2                                   |
| 30                                     | Длительность регистрации (с)                                  | 8                                   | 8                                   |
| 31                                     | Фильтрация на записи (ФВЧ, ФНЧ, РФ) (Гц)                      | ОК                                  | ОК                                  |
| 32                                     | Тип полевого носителя записи сейсмограмм                      | CD-диск                             | CD-диск                             |
| 33                                     | Объем работ пог.км                                            | 123                                 | 123                                 |

- Флэш-память до 32 ГБ;
- Возможность неограниченного наращивания канальности системы;
- Непрерывная запись в течение 180 часов;
- Совместимость с взрывными, вибрационными и другими импульсными источниками возбуждения сейсмических колебаний;
- Светодиодный индикатор, показывающий состояние регистратора и его готовность к работе;
- Прием сигналов от стандартных аналоговых датчиков.

Регистратор БОР-1 спроектирован для записи сейсмоданных без использования кабелей и радиоканала. БОР-1 включает в себя: один канал с 24-х разрядной оцифровкой, встроенный высокочувствительный GPS-приемник, тактовый генератор, встроенный генератор тестовых сигналов, энергонезависимую память емкостью до 32 Гбайт и высокоскоростной порт ETHERNET для передачи данных. При потере сигнала GPS тактовый генератор может сохранять точное время в те-

ние 2-х часов.

Регистратор БОР-1 имеет герметичный корпус, на котором имеются два разъема: один для подключения геофона, а второй для присоединения блока внешнего аккумулятора большой емкости, проведения процедуры заряда внутренней аккумуляторной батареи, а также считывания записанной информации.

СБТС «SCOUT» выполняет тестирование работоспособности цепей сейсмического канала и геофонов. Пользователь может задать программу тестирования – одиночный или пакетный тест. По желанию пользователя можно вывести либо результаты полного тестирования, либо только данные о неполадках. Собираемые и используемые для анализа данные записываются во флэш-память регистратора БОР-1. При проведении тестов программа автоматически управляет последовательностью выполнения тестов и параметрами генератора тест-сигналов. Все тесты проводятся в рабочей конфигурации всех параметров регистратора БОР-1.

# ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ГЕОФИЗИКА- СЕЙСМОРАЗВЕДЧИКА





Рис 2. Общий вид полевого блока (сверху). Полевые блоки фото (снизу)

СБТС «SCOUT» может использоваться для выполнения полевых работ комбинированным способом, когда на одном профиле размещены кабельная сейсмосистема и бескабельные блоки BOR-1, регистрирующие сейсмические сигналы, возбуждаемые единым источником возбуждения сейсмических колебаний. Формирование единой сейсмограммы производится в формате SEG-Y.

Программный комплекс СБТС «SCOUT» состоит из двух программных модулей: «БОР-сервис» и «БОР-станция».

Программный модуль «БОР-сервис» используется для:

- диагностирования регистраторов BOR-1 и подключенных к ним групп геофонов;
- задания параметров регистрации регистраторам BOR-1;
- считывания информации о состоянии регистраторов BOR-1;
- считывания сейсмической информации.

В процессе программирования регистраторов BOR-1 перед их размещением на местности устанавливаются такие параметры как период дискретизации, коэффициент предварительного усиления, режим записи, параметры тестирования.

Программный модуль «БОР-станция» используется для:

- описания топологии расстановки и списка ПВ вручную или импортированием из SPS файлов;
- получения точных значений ОМ для каждого накопления на каждом ПВ и сохранения их в базе данных;
- построения сейсмических записей для каждого ПВ с использованием следующей информации:
- данных о точных временах ОМ, сохраненных в базе данных;
- файлов сейсмических данных, зарегистрированных регистраторами BOR-1;
- SPS R-файлов, содержащих топологию пунк-

Таблица 2

| Наименование параметра                                                                                                                                      | Значение параметра                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Общие характеристики</b>                                                                                                                                 |                                                                                                                                                 |
| Максимальное число каналов                                                                                                                                  | Нет ограничений                                                                                                                                 |
| Режимы работы                                                                                                                                               | Автономный                                                                                                                                      |
| Максимальная длительность регистрации в автономном режиме, обеспечиваемая внутренней памятью при 12 ч. рабочем дне и периоде дискретизации 2мс, не менее, ч | 300                                                                                                                                             |
| Максимальная длительность регистрации в автономном режиме, обеспечиваемая внутренней батареей при 12 ч. рабочем дне, не менее, ч                            | 180                                                                                                                                             |
| Выходной формат                                                                                                                                             | SEG-Y, SEG-D                                                                                                                                    |
| <b>Блок сбора данных</b>                                                                                                                                    |                                                                                                                                                 |
| Число каналов в регистраторе BOR-1                                                                                                                          | 1                                                                                                                                               |
| Число двоичных разрядов АЦП                                                                                                                                 | 24                                                                                                                                              |
| Период дискретизации, мс                                                                                                                                    | 0.5, 1.0, 2.0, 4.0                                                                                                                              |
| Внутренняя память, Гбайт                                                                                                                                    | до 32                                                                                                                                           |
| Точность временной синхронизации, мкс                                                                                                                       | 25                                                                                                                                              |
| Максимальный входной сигнал, В, не менее                                                                                                                    | 3                                                                                                                                               |
| Фиксированный коэффициент усиления                                                                                                                          | 1, 4, 16, 64                                                                                                                                    |
| Частотный диапазон, Гц                                                                                                                                      | 0 – 1600                                                                                                                                        |
| КНИ, %                                                                                                                                                      | 0.0005                                                                                                                                          |
| Уровень собственных шумов в полосе частот от 10 до 125 Гц, мкВ эфф., не более                                                                               | 0,2                                                                                                                                             |
| Фильтры                                                                                                                                                     | ФВЧ, ФНЧ, РФ                                                                                                                                    |
| Общий динамический диапазон, дБ                                                                                                                             | 140                                                                                                                                             |
| Мгновенный динамический диапазон, дБ                                                                                                                        | 104                                                                                                                                             |
| Коэффициент подавления синфазного сигнала, дБ, не менее                                                                                                     | 100                                                                                                                                             |
| Потребляемая мощность (регистрация), Вт                                                                                                                     | 0.4                                                                                                                                             |
| Внутренняя батарея                                                                                                                                          | Есть                                                                                                                                            |
| Внешняя батарея                                                                                                                                             | Есть                                                                                                                                            |
| Вес с внутренней батареей, кг                                                                                                                               | 1,2                                                                                                                                             |
| Встроенные системные тесты                                                                                                                                  | Состояние батареи<br>Состояние GPS<br>Уровень собственных шумов<br>КНИ<br>Напряжение смещения нуля<br>Коэффициент подавления синфазного сигнала |
| Встроенные тесты геофона                                                                                                                                    | Шум<br>Сопротивление<br>Синфазный сигнал<br>Наклон                                                                                              |
| Индикация технического состояния блока                                                                                                                      | Светодиоды                                                                                                                                      |
| Тип используемых датчиков                                                                                                                                   | Геофоны                                                                                                                                         |
| Наличие встроенной GPS                                                                                                                                      | Есть                                                                                                                                            |
| <b>Радиопередача</b>                                                                                                                                        |                                                                                                                                                 |
| Используемая технология радиосвязи                                                                                                                          | В нереальн. времени<br>Wireless LAN<br>Wi-Fi<br>Ethernet                                                                                        |
| Рабочий температурный диапазон с внутренней батареей, °C                                                                                                    | - 30 ± + 60                                                                                                                                     |
| Рабочий температурный диапазон с внешней батареей, °C                                                                                                       | - 40 ± + 70                                                                                                                                     |
| Влажность.                                                                                                                                                  | 0 – 100%                                                                                                                                        |





# ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ГЕОФИЗИКА- СЕЙСМОРАЗВЕДЧИКА

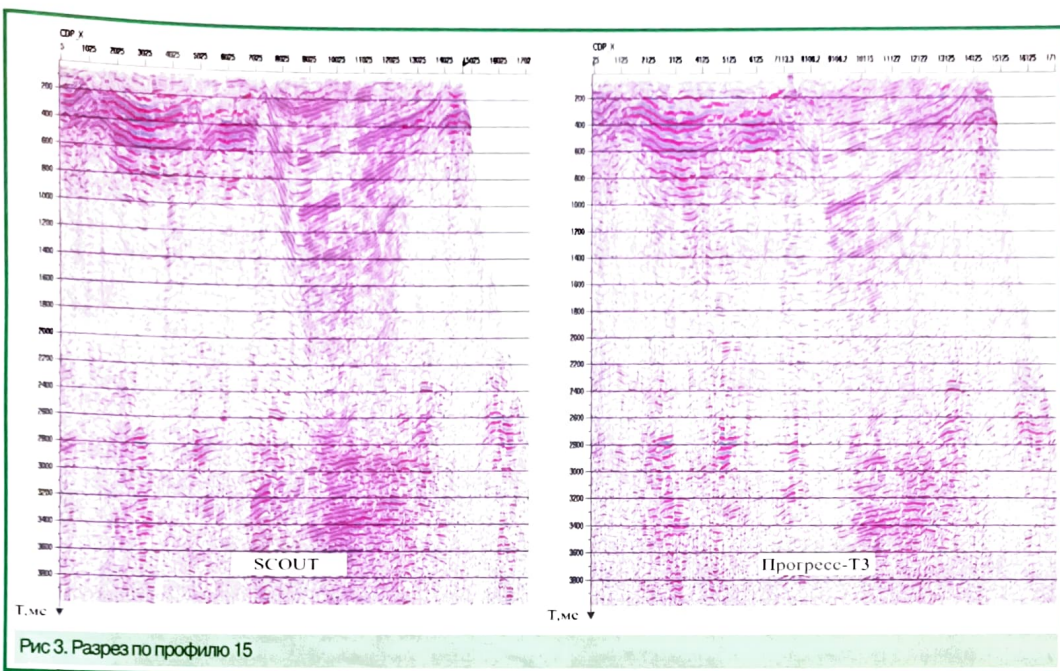


Рис 3. Разрез по профилю 15

тов приема.

В таблице 2 приведены технические характеристики автономной бескабельной телеметрической сейсморегирующей системы «SCOUT», предназначенной для изучения глубинного строения разреза земной коры.

## Обеспечение надежности работы полевого оборудования

Проблема обеспечения высокой надежности работы оборудования особенно важна для автономных многоканальных СБТС, не имеющих обратной связи с Центральным регистрирующим комплексом в реальном времени. Высокая надежность регистраторов БОР-1 обеспечивается входным контролем всех электронных компонентов регистраторов и длительным циклом их тестирования в широком температурном диапазоне. В полевых условиях контроль технического состояния регистраторов БОР-1 обеспечивается посредством специальных точек доступа, которые размещаются на профиле и через направленную антенну передают информацию о техническом состоянии регистраторов на управляющий компьютер. Сейсмическая информация, записываемая в память регистраторов БОР-1, доступна только после завершения приборосъемки.

СБТС «SCOUT» в полной мере реализует все требования, необходимые при производстве сейсморазведочных работ.

## Обеспечение максимальной производительности

Наиболее важными факторами, влияющими на производительность СБТС, являются:

- вес оборудования;
- энергия, потребляемая электроникой регистрирующих модулей;
- используемые батареи питания и управление системой питания;
- оптимальное управление источниками возбуждения и расстановкой;
- оптимальная система съема и первичной обработки зарегистрированной информации;
- возможность «горячей» замены внешней батареи;
- скорость заряда аккумуляторных батарей.

СБТС «SCOUT», обладая оптимальными вышеперечисленными

характеристиками, уже на этапе внедрения

позволила повысить среднюю производительность до 6.5 пог. км (130 ф.н.) за приборосмену при наличии всего 163 полевых регистраторов БОР-1. Очевидно, что при увеличении числа регистраторов в расстановке, производительность работ должна существенно увеличиться.

Одной из особенностей работы с автономной СБТС «SCOUT» является то, что при расстановке регистраторов в процессе конвейерной работы на профиле физический номер регистратора не учитывается и блоки, используя сигналы GPS, самостоятельно привязывают себя к пикету, определяя координаты своего пикета с некоторой погрешностью, которая затем исключается в процессе формирования сейсмограмм на компьютере с использованием входного SPS-Файла с заданными координатами расстановки профиля в проекции Гаусса-Крюгера.

Таким образом, СБТС «SCOUT»:

- 1) обеспечена полным набором программных и аппаратных средств, необходимых для производства полевых работ по технологии МОГТ-2D и 3D.
- 2) обеспечивает сбор сейсмоданных, не уступающих по информативности сейсмоданным, регистрируемым современными кабельными телеметрическими сейсмостанциями.
- 3) позволяет выполнять сейсмическую съемку с более высокой производительностью за счёт исключения смоточно-размоточных операций с сейсмическим кабелем, повышая тем самым рентабельность полевых работ.
- 4) существенно снижает нагрузку на экологию района проведения сейсморазведочных работ.

Сравнительная обработка полевых материалов, зарегистрированных сейсмостанциями «Прогресс-Т3» и «SCOUT», была выполнена с использованием программного комплекса PROMAX

На рис.3 приведены предварительные временные разрез по профилю №15. Очевидна полная сходимость информации о геологическом строении изучаемой территории, полученной кабельной и автономной бескабельной системами. Сходимость результатов съемки в процессе обработки подтверждена и на других профилях.



Бескабельная телеметрическая сейсморегистрирующая система

# SCOUT



Встроенный датчик Холла  
для управления питанием



Энергонезависимая  
Flash память до 32Gb



Ethernet

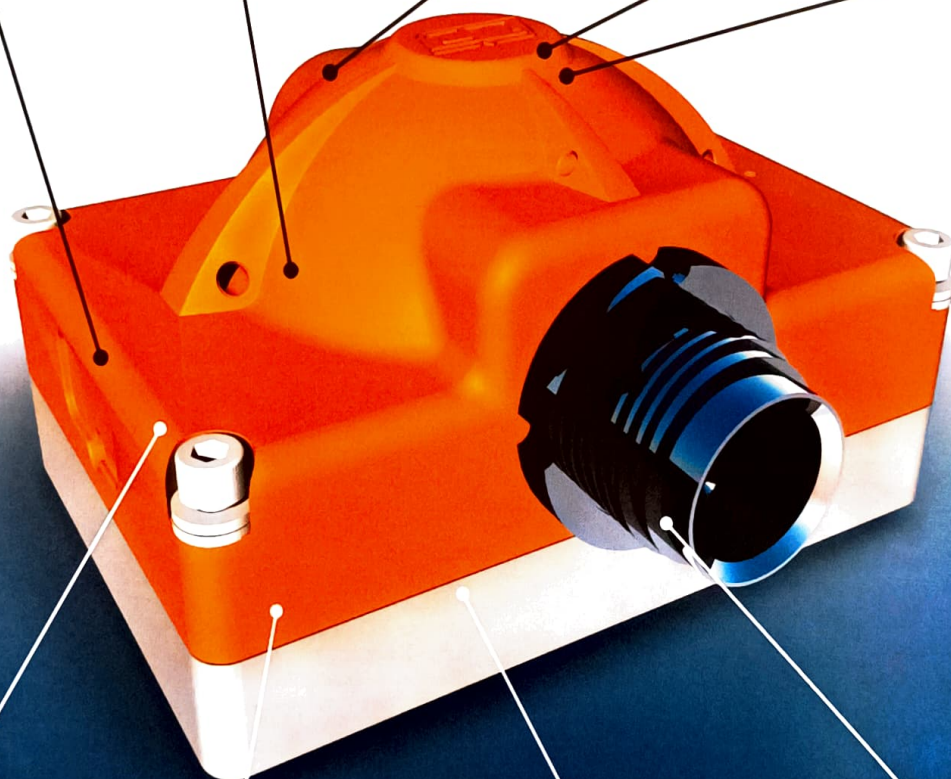
Высокоскоростной порт  
Ethernet



Встроенный Wi-Fi  
модуль для беспроводной  
передачи данных

GPS

Система GPS (высоко-  
точная синхронизация  
по времени и определение  
координат)



Гибкая система  
расписания работ

Прочный герметичный  
корпус

Встроенная аккумулятор-  
ная батарея. До 250 часов  
непрерывной работы

Разъем для подключения  
геофонов

В связи с растущим спросом на многоканальные сейсмические съемки компания СКБ СП расширила линейку наземного сейсморегистрирующего оборудования новой бескабельной системой SCOUT (СКАУТ). Благодаря полному отсутствию кабелей и малому весу оборудования геофизические отряды могут проводить сейсмические съемки в труднодоступных, экологически чувствительных местах, а так же в условиях городской застройки.

**НЕТ КАБЕЛЕЙ - НЕТ ПРОБЛЕМ!**



**СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

Россия, 410019, г.Саратов, ул. Крайняя, 129, тел.: (8452) 570-500; 69-25-37, факс: (8452) 27-21-01; 64-14-52  
skbsp@skbsp.ru | [www.skbsp.ru](http://www.skbsp.ru)



Выработка крупных и средних месторождений УВ в легко доступных районах и моральное старение классических аппаратно-методических подходов в сейсмометрии (и в сейсморазведке, особенно) настоятельно требуют внедрения новых технико-методических комплексов.

Основанный на единой базе автономной 4С сейсмической станции, аппаратный комплекс позволяет получать данные на акваториях до глубин 500м, в транзитной зоне любого типа и на суше – с любым типом источника колебаний и длительностью записи данных до 30 суток. Таким образом осуществляется «бесшовная» сейсмическая съемка, неотягощенная погрешностями, неизбежно имеющими место при отработке площади разными комплексами и разными исполнителями (невязки вертикальных времен, плановых координат, отметок момента, форматов записи и пр.).

Комплекс универсален при проведении сейсмологических, сейсморазведочных и инженерно-геологических работ, а также сейсмического мониторинга в любых физико-географических условиях.

Проведенные данным комплексом производственные и тестовые работы на акваториях, суше и в транзитных зонах подтвердили его работоспособность и большой ресурс дальнейшего развития.

## Бескабельная сейсмометрия на море, в транзитной зоне и на суше

Воронов М.А., Жемчужников Е.Г., Рослов Ю.В. (ООО «Сейсмо Шельф»), г.Санкт Петербург

Аппаратурно-методический комплекс включает четыре основные модификации автономных многокомпонентных сейсмических станций:

1. автономные донные самовсплывающие 4С станции, накапливающие информацию на внутренний носитель. Максимальная глубина погружения 500м. Станции предназначены для работы на дне мелководных акваторий и в транзитных зонах с глубинами 0-50м, а при наличии соответствующего спуско-подъемного оборудования до 500м, рис.2,
2. автономные донные 4С станции, накапливающие информацию на внутренний носитель. Станции устанавливаются и
3. автономные сухопутные 3С станции, накапливающие информацию на внутренний носитель. Данные станции предназначены для работы на суше и в полосах осушки транзитных зон, рис.3,
4. автономные морские плавающие 1С станции, передающие информацию по радиоканалу. Данные станции предназначены для работы в тяжелых ледовых условиях арктических морей для получения годографов длиной до 20км. Такая специализация определяет незаменимость этих станций при проведении сейсморазведки на Арктическом шельфе – тогда, когда никакие другие сейсморазведочные системы (буксируемые и донные косы, донные самовсплывающие

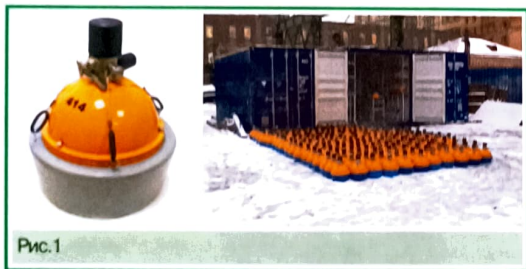


Рис.1

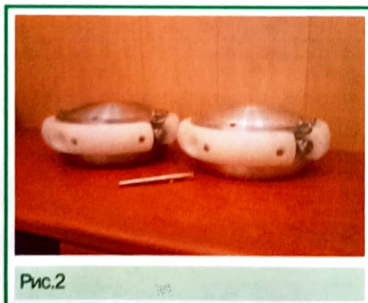


Рис.2



Рис.3

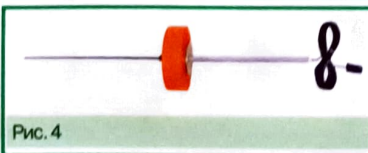


Рис.4

Основные технические характеристики самовсплывающей 4С станции

| Параметр                                                                | Величина                           |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| количество регистрируемых компонент                                     | 4 (H,X,Y,Z)                        |
| в том числе:                                                            |                                    |
| - с геофонами,                                                          | 3                                  |
| - с гидрофоном                                                          | 1                                  |
| глубина погружения, до, м                                               | 500                                |
| способ подъема со дна                                                   | самовсплытие по г/а команде, фалом |
| наклонная дальность гидроакустического канала, м                        | 800                                |
| масса станции (без якорь-груза), кг                                     | 7,5                                |
| масса якоря, кг                                                         | 25                                 |
| регистрируемые углы ориентации ортогональной тройки геофонов            | крен, дифферент, азимут            |
| диапазон частот с геофонами, Гц                                         | 10 – 250                           |
| диапазон частот с гидрофоном, Гц                                        | 1 – 8000                           |
| шаг дискретизации данных, мс                                            | 4; 2; 1; 0,5; 0,25                 |
| разрядность АЦП (преобразование типа $\Delta-\sigma$ )                  | 24                                 |
| эффективный уровень шумов (в зависимости от коэффициента усиления), мкВ | 0,15 - 1,50                        |
| полный динамический диапазон, дБ                                        | 140                                |
| напряжение питания, В                                                   | 9 - 16                             |
| автономность работы по питанию (в зависимости от режима работы), сутки  | 16 - 30                            |
| емкость накопителя данных (флэш-карта), Гб                              | 8                                  |
| расчетный срок службы, годы                                             | 6                                  |

# ИНСТРУМЕНТАРИЙ ГЕОФИЗИКА-СЕЙСМОРАЗВЕДЧИКА

## ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



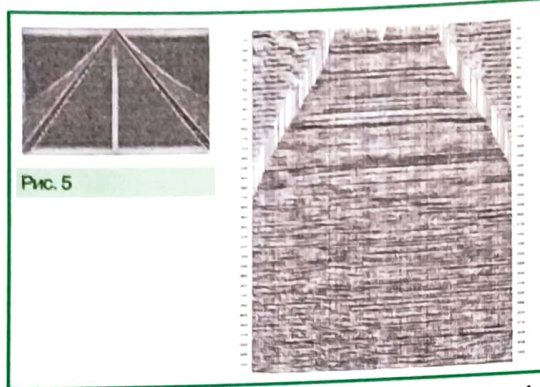


Рис. 5

и буйковые станции) непригодны, рис. 4. Вышеперечисленные сейсмические станции позволяют проводить «бесшовные» съемки в любых географических условиях, по системам наблюдений любой конфигурации.

Реализовано контейнерное базирование аппаратного комплекса, лабораторий обслуживания/ремонта станций и первичной обработки материала (QC).

В комплекс также входят специализированное оборудование и средства работы со станциями, маломерные плавсредства.

Все станции имеют общую архитектуру аппаратно-программного ядра, наиболее полная реализация которого представлена в самовсплывающей 4С станции.

Ниже приведены примеры материалов, полученных станциями в различных геолого-геофизических и ландшафтных обстановках.

- 1) Баренцево море (к западу от о. Колгуев), глубина 60м, МОВ-ОГТ, пример сейсмограммы ОПП (Z-компонента) и временной мигрированный разрез по Z-компоненте, рис. 5.
- 2) Ленинградская обл., речной переход на р. Вуокса, МОВ-ОГТ, глубина 5м, временной мигрированный разрез по X-компоненте, рис. 6.
- 3) Город Сочи, центр, наземные инженерно-сейсмические работы по оси проектируемого туннеля, пример сейсмограммы ОПП с вертикальным накоплением 8-10 (X,Y,Z-компоненты), рис. 7.
- 4) Город С-Петербург. Мониторинговые работы длительностью 2 суток проводились на территории центра города и на акваториях рек Невы, Малая Невы, рис. 8.

- Донная станция №334 (Малая Невы, суша – берег) (рис. 8)

- Донная станция №445 (Малая Невы, дно реки – у берега) (рис. 9)

Комплекс автономных донных самовсплывающих 4С станций снабжен гидроакустической системой определения их точных координат на дне. Данная система позволяет определить плановые координаты с точностью до 20-30см и фактическую глубину не хуже 1м.

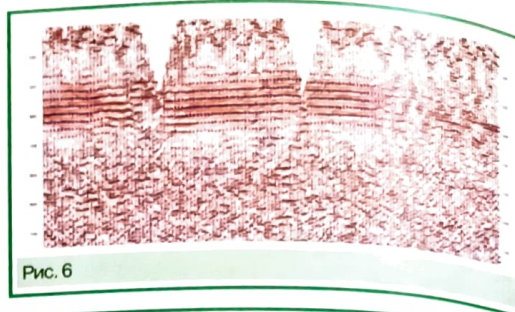


Рис. 6

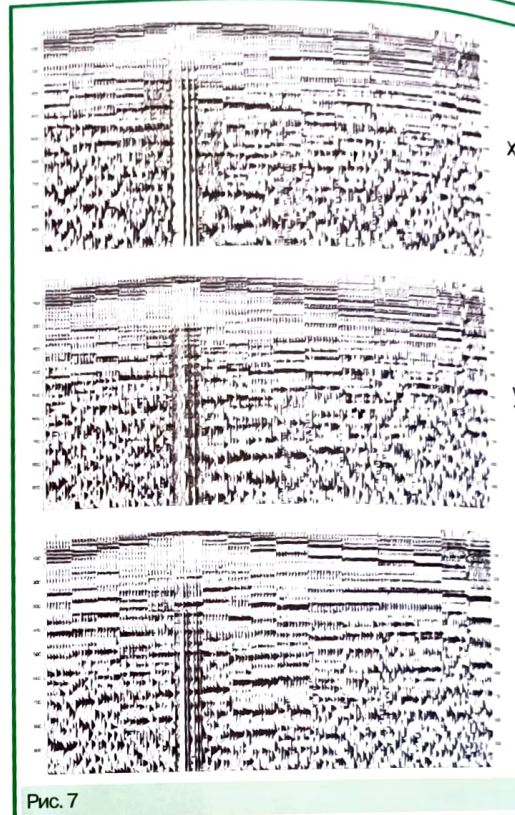


Рис. 7

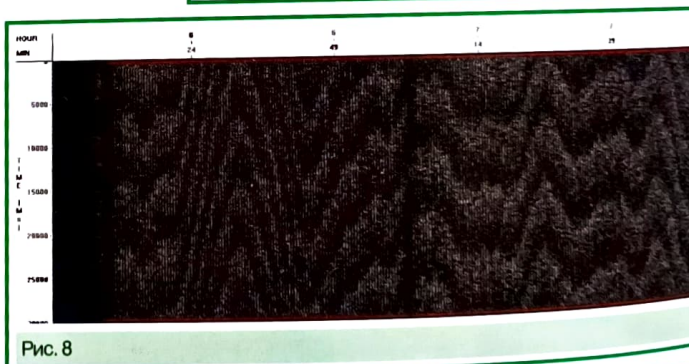


Рис. 8

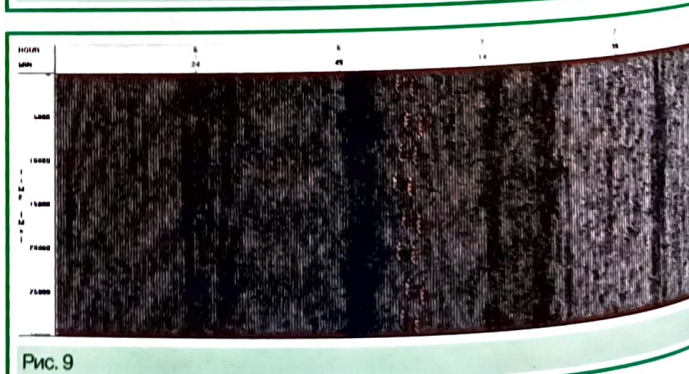


Рис. 9



# ТЕЛСС-3 - эффективный инструментарий для проведения сейсморазведочных работ по технологиям 2D, 3D, 4D

Федотов А.С., ООО «ГЕОСИГНАЛ», г. Москва

В последнее десятилетие в отечественном геофизическом приборостроении появился целый ряд телеметрических сейсморегистрирующих систем, созданных на базе 24-х битных аналого-цифровых преобразователей и соответствующих высоким требованиям, предъявляемым потребителем к данной продукции. Во второй половине 2010 года в ООО «ГЕОСИГНАЛ» была завершена разработка сейсморазведочной системы ТЕЛСС-3, первой российской телеметрической системы, построенной на основе 32-х разрядных аналого-цифровых преобразователей, и предназначенной для проведения сейсмических работ по технологиям 2D, 3D, 4D. Система успешно прошла сертификацию на соответствие заявленных технических характеристик и внедрена в серийное производство.

Поскольку в (1, 2) уже приведено описание состава сейсморазведочной системы, отражены возможные варианты конфигурации ТЕЛСС-3, предназначенные для проведения работ в различных условиях, обозначены возможности использования, то в данной статье рассмотрим вопросы, связанные с применением системы для выполнения работ с использованием различных технологий, а также осветим некоторые аспекты, не вошедшие в предыдущие статьи.

На завершающем этапе разработки ТЕЛСС-3 удалось реализовать следующие основные технические характеристики сейсмического канала (Таблица 1).

|                                              |        |
|----------------------------------------------|--------|
| Мгновенный динамический диапазон, дБ         | 130    |
| Полный динамический диапазон, дБ             | 156    |
| Уровень шума, мкВ                            | 0,08   |
| Коэффициент нелинейных искажений, не более % | 0,0003 |

Среди приведенных выше параметров стоит отметить высокое значение мгновенного динамического диапазона, а также низкие значения собственных шумов и коэффициента нелинейных искажений, что говорит о высоком качестве построения аналогового тракта, а, как следствие, возможности получения данных высокого качества. Спектр шума, записанного при  $t_d = 2$  мс,  $k_f = 1$ , приведен на рис. 1.

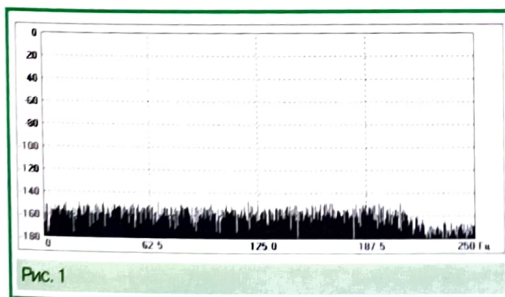


Рис. 1

Построение сейсмического канала на новой элементной базе, с учетом увеличения степени интеграции, позволило заметно уменьшить габаритные размеры и вес кабельного 4-х канального полевого модуля (рис. 2) относительно полевых модулей предыдущих систем ТЕЛСС-1 (разработка 2005 г.) и ТЕЛСС-2 (разработка 2008 г.). Вес корпуса уменьшился до 400 г, продольный размер до 140 мм, а диаметр до 40 мм, что сопоставимо с диаметром концевой разъемы на соединительном телеметрическом кабеле. Это позволяет минимизировать зацепы и, соответственно, обрывы, возникающие в процессе размотки, смотки и при перемещении по



Рис. 2

профилю нескольких соединенных секций, состоящих из телеметрических модулей и кабелей. Стоит также отметить, что конструкция корпуса, разработанная совместно с ЗАО «Соединитель», обеспечивает полную защиту электроники от атмосферных явлений, что позволяет использовать сейсморазведочную систему для работ в транзитных зонах.

Небольшие конструктивные изменения коснулись автономных полевых модулей. В частности, в корпус встроена Wi-Fi антенна, что, несомненно, увеличивает надежность модуля в работе и предотвращает повреждения при транспортировке.

Питание полевых модулей ТЕЛСС-3 осуществляется по телеметрическому кабелю от аккумуляторной батареи (АБ) с номинальным напряжением 12 В или батарейного блока (ББ) с напряжением 24 В. Количество модулей, запитанных от одной АБ или ББ, зависит от длины телеметрического кабеля, применяемого для конкретной расстановки. Поэтому для проведения малоуглубинных геофизических исследований достаточно одной АБ (при использовании кабеля с выводами под сейсмодатчики через 2 м) или одного ББ (при использовании кабеля с выводами под сейсмодатчики через 5 м) на 100 каналов. В случае проведения более глубоких сейсмических работ, для обеспечения питанием полевых модулей строится система распределенного питания по профилю и при применении телеметрических кос с расстоянием между сейсмодатчиками 50 м от одного ББ обеспечивается питанием до 60 каналов.

Пропускная способность цифрового канала сбора данных с одной телеметрической линии обеспечивает регистрацию и передачу в реальном времени в центральную регистрирующую систему (ЦРС) данных от 400 сейсмических каналов при шаге дискретизации АЦП  $t_d = 2$  мс.

Таким образом, для проведения профильных работ 2D эффективно применение кабельной телеметрической системы. Использование беспроводных полевых модулей (рис. 3) целесообразно лишь на тех участках профиля, где существуют неблагоприятные геоморфологические условия для развертывания проводной системы.

Для проведения площадных 3D сейсморазведочных работ имеется возможность использовать до 8 телеметрических линий, что обеспечивает регистрацию до 3200 каналов для  $t_d = 2$  мс.

Однако, с увеличением количества сейсмических каналов до необходимого для организации работ, а также с увеличением площади исследований, заметно возрастает общий вес сейсморазведочного оборудования. Причем большую его часть составляют соединительные телеметрические кабели, которые необходимо транспортировать до места проведения полевых работ, расставлять и перемещать во время их выполнения. На это требуются значительные человеческие ресурсы и, конечно же, время. Сопоставление размеров кабельного и автономного полевых модулей и 100 метровой телеметрической косы приведено на рис. 4.

## ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ГЕОФИЗИКА- СЕЙСМОРАЗВЕДЧИКА





Рис. 3

Таким образом, в случае проведения сейсморазведочных работ на значительной площади, с требуемым количеством каналов более 400, потребитель имеет возможность оптимально проектировать работы с частичным или полным применением автономных полевых модулей ТелСС-3. Тем более, что в случае использования беспроводной системы регистрации отсутствуют материальные затраты на техническое обслуживание и ремонт кабелей.

Сейсмический канал автономного полевого модуля построен с использованием тех же схемотехнических решений, что и кабельный полевой модуль. Соответственно, качество информации, регистрируемой автономными модулями, не уступает качеству информации, регистрируемой кабельными модулями, а за счет непосредственной близости сейсмодатчиков к регистратору, измерения, проводимые с помощью автономных модулей, являются даже более предпочтительными.



Рис. 4

Автономные модули могут осуществлять регистрацию данных в одном из двух режимов: непрерывном и дискретном. В непрерывном режиме регистрация данных во встроенную флэш-память начинается непосредственно после включения модулей и продолжается постоянно на всем протяжении времени проведения сейсморазведочных работ. Совокупность записанной информации, соответствующей конкретному воздействию на изучаемый объект, в этом случае выявляется на этапе передачи данных из флэш-памяти в ЦРС и записывается в суммарный файл, сформированный при считывании носителей информации со всех автономных полевых модулей. Преимущества данного режима работы заключаются в том, что пользователь может осуществлять воздействия на исследуемую среду в моменты времени, не привязанные к какому-то определенному графику или расписанию. При этом в автономном модуле происходит периодическая подстройка GPS внутреннего тактового генератора по сигналу GPS.

В дискретном режиме регистрация данных во флэш-память начинается по сигналу, поступающему с GPS приемника, в соответствии с расписанием, занесенным в модуль перед началом проведения работ, и продолжается в течение заданного пользователем времени. В промежутках между записями модули находятся в режиме пониженного энергопотребления. Соответственно, в дискретном режиме

более эффективно используется рабочее пространство флэш-памяти и возрастает энергоэффективность работы модуля. Таким образом, первый режим работы автономного модуля наиболее применим для проведения сейсмического мониторинга, второй – для работ с импульсными и вибрационными источниками, а также с источниками типа «падающий груз».

В случае применения автономных полевых модулей возникает вопрос оценки качества регистрируемой информации в процессе выполнения сейсморазведочных работ. Перед началом исследований, при установке каждого автономного модуля, осуществляется полный контроль параметров сейсмического канала, а также сейсмодатчика или группы сейсмодатчиков, подключенных к модулю, измеряется напряжение на аккумуляторной батарее. Отметим, что в случае организации WLAN сети, данные, регистрируемые от части беспроводных модулей, можно передавать в ЦРС в реальном времени, а во время технологических пауз оператор может производить полное тестирование автономных полевых модулей, хотя, как показывает практика эксплуатации полевых модулей ТелСС-3, успешное тестирование модуля при включении – залог его работоспособности на протяжении всего рабочего цикла.

Несмотря на дополнительные задачи, возникающие в работе при применении беспроводных модулей, таких как: считывание флэш-памяти, заряд аккумуляторной батареи для каждого автономного модуля, в итоге, время, затраченное на проведение работ с использованием беспроводных модулей, уменьшается по сравнению со временем выполнения работ с применением кабельной системы ТелСС-3. Это уменьшение связано с сокращением времени расстановки, а также с уменьшением объема и веса полевого оборудования.

Для проведения сейсмического мониторинга 4D, в зависимости от поставленных геологических задач, выбранной методики проведения работ, рельефа местности, на которой проводятся сейсмические работы, а также окружающих условий (наличие скважины, буровой установки, интенсивности движения людей и автотранспорта и др.), возможно применение только кабельных или только автономных полевых модулей телеметрической системы ТелСС-3, а также использование комбинированной системы, состоящей из модулей одного и другого типа.

Начиная с 2005 года, произведено и поставлено заказчикам более полутора десятка телеметрических систем семейства ТелСС. Из них 3 уже непосредственно ТелСС-3, используемых потребителями для эффективного изучения глубин от 100 метров до 2 километров.

Высокая надежность применяемой элементной базы, проведение климатических и вибрационных испытаний в процессе производства оборудования, позволяют ООО «ГЕОСИГНАЛ» выпускать высоконадежную аппаратуру, дающую возможность пользователю эффективно решать геологические задачи различного типа с использованием технологий 2D, 3D, 4D. За счет высоких технических характеристик аналогового канала телеметрической сейсморазведочная система ТелСС-3 обеспечивает получение данных высочайшего качества, а возможность комбинированного применения кабельных и автономных полевых модулей позволяет находить оптимальные решения, увеличивая производительность и качество проведения сейсморазведочных работ.

## Литература

1. Федотов А. С. ТелСС-3 – телеметрическая система на основе 32-х разрядных аналого-цифровых преобразователей с использованием беспроводных модулей. /Приборы и системы разведочной геофизики № 3, 2010
2. Федотов А. С., Харламов А. В. Телеметрическая система ТелСС-3: новые возможности. /Приборы и системы разведочной геофизики № 4, 2010



При изучении геофизическими методами геологического строения нефтегазоносных площадей всегда необходимо учитывать влияние верхней части разреза (ВЧР), которая, как правило, является его наиболее изменчивой частью. В условиях сложно построенных сред, для изучения ВЧР дополнительно проводятся специальные полевые работы, включающие микросейсмокаротаж скважин и наблюдения методом преломленных волн. Альтернативой этим методам может служить сейсмотомографический способ изучения особенностей скоростной характеристики ВЧР по данным первых вступлений продольных волн. Такой подход является особенно полезным при детальных площадных сейсмических исследованиях в районах, характеризующихся сложным рельефом и быстро изменяющимся строением ВЧР, в том числе, в районах с развитием вечной или островной мерзлоты, наличием трапповой тектоники, на соленосных площадях, в крупных разломных зонах.

В настоящей работе приводятся результаты изучения скоростного строения ВЧР Восточно-Камчатского прогиба с использованием сейсмотомографической обработки материалов, полученных при региональных сейсмических исследованиях (2005-2006 гг.), выполненных совместно ФГУП «СНИИГГиМС» и ОАО «Камчатгеология».

## Сейсмотомография верхней части разреза Восточно-Камчатского прогиба

Канарейкин Б.А., Сагайдачная О.М., Дунаева К.А., ФГУП «СНИИГГиМС», г. Новосибирск

### Введение

При изучении сейсмическими методами геологического строения нефтегазоносных площадей всегда учитывается влияние верхней части разреза (ВЧР) посредством ввода статических поправок. Как правило, для изучения наиболее сложно построенной ВЧР дополнительно проводятся специальные полевые работы, включающие микросейсмокаротаж скважин и сейсмические наблюдения методом преломленных волн. Однако следует принимать во внимание тесную взаимосвязь полученных скоростей суммирования по додографу ОГТ с рельефом площади работ, особенно для горизонтов вблизи поверхности, и учитывать при применении скоростного закона, определённого по сейсмокаротажу [1].

Вопросы совершенствования способов коррекции влияния ВЧР для модели поверхностно-согласованных поправок достаточно обстоятельно рассмотрены в работах [7 - 8]. Там же подчеркивается актуальность разработки технологии создания скоростной модели ВЧР, включающей основные три вида неоднородностей: дневной рельеф, зону малых скоростей и более глубоко залегающую толщу, характеризующуюся нестабильностью скоростей.

В последнее время появились публикации [9], в которых сейсмотомографический способ обработки первых вступлений продольных волн используется как один из способов определения статических поправок при построении временных разрезов 2D (3D). Однако имеют место и более широкие возможности использования сейсмотомографических разрезов по значениям скоростей продольных волн в первых вступлений, в том числе, для изучения геологических особенностей строения ВЧР [2].

В настоящей работе приводятся результаты сейсмотомографического изучения строения ВЧР в пределах Восточно-Камчатского прогиба (Усть-Камчатская площадь) с использованием материалов, полученных при региональных сейсмических исследованиях на отраженных волнах (2D), выполненных по государственному заказу за счет средств федерального бюджета в период 2005 - 2006 гг. совместно ФГУП «СНИИГГиМС» и ОАО «Камчатгеология» [4]. Отметим, что до 2005 г. сейсмические работы на отраженных волнах на территории Восточной Камчатки не проводились.

Восточная Камчатка и прилегающие районы шельфа входят в состав Притихоокеанской нефтегазоносной провинции. В континентальной части этой провинции выделяется ряд нефтегазоперспективных прогибов, среди них Восточно-Камчатский прогиб. Восточно-Камчатский прогиб характеризуется широким развитием покровно-складчатых дислокаций восточной вергентности и в его пределах установлены многочисленные естественные проявления нефти и газа. К наиболее нефтегазоперспективным площадям относится зона Тюшевского наложенного прогиба, выполненная в различной степени дислоцированными палеоген-неогеновыми вулканоседочными и осадочными отложениями.

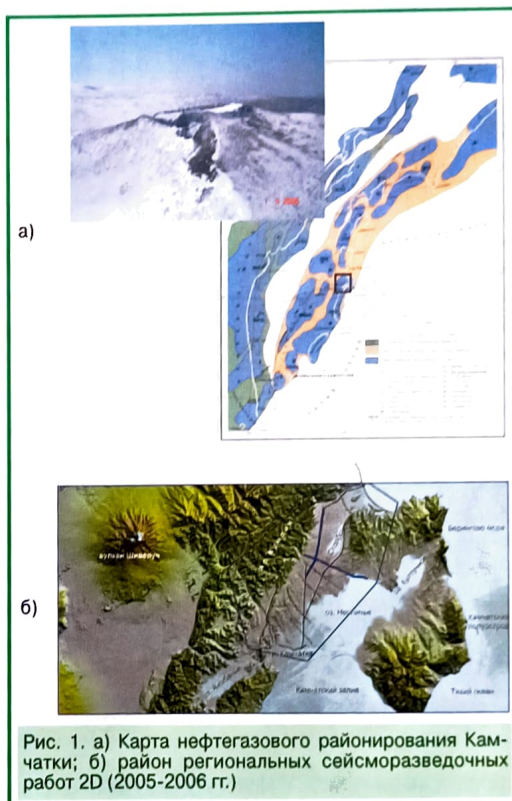


Рис. 1. а) Карта нефтегазового районирования Камчатки; б) район региональных сейсморазведочных работ 2D (2005-2006 гг.)

Площадь региональных сейсмических работ охватывает северную часть Тюшевского наложенного прогиба: на юго-западе территории выходят отроги хр. Кумроч, на востоке - горы Камчатского п-ва, южной границей является нижнее течение р. Камчатки, северной границей - побережье Берингова моря (рис. 1). В сейсмогеологическом отношении район работ достаточно сложный, что обусловлено особенностями геологического строения молодой складчатой области с интенсивной тектоникой и обилием магматизма, а также орографией, представленной сильно расчлененным рельефом, болотами и развитой сетью многочисленных рек.

Площадь региональных сейсмических работ охватывает северную часть Тюшевского наложенного прогиба: на юго-западе территории выходят отроги хр. Кумроч, на востоке - горы Камчатского п-ва, южной границей является нижнее течение р. Камчатки, северной границей - побережье Берингова моря (рис. 1). В сейсмогеологическом отношении район работ достаточно сложный, что обусловлено особенностями геологического строения молодой складчатой области с интенсивной тектоникой и обилием магматизма, а также орографией, представленной сильно расчлененным рельефом, болотами и развитой сетью многочисленных рек.



## Особенности волнового поля, наблюдаемого при региональных работах 2D

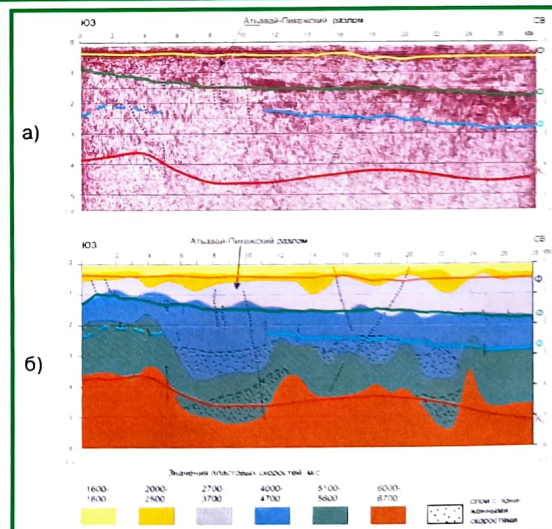
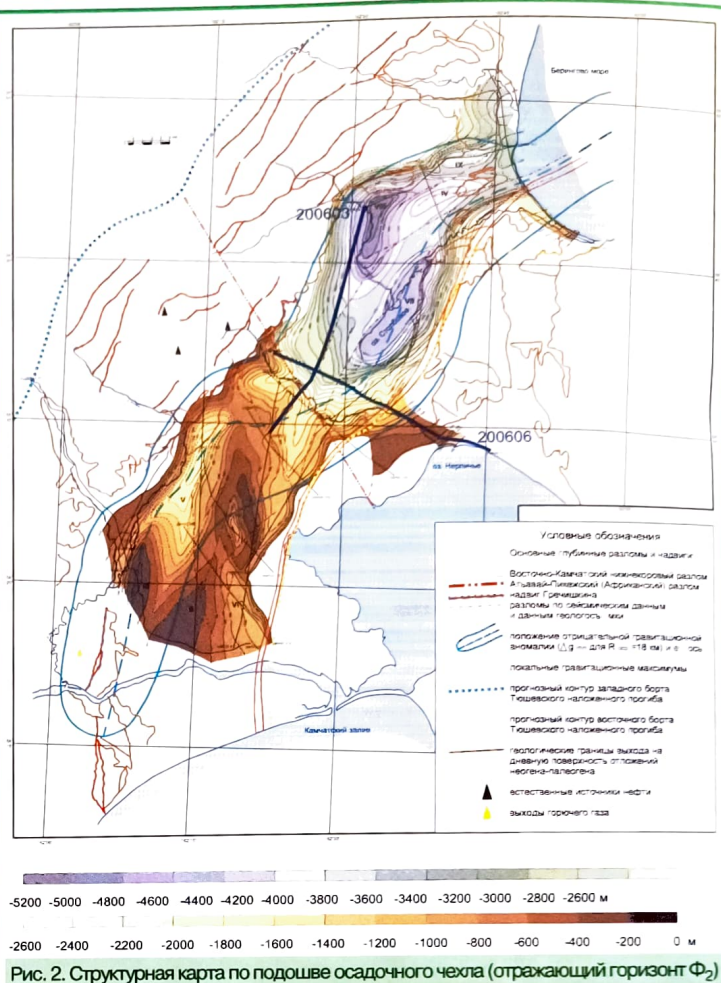
Сейсмические региональные работы выполнены на 15 профилях в объеме 300 пог. км по методике 2D с кратностью 60 (шаг между пунктами возбуждения (ДПВ) равен 50 м, шаг между пунктами приема (ДПП) равен 50 м). Применялась центральная система наблюдений, для которой длина рабочей расстановки составляла 6100 м. При этом максимальное удаление от пункта возбуждения (ПВ) до пункта приема (ПП) имело значение  $x_{\max}=3050$  м, минимальное удаление, соответственно,  $x_{\min}=50$  м.

Возбуждение сейсмических колебаний на всех отработанных профилях осуществлялось с использованием невзрывных источников импульсного типа «Енисей СЭМ-100М2» (ОАО «Енисейгеофизика», г. Красноярск) [6]. Для увеличения отношения сигнал/помеха при работе с импульсным источником каждое физическое наблюдение выполнялось с накоплением отдельных сеансов возбуждения (от 8 до 16). Для определения относительной мощности импульсного источника один сейсмический профиль 200606 был дополнительно отработан с помощью взрывного источника возбуждения упругих колебаний. Показано, что возбуждение упругих колебаний взрывами в скважинах (вес заряда до 1 кг, глубина 5-8 м) имеет определенные преимущества, основные из них заключаются в следующем: первичные записи сейсмических волн характеризуются более высокочастотным спектром, интенсивность помех на малых временах регистрации меньше в 3-10 раз. Тем не менее, используемые при обработке сейсмических записей одноканальные и многоканальные фильтры позволили получить сопоставимое (равное) качество прослеживания на временных разрезах 2D основных отражающих горизонтов при невзрывном и взрывном способах возбуждения упругих колебаний.

Регистрация сейсмических колебаний проводилась с использованием широкополосной многоканальной телеметрической сеймостанции СТС-24Р (ФГУП «СНИИГГиМС», г. Новосибирск) на открытом канале [5]. Длительность записи составляла 6 с, частота дискретизации была выбрана равной 1 мс. Для регистрации сейсмических волн использовались точечные группы из 5 штук вертикальных геологов GS-20 DX (ООО «ОЙО-ГЕО Импульс Интернэшнл», г. Уфа).

Основная компьютерная обработка сейсмических данных 2D выполнялась совместно со специалистами ООО «Томская геофизическая компания» на сервере SGI ORIGIN 2000 с применением программного комплекса FOCUS (Paradigm Geophysical). Построение временных разрезов было проведено с сохранением динамических характеристик отраженных волн.

В целом, проведенные работы методом 2D позволили изучить структурно-тектоническое строение северной части Восточно-Камчатского прогиба до глубин 8 км. Получены временные и глубинные сейсмические разрезы и построены структурные карты по основным отражающим горизонтам чехла (Ф1, Ф2 и Ф21) и поверхности консолидированного фундамента К0 (рис. 2, 3а). Отложения осадочного



чехла сложены преимущественно терригенными слабо дислоцированными олигоцен-четвертичными отложениями мощностью до 3-4 км. Из-за отсутствия скважин глубокого разведочного бурения в основу стратиграфической привязки прослеженных отражающих горизонтов положены значения пластовых скоростей продольных волн отдельных геологических комплексов Восточно-Камчатского прогиба [4]. Однако информация об особенностях строения ВЧР до глубин 500 – 600 м на сейсмиче-



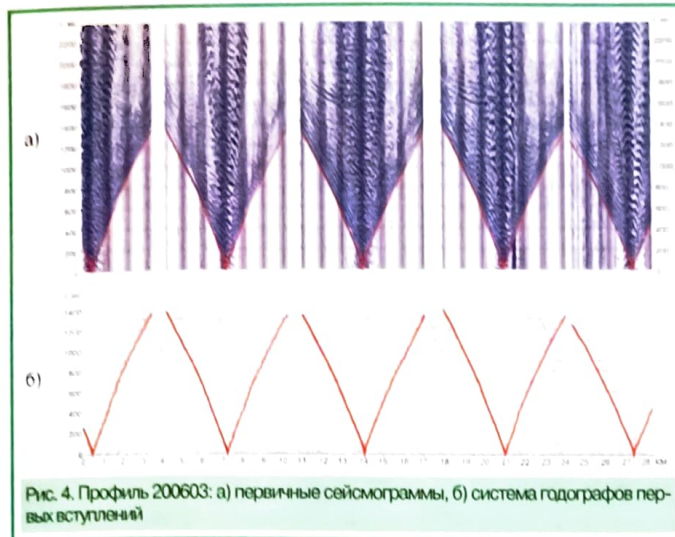


Рис. 4. Профиль 200603: а) первичные сейсмограммы, б) система годографов первых вступлений

ских разрезах 2D требует дополнительного обоснования, поскольку этот интервал может содержать контрастные скоростные неоднородности, неучет которых приводит к искажению глубинных построений. Таким образом, слабая изученность территории Восточно-Камчатского прогиба и особо изменчивые приповерхностные условия предопределяют необходимость восстановления структуры ВЧР с использованием поля скоростей.

Начальное представление об особенностях строения осадочного чехла по скоростям продольных волн  $V_p$  было получено по данным энергетического анализа материалов МОГТ-2D (рис. 36). Двумерная модель по скоростям  $V_p$  до глубин порядка 4000 м может быть представлена градиентно-слоистой средой. Верхний слой характеризуется плавным увеличением скоростей  $V_p$  от 900 до 2000 м/с и соответствует четвертичным отложениям (Q). Второй слой характеризуется нарастанием скорости  $V_p$  от 2000 до 2600 м/с и соотносится с отложениями ольховской свиты (N2-QEof). Подошва ольховской свиты – отражающий горизонт Ф1. Для третьего слоя отмечается увеличение скорости  $V_p$  от 2700 до 3700 м/с. Этот слой, характеризующийся слабо выраженной слоистостью, соответствует отложениям осадочного чехла олигоцен-миоценового возраста (N3Ch – N1gr). Подошва третьего слоя – основной отражающий горизонт Ф2. Четвертый слой характеризуется хорошо выраженной расслоенностью среды. В этом слое, отождествляемом с отложениями ветловской свиты (K2M), отмечается плавное увеличение скоростей  $V_p$  от 4000 до 4700 м/с.

В полученной по скоростям  $V_p$  пластовой модели среды не отражены особенности строения ВЧР. Информацию о детальном строении наиболее изменчивой верхней части разреза можно получить при использовании сейсмотомографического способа обработки первых вступлений продольных волн.

#### Методика сейсмотомографической обработки

Сейсмотомографическая обработка материалов региональных работ 2D позволяет получить достоверную оценку (модель) скоростного строения ВЧР при обязательном выполнении условия формирования рефрагированной продольной волны, регистрируемой в первых вступлениях. При постоянном и относительно плавном увеличении скорости продольных волн с глубиной данное условие выполняется, но при наличии в ВЧР волноводов (пластов с пониженными скоростями), а также сильных границ раздела, будет получено осредненное представление о скоростных особенностях раз-

реза. В этой ситуации более точный сейсмотомографический разрез по скорости рефрагированной продольной волны может быть получен при его коррекции с использованием материалов микросейсмокаротажа.

Основные элементы используемого сейсмотомографического способа обработки рефрагированных продольных волн, регистрируемых в первых вступлениях, заключаются в следующем:

- подготовка сейсмических данных для томографической обработки и формирование для всех ПВ(и) ПП(у) системы годографов первых вступлений ( $T_{\text{наб}}^k$ ), обеспечивая необходимую увязку встречных годографов (рис. 4);
- формирование начальной модели разреза  $V^0(x, z)$ ;
- определение поля времён  $T_{\text{пр}}^k$  (прямая задача) и соответствующих этим временам траекторий лучей  $L_{\text{пр}}^k$  по скоростной модели  $V^0(x, z)$  на основе программно реализованного принципа Гюйгенса;
- вычисление невязки  $T_{\text{незв}}^k$  между наблюдаемыми временами прихода волн  $T_{\text{наб}}^k$  и расчётными временами  $T_{\text{пр}}^k$ :  $T_{\text{незв}}^k = T_{\text{наб}}^k - T_{\text{пр}}^k$ ;
- оценивание сходимости процесса и продолжение вычислительной итерации, если решение устойчиво сходится, но невязка больше допустимой (4 мс на трассу), или выход из цикла, если невязка достигает необходимого минимума. Возможен конфликтный вариант вычислений (прерывание итерации) при несходимости решения и сохранении невязки больше допустимой, например из-за сложного структурного строения участка и (или) низкой плотности наблюдений.

Для восстановления поля скоростей  $V(x, z)$  по профилю задаётся расчетная сетка, размер которой ограничен дискретностью пунктов возбуждения (ДПВ) и дискретностью пунктов приёма (ДПП). Принято считать, что шаг по сетке должен быть не менее одного - двух значений ПП (или ПВ). Поэтому, для сохранения детальности восстанавливаемых разрезов скоростей была выбрана сетка с шагом 50 м по горизонтали и 30 м по вертикали, а в пределах одной ячейки расчетной сетки скорость принимается постоянной.

Для обеспечения корректных расчетов задавалось начальное приближение скоростного разреза ВЧР по скоростям продольных волн максимально близкое к действительности, которое было получено по данным энергетического анализа материалов региональных работ 2D. Важно отметить, что в условиях резкой дифференциации скоростей грубое представление начальной модели при томографической обработке может привести к появлению ложных аномалий (артефактов).

Характеризуя вертикальный разрез (его верхнюю часть) линейным нарастанием скорости продольных волн от 900 м/с до 3100 м/с, а также учитывая, что максимальное расстояние между ПВ и ПП равно 3050 м, находим максимальную глубину пронизания луча (до 900 м). Выполненный детальный анализ волнового поля на малых временах позволил априорно предположить трёхслойное строение ВЧР:

- первый слой, мощностью 100 – 200 м, имеет скорость распространения продольных волн  $V_p = 900 - 1950$  м/с;
- второй слой имеет мощность, изменяющуюся в пределах профиля от 250 до 600 м, и скорость распространения продольных волн  $V_p = 2000 - 2400$  м/с;





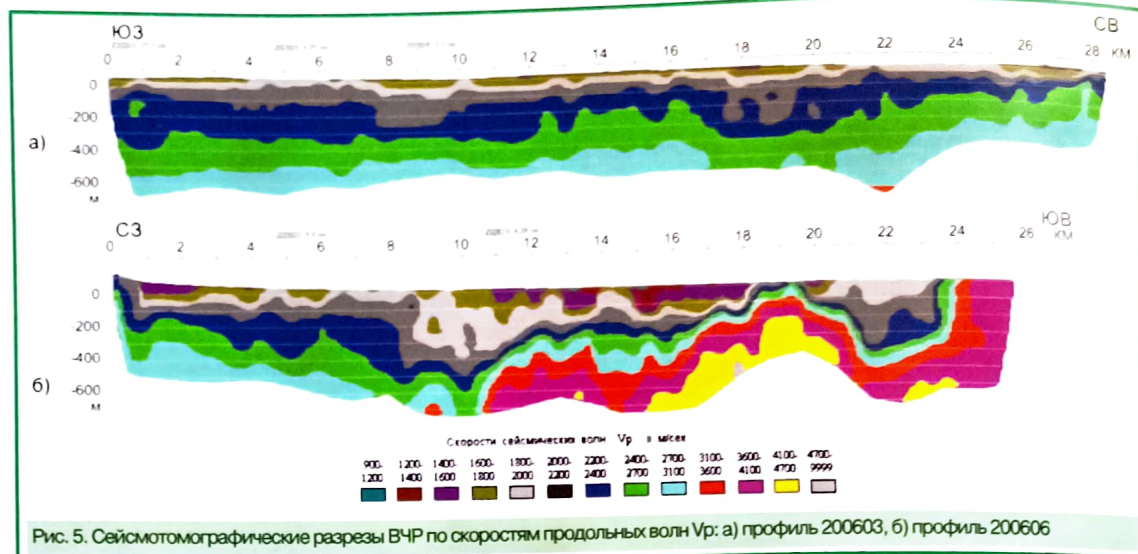


Рис. 5. Сейсмотомографические разрезы ВЧР по скоростям продольных волн  $V_p$ : а) профиль 200603, б) профиль 200606

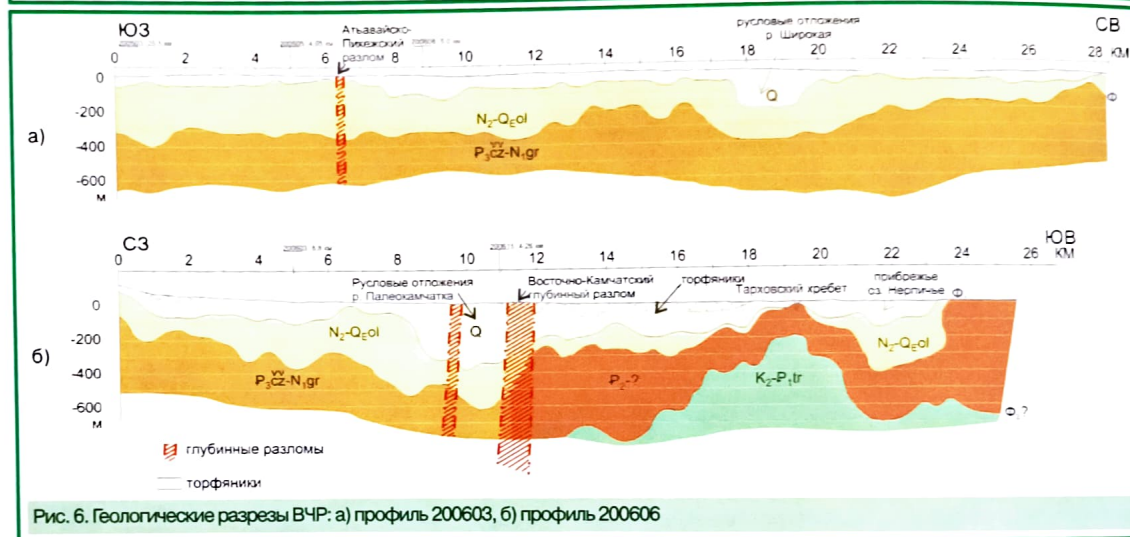


Рис. 6. Геологические разрезы ВЧР: а) профиль 200603, б) профиль 200606

третий слой, подстилающий, прослеживается на глубинах до 800 м и имеет скорость распространения продольных волн  $V_p > 2500$  м/с.

С учетом начальной скоростной модели ВЧР матрица скоростей для томографической обработки была сформирована из 9 слоев с различными интервальными значениями, в пределах которых скорости плавно увеличиваются на 200 ч 500 м/с.

## Результаты сейсмотомографической обработки

Сейсмотомографическая обработка по описанной выше методике проводилась на двух профилях 200603 и 200606, первый из которых располагался вдоль оси Восточно-Камчатского прогиба, второй – перпендикулярно к ней (рис. 2). Построенные по скоростям  $V_p$  сейсмотомографические разрезы ВЧР (рис. 5) характеризуются достаточно сложным рельефом выделенных скоростных слоев.

Для профиля 200603 диапазон значений скоростей  $V_p$  составляет от 1400 до 3100 м/с с плавным увеличением от глубины. На разрезе выделяется ряд локальных аномалий пониженных скоростей, которые приурочены к речным долинам.

Для профиля 200606 диапазон значений скоростей  $V_p$  находится в пределах от 900 до 4100 м/с, что существенно выше диапазона значений скоростей для профиля 200603. На сейсмотомографическом разрезе по данному профилю отмечается существенное различие поля скоростей для северо-западной и юго-восточной частей разреза. Границей раздела этих полей служит Восточно-Камчатский глубинный разлом. Особо контрастная низ-

коскоростная аномалия скоростей  $V_p$  выделяется в центральной части профиля 200606. В восточной части этого профиля в приповерхностной части разреза картируется протяженный участок сверхнизких скоростей ( $V_p \leq 1400$  м/с). В юго-восточной части разреза выделяется контрастная высокоскоростная зона, в которой максимальные скорости продольных волн достигают 4700 м/с.

Выполнив сопоставление выбранных диапазонов изменения скоростей  $V_p$  на сейсмотомографических разрезах с конкретными стратиграфическими подразделениями среды, определим модель геологического строения ВЧР на профилях 200603 и 200606. На полученных геологических моделях ВЧР (рис. 6) можно достаточно уверенно выделить четвертичные отложения средней мощностью около 50 - 70 м ( $V_p = 900-2000$  м/с). На отдельных участках выделяются зоны, в которых мощность четвертичных отложений достигает 200 - 300 м. Эти локальные зоны, как правило, приурочены к руслам рек или прибрежному участку оз. Нерпичье. Одна из локальных зон, наиболее контрастная, вероятно соответствует русловым отложениям

р.Палеокамчатка (рис. 6б). Участки сверхнизких скоростей ( $V_p \leq 1400$  м/с) обусловлены наблюдаемой в этом районе сильной заболоченностью и развитием торфяников.

Абсолютные отметки кровли ольховской свиты находятся в пределах от + 100 до - 400 м. Отметим, что отложения ольховской свиты, которые развиты повсеместно и имеют мощность 100 - 250 м ( $V_p =$



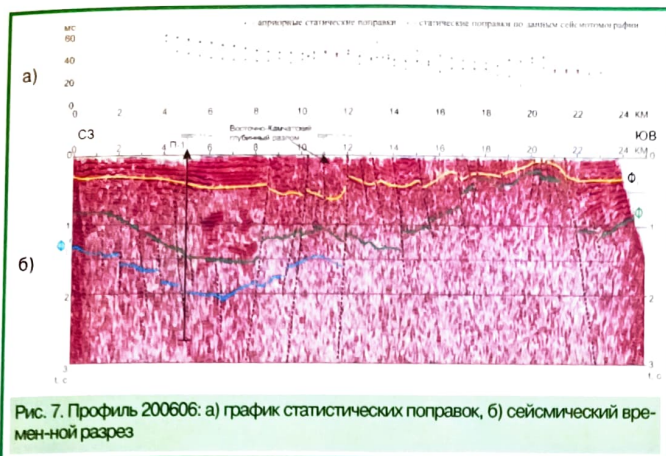


Рис. 7. Профиль 200606: а) график статистических поправок, б) сейсмический временной разрез

2000 – 2400 м/с), к юго-востоку от Восточно-Камчатского глубинного разлома по профилю 200606 резко уменьшаются по мощности до 50 м. В юго-восточной части профиля 200606 картируется крупная антиклинальная складка, в ядре которой находятся отложения промежуточного этажа ( $V_p = 3600 - 4700$  м/с). Этот участок связан с захороненными отрогами тарховского хребта (рис. 6б).

Отложения чажминской и горбушинской свит ( $V_p = 2600 - 3100$  м/с) освещены не на полную мощность, а в пределах от 200 – 400 м. При этом абсолютные отметки рельефа поверхности этих отложений находятся в интервале от + 50 до – 620 м.

Полученные в результате сейсмотомографической обработки данные о геологическом строении ВЧР согласуются с геологическим строением Тюшевского прогиба. Важно отметить, что локальные особенности геологического строения на восточном участке профиля 200606 более детально отображены на сейсмотомографическом разрезе, чем на сейсмическом разрезе 2D.

Особой отличительной характеристикой полученных сейсмотомографических разрезов по скорости  $V_p$  является резко выраженный перепад глубин (до 500 – 600 м) одноименных скоростных горизонтов. Это предопределяет необходимость использования таких разрезов для расчета статистических поправок. На рис. 7 показаны два варианта расчета значений статических поправок за линию приведения – 50 м. Один из них (стандартный подход) выполнен при условии, что скорость ВЧР является величиной постоянной, второй – по материалам сейсмотомографии. Отметим, что в ряде случаев значения статических поправок, полученных разными способами, различаются до 30 мс. Среднеквадратичное отклонение  $t$  для обоих способов определения статических поправок  $t$  за пункт приема и пункт возбуждения составляет  $\pm 16$  мс. Преимущество сейсмотомографического варианта учета статических поправок определяется возможностью исключать скоростные неоднородности разреза, расположенные на больших глубинах (до 500 – 700 м) и, следовательно, возможностью учесть не только короткопериодную, но и длиннопериодную статистику.

#### Выводы

Сейсмотомографическая обработка первых вступлений материалов 2D позволяет построить двумерную модель ВЧР по скоростям распространения продольных волн  $V_p$  (сейсмотомографические разрезы) до глубин в несколько сотен метров, рассчитать на её основе статические поправки, включающие короткопериодную и длиннопериодную составляющие, связанные со скоростной неоднородностью среды, в том числе ниже линии приведения, и, следовательно, получить геологическую модель с более достоверными оценками

структурных и скоростных особенностей среды.

Сейсмотомографический способ изучения строения ВЧР Восточно-Камчатского прогиба позволил уточнить общее представление об основных особенностях структурного строения осадочного чехла в сложно-построенной зоне Тюшевского прогиба. В последние годы в нефтяной суперпровинции Тихоокеанского подвижного пояса, включающей Восточно-Камчатский прогиб, открыты неструктурные залежи углеводородов на глубинах от 80 – 200 м до 3000 м, приуроченные к узким дислоцированным междуговым прогибам. В таких сейсмогеологических условиях сейсмотомографический

подход изучения ВЧР может оказаться особо полезным при поисковых и детальных работах (2D, 3D).

Отмеченные принципиальные возможности сейсмотомографической обработки времен первых вступлений позволяют рекомендовать данный способ для включения в основной граф обработки сейсмических материалов (2D, 3D). Сейсмотомографический способ изучения ВЧР может быть полезным при детальных площадных сейсмических исследованиях в районах, характеризующихся сложным и быстро изменяющимся строением ВЧР, в том числе, в районах с развитием вечной или островной мерзлоты, наличием трапповой тектоники, на соленосных площадях, в крупных разломных зонах.

#### Литература

1. Завьялов В.А. Повышение эффективности сейсмических исследований в пределах Сибирских Увалов // Геофизика, 2009, № 1.
2. Канарейкин Б.А., Прихода А.Г., Сагайдачная О.М., Щербаков В.В. Сейсмотомографические исследования грунтов при инженерно-геологических изысканиях // Геофизика, 2004, № 5.
3. Канарейкин Б.А., Сагайдачная О.М., Попруженко С.В., Декин Г.П., Дунаева К.А. Результаты первых нефтепоисковых сейсмических работ в северной части Восточно-Камчатского прогиба // Геофизические методы поисково-оценочных исследований: Сборник научных трудов «СНИИГ-ГимС», - Новосибирск: Наука, 2007.
4. Канарейкин Б.А., Сагайдачная О.М., Попруженко С.В., Декин Г.П., Аносов Г.И. Структурно-тектоническое строение и оценка углеводородного потенциала Восточно-Камчатского прогиба // Геофизика, 2009, № 1.
5. Сагайдачная О.М., Шмыков А.Н. Отечественные сейсмотелеметрические станции // Разведка и охрана недр, 2003, № 11-12.
6. Смирнов В.П. Электромагнитные источники сейсмических колебаний ряда «Енисей СЭМ, КЭМ» // Приборы и системы разведочной геофизики, 2003, № 2.
7. Сысоев А.П. Технология построения объемных сейсмогеологических моделей по данным разномасштабной сейсморазведки. // Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук. Новосибирск: ОАО «Сиб-нефтегеофизика», 2005.
8. Сысоев А.П. Системный подход к решению проблемы учета неоднородности ВЧР в методе отраженных волн // Геофизика, 2008, № 3.
9. Bridle R., Barsoukov N., Al-Homali M., Ley R., Al-Mustafa A. Comparing state-of-the-art near-surface models of a seismic test line from Saudi Arabia // Geophysical Prospecting, 2006, № 54.



# ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

КАТАЛОГ ПРЕДПРИЯТИЙ и ОБОРУДОВАНИЯ  
ДЛЯ ПОИСКА НЕФТИ и ГАЗА



## Первый в России

каталог отечественных предприятий и оборудования  
для геофизических исследований при поиске нефти и газа

- содержит более 300 наименований
- материал представлен в удобной для читателей форме
- включает контактную информацию по производителям

Заказать каталог можно по e-mail: [paturlov@mail.ru](mailto:paturlov@mail.ru)



# Оптимизация зондирующего сигнала для структурных электромагнитных исследований Земли

Шайдунов Г.Я., Ступников А.И., Институт инженерной физики и радиоэлектроники СФУ, г.Красноярск

Широко применяемый в настоящее время метод становления электромагнитного поля для изучения геологических структур на большие глубины, порядка 5 км, требует для своей реализации достаточно мощные источники электропитания (30 кВт и более) магнитных или электрических излучателей в виде индуктивной петли, либо заземленного длинного кабеля.

В качестве зондирующего сигнала в излучателе используют прямоугольные импульсы тока длительностью 10 секунд и более, а прием, как правило, осуществляют на магнитную антенну.

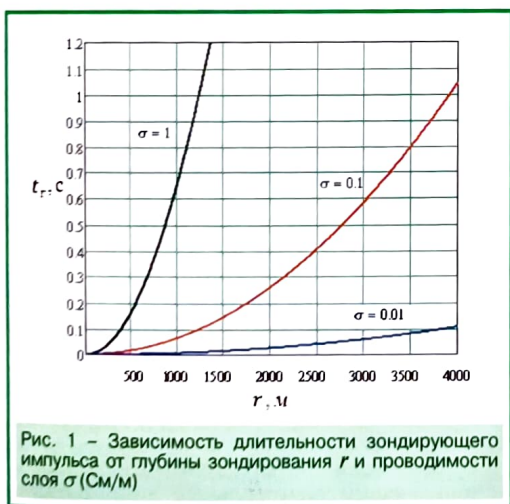
В работах [1, 2] дано обоснование использования для подобных задач метода видеоимпульсной электромагнитной локализации, заключающегося в зондировании проводящей среды сравнительно короткими импульсами, сопоставимыми по длительности со временем группового запаздывания электромагнитного сигнала до отражающего горизонта или объекта поиска

$$t_r = 0,65 \cdot 10^{-6} \cdot \sigma \cdot r^2 / \text{сек}, \quad (1)$$

где  $r$  - расстояние до отражающей границы, а  $\sigma$  - электропроводность среды, См/м.

Формула (1) получена с учетом граничной частоты низкочастотного окна Габиларда [3], которое определяет верхнюю частоту проникновения электромагнитного поля в проводящую среду с дальностью проникновения в 3-4 раза превышающую глубину слоя скин-эффекта.

На рис. 1 приведен график расчетных значений времени группового запаздывания  $t_r$  от параметров  $r$  и  $\sigma$ .



Структура георазреза строится путем регистрации отраженных сигналов на указанных на рис. 1 временах.

В [1, 2] дано решение вариационной задачи оптимизации формы зондирующего сигнала для метода видеоимпульсной локализации по критерию отношения сигнал/помеха+шум по мощности, где под помехой понимается реакция однородного полупространства

Земля-воздух, а шум определяется некоррелированными с полезным сигналом внешними помехами и внутренним шумом на входе приемника:

$$q = \frac{\left[ \frac{1}{T} \int_0^T I(t) k_0(t-\tau) dt \right]^2}{\left[ \frac{1}{T} \int_0^T I(t) k_n(t-\tau) dt \right]^2 + \int_{f_H}^{f_B} N(f) df} \rightarrow \max, \quad (2)$$

где:  $I(t)$  - зондирующий сигнал как функция текущего времени  $t$ ;

$k_0(t), k_n(t)$  - соответственно, импульсная и переходная характеристики отражающего объекта и синхронной помехи за счет реакции полупространства

Земля-воздух ;  
с - спектральная плотность суммарной мощности шума ;

$f_H, f_B$  - граничные частоты сигнала ;

$T$  - период первичной обработки сигнала.

Решение этой задачи для оптимальной формы ЗС получено в виде

$$I(t) = K_0(t) - \frac{|K|}{1+\nu} K_n(t) \quad (3)$$

Здесь  $|K| = \int_0^T K_0(t) K_n(t-\tau) dt$  - коэффициент-

корреляции ИХ объекта поиска и геологических помех.

$$\nu = \frac{N_0}{T \int_0^T K_n^2(t) dt} \quad (4)$$

- отношение шум/СП

Из (2) и (3) видно, что при большом отношении мощности СП к шуму, т.е. при  $\nu \ll 1$ , отношение сигнал/СП не зависит от мощности источника ЗС и поднять эту величину можно лишь путем подбора формы ЗС, т.е. путем вариации комбинации импульсных характеристик сигнала и СП.

Для частного случая представления  $K_0(t)$  и  $K_n(t)$  в виде комбинации экспонент :

$$K_0(t) = \sum_{i=1}^n A e^{-\alpha_i t}$$

$$K_n(t) = \sum_{i=1}^m B e^{-\alpha_i t}$$

$i = 1, 2, 3 \dots n, m.$

Оптимальная форма ЗС будет двухполярной :

$$I_{\text{опт}}(t) = \sum_{i=1}^n A e^{-\alpha_i t} - \sum_{i=1}^m B e^{-\alpha_i t} \quad (6)$$

Экспоненциальная форма ИХ (6) соответствует реакции однородного проводящего полупространства на короткий дельта-импульс.

ИНСТРУМЕНТАРИЙ ГЕОФИЗИКА-СЕЙСМОРАЗВЕДЧИКА  
ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ





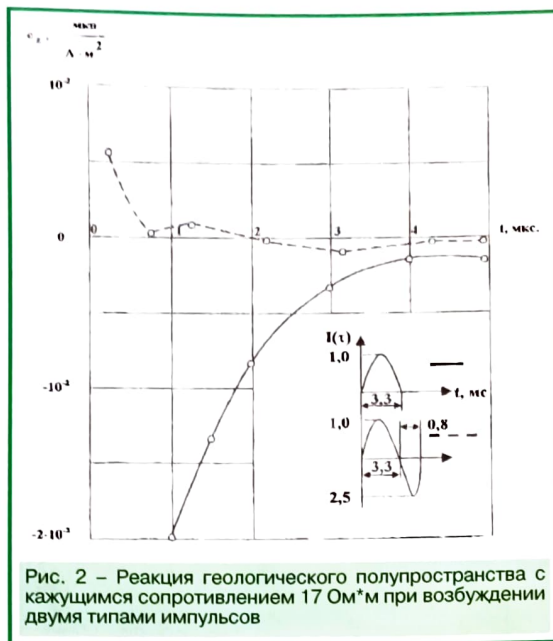


Рис. 2 – Реакция геологического полупространства с кажущимся сопротивлением 17 Ом\*м при возбуждении двумя типами импульсов

На рис. 2 представлен график экспериментальной зависимости уровня СП для наземной установки в виде горизонтальной проволоочной рамки площадью 6 м<sup>2</sup>, запитанной периодической последовательностью полусинусоидальных импульсов тока однополярной и двухполярной форм.

Как видно из графика, двухполярная форма ЗС почти полностью компенсирует СП, вызванную электродинамическими процессами наведенных в верхних слоях Земли вихревых токов.

В этом случае второй короткий импульс, длительностью в 4 раза меньшей первого, является компенсирующим, подбором амплитуды и длительности которого можно минимизировать уровень сигнала СП.

В случае приема сигнала индукционным магнитоприемником его амплитуда на выходе приемника растет прямо-пропорционально частоте  $\omega$ . В то же время электромагнитные помехи в диапазоне до 4 кГц зависят от частоты по закону  $\omega^{-2}$  [4]. Модуль спектральных характеристик полезного сигнала и СП, являющихся преобразованием Фурье в случае использования только первых членов рядов  $n=1, m=1$ :

$$K_c(\omega) = \frac{A^2}{\alpha_c^2 + \omega^2}; K_n(\omega) = \frac{B^2}{\alpha_n^2 + \omega^2}$$

Зависимость от частоты отношения сигнал/помеха+шум по мощности может быть записано в виде:

$$q(\omega) = \frac{C}{СП + Ш} = \frac{A^2 \omega^6 (\alpha_n^2 + \omega^2)}{(\alpha_c^2 + \omega^2) [B^2 \omega^4 + C(\alpha_n^2 + \omega^2)]}$$

График спектральной функции (8) будет иметь четко выраженную полосовую зависимость (рис. 3) что означает, что оптимальный зондирующий сигнал должен содержать максимум энергии в диапазоне рабочих частот  $[\omega_H, \omega_B]$ .

Таким образом, для метода видеоимпульсной локации слоистых структур георазреза имеет смысл постановка задачи ограничения длительности зондирующего сигнала  $\tau_u \leq \tau_z$ ,

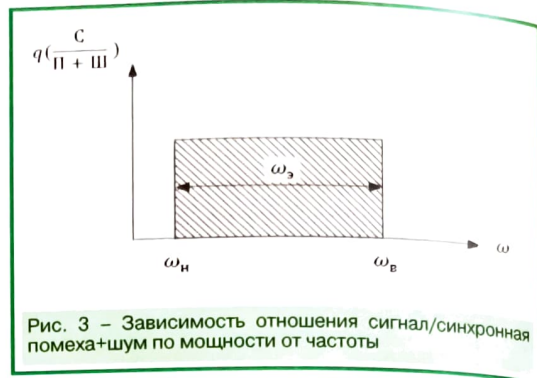


Рис. 3 – Зависимость отношения сигнал/синхронная помеха+шум по мощности от частоты

и его спектра, сосредоточенного в диапазоне частот  $[\omega_H, \omega_B]$ .

Класс подобных сигналов известен [5]. Это двойные сфероидальные функции  $\psi(t)$ , являющиеся решением однородного интегрального уравнения Френдгольма:

$$\Psi(t) = \int_0^{\tau_u} \Psi(\tau) K(t - \tau) d\tau, \quad (9)$$

где  $K(t, \tau)$  – импульсная переходная характеристика исследуемого объекта спектру которой соответствует зависимости  $q(\omega)$ .

Временная форма функции  $\psi(t)$  изображена на рис. 4.



Рис. 4 – График семейства функций  $\psi(t)$ .

Из всех возможных функций минимальной длительности со спектром, сосредоточенным в заданном диапазоне частот, только функция  $\psi(t)$  соответствует этому условию.

Замечательной особенностью систем функций  $\psi(t)$  является их ортогональность как на интервале наблюдения, так и на бесконечности, что дает возможность производить независимое зондирование среды одновременно несколькими установками.

Как можно заметить из сопоставления Рис. 1 и Рис. 4, оптимальный зондирующий сигнал в том и другом случаях имеет знакопеременную форму. При этом, первый, более длительный импульс, является основным зондирующим сигналом по спектру частот, соответствующим заданной глубине исследований, а последующие, более короткие, обеспечивают компенсацию электродинамических полей поверхностных токов, формирующих синхронную помеху.

В [6] описан способ геоэлектроразведки, использующий оптимальные зондирующие сигналы, соответствующие выше описанным ограничениям.

Основные ожидаемые преимущества от использования таких сигналов – это существенный энергетический выигрыш в источнике питания генератора первичного поля, расширение амплитудной динамики принимаемых информационных сигналов и упрощение интерпретации данных геоэлектроразведки.



Энергетический выигрыш соответствует отношению длительностей зондирующих импульсов метода локации  $\tau_L$  и используемого сейчас метода становления поля  $\tau_c$ . Так, при зондировании Земли на глубину  $r=5000$  при  $\sigma=0,01$  см/м, требуемая величина длительности ЗС, согласно формуле (1), составляет  $\tau_L = 160$  мс. Минимальная длительность импульса для метода становления поля при тех же условиях составляет  $\tau_c = 10$  с. Таким образом,  $\tau_c/\tau_L = 62,5$ . Кроме того, практически в два раза уменьшается период повторения ЗС, что улучшает отношение полезного сигнала к некоррелированному шуму за счет увеличения числа циклов накопления сигнала.

Расширение амплитудной динамики наблюдаемых полезных сигналов определяется величиной компенсации СП, достигаемой при подборе формы ЗС. Упрощение же интерпретации алгоритма вторичной обработки сигналов обусловлено прямой оценкой времени запаздывания отраженного сигнала с помощью формулы (1) и построения георазреза непосредственно на экране компьютера.

Описанный метод локации соответствует известному радиолокационному способу зондирования слоистой среды [7], однако в пренебрежении токами смещения.

Основные его преимущества были экспериментально проверены при решении задач электромагнитной локации морской среды [2]. В [8] дана оценка возможности использования метода локации при поиске рудных месторождений.

Оценим возможные потери в уровне сигнала на примере воздействия на среду прямоугольного импульса конечной длительности  $\tau_u$  по сравнению с перепадом поля, определяемым переходной функцией

$$K_1(t) = Ae^{-\alpha t} \quad (10)$$

Реакция среды на импульс

$$K_2(t) = A \int_0^t [1(t) - 1(t - \tau)] K_1'(t) dt, \quad (11)$$

где  $K_1'(t) = \frac{\partial}{\partial t} K_2(t)$  – импульсная характеристика среды.

В этом случае потери сигнала при импульсном возбуждении по мощности оцениваются как :

$$\left( \frac{K_2(t)}{K_1(t)} \right)^2 = (1 - e^{-\alpha \tau_u})^2 \quad (12)$$

При  $\tau_u = 1/\alpha$  потери составят 14 %. В случае  $\tau_u = 2/\alpha$ ,  $(K_2/K_1)^2 = 2\%$ .

Таким образом, потери в энергии зондирующего сигнала за счет импульсного возбуждения незначительные, в то время как классический метод становления поля потребляет энергии от источника питания за время прохождения перепада тока  $T$  в  $T/\tau_u$  раз больше.

Безусловно, что бы реально оценить достижимость описанных в настоящей статье преимуществ, необходима постановка прямых экспериментов по зондированию слоев Земли методом локации.

## Заключение

Для решения задач структурной электро-разведки предложено использовать метод видеоимпульсной электромагнитной локации, использующий принцип временного разрешения отраженных сигналов за счет группового запаздывания зондирующего сигнала в проводящей среде. Определен оптимальный класс этих сигналов в виде комбинации импульсных характеристик полезного отклика Земли, идущего от глубинных слоев и синхронных помех, обусловленных электродинамическими процессами в поверхностном слое, входящем в ближнюю зону излучателя.

Оптимальной формой зондирующего сигнала, обеспечивающей максимальное значение отношения сигнал/синхронная помеха в заданном диапазоне частот при минимальной длительности, являются базисные функции двойной ортогональности, не меняющие своей формы при прохождении линейной системы с заданной импульсной характеристикой. Эти функции рекомендуется использовать в методе электромагнитной видеоимпульсной локации, позволяющем существенно снизить энергетические затраты источников электромагнитного поля, улучшить динамику регистрируемого сигнала и поднять отношение сигнал/шум.

## Литература

1. Импульсные электромагнитные системы поиска / Г. Я. Шайдуров; Красноярск, КГТУ, 1999. 320 с.
2. Шайдуров Г.Я. Оптимизация зондирующего сигнала для электромагнитных систем поиска и контроля / Г.Я. Шайдуров // Известник ВУЗов СССР. Радиоэлектроника. – 1980. – Т.23. - №12. – С. 73-76.
3. Габиллард, Дегон, Уэйт. Радиосвязь между подземными и подводными пунктами / Габиллард, Дегон, Уэйт // Зарубежная радиоэлектроника. – 1972. - №12. - С. 16-34.
4. Александров М.С. Флуктуации электромагнитного поля Земли в диапазоне СНЧ: колл. Монография / М.С. Александров, З.М. Бакленова, Н.Д. Гладштейн, В.П. Озеров, А.В. Потапов, Л.Т. Ремизов. – М.: Наука, 1972. 195 с.
5. Функции с двойной ортогональностью в радиоэлектронике и оптике / Пер. и обработка М. К. Размахина, В. П. Яковлева. М.: Сов. радио, 1971. 256 с.
6. Пат. 968776 Российская Федерация, МПК7 G 01 V 3/10. Способ электромагнитной геофизической разведки / Г. Я. Шайдуров, Л. А. Веретнов; заявитель и патентообладатель Красноярский политехнический институт. – № 3270211/18-25; заявл. 03.04.1981; опубл. 23.10.1982, Бюл. № 39.
7. Финкельштейн М. И., Мендельсон В. Л., Кутев В. А. Радиолокация слоистых земных покровов. М.: Сов. радио, 1977. 174 с.
8. Шайдуров Г. Я., Романова Г.Н. Принцип реализации сверхширокополосной электромагнитной локации для решения геофизических задач. Геофизические исследования в Средней Сибири /КНиаГиМС, Красноярск, 1997, с 267-275.



## Выделение комплексных критериев эффективности в работе сейсморазведочной партии с целью повышения качества геологогеофизической продукции

Симоненко А.Г., Соловьев Д.О., Чернышев В.В., ФГУП «НВНИИГГ», г. Саратов

Область применения сейсмической разведки при решении геологических задач весьма велика: от изучения глубинных зон коры и мантии Земли до детального исследования нефтегазоносных объектов. Не секрет, что на сегодняшний день основным методом изучения реальных геологических сред и подготовки объектов под глубокое разведочное бурение является сейсмическая разведка.

Разумеется, для решения различных геологических задач требуется использование качественной информации о строении среды.

К сожалению, бывают случаи, когда в погоне за большей производительностью снижается качество первичных сейсмических материалов. И как следствие этого - невозможность получения кондиционных результатов обработки и интерпретации. Наряду с этим неуклонно растут и требования заказчиков к качеству исходного материала. Из года в год растут также и потенциальные возможности сейсмического оборудования.

С целью достижения максимальной эффективности сейсморазведочных работ для осуществления контроля над производством полевых работ и привлекаются независимые специалисты - супервайзеры. В настоящее время существует активный спрос на супервайзерское сопровождение геологоразведочных работ, что приводит к увеличению количества фирм, работающих в этой сфере. Следствием этого является отсутствие единого стандартизированного подхода к оценке качества сейсморазведочных работ. Открытыми и актуальными остаются такие вопросы, как разработка и утверждение единых требований к супервайзерскому сопровождению полевых работ, приведение к единому стандарту полевой технической документации, разработка современной инструкции по сейсморазведке, отражающей «дух времени».

В условиях рыночной экономики проблема конкурентоспособности в геофизической отрасли приобретает первостепенное значение. Зачастую, в угоду интересам заказчика исполнители принимают на себя обязательства на грани или даже далеко за пределами своих возможностей, что влечет за собой весьма серьезные последствия, которые, в конечном счете, отражаются на качестве работ. Поэтому для супервайзера крайне важно объективно оценивать работу сейсморазведочной партии.

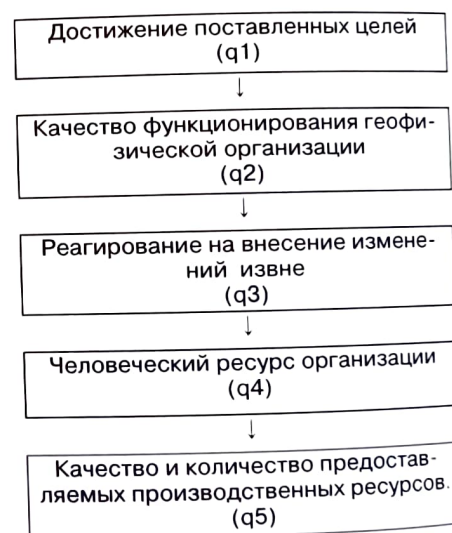
Стоит отметить, что в связи с переходом отечественной экономической системы на «рельсы» рыночных отношений многие геофизические предприятия сталкиваются с проблемой повышения эффективности работы. К сожалению, встречаются предприятия, в которых, работники рассматриваются только как статья расходов. В таких организациях, как правило, система управления человеческими ресурсами оценивается с позиций максимальной экономии бюджета по фонду заработной платы, да и само руководство не заинтересовано в воспитании квалифицированных кадров, что, в свою очередь, не может не сказываться на их профессионализме. А это зачастую приводит к известным результатам.

Совершенствование супервайзерских служб вызывает необходимость определения более результативных и эффективных подходов к оценке геофизических предприятий в целом. В этой связи возникает вопрос - что такое показатели эффективности сейсморазведочных работ и каковы основные критерии, влияющие на работу партии в целом?

На протяжении долгого времени верным критерием, характеризующим эффективность сейсморазведочных работ, являлся коэффициент качества сейсмических записей. В целом же работа сейсморазведочной партии практически не рассматривалась.

Мы предлагаем рассматривать эффективность работы сейсмической партии на основе сопоставления коэффициента качества сейсмических записей физических наблюдений с производственными ресурсами, используемыми для выполнения работ.

Сама эффективность обуславливается влиянием ряда факторов, анализируя которые можно выделить ряд ключевых направлений, влияющих на выбор основных критериев оценки эффективности работы организации:



На протяжении длительного времени супервайзеры ФГУП «НВНИИГГ» при оценке деятельности полевых подразделений использовали балльный метод. Для достижения максимальной пользы в рамках эксперимента мы предлагаем систему, которая базируется на следующих основных принципах:

1. Методика оценки строится на основе объективных измерений;
2. Правила принятия решений в оценках имеют эмпирическое обоснование;
3. Методика оценки способствует принятию взвешенных решений о работоспособности партии;
4. Методика является наглядной и простой.

Ниже, в качестве примера анализа ресурсов сейсморазведочных партий, приведена таблица критериев эффективности (Таблица 1), которая отражает комплексную оценку партии в баллах.





| Направление эффективности                                            | Основные критерии оценки эффективности                                                     | Таблица 1<br>Оценка<br>эффективности в<br>баллах (0 - 4) |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Достижение поставленных целей (q1)                                   | -выполнение работ для решения геологических задач                                          | 4                                                        |
|                                                                      | -выполнение сейсморазведочной партией календарного плана                                   | 4                                                        |
|                                                                      | - соблюдение методики работ                                                                | 4                                                        |
|                                                                      | - наличие согласовательной документации                                                    | 4                                                        |
|                                                                      | - соблюдение техники безопасности                                                          | 4                                                        |
| Качество функционирования геофизической организации (q2)             | - скорость и точность выделения информации по специальным запросам супервайзера            | 4                                                        |
|                                                                      | - эффективность текущей отработанной информации                                            | 4                                                        |
|                                                                      | - надежность информации                                                                    | 4                                                        |
|                                                                      | - последовательность выполнения геологических задач (отсутствие простоев, прогулов и т.д.) | 4                                                        |
|                                                                      | - наличие внутренней системы контроля качества на базе партии                              | 4                                                        |
| Реагирование на внесение изменений из вне (вопрос модернизации) (q3) | - степень решения поставленных вопросов с контролирующими организациями                    | 4                                                        |
|                                                                      | - степень взаимодействия партии с центральным офисом Исполнителя                           | 4                                                        |
|                                                                      | - степень вмешательства супервайзера в работу партии                                       | 4                                                        |
|                                                                      | - степень взаимодействия центрального офиса Исполнителя с Заказчиком                       | 4                                                        |
|                                                                      | - учет категории сложности региона совместно с сейсмогеологическими условиями              | 4                                                        |
| Человеческий ресурс организации (q4)                                 | - Профиль образования                                                                      | 4                                                        |
|                                                                      | - Опыт работы в отрасли                                                                    | 4                                                        |
|                                                                      | -Профессионализм персонала                                                                 | 4                                                        |
|                                                                      | -Организованность персонала                                                                | 4                                                        |
|                                                                      | -Потенциальные возможности                                                                 | 4                                                        |
| Качество и количество предоставляемых производственных ресурсов (q5) | -Бытовые условия                                                                           | 4                                                        |
|                                                                      | -Качество сейсморазведочного оборудования                                                  | 4                                                        |
|                                                                      | -Количество сейсморазведочного оборудования                                                | 4                                                        |
|                                                                      | -Качество вспомогательного оборудования                                                    | 4                                                        |
|                                                                      | -Количество вспомогательного оборудования                                                  | 4                                                        |
| <b>Σq</b>                                                            | <b>Итого:</b>                                                                              | <b>100</b>                                               |

Нами была выполнена оценка полевых партий, работавших в разных сейсмогеологических условиях, за период работ с 2008 по 2010 гг. (Таблица 2): ООО "ТНГ - Геосейс" СП№9 (ТНГ), ОАО «Хантымансийскгеофизика» СП№17 (ХМГ), ОАО «Волгограднефтегеофизика» (ВНГ) СП№4, ОАО «Удмуртгеофизика» СП№2 (УНГ), ОАО «Пермнефтегеофизика» СП№9 (ПНГ).

Таблица 2

| Год  | Сокращенное название организации | № СП | Направления эффективности |    |    |    |    | Σq | K     | Q  |
|------|----------------------------------|------|---------------------------|----|----|----|----|----|-------|----|
|      |                                  |      | q1                        | q2 | q3 | q4 | q5 |    |       |    |
| 2008 | «ТНГ»                            | 9    | 18                        | 14 | 16 | 17 | 16 | 81 | 0,964 | 78 |
| 2009 | «ХМГ»                            | 17   | 14                        | 14 | 15 | 15 | 9  | 67 | 0,960 | 64 |
| 2009 | «ВНГ»                            | 4    | 18                        | 18 | 18 | 18 | 17 | 89 | 0,969 | 86 |
| 2009 | «УНГ»                            | 2    | 20                        | 14 | 19 | 19 | 10 | 82 | 0,966 | 79 |
| 2010 | «ПНГ»                            | 11   | 19                        | 16 | 20 | 19 | 17 | 91 | 0,976 | 89 |

Σq – Суммарный показатель расчетов партии в баллах;  
K – Коэффициент качества, рассчитанный по инструкции по сейсморазведке;  
Q – Эффективность работы партии.  
В комплексной оценке (Рис. 1) партии № 9 ООО «ТНГ – Геосейс», были учтены:  
- своевременное выполнение календарного плана;



- регулярность согласования вопросов с надзорными органами;  
- соблюдение правил техники безопасности;  
- низкая скорость получения ответов на запросы супервайзера;  
- частая смена полевого персонала партии;  
- проведение обучения на основе типовых программ для всех рабочих, не имеющих нужной квалифи-

# ИНСТРУМЕНТАРИЙ ГЕОФИЗИКА-СЕЙСМОРАЗВЕДЧИКА

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ





ции;

- общая изношенность сейсмического оборудования (использовалась телеметрическая система INPUT-OUTPUT SYSTEM TWO.

Фиксировались частые сбои в работе станции);

- наличие центра внутреннего контроля качества. На основании разработанной методики оценки партий по комплексным критериям данная партия набрала 81 балл. При коэффициенте качества сейсмических записей  $K=0,964$  эффективность работы партии Q составила порядка 78 %.

В комплексной оценке (Рис.2) партии № 17 ОАО «Хантымансийскгеофизика» были учтены:

- угроза невыполнения календарного плана, вызванная неблагоприятными погодными условиями;
- не соблюдение методики работ, периодический недобор глубины заложения заряда ниже ЗМС, и т.д.;
- непостоянная укупорка буровзрывных скважин, что вело, в свою очередь, к ухудшению качества сейсмического материала;
- отклонения от норм ведения рапортов оператора;
- неполное отражение в абрисах геоморфологических и орографических особенностей местности;
- простои в работе;
- профессионализм и опыт инженерного состава партии;
- использование станция SERSEL SN 388, работавшей со сбоями;
- нехватка сейсмического оборудования;

На основании разработанной методики оценки партии по комплексным критериям данная партия набрала 67 баллов. С коэффициентом качества сейсмических записей  $K = 0,960$  эффективность работы полевой сейсмической партии составила порядка 64 %.

При выставлении комплексной оценки (Рис. 3) партии № 4 ОАО «Волгограднефтегеофизика» было учтено следующее:

- практически вся работа велась с учетом внутренней системы менеджмента качества;
- оперативное реагирование на запросы супервайзера и быстрое предоставление запрашиваемой информации;
- высокий профессионализм работников партии;
- использование современного сейсморазведочного оборудования (телеметрическая система SERSEL SN 428XL и источники возбуждения NOMAD – 65 с системой управления VE – 432);
- в техногенных зонах наблюдался существенный объем физических наблюдений с помехами, т.е. исполнитель не всегда снижал производительность отработки профилей, чтобы добиться высокого качества материала.

По разработанной методике оценки партий по комплексным критериям, данная партия набрала 89 баллов. С коэффициентом качества сейсмических записей  $K = 0,969$  эффективность работы полевой сейсмической партии составила порядка 86 %.

При анализе комплексной оценки (Рис.4) партии № 2 ОАО «Удмуртгеофизика» учитывалось следующее:

- достаточно высокая скорость и точность выдачи запрашиваемой информации;



- отсутствие вычислительного центра на базе партии;
- проведение предварительной обработки в центральном офисе исполнителя;
- оперативное реагирование на внесения изменений в процесс работ;
- высокий профессионализм и образованность персонала;
- бесперебойная работа телеметрической системы Прогресс Т2;
- изношенность оборудования, а именно - нестабильная работа вибрационных источни-





ков СВ10/180 с электронной системой управления по методу «Вибротест»;

По всем комплексным критериям партия набрала 82 баллов. С коэффициентом качества сейсмических записей  $K = 0,966$  эффективность работы полевой сейсмической партии составила порядка 79%.

При рассмотрении комплексной оценки (Рис.5) партии № 11 ОАО «Пермнефтегеофизика» было учтено:

- высокая скорость и точность предоставления информации по запросам супервайзера;
- достаточно оперативное реагирование на внесение изменений в процесс работ;
- минимальное вмешательство супервайзера;
- высокая организованность работников партии;
- недостаточный объем проведения опытных работ по выбору параметров источника возбуждения для убедительного обоснования методики работ;

С учетом выше изложенного, рассматриваемая партия набрала 91 балл. С коэффициентом качества сейсмических записей  $K = 0,976$  эффективность работы полевой сейсмической партии составила порядка 89%.

Эффективность работы партии  $Q$  рассматривалась как произведение коэффициента суммарного показателя расчетов партии  $\Sigma q$  и

коэффициента качества  $K$  сейсмических записей физических наблюдений. После анализа полученных данных по комплексным критериям эффективности с учетом рассчитанных коэффициентов качества сейсмических записей физических наблюдений была рассчитана эффективность работы партии в целом (рис. 6).

По нашему мнению, основные критерии оценки эффективности способны дать представление об оценке работы сейсморазведочной партии в комплексе. При грамотном подходе к этой системе супервайзер по отдельным аспектам может повлиять на качество работы партии. По нашим результатам, для качественной работы сейсмической партии характерна эффективность работы порядка 70% и более.

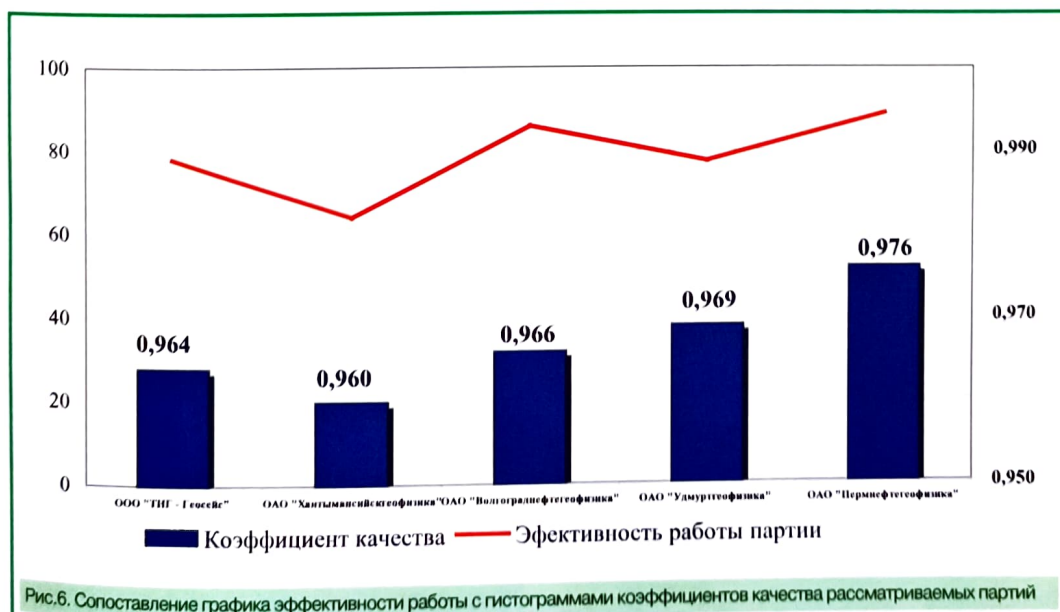
В заключение мы хотели бы сказать, что необходимо разрабатывать единые стандарты оценки качества работы сейсморазведочных партий, унифицировать предложенную нами систему для внедрения ее в производственный процесс других организаций.

Настоящую публикацию предлагается рассматривать, как предложение специалистам поделиться своим опытом как в части анализа причин ухудшения качества сейсмического материала, так и в части вынесения оценки работы сейсмической партии с учетом комплексных критериев эффективности.

Надеемся, что это будет способствовать росту эффективности работы разрозненных супервайзерских служб российских предприятий.

#### Литература:

1. С.В. Соломин, Н.Ю. Зозырев, А.Г. Симоненко «Некоторые аспекты супервайзерского сопровождения сейсморазведочных работ в России», Приборы и Системы Разведочной Геофизики. Отраслевой научно-технический журнал №2(28)\2009
2. «Временная инструкция супервайзеру (представителю супервайзерской службы ФГУП НВНИИГГ) на полевых сейсморазведочных работах». Саратов, ФГУП НВНИИГГ, 2006.
3. «Временные требования к проведению сейсморазведочных работ 2D». Саратов, ФГУП НВНИИГГ, 2001.
4. «Инструкция по сейсморазведке». Москва, 1986.





### Применение геофонов SM-45 в ОАО "Пермнефтегеофизика" при сейсмокаротажных работах

Логинов С.В., Киселев Е.В., Чудинов Ю.В., ОАО "Пермнефтегеофизика", г. Пермь

В настоящее время для детальной разведки нефтеперспективных структур широко используются скважинные методы сейсморазведки. В ОАО "Пермнефтегеофизика" для этих целей регистрацию упругих колебаний проводят вдоль ствола скважины с шагом 10 м на зонд от выносных пунктов возбуждения. В зависимости от вида работ применяется поляризационный метод продольного и поперечного профилирования (ПМ ВСП, ПМ НВСП) с различными системами наблюдения. Регистрация сейсмических записей вдоль ствола скважины осуществляется трехмодульным зондом СК-6-623 с прижимным устройством на компьютеризированную сейсмостанцию "Прогресс-Л". Зонд производства ООО «ТНГ-Групп», Республика Татарстан, город Бугульма представляет собой четырехблочный программно-технический комплекс для одновременной регистрации упругих волн в каждом блоке трех компонент X, Y, Z.

В скважинной сейсморазведке применяются зонды с ортогональным расположением геофонов – один вертикальный и перпендикулярно к нему и друг к другу два горизонтальных. Большое распространение получили геофоны GMT12.5V – вертикальные, GMT12.5H – горизонтальные. Геофоны имеют небольшие размеры, диапазон рабочих температур до 160°C. Из таблицы видно – рабочий угол наклона вертикальных приборов  $\pm 20^\circ$  а горизонтальных  $\pm 15^\circ$ .

В связи с тем, что в последние годы, в основном, бурятся наклонные скважины с углами наклона больше  $20^\circ$ , применение приборов с геофонами GMT приводит к ошибочным результатам в поляризации скважинного зонда.

С целью совершенствования скважинного зонда были приобретены геофоны SM-45R производства фирмы Sensor Nederland b.v. и прижимные устройства для скважинной геофизической аппаратуры производства ООО «ТНГ-Групп». На основе этого был создан программно-технический комплекс, позволяющий вести регистрацию сейсмических записей вдоль ствола скважины с геофонами SM-45R, работающими при любых наклонах скважины. В настоящее время программно-технический комплекс находится в опытной эксплуатации.

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики геофонов GMT12.5 [1] и SM-45R [2].

Таблица 1

|   | Параметр                                       | GMT                              | SM-45R                                     |
|---|------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------|
| 1 | Собственная частота Гц                         | $12.5 \pm 0.6$                   | $15 \pm 5\%$                               |
| 2 | Коэффициент преобразования без шунта В/м/с     | $32 \pm 10\%$                    | $45.5 \pm 10\%$                            |
| 3 | Степень затухания                              | $0.35 \pm 10\%$                  | $0.55 \pm 15\%$                            |
| 4 | Омическое сопротивление Катушки Ом             | $900 \pm 45$                     | $1800 \pm 5\%$                             |
| 5 | Угол наклона<br>Вертикальный<br>Горизонтальный | $\pm 20^\circ$<br>$\pm 15^\circ$ | $360^\circ$                                |
| 6 | Рабочий диапазон температур °C                 | -40 +160                         | -40 +150 ХТ<br>-40 +200 НТ<br>-40 +260 ВНТ |
| 7 | Размеры мм.<br>диаметр/высота                  | 25,4 / 25,4                      | 24,1 / 30,0                                |
| 8 | Масса г.                                       | 62,5                             | 53,3                                       |

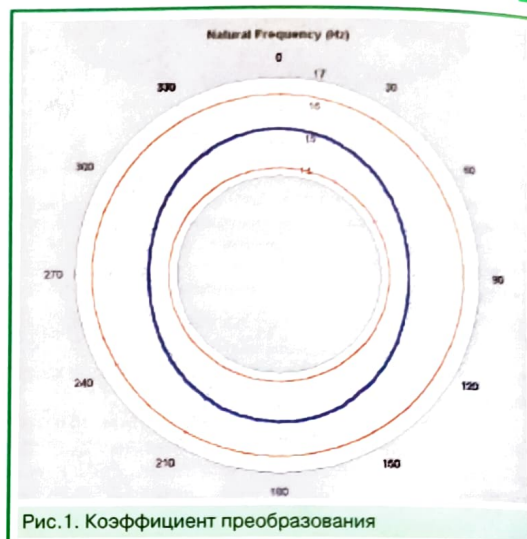


Рис.1. Коэффициент преобразования

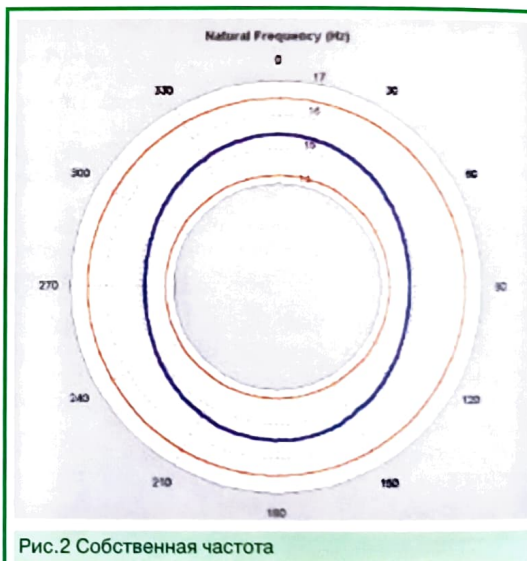


Рис.2 Собственная частота

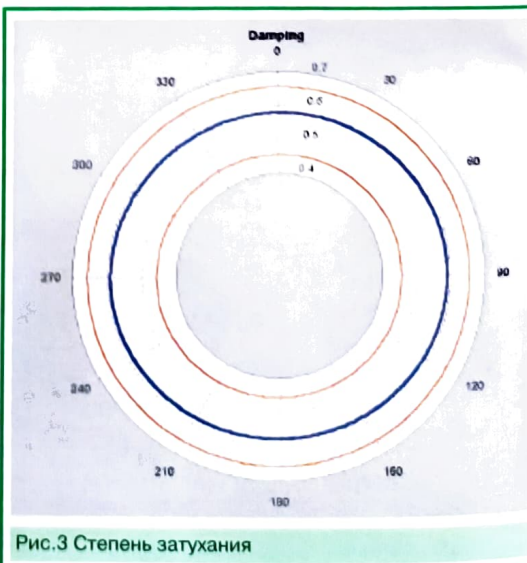


Рис.3 Степень затухания



Геофон SM-45R сохраняет работоспособность при любых углах наклона, не подразделяется на горизонтальный вертикальный. Он может использоваться в зависимости от расположения как вертикальный, так и горизонтальный. На рисунках 1-3 представлены зависимости коэффициента преобразования, собственной частоты и степени затухания в зависимости от угла наклона.

Рис. 1 Коэффициент преобразования

Рис. 2 Собственная частота

Рис. 3 Степень затухания

Были проведены сравнительные испытания двух зондов с геофонами GMT12.5 и SM-45R в глубокой наклонной скважине № 7. Полевой материал зонда представлен на рисунке 4. На иллюстрации видно, что горизонтальные приборы GMT12.5 практически не несут информации, а на геофонах SM-45R наблюдается хороший сейсмический импульс падающей продольной волны на всех трех компонентах.

На рисунке 5 показаны испытания зонда с геофонами SM-45R в структурной вертикальной скважине пробуренной на юге Пермского края. Трехкомпонентное волновое поле ориентированно в направлении пункта возбуждения. Волновая

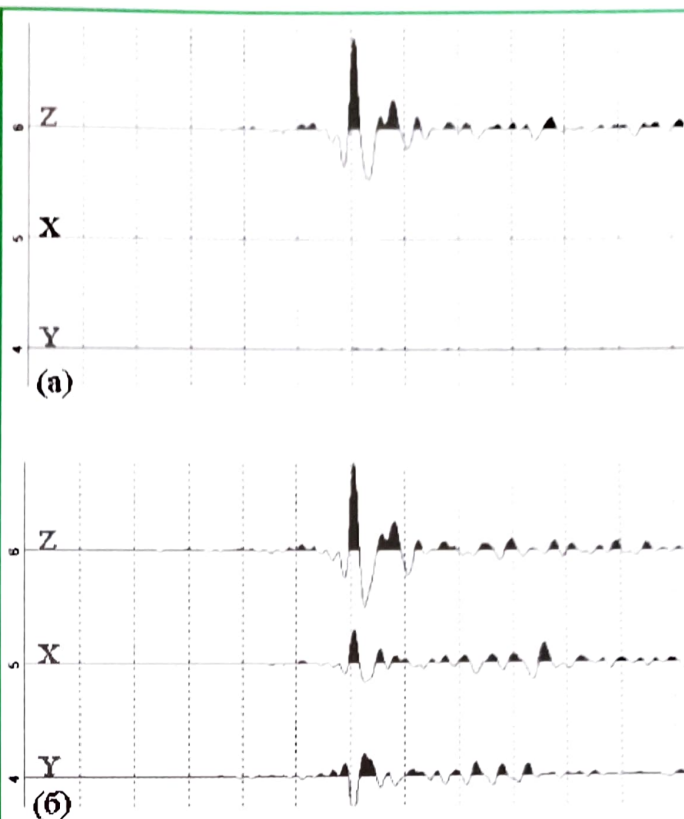


Рис. 4. Скважина 7, а) геофоны GMT12.5; б) геофоны SM-45R  
Глубина 1110 – 1140 метров. Наклон скважины 32°

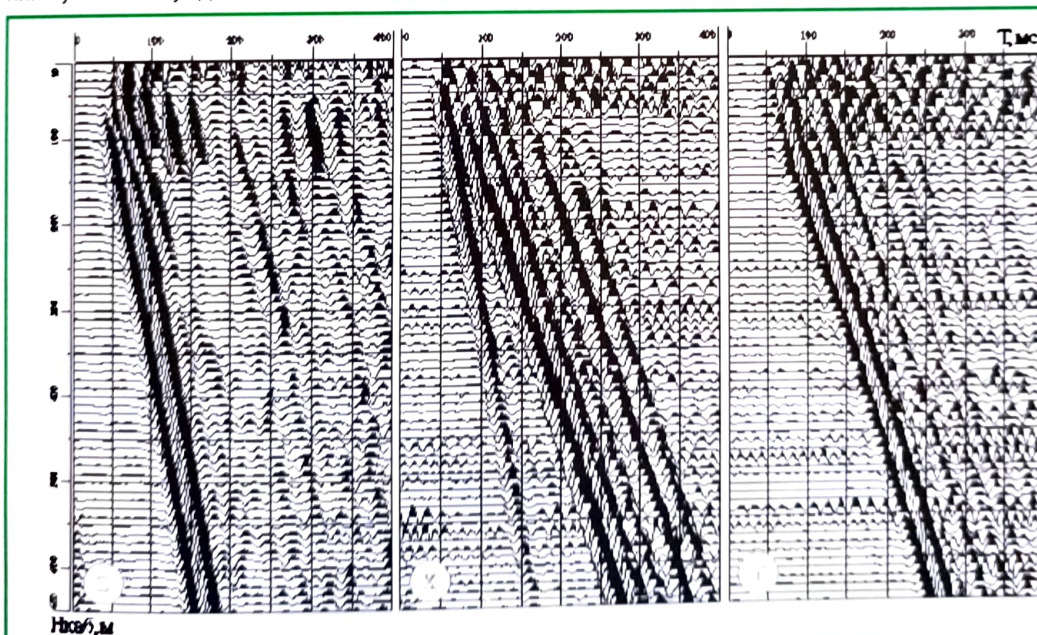


Рис. 5. Исходное волновое поле. Зонд с геофонами SM-45R.

картина, представленная компонентами Z X Y не отличается от волновых полей, зарегистрированных сейсмическим зондом с геофонами GMT12.5 в этом районе.

В ОАО "Пермнефтегеофизика" проведена большая исследовательская работа по совершенствованию технической составляющей регистрирующего скважинного комплекса. Создан сейсмический зонд с новыми характеристиками, позволяющий работать в скважинах с любыми наклонами вплоть до горизонтальных стволов.

Имеется средство доставки зонда в горизонтальный ствол. С помощью нового зонда появилась возможность изучения околоскважинного пространства методом ПМ ВСП, ПМ НВСП в боковых стволах на этапе эксплуатац

#### Литература:

1. Малогабаритный термостойкий сейсмоприемник GMT-12.5, [www.ojogeimpulse.ru](http://www.ojogeimpulse.ru)
2. SM-45 Miniature High Temperature Geophone, [www.iongeo.com/content/includes/docManager/121051.pdf](http://www.iongeo.com/content/includes/docManager/121051.pdf)

## ИНСТРУМЕНТАРИЙ ГЕОФИЗИКА- СЕЙСМОРАЗВЕДЧИКА ОБМЕН ОПЫТОМ





# **ЗАО СОЕДИНИТЕЛЬ**

**РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ  
СПЕЦИАЛЬНЫХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ И КАБЕЛЕЙ**

Россия, 456300, Челябинская обл., г. Миасс, Туроякское ш., 11/5  
Тел.: (3513) 29-85-97, 29-85-94; факс: (3513) 29-89-39  
E-mail: [soedinitel@miass.ru](mailto:soedinitel@miass.ru); [www.soedinitel.ru](http://www.soedinitel.ru)



# Становление высокоразрешающей сейсморазведки (ВРС) в ЗАОр «НП «Запприкаспийгеофизика»

Колосов Б.М., Андреев Г.Н., Колосов А.Б., ЗАО «НП «Запприкаспийгеофизика», г. Волгоград

В статье «Высокоразрешающая технология поисков месторождений нефти и газа», опубликованной в журнале «Приборы и системы разведочной геофизики» (2/2004), авторы Баранский Н.П., Иноземцев А.Н., Колосов С.В., Потапов О.А. отмечают - «В настоящее время в России методики ВРС с взрывным возбуждением в полном объеме реализованы, возможно, только в ЗАОр «НП «Запприкаспийгеофизика». Подобные оценки со стороны специалистов-геофизиков, заставили нас задуматься о роли ЗАОр «НП ЗПГ» в становлении высокоразрешающей сейсморазведки в стране и конкретном вкладе наших специалистов в решение данной проблемы. Это и подвигло нас на написание данной статьи.

Проблем, которые пришлось решать специалистам нашего предприятия при разработке оригинальной технологии высокоразрешающей сейсморазведки (ВРС), было много. Но самой сложной оказалась проблема создания малых зарядов, на решение которой ушло более 10 лет. Во-первых, промышленным предприятиям, отчитывающимся по валовым показателям, было выгодно производить взрывчатку массой 2,5-5,0 кг, а не 50-100 г. Во-вторых, не было активной поддержки со стороны геофизиков, которые придерживались принципа: больше масса взрывчатки, больше амплитуда полезного сигнала, лучше соотношение сигнал/помеха.

Сейчас нет такого тотального желания производить и использовать при сейсморазведке большие по массе заряды. И в этом заключается пионерский вклад ЗАОр «НП «Запприкаспийгеофизика» в решении вопроса ВРС, включая широкое применение технологии для различных регионов и попытки осмысления процессов, происходящих в источнике.

Далее приведем хронику становления ВРС.

1954 г.

Общий курс геофизических методов разведки нефтяных и газовых месторождений. Москва, 1954 г. Авторы: Е.Н. Каленов и др.

«При регистрации отраженных волн с использованием для взрывов скважин количество взрывчатого вещества в заряде колеблется от 10-50 г до 200 г и более и зависит главным образом от пород, в которых производят взрывы».

1957 г.

Высокочастотная сейсмика. Москва, 1957 г. Автор: И.С. Берзон

В монографии вводится термин «высокочастотная сейсмика». Постулируются три принципа практической реализации высокочастотной сейсмики:

- условия взрыва должны быть таковыми, чтобы высокочастотные компоненты усиливались и преобладали над низкочастотными;
- интенсивность высокочастотных волн должна быть достаточной для их регистрации;
- сейсмическая аппаратура должна быть настроена на регистрацию высокочастотных колебаний.

До опубликования данной монографии вопросы, касающиеся условий взрыва, благоприятных для возбуждения определенного диапазона частот, практически не были изучены. Специальных теоретических и экспериментальных исследований в этой области не проводилось. Термин - «высокоразрешающая сейсморазведка» - еще не родился.

Экспериментальные исследования с записью высокочастотных волн включали в себя составляющие:

- мощность исследуемой толщи до 300 м;
- длина годографа 200-300 м и 600-700 м;
- масса патронированного аммонита 50-100 г и 150-200 г;
- регистратор - сейсмостанция ВЧ-9 с частотной характеристикой до 415 гц, совмещенная по частотам с электродинамическим сейсмографом.

В интервале до 250 мс зарегистрированы волны с частотами 150-300 гц.

В работе не приведены оценки второго принципа - «интенсивность высокочастотных волн должна быть достаточной для их реализации», который в наше время надо сформулировать несколько иначе: «чувствительность сейсморегистратора должна быть достаточна для регистрации слабых высокочастотных волн».

1965 г.

В 1965 году в издании АН СССР «Физика Земли» № 10 опубликована статья «К теории сферического излучателя сферических волн», автор И.И. Гурвич, теоретические положения которой вошли в учебник «Сейсмическая разведка», Недра 1970 г. под редакцией И.И. Гурвича.

Раздел «Образование сейсмических волн при взрыве» начинается констатацией факта: «В настоящее время отсутствует общепринятая теория, определяющая механизм образования упругих волн при взрыве в горной породе». И.И.

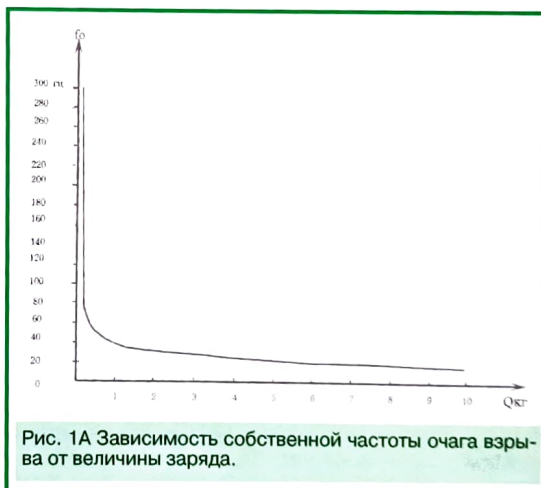


Рис. 1А Зависимость собственной частоты очага взрыва от величины заряда.

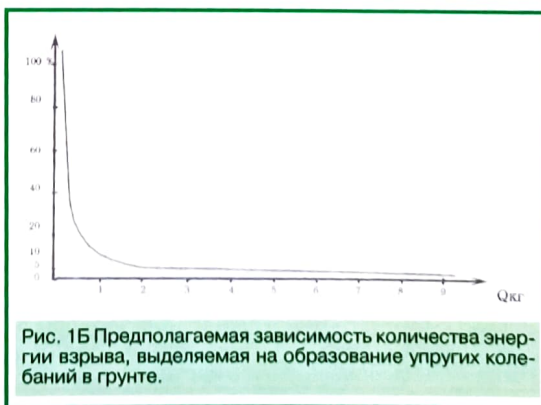


Рис. 1Б Предполагаемая зависимость количества энергии взрыва, выделяемой на образование упругих колебаний в грунте.

## СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ГЕОФИЗИКА- СЕЙСМОРАЗВЕДЧИКА





Гурвич своими научными трудами начинает заполнять этот пробел. Он вводит понятие эквивалентной полости сферического излучателя и постулирует формулу собственной частоты очага  $f = \frac{gQ}{2\pi}$  от веса заряда, где  $g$  – постоянная, называемая частотным коэффициентом очага.

График зависимости собственной частоты очага от величины заряда представлен на рис. 1А. Он резко дифференцирован на два участка: низко-среднечастотный участок, связанный с применением зарядов от 0,1 кг и выше и высокочастотный – с большим градиентом изменения частоты очага, связанный с применением малых зарядов.

Гурвич И.И. делает два очень важных вывода: при малых величинах заряда форма колебаний почти не изменяется в зависимости от веса  $Q$ , а при больших зарядах начинает заметно обнаруживаться зависимость спектра и формы колебаний от веса заряда. В работе прямо говорится, что следует весьма осторожно относиться к увеличению веса заряда при возбуждении профильных волн.

1990-2010 г.г.

В девяностые годы группа специалистов треста «Запприкаспийгеофизика» пришла к выводу о возможности широкого применения малых зарядов в практической сейсмике при поисках и разведке нефтегазовых ловушек. К этому времени появилась техническая возможность реализации второго принципа высокочастотной сейсмике, изложенного в монографии Берзон И.С. и скорректированного в «Запприкаспийгеофизика» – «чувствительность регистрирующей аппаратуры должна быть такой, чтобы можно было регистрировать слабые высокочастотные сигналы».

К девяностым годам в сейсморазведке произошёл значительный прогресс в области регистрации сейсмических колебаний, позволивший специалистам «Запприкаспийгеофизика» приступить к практической реализации применения малых зарядов в сейсмике при поиске и разведке нефтегазовых ловушек:

- появились современные цифровые 24-х разрядные станции, которые могли записать сигналы на уровне нановольт, т.е. вошла в практику регистрирующая аппаратура, чувствительность которой позволяла зарегистрировать слабые высокочастотные сигналы от малых зарядов;
- переход к рыночной экономике позволил «Запприкаспийгеофизика» добиться разработки серии малых зарядов массой 20-125 г и их промышленного изготовления вместо зарядов 1,0-5,0 кг, которые до этого массово выпускались промышленностью. На эту проблему ушло не менее 5-8 лет и первоначально в качестве малых зарядов использовались пучки электродетонаторов;
- совершенствование средств обработки позволило суммировать отраженные сигналы при шаге дискретизации 0,5-1 мс.

Проблема необходимости совершенствования буровзрывной технологии при проведении сейсморазведочных работ возникла еще в конце 80, начале 90-х годов. Уже тогда наметился разрыв между уровнем развития технологии возбуждения колебаний взрывами и технологии регистрации и обработки сейсмической информации.

В эти годы широко использовались групповые взрывы из шнековых скважин диаметром 136 мм, глубиной 6-10 м и единичным зарядом 5-10 кг. Заряды массой 5-10 кг широко используются в сейсморазведке и в настоящее время.

При контрольной проверке органами Госгортехнадзора исполнения взрывов в шнековых скважинах было обнаружено большое количество отказов и неизвлеченных зарядов. По этой причине применение указанной технологии распоряжением Совета министров СССР было приостановлено до разработки и внедрения электронных способов контроля производства взрывов. Это решение повлекло за собой разработку новых ресурсосберегающих технологий, включая способ ЛДШ и шпуровых зарядов, преобразование технологии буровзрывных работ.

ЗАОР НП «Запприкаспийгеофизика», (в 80-90 годы - трест «Запприкаспийгеофизика») самостоятельно занимается вопросами минимизации буровзрывной технологии, включая многократные попытки создания сейсмического заряда ВМ с массой от 10 до 200 г и модернизацию буровой техники.

Мы обращались с конкретными предложениями в адрес Министерства Геологии СССР и «ВНИИВзрывгеофизика» и предлагали решить вопрос о создании ряда малых зарядов массой от 10-100 г (ИС – источник сейсмический). Для ускорения решения вопроса и выяснения возможности использования при проведении сейсморазведочных работ мы предлагали провести испытание имеющихся зарядов ЗТШТ массой 20, 25, 35-50 г, применяемых в промысловой геофизике для снаряжения торпед. Обращались в адрес Госгортехнадзора РФ с просьбой рассмотреть перечень ВМ, допущенных к постоянному применению, и включить в него для самостоятельного применения боевики массой 75 г, по ТУ ОСТ 84-1367-76. Однако, этот ГОСТ в перечень не вошел. В 2002 г. ЗАОР НП «Запприкаспийгеофизика» совместно с «ВНИИВзрывгеофизика» завершает испытания зарядов ЗСТ массой 75 г, прообраз указанных зарядов, которые, надеюсь, войдут в перечень как самостоятельный вид ВВ.

Занимаясь проблемой малых зарядов, НП «Запприкаспийгеофизика» разработало новый ряд буровых технологий, включая способ ЛДШ, способ шпуровых зарядов (патент), способ высокоразрешающей сейсморазведки (патент № 2107310).

В основе всех перечисленных технологий лежит принцип минимизации буровзрывных работ: масса заряда уменьшена до 75-200 г, диаметр скважин и бурового инструмента уменьшены до 45-50 мм. Уменьшение массы заряда повлекло за собой модернизацию бурового оборудования: создание совместно с ФГУП СКБ «Геотехника» вместо шнеков забурника (ТУ.41-01) и уменьшение диаметра штанг до 50-70 мм при бурении с промывкой, что потребовало, в свою очередь, реконструкции буровых насосов.

Способы ЛДШ и шпуровых зарядов в свое время получили широкое распространение в ряде организаций СССР, включая Казгеофизика, Укргеофизика, Волгограднефтегеофизика и др.

С 1985 г. в ЗАОР НП «Запприкаспийгеофизика» все сейсмические работы проводятся только шпуровыми зарядами, а с 1990 г. также и по технологии ВРС. В настоящее время с применением минимизированных взрывов отработано 30000 п.км.

Переход на малые заряды позволил резко уменьшить и исключить случаи травматизма в указанный период и повысить качество работ. Значительное уменьшение диаметра скважин и минимизация величины заряда вплоть до взрыва 5-10 ЭД, связанных в пучок, привели к тому, что помехоустойчивость МОГТ не зависит от степени укупорки заряда, а отказ от укупорки обес-



печивает визуальный контроль полноты взрыва. Вместе с тем, применение малых зарядов, практически не наносит ущерба окружающей среде, повышает экологическую чистоту технологии буровзрывных работ, уменьшает уровень кратных волн, снижает уровень помех.

Все эти годы мы работали в режиме предварительных испытаний малых зарядов. Первыми на наше предложение откликнулись специалисты ГП «Краснознаменец». Совместными усилиями был разработан ряд зарядов ЗДЭ (заряды детонирующие, эластичные) массой 20, 30, 50, 70, 100 г, диаметром от 15 до 40 мм и скоростью детонации 7500 м/сек. Пять лет, с 1992 г. по 1997 г., мы проводили работы в режиме предварительных испытаний ЗДЭ, а в 1997 г. получили разрешение на приемочные испытания, но по ряду причин это направление не было доведено до журнального постановления. Возможно, это связано с преждевременной кончиной доктора т.н. Лютикова Г.Г.

С 1997 г. по договору с НИИ «Росконверсвзрывцентр» при поддержке его директора - доктора технических наук Шукина Ю.Г., мы начали опробовать для указанных целей конверсионные заряды ДЗС диаметром от 20 до 120 мм, шашки баллистические, заряды для торпедирования массой 70 г. Вопросами внедрения малых конверсионных зарядов занимались ст. научные сотрудники Большаков В.К. и Нагибин Ю.П. Нагибин Ю.П., перейдя в «ВНИИ взрывгеофизику», активизировал работы по созданию зарядов ЗСТ-75 массой 75 г, с которыми предприятие благополучно отработало последние 3 года, и по которым в 2001 году завершены приемные испытания.

Вопрос о совершенствовании зарядов, используемых в СШЗ, остается открытым. Сейчас мы применяем аммонит патронированный массой до 200 г. Это удобное для работы ВВ, приемлемое с экономической точки зрения, имеет небольшой диаметр. Однако оно имеет существенный с сейсмической точки зрения недостаток - малая скорость горения. Можно было использовать заряды ЗСТ-75 на тротиловой основе, но они дорогие. Совместить проблему низкой стоимости и высокой скорости детонации пытается ФГУ «Арсенал», который в настоящее время работает над конверсионным зарядом ЗСУ (заряд сейсмический универсальный), диаметром 20 мм, массой 180 г, со скоростью детонации  $V_{дет} \approx 7500$  м/сек и приемлемой стоимостью. Эту разработку надо поддержать.

Все, что было сказано выше, относится к организационным вопросам, путям решения проблемы создания разнообразных видов и форм малых зарядов, предназначенных для использования при сейсмических работах. Естественно, возникает вопрос: «А почему необходимы именно малые заряды и надо ли этим занимать-

ся»?

На рис. 2 сравниваются взрывы зарядов массой 75 и 2000 г.

И в том и в другом случае при малых зарядах фиксируется информация в пределах необходимого временного интервала наблюдений. Однако сами формы записи значительно отличаются. При малых зарядах прямо пропорционально увеличивается видимая частота за счет высокочастотной части спектра, растет разрешенность записи, уменьшается количество помех, включая кратные волны.

На рис. 3 представлен временной разрез ВРС, пересекающий Хар-Адрьское газовое месторождение. Амплитудно-частотные спектры, сканированные в интервалах до 1,0 сек.

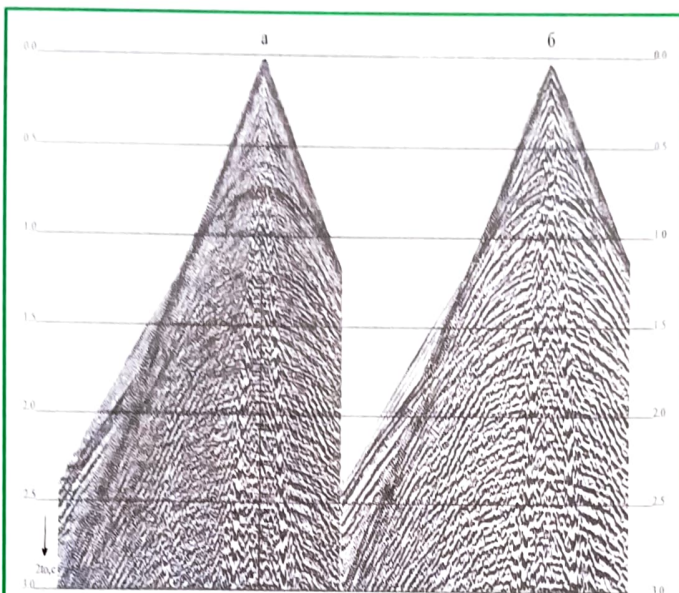


Рис. 2 Сопоставление первичных сейсмограмм, регистрируемых:  
а) при высокоразрешающей сейсморазведке: одиночные взрывы под ЗМС,  $H=16$ м,  $q=0.075$ кг,  $T=4.0$ с,  $t=1$ мс;  
б) при стандартных работах МОГТ: одиночные взрывы под ЗМС,  $H=16$ м,  $q=2.0$ кг,  $T=18.0$ с,  $t=4$ мс

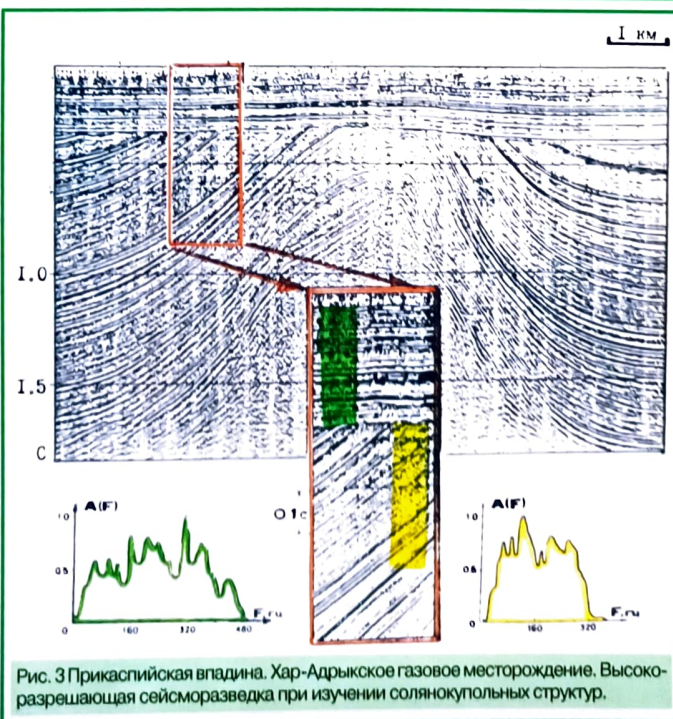


Рис. 3 Прикаспийская впадина. Хар-Адрьское газовое месторождение. Высокоразрешающая сейсморазведка при изучении солянокупольных структур.

# ИНСТРУМЕНТАРИЙ ГЕОФИЗИКА-СЕЙСМОРАЗВЕДЧИКА

## СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ



расширены до 320-480 гц.

Для большей ясности обратимся к специальной литературе.

Для описания действия взрывного источника продольных волн может быть применена теория сферического излучателя продольных волн, изложенная в ряде статей Гурвичем И.И., который ввел понятие об эквивалентной полости излучателя  $R_0$ .

$R_0 = K_0 \sqrt[3]{Q}$ , где  $Q$  – масса ВВ, а  $K_0$  – коэффициент радиуса очага, который зависит от прочностных пород, в которых происходит взрыв.

По Покровскому Г.И.,

$K_0 = 0.1 - 0.4 \sqrt[3]{K_2}$ , для песчано-глинистых пород.

Переход от эквивалентной полости излучателя к частотным характеристикам очага определяется выражением:

$$f_0 = \frac{g}{\sqrt[3]{Q}}$$

где  $f_0$  – частота собственных колебаний очага;  $g$  – постоянная, называемая частотным коэффициентом очага в гц  $\sqrt[3]{K_2}$ .

Исследования величины частотного коэффициента  $g$  [2], показывают, что при взрывах в водонасыщенных песчано-глинистых породах на глубинах 15-30 м он составляет 30-40 гц. При взрывах на больших глубинах или в более плотных породах он может возрасти до 50-100 гц.

Из формулы  $f_0 = \frac{g}{\sqrt[3]{Q}}$  следует, что с увеличе-

нием веса заряда уменьшается частота собственных колебаний, возбуждаемых взрывом, а с уменьшением веса собственная частота увеличивается, что отражено на рис. 1А.

Вернемся к физическим процессам, происходящим в зоне взрыва. Общепринято, что при камуфлетном взрыве выделяются условно три зоны. Первая зона – зона сжатия и тонкого измельчения пород (камуфлетная зона). В зоне сжатия давление на фронте ударной волны превышает модуль объемного сжатия пород. Скорость распространения ударных волн в зоне превышает скорость упругих колебаний в данной среде. Размер зоны сжатия по Покровскому Г.И.

равен  $R_k = K_k \sqrt[3]{Q}$ , т.е. радиус камуфлетной полости и радиус эквивалентной полости сферического очага, введенного Гурвичем И.И., и математически и физически определяют один и тот же процесс. На образование камуфлетной полости расходуется большая часть энергии взрыва.

Вторая зона, это зона сжатия и разрушения, а третья зона – зона радиальных трещин. Размер зон сжатия  $R_c$  и растрескивания  $R_{тр}$  пропорциональны радиусу камуфлета. Приближенно можно считать, что  $R_c \approx 2R_k$  и  $R_{тр} \approx 4R_k$ . Скорости распространения ударных волн в этих зонах равны скорости упругих колебаний в данной среде.

Однако, нас интересует количество энергии при взрыве, которое расходуется на образова-

ние сейсмических волн. Очевидно, что большая часть энергии взрыва расходуется на разрушение пород, и чем больше заряд, тем больше объем разрушенных пород. К примеру, при взрыве 20 кг ВВ объем разрушений зоны составляет более 11 м³. По мнению ряда авторов, в сейсмическую волну переходит около 1% потенциальной энергии ВВ. Подобные выводы касаются больших зарядов. При сверхмалых зарядах радиус камуфлетной полости не перекрывает радиус скважины, в которой производится взрыв, т.е. можно предположить, что энергия, которая при большом заряде расходуется на образование камуфлетной полости, при сверхмалых зарядах направлена на образование упругих колебаний. Без сомнения часть энергии малых зарядов расходуется на нагревание среды, на само течение химической реакции взрыва. Можно лишь предположить, что при больших взрывах 1% энергии идет на образование сейсмических колебаний, а при малых эта доля значительно увеличивается. На рис. 1Б показан условный график зависимости доли энергии взрыва, направленной на образование сейсмических колебаний, от массы заряда. График составлен исходя из следующих предположений:

- при зарядах массой более 2 кг в сейсмическую волну переходит около 1-5% энергии ВВ;

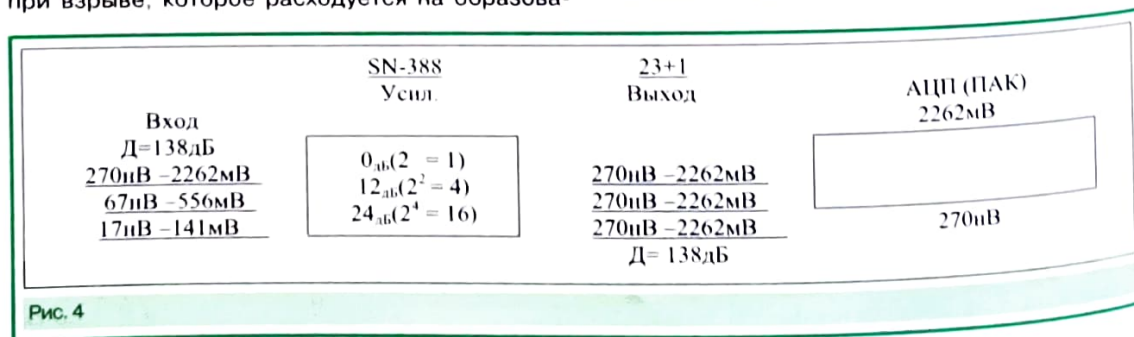
- при зарядах массой 2-3 г в сейсмическую волну переходит около 90% энергии ВВ;

Учитывая, что энергия взрыва пропорциональна массе заряда, а объем разрушенной породы соответствует кубической зависимости, можно предположить, что процент энергии взрыва, направленной на образование сейсмических колебаний, меняется от 1% при больших зарядах, до 90% при малых, причем не линейно, а по зависимости, аналогичной рис. 1А.

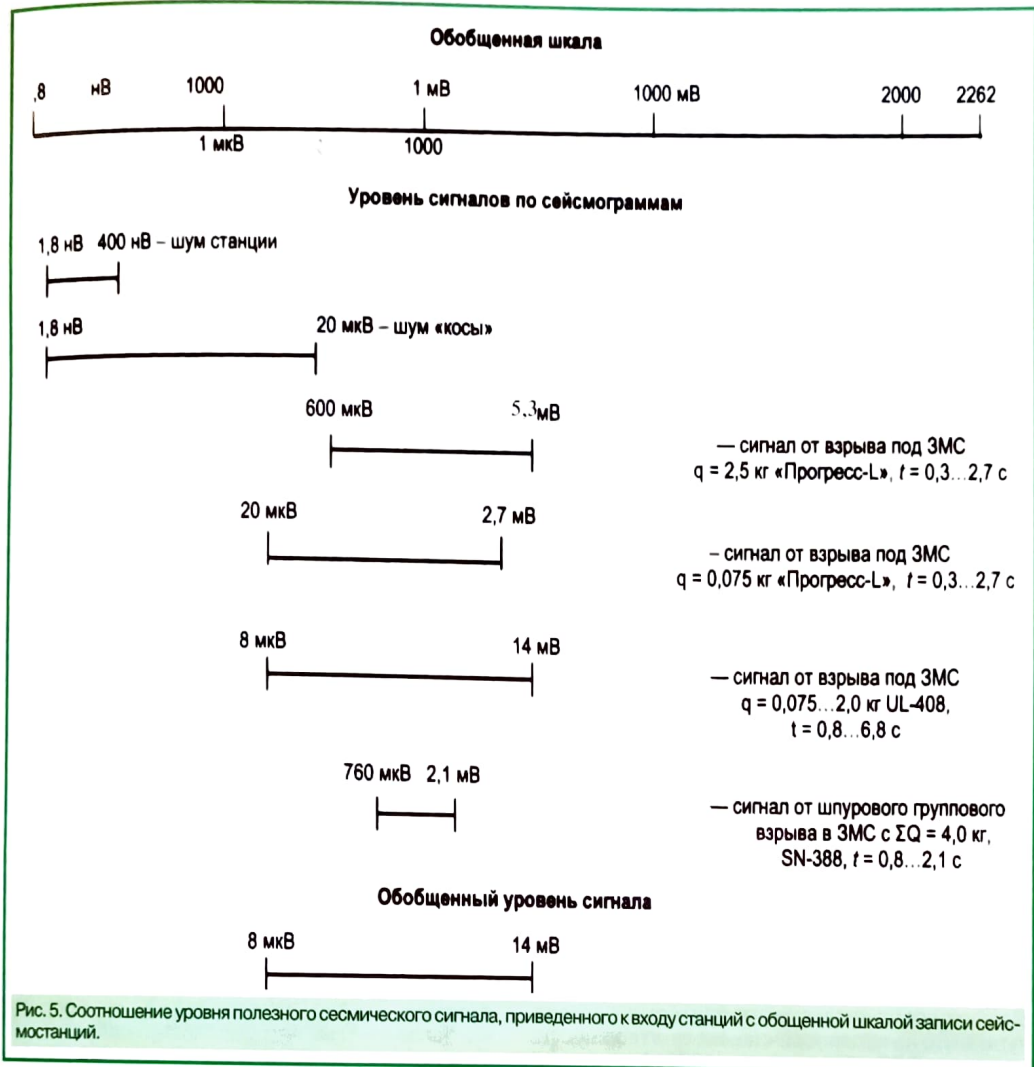
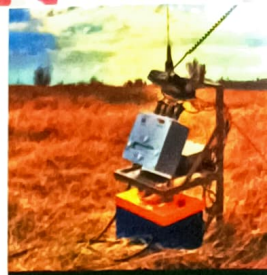
Если данное предположение верно, то при сопоставлении графиков, представленных на рис. 1, оптимальными зарядами при сейсморазведочных работах являются заряды, не превышающие по массе 100-200 г и даже меньше.

Возникает вопрос, будет ли регистрироваться сейсмический сигнал при предельно малом заряде, учитывая большое разнообразие сейсмогеологических моделей, условий регистрации и приема?

Современная сейсморегирующая система с 24-разрядным преобразованием способна зарегистрировать сигнал амплитудой от нановольт (нв) до 2000 милливольт. На рис. 4 показана упрощенная схема записи сигналов с/станции «SN-388», где минимальное значение соответствует цене младшего заряда регистрирующей системы до его усиления. Для количественной оценки амплитуды сигналов, регистрируемых сейсмостанцией, в лаборатории ЗАО НП «ЗПГ» сейсмостанция «SN-388» была протестирована серией моносигналов с частотой 45 гц и амплитудой от 0,24 мв до 707 мв, на разных усилениях, которые подавались на вход сейсмостанции.

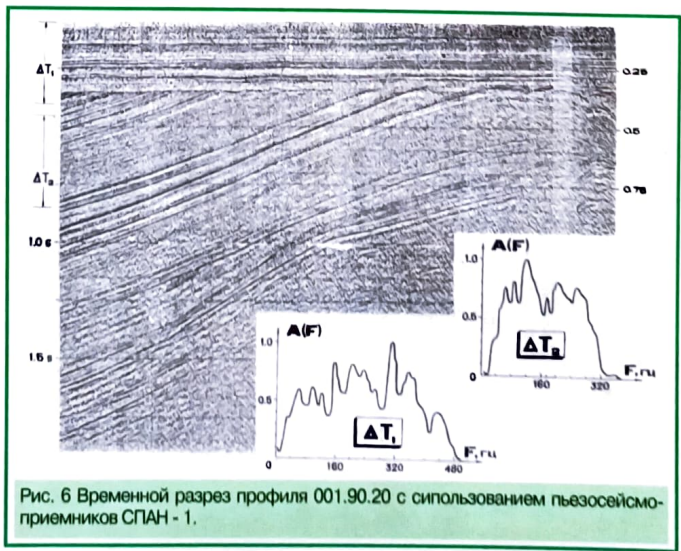






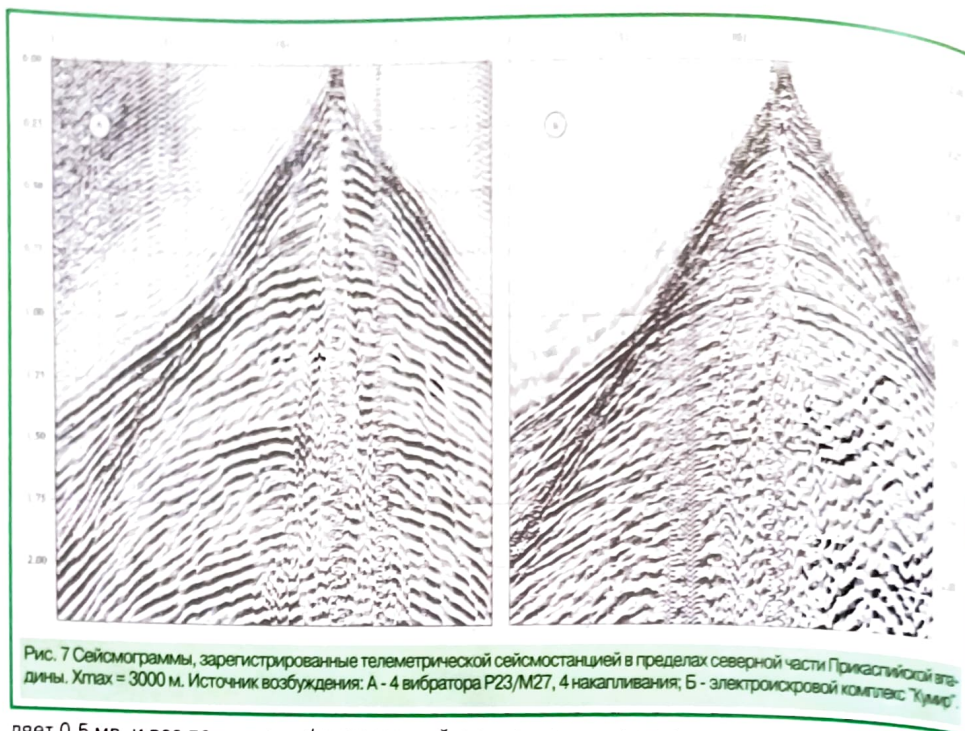
Расчет спектров позволил определить цену деления амплитуды спектра в милливольты, т.е. откалибровать величину сигнала и оценить по полевым записям, полученным с использованием малых и больших зарядов, уровень регистрируемых сигналов в милливольты для различных временных интервалов, приведенных к входу сейсмостанции. Тестирование полевых лент позволило определить величину реального напряжения сейсмического сигнала, поступающего на вход станции «Прогресс-2» от сейсмоприемника. Данное напряжение меняется от 0,02 мкВ до 2,7 мВ при зарядах 0,075 кг и от 0,6 мВ до 5,3 мВ при взрывах зарядов массой 2,5 кг, размещенных под зоной малых скоростей, и от 760 мкВ до 2,1 мВ при шпуровых зарядах (рис. 5). Общий диапазон регистрируемых сигналов, поступающих на вход станций, для региона кряжа Карпинского, колеблется от 20 мкВ до 14 мВ. На выходе АЦП, т.е. на магнитном носителе при усилении 36 дБ (в 64 раза) фиксируются сигналы амплитудой от 1,2 мВ до 896 мВ, которые подлежат дальнейшей обработке. Сравнение численных значений зарегистрированных сигналов со шкалой записи сейсмостанций показывает, что при малых

зарядах на вход сейсмостанции поступает полезный сигнал, который регистрируется на всех диапазонах усиления без искажений, по минимально численному значению приближающийся к уровню микросейсм и превышающий собственные шумы аппаратуры в сотни раз. Естественно, такие слабые сигналы не могли регистрироваться аналоговыми станциями, минимальная чувствительность которых состав-



# СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ГЕОФИЗИКА- СЕЙСМОРАЗВЕДЧИКА





ляет 0,5 мВ, и все попытки геофизиков перейти к технологии высокоразрешающей сейсморазведки ограничивались малыми глубинами.

В настоящее время неизвестны способы определения оптимальной величины заряда теоретически путем. Выбор оптимального заряда производится по серии взрывов зарядов различной массы. В качестве оптимального принимается заряд минимальной массы, обеспечивающий 3-10-кратное превышение амплитуды микросейсм. Ориентируясь на перечень ВМ, допущенных к применению в сейсморазведке, минимальная масса заряда составляет 400 г, что явно превышает возможности регистрирующей аппаратуры и что не противоречит основам теории сфе-

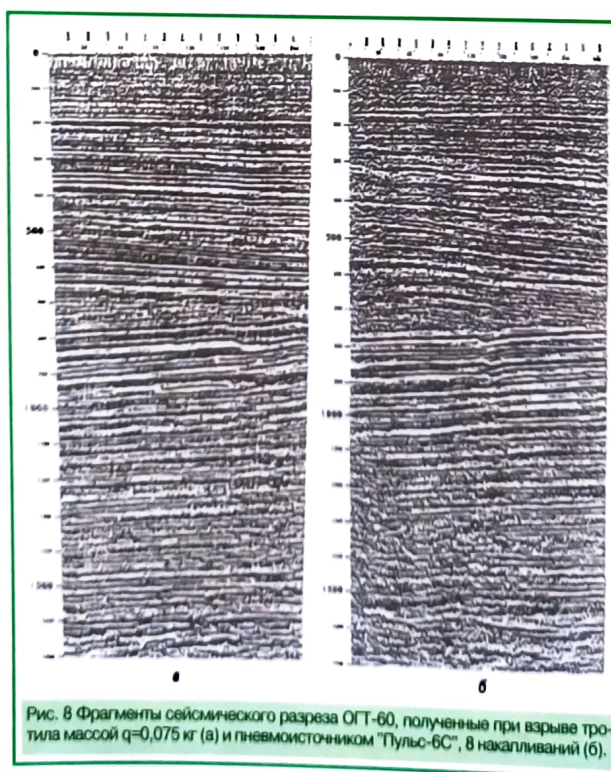
рического очага.

В 1990 году по технологии ВРС (патент № 217.1.47.7) трестом «Запприкаспийгеофизика» проведена съемка на Чарлактинской площади в центральной части Республики Калмыкия в объеме 347 п.км.

В процессе съемки применялась 12-кратная система ОГТ с асимметричной 96-канальной установкой приборов и ПВ на 72 канале, группирование 11 сейсмодатчиков СВ-20 на базе 1 м. В качестве источника колебаний использовались взрывы трех электродетонаторов ЭД-8Ж, погруженных на 6 м ниже подошвы ЗМС. Расстояние между центрами групп приборов составляло 20 м.

Для иллюстрации эффективности данной технологии применения малых и сверхмалых зарядов дается временной разрез по профилю 001.90.20 (рис. 6).

Опробовались пьезосейсмодатчики СПАН-1, разработанные Саратовским СКБ (Турлов П.А.). Спектр регистрируемых колебаний, соответствующий графикам в неогене и рассчитанный по данным позиционных наблюдений, составил 101-480 Гц. Последующее суммирование выявило на записях фазовые сдвиги из-за высоких частот, которые не позволили осуществлять обработку в производственном режиме. Временной разрез, приведенный по профилю 001.90.20, был получен после тщательной многоэтапной ручной и автоматической коррекции этих сдвигов. Полученные результаты свидетельствуют о высокой перспективности использования сейсмодатчиков СПАН-1, чем быстро воспользовались китайские специалисты. Они организовали для нас двухмесячную командировку в Китай, в район Талиму. Тестирование технологии ВРС в долине реки Талима на профиле протяженностью 10 км при-





мечательно тем, что в условиях сравнительного полевого эксперимента была показана возможность регистрации высокочастотной части спектра сигналов на временах до 6 с, амплитуда которых в пределах частот 60-130 гц при заряде 90 г даже несколько выше амплитуд, полученных при зарядах 6 кг. К недостаткам СПАН-1 можно отнести необходимость дополнительного провода для питания электроники датчика. Несомненным достоинством СПАН-1 является широкий спектр регистрируемых колебаний и стабильная работа в условиях повышенной влажности.

Уникальные результаты получены при использовании электроискрового источника. Первоначально его применение ограничилось изучением строения ЗМС обращенным каротажом. Однако, при соответствующей конструктивной доработке этот источник может стать приемлемой альтернативой взрывному при использовании метода ОГТ. Основанием для таких оптимистических выводов служит сопоставление сейсмограмм, полученных при использовании вибраторов и комплекса «КУМИР». Несмотря на то, что энергетика «КУМИР» значительно уступает силовым характеристикам вибраторов, была получена высокочастотная запись в интервале до 2 с. Это позволяет надеяться, что с внедрением электроимпульсных источников и полевое оснащение технологии ВРС может получить дальнейшее развитие (рис. 7).

Высокоразрешающая сейсморазведка в ЗАОр НП «Запприкаспийгеофизика» совершенствовалась по следующим техническим направлениям:

- разработка и внедрение при производстве полевых работ малых зарядов, включая ЛДШ, связки ЭД в количестве 3-10 штук на взрыв, малых зарядов тротильных шашек массой 20-125 м, электроискровых источников «Кумир», пневмопушки малого диаметра;
- разработка и внедрение сейсмодатчиков СВ-10, СВ-20, СПАН-1, СВ-10-11;
- переход к телеметрическим 24 разрядным регистрирующим системам, что позволило регистрировать слабые сигналы и увеличить плотность наблюдений по профилю;
- совершенствование процедур обработки высокочастотных сигналов.

На рис. 8 представлены фрагменты сейсмического разреза ОГТ-60, полученные при взрывах заряда тротила массой 75 г и пневмопушки. Профиль обрабатывался на суше.

Этот монтаж иллюстрирует возможности регистрации слабых сигналов современной аппаратурой и возможности их обработки с применением современных программ до получения сопоставимых разрезов.

Для сравнительной визуальной оценки взрывных источников и виброисточников на рис. 9 представлены полевые сейсмограммы. Сравниваются сейсмозаписи от взрыва шпурового источника (А) с параметрами: количество шпуров в группе – 21; база группы – 60 м; величина единичного заряда – 0,2 кг; величина суммарного заряда – 4,2 кг; глубина заложения заряда – 2 м; вид заряда – аммонит 6Ж, и виброисточника (Б) с параметрами: тип вибраторов – СВ-10/180; количество вибраторов в группе – 4

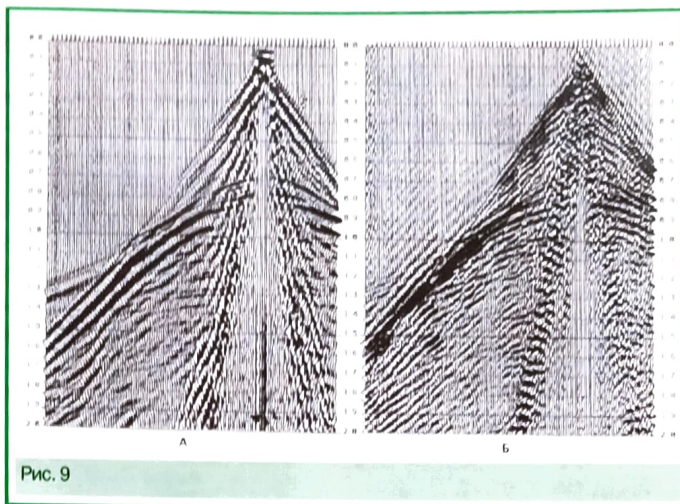


Рис. 9

шт.; база вибраторов – 60 м; количество накапливаний – 10; длительность свип-сигнала – 13 сек.

Параметры систем наблюдений и регистрации остаются одинаковыми при разных источниках возбуждения. Как следует из сопоставления, волновые картины заметно отличаются между собой. При взрывных источниках регистрируется более динамически выраженная запись, при которой целевые отражения имеют форму, отличную от иных составляющих волнового поля (отражение на  $t = 1,0-1,4$ ). Однако, если оценивать интенсивность записи, то можно говорить о тождественности сейсмозаписей, включая отражения от опорных и целевых горизонтов, и явное повышение частоты отражений от опорных горизонтов при взрывном шпуровом источнике.

Высокоразрешающая сейсморазведка (ВРС) представляет собой технологию, разработанную специалистами ЗАОр «НП «Запприкаспийгеофизика», использующую минимизированные заряды на оптимальной глубине ниже подошвы ЗМС, а также специальные процедуры обработки (патент № 2107310, № 2171477). ВРС позволяет изучать и картировать тонкие особенности нефтегазовых ловушек, осложненных малоамплитудными сбросами, выделять структурные и стратиграфические несогласия и т.д. Сейсморазведочные работы, выполненные на крыже Карпинского на известных нефтяных и газовых месторождениях, обнаружили существенные отличия в геологических моделях по сравнению с устоявшимися в течение многих десятилетий.

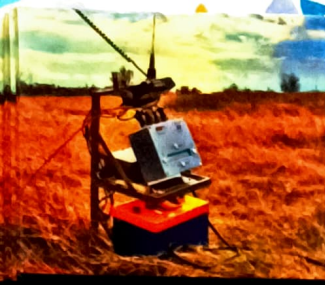
В результате, были выявлены новые, ранее пропущенные при съемке, перспективные объекты на Тенгутинском, Олейниковском, Промыловском и других газовых и нефтяных месторождениях. Дополнительно к традиционным ловушкам нефти и газа были прослежены погребенные русла на глубине 300-500 м в отложениях неогена, представляющие интерес для гидрогеологов и специалистов в области рудной геологии. Широкое использование ВРС позволяет получать высококачественную геологическую информацию. При пересъемке старых месторождений происходит, как правило, значительный прирост запасов, уточняется схема разработки месторождений, выявляются новые объекты.

Наиболее широкое внедрение технологии ВРС получила при работе в республике Калмыкия, где оказались благоприятные сейсмогеологические условия - маломощная ЗМС для работы с малыми зарядами. Опыт работ с территории Калмыкии был успешно перенесен в западные регионы Прикаспийской впадины, на территории Волгоградской и Саратовской областей, Респуб-

# ИНСТРУМЕНТАРИЙ ГЕОФИЗИКА-СЕЙСМОРАЗВЕДЧИКА

## СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ





лику Казахстан и впадину Талиму в Китае. Практически, эта технология позволила увеличить надежность исследований осадочных отложений для всех типов ловушек: антиклинальных, тектонически-экранированных, ловушек примыкания. Широкий спектр геологических элементов, зафиксированный при ВРС, и узловые моменты самой технологии, приведены в работах [4-21], без знакомства с которыми иногда трудно поверить, что заряды мощностью от 57,0 до 100 г, позволяют добиться четкого сейсмического изображения геологического разреза на глубинах на 1.5-2.5 км, а в ряде случаев и до 4-5 км.

## Литература:

- Берзон И.С. Высокочастотная сейсмика. Москва, 1957.
- Гурвич И.И. К теории сферического излучателя сферических волн. «Физика Земли», № 10, АН СССР, 1965.
- Каленов Е.Н., Комаров С.Г., Рябинкин А.А., Соколов В.А., Сорокин Л.В., Федоренко А.Н. Общий курс геофизических методов разведки нефтяных и газовых месторождений. Москва, 1954.
- Кобылкин И.А., Колосов Б.М. минимизация взрывных сейсмических источников-кардинальный путь усовершенствования технологии сейсморазведочных работ и повышение их геологической эффективности. Тезисы докладов Всесоюзного совещания «Геологическая эффективность геофизических работ при поисках и разведке месторождений нефти и газа в Прикаспийской впадине». Саратов, НВНИИГГ, 1990.
- Кобылкин И.А., Колосов Б.М., Ужакин Б.А. Способ шпуровых зарядов – эффективное средство проведения сейсморазведочных работ. Тезисы докладов 36-го Международного геофизического симпозиума. г. Киев, «Украгеофизика», 1991.
- Кобылкин И.А., Ужакин Б.А., Колосов Б.М., Турлов П.А., Пимштейн И.Г., Шукин Ю.Г., Большаков В.А. Применение пьезоэлектрических сейсмоприемников-акселерометров и минимизация сейсмических зарядов для высокоразрешающей сейсморазведки. Доклад на 5-ой Международной выставке «Геологоразведка-95». Официальный каталог выставки. Москва, 1995.
- Колосов Б.М., Турлов П.А., Большаков В.К. Технология наземной высокоразрешающей сейсморазведки при поиске и разведке сложнопостроенных резервуаров залежей углеводородов. Экспозиция на 5-ой Международной выставке «Геологоразведка-95», официальный каталог выставки. Москва, 1995.
- Кобылкин И.А., Ужакин Б.А., Колосов Б.М., Андреев Г.Н., Худяков Н.М. Способ высокоразрешающей сейсмической разведки методом общей глубинной точки с использованием взрывных зарядов. Патент на изобретение № 2107310. Роспатент. Москва, 1998.
- Кобылкин И.А., Андреев Г.Н., Колосов Б.М., Голиченко А.М. Геологическая эффективность высокоразрешающей сейсморазведки в юго-западной части Прикаспия и на кряже Карпинском. Международная геофизическая конференция «300 лет горно-геологической службы России», тезисы докладов. Санкт-Петербург, 2000.
- Плетнев А.И., Колосов Б.М., Сорокин В.М., Кобылкин И.А. Забурник для шпуров. Технические условия. ФГУП СКБ «Геотехника». Москва, 2002.
- Колосов Б.М., Кобылкин И.А., Голиченко А.М., Ужакин Б.А. Высокорастворимая сейсморазведка в Нижнем Поволжье РФ и во впадине Талиму в Китае. Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики». Саратов, № 2/2002.
- Колосов Б.М., Кобылкин И.А. Минимизация взрывных источников и буровзрывного обораудования при сейсморазведке – основные составляющие повышения качества работ и снижения их безопасности. Доклад на всероссийской конференции «О состоянии взрывного дела в РФ. Основные проблемы и пути их решения», 28.05.02 г. Москва, МГГУ, 2002.
- Колосов Б.М., Кобылкин И.А., Голиченко А.М., Жингель В.А. О малых зарядах для сейсморазведки. Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики». Саратов, № 1/2003.
- Колосов Б.М., Кобылкин И.А., Голиченко А.М. Особенности возбуждения, регистрации и оценки слабых сейсмических сигналов при минимизации взрывной технологии. Международная геофизическая конференция «Геофизика XXI века – прорыв в будущее». Москва, тезисы докладов, 2003.
- Андреев Г.Н., Кобылкин И.А., Колосов Б.М., Голиченко А.М., Жингель В.А. Геологическая эффективность высокоразрешающей сейсморазведки МОГТ в пределах кряжа Карпинского. Международная геофизическая конференция «Геофизика XXI века – прорыв в будущее». Москва, 2003.
- Колосов Б.М., Голиченко А.М., Кобылкин И.А., Глазков А.М. Особенности использования малых зарядов в сейсморазведке. Всероссийская геофизическая конференция «Геомодель-2003», тезисы доклада. г. Геленджик, 2003.
- Колосов Б.М., Кобылкин И.А., Голиченко А.М., Жингель В.А., Бурец Н.П. Малые заряды для сейсморазведки. Журнал «Безопасность труда в промышленности». Москва, №1/2004.
- Кобылкин И.А., Колосов Б.М., Голиченко А.М., Андреев Г.Н., Мыльцин В.Н., Кузнецов В.И., Жингель В.А., Шустров Е.И., Плетнев А.И., Худяков Н.М. Способ сейсмической разведки с использованием шпуровых зарядов. Патент на изобретение № 2231093. Роспатент. Москва, 2004.
- Колосов Б.М. О единицах измерения энергетических параметров источников и сейсмических сигналов в сейсморазведке. Изобретения и Рацпредложения в нефтяной промышленности. ВНИИОЭНГ. Москва, 2005.
- Колосов Б.М., Голиченко А.М., Спиров Г.М., Макеев Б.С. Технология изучения строения ВЧР электроимпульсным источником «Кумир». Сборник тезисов научно-практической конференции «Новые методики и технологии геофизических исследований на основе комплексирования методов и взаимодействия полей». ФГУП «ВНИИГеофизики». Москва, 2005.
- Колосов Б.М., Спиров Г.М. Технология изучения строения ВЧР с новым электроимпульсным источником «Кумир». Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики». г. Саратов, № 03/2007.
- Покровский Г.И. Взрыв. Москва, Недра, 1980.



**Регистрируйте больше** пунктов возбуждения в час.  
**Выполняйте больше** проектов в более сжатые сроки.  
**Получайте поддержку** еще более высокого уровня.



VIB PRO™



ARIES® II



## Высокопроизводительная вибросейсмическая система (HPVS) от компании INOVA

Приобретая технологию HPVS от INOVA, вы получаете больше, чем просто оборудование, испытанное на практике. Вы покупаете комплексное решение, которое включает в себя прочную регистрирующую систему ARIES II, систему синхронизации Vib Pro и вибраторы AHV-IV для повышения производительности в самых суровых условиях проведения работ. Технология HPVS от INOVA обеспечивает экономичный метод сбора данных и более высокую рентабельность ваших инвестиций, чем использование традиционных свип-методов. Добейтесь высоких результатов с использованием высокопроизводительной вибросейсмической системы (HPVS) от компании INOVA.

**INOVA Geophysical -  
 передовой поставщик  
 оборудования для  
 наземной сейсморазведки.  
 Мы будем там, где нужны  
 вам, в любое время.**





## ВСЕГДА ГОТОВО К УПОТРЕБЛЕНИЮ

Предоставление в аренду полного спектра телеметрического оборудования Sercel 408/428.

Техподдержка, сервис и обслуживание геофизического оборудования.

Производство импульсных источников «Геотон»

ООО «Фирма «ГЕОСЕЙС»

Контактная информация:

Тел. (Москва):

+7 (495) 694-19-07

+7 (495) 694-19-97

Тел. (Тюмень):

+7 (3452) 48-33-72

Электронная почта:

[geoton@geoton.ru](mailto:geoton@geoton.ru)

[sggeoton@gmail.com](mailto:sggeoton@gmail.com)

[geoseisld@gmail.com](mailto:geoseisld@gmail.com)

[http:](http://www.geoton.ru)

[www.geoton.ru](http://www.geoton.ru)

[www.geoseis.info](http://www.geoseis.info)

